

COMPRENDRE POUR AGIR

HABITAT ANCIEN EN ALSACE

AMÉLIORATION ÉNERGÉTIQUE ET
PRÉSERVATION DU PATRIMOINE



DREAL ALSACE DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'AMÉNAGEMENT ET DU LOGEMENT
DRAC ALSACE DIRECTION RÉGIONALE DES AFFAIRES CULTURELLES



Rénovation énergétique du bâti ancien

État de l'art

mai 2014



Cet état de l'art sur la rénovation énergétique du bâti ancien a été réalisé dans le cadre de l'étude « Habitat ancien en Alsace: énergie, durabilité du bâti et patrimoine », commandée par la DREAL et la DRAC Alsace à l'atelier d'architecture ODM et à la Direction Territoriale Est du Cerema.

Il a été réalisé début 2014 et ne prétend pas à l'exhaustivité en ce qui concerne les études, les aides financières, les matériaux et les techniques de mise en œuvre répertoriées.

Son but est néanmoins de fournir un répertoire suffisamment complet et objectif de données concernant la rénovation énergétique du bâti ancien, afin d'enrichir et de partager avec le plus grand nombre la connaissance scientifique sur ce thème. Il reste cependant la lecture de l'atelier ODM et de la Direction Territoriale Est du Cerema.

Maîtrise d'ouvrage :



DREAL Alsace

Direction Régionale de l'Environnement et de l'Aménagement et du Logement

2, Route d'Oberhausbergen – 67000 STRASBOURG

t/03.88.13.05.00

courriel : alice.lejeune@developpement-durable.gouv.fr

courriel : guillaume.durousseau@developpement-durable.gouv.fr



DRAC Alsace

Direction Régionale des Affaires Culturelles

Palais du Rhin -2 place de la République — 67082 STRASBOURG CEDEX

t/03 3 88 15 57 00 – f/03 88 75 60 95

courriel : alsace@culture.gouv.fr

Maîtrise d'œuvre :



Cerema

Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement

Direction territoriale Est (ex-CETE de l'Est) - Laboratoire Régional de Strasbourg

11, rue Jean Mentelin -67000 STRASBOURG

t/03 88 77 79 31 – f/03 88 77 46 20

courriel : elodie.heberle@cerema.fr



Atelier ODM

SARL d'architecture

8, quai Zorn -67000 STRASBOURG

t/03 88 52 12 88 – f/09 58 14 86 55

courriel : atelier.odm@free.fr

Sommaire

1. Introduction.....	6
2. Contexte réglementaire et incitatif en France.....	8
2.1. Rénovation énergétique et autorisations d'urbanisme.....	8
2.2. Rénovation énergétique et dispositifs mis en place par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie	8
La réglementation Thermique des bâtiments existants (2007).....	8
Le DPE.....	11
Aides financières.....	12
Labels et certifications.....	15
Synthèse.....	18
3. Contexte incitatif en Alsace : le programme « Je rénove BBC ».....	19
4. Guides et études à destination des maîtres d'ouvrages.....	22
4.1. Connaissance et préconisations.....	24
APUR.....	26
Ville de Grenoble.....	28
4.2. Exemples	30
Ville de Bayonne.....	30
Fiches-conseil energivie.info.....	32
Fiches – conseil de l'éco-PTZ.....	34
4.3. Préconisations et exemples	36
Grand Poitiers.....	36
Ville de Mulhouse.....	38
ENR ABF.....	40
4.4. Connaissance, préconisations et exemples	42
Guide ABC.....	42
Région Alsace.....	44
PNR des Vosges du Nord.....	46
4.5. Synthèse.....	48
5. Retour d'expériences.....	49
5.1. Rénovations BBC, AQC / EDF.....	50
Synthèse sur les productions concernant les retours d'expériences dans les rénovations BBC.....	50
Plaquette « Bien concevoir un projet de rénovation thermique ».....	56
5.2. Fiches « 50 chantiers pionniers » et « Je rénove BBC ».....	56
5.3. Fiches de l'Observatoire BBC.....	57
5.4. Ville de Mulhouse.....	57
6. Techniques et matériaux adaptés à la rénovation thermique du bâti ancien.....	61
6.1. Enduits isolants.....	62
Enduit chaux-chanvre.....	62
Enduit isolant « perspirant » avec ajout de silices expansées.....	62

Enduit isolant « perspirant » avec ajout de billes de polystyrène.....	63
Enduit isolant « perspirant » avec ajout de granulats légers sans fibres.....	63
Enduit isolant « perspirant » avec ajout de poudres de diatomées.....	63
6.2. Isolants.....	64
Mousse minérale.....	64
Silicate de calcium.....	65
Laine de bois ou laine de chanvre ou laine de mouton.....	65
Ouate de cellulose.....	66
Études concernant les transferts d'humidité dans les parois de bâti ancien isolées.....	66
6.3. Menuiseries extérieures.....	66
Les verres épais	66
Les doubles fenêtres.....	67
6.4. Ventilation.....	70
VMC répartie.....	70
VMC décentralisée.....	70
7. Annexes.....	72
7.1. Le guide méthodologique de l'ANVPAH.....	72
7.2. Principaux signes de non-qualités dans la construction BBC neuve.....	73

Index des illustrations

Illustration 1: Deux approches différentes des bâtiments existants (source : Cerema).....	6
Illustration 2: Schéma synoptique de la réglementation Thermiques des bâtiments existants (source : MEDDE).....	9
Illustration 3: Étiquettes DPE pour les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre (source : MEDDE).....	11
Illustration 4: Calcul à effectuer pour obtenir le montant de certificats obtenus en isolant des combles (source : MEDDE).....	15
Illustration 5: Collaborations entre l'AQC et EDF (source : Cerema).....	50
Illustration 6: Chronologie d'un projet de rénovation thermique (source : EDF/AQC).....	56
Illustration 7: Chronologie des opérations menées sur le quartier Franklin (source : Ville de Mulhouse).....	58
Illustration 8: Les causes de la dégradation des performances attendues (source : Enertech).....	59
Illustration 9: Ventilation des coûts moyens de la STU en € HT/m²SHAB (source : Ville de Mulhouse).....	60
Illustration 10: Répartition des coûts de la rénovation en € HT/m²SHAB (source : Ville de Mulhouse).....	60
Illustration 11: Evolution des coûts de la STU prix corrigé indice BT nov. 2009 en € HT/m²SHAB (source : Ville de Mulhouse).....	60
Illustration 12: Schéma de principe de la VMC répartie (source : Leroy-Merlin).....	70
Illustration 13: Schéma de principe de la VMC décentralisée avec extraction et soufflage alternée (source : Enertech).....	71
Illustration 14: Schéma de principe de la VMC décentralisée avec extraction et soufflage simultanée (source : Enertech).....	71
Illustration 15: Méthode à appliquer pour réaliser un audit énergétique de premier niveau (source : ANVPAH).....	72

1. Introduction

Parmi les bâtiments existants, il était d'usage de distinguer ceux construits avant 1975, c'est-à-dire avant le premier choc pétrolier de 1973 et la mise en place de la première réglementation thermique française en 1974, et ceux construits après 1975, ces derniers étant considérés comme plus performants, thermiquement parlant, que les précédents.

Cependant, une grande variabilité des performances thermiques des bâtiments construits avant 1975 a été constatée. Il s'avère, notamment, que les bâtiments construits selon un mode constructif traditionnel ne sont pas comparables avec ceux bâtis selon un mode constructif plus industrialisé. Il convient donc de définir une distinction supplémentaire dans la catégorie des bâtiments construits avant 1975, pour laquelle la date charnière se situe aux alentours de 1948.

En effet, la fin de la Seconde Guerre Mondiale marque le début de l'industrialisation et de la systématisation des procédés de construction : de nouveaux matériaux apparaissent (béton, acier), tout comme de nouvelles techniques (systèmes poteaux-poutres) et de nouvelles contraintes (urgence de la reconstruction et disparition des savoir-faire due aux pertes humaines subies pendant les deux guerres mondiales).

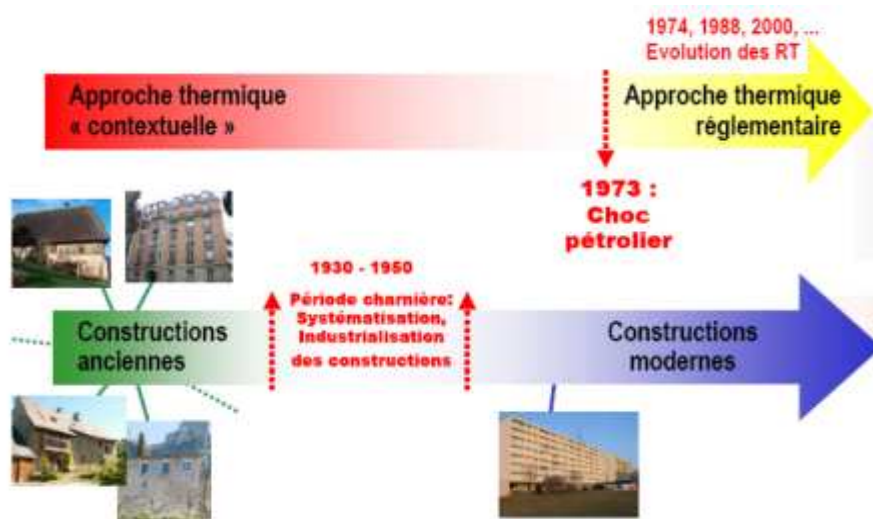


Illustration 1: Deux approches différentes des bâtiments existants (source : Cerema)

Les bâtiments construits avant 1948 et basés sur un mode constructif traditionnel, constituent le bâti ancien. En Alsace, comme dans le reste de la France, le bâti ancien représente environ un tiers des bâtiments existants. Pour atteindre les objectifs de diminution des consommations énergétiques des bâtiments (-38% d'ici 2020, -75% d'ici 2050), ce secteur du parc bâti constitue un gisement d'économie d'énergie à explorer. Cependant, ses spécificités thermiques et surtout hygrothermiques sont souvent mal connues et ses qualités architecturales parfois négligées. Une connaissance approfondie du bâti ancien, tant au niveau thermique qu'architectural, est donc primordiale si l'on veut le rénover de manière durable.

La phase 1 de l'étude « Habitat ancien en Alsace » s'est attachée à étudier plusieurs types de bâtiments représentatifs du bâti ancien alsacien. Leurs comportements thermiques et hygrothermiques, ainsi que leurs qualités architecturales, sont désormais établis. La seconde phase de l'étude consiste à élaborer des bouquets de travaux adaptés, et ce, à coûts maîtrisés.

Avant d'aborder l'élaboration des bouquets de travaux, il a semblé important de réaliser un état de l'art de la rénovation énergétique des bâtiments existants, et tout particulièrement du bâti ancien, afin de guider le

choix des solutions d'amélioration à privilégier.

Dans un premier temps, le contexte réglementaire, aussi bien au niveau du code de la Construction et de l'Habitation que du Code de l'Urbanisme, ainsi que le contexte incitatif de la rénovation énergétique en France sont rappelés. Lorsque les textes font état d'une différence de traitement entre le bâti ancien et les autres bâtiments existants, celle-ci est précisée. Le contexte incitatif particulier de l'Alsace sera aussi abordé.

Sont présentées ensuite différentes études, guides et retours d'expériences ayant majoritairement pour thème la rénovation d'un patrimoine bâti ancien. En effet, plusieurs collectivités, associations ou services de l'État ont déjà engagé des actions destinées à encourager la rénovation d'un patrimoine bâti ancien. Il s'agit ici de faire un état des approches qui ont pu être menées, afin d'enrichir la présente étude.

2. Contexte réglementaire et incitatif en France

2.1. Rénovation énergétique et autorisations d'urbanisme

Les codes de l'urbanisme, du patrimoine et de l'environnement prévoient que les modifications d'aspect extérieur des immeubles ou maisons soient soumises à autorisation préalable. Cela concerne autant un ravalement de façade, qu'un percement de fenêtre, qu'un changement de menuiseries ou la pose d'une isolation extérieure.

- Dans les cas précités, la demande d'autorisation est une déclaration préalable à déposer en mairie, précisant les modifications projetées.
- Dans le cas où l'édifice est situé dans un secteur sauvegardé (Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur), selon son statut, il peut faire l'objet d'une demande de Permis de Construire pour des travaux de modification de la façade ; les travaux intérieurs doivent aussi faire l'objet d'une demande d'autorisation au titre de l'urbanisme (PC ou DP) car les intérieurs peuvent aussi être protégés
- Dans le cas où l'édifice est inscrit Monument Historique, les modifications (y compris intérieures si l'intérieur est protégé) font obligatoirement l'objet d'une demande de Permis de Construire, avec accord du Préfet de Région.
- Dans le cas où l'édifice est classé Monument Historique, les modifications (y compris intérieures si l'intérieur est protégé) font obligatoirement l'objet d'une demande d'autorisation auprès du Préfet de Région.

Quelles que soient les modifications apportées aux façades extérieures ou à l'aménagement du terrain environnant, celles-ci doivent faire l'objet d'une demande d'autorisation, même si ces modifications se font dans le cadre de l'obtention de labels ou certifications d'énergie, lesquels ne relèvent pas du code de l'urbanisme ou du patrimoine.

Les services territoriaux de l'architecture et du patrimoine ainsi que la conservation régionale des monuments historiques se tiennent à la disposition des maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre pour consultation préalable.

2.2. Rénovation énergétique et dispositifs mis en place par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

En France, le secteur du bâtiment représente 43 % des consommations énergétiques totales et 20 % des émissions de gaz à effet de serre.

Le parc bâti se renouvelle à hauteur d'environ 2 % par an. Il y a donc nécessité d'intervenir sur l'existant si on veut réduire significativement l'impact énergétique du bâtiment.

A ce titre, le MEDDE a mis en place depuis plusieurs années des dispositifs de nature différentes, destinés à réglementer, sensibiliser et inciter à la rénovation énergétique des bâtiments existants.

La réglementation Thermique des bâtiments existants (2007)

Dès 2002, l'Union Européenne a imposé une réglementation thermique pour les bâtiments existants dans chaque pays européen. Celle-ci se traduit par des exigences minimales de performance énergétique pour

les rénovations majeures, aujourd'hui rassemblées dans la Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments (DPEB, 2012/31/UE).

La réglementation Thermique des bâtiments existants s'applique aux bâtiments résidentiels et tertiaires existants, à l'occasion de travaux de rénovation, de remplacement ou d'installation dans un bâtiment existant. Elle ne s'applique pas :

- aux bâtiments classés Monuments Historiques ou inscrits à l'inventaire supplémentaire des Monuments Historiques lorsque les travaux modifient l'aspect extérieur ;
- en cas de catastrophe naturelle, technologique ;
- en cas d'actes de vandalisme ;
- en cas de travaux sur des matériaux traditionnels.

Les exigences de performance énergétiques sont différentes selon le coût des travaux, la superficie et la date de construction du bâtiment existant. Ainsi :

- Pour les rénovations très lourdes de bâtiments de plus de 1000 m², achevés après 1948, la réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové. C'est la « RT existant globale » qui s'applique, régie par l'arrêté du 13 juin 2008. Ces bâtiments doivent aussi faire l'objet d'une étude de faisabilité des approvisionnements en énergie préalablement au dépôt de la demande de permis de construire.
- Pour tous les autres cas de rénovation, la réglementation définit une performance minimale pour l'élément remplacé ou installé. C'est la « RT existant élément par élément » qui s'applique, régie par l'arrêté du 3 mai 2007.

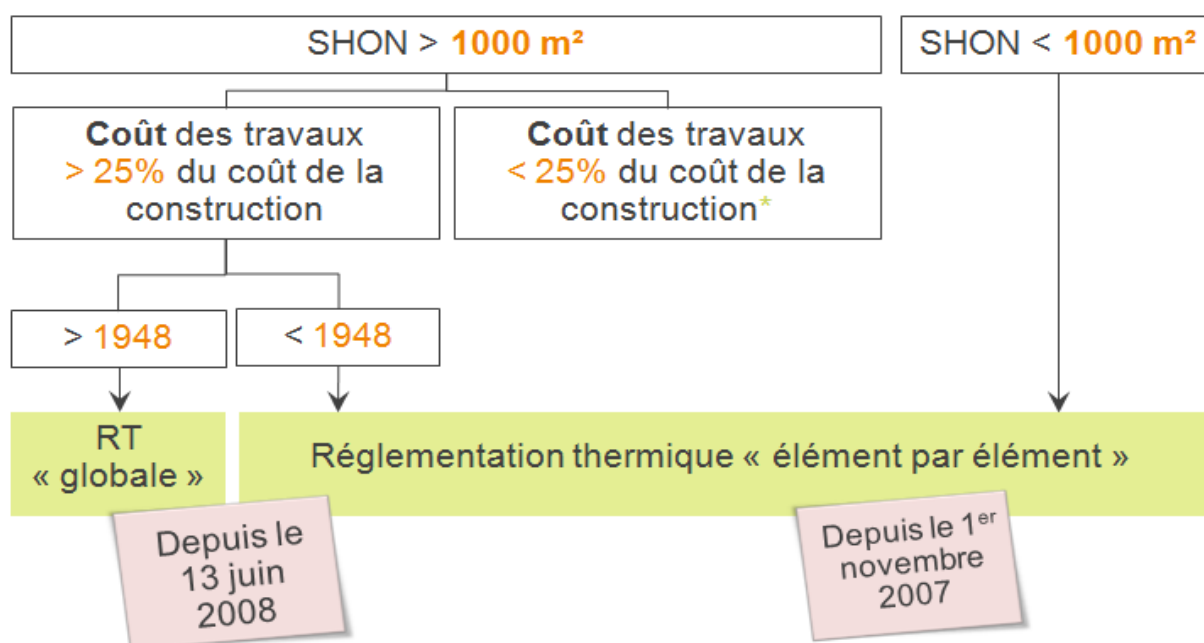


Illustration 2: Schéma synoptique de la réglementation Thermiques des bâtiments existants (source : MEDDE)

Ses objectifs sont multiples. Il s'agit tout d'abord d'améliorer la performance énergétique du bâtiment, mais également de limiter l'utilisation de la climatisation et maintenir un niveau de confort d'été et enfin de ne pas dégrader le bâti.

Il apparaît clairement que tout bâtiment relevant du bâti ancien¹ est soumis à la RT existant « élément par élément », et donc, à l'arrêté du 3 mai 2007. Voici les principales exigences de cette dernière, en termes de performances thermiques des parois isolées :

Parois opaques	Résistance thermique totale R (m².K/W)	
	Murs en contact avec l'extérieur et rampants de toiture de pente supérieure à 60 °	> 2,3
	Murs en contact avec un volume non chauffé	> 2
	Toitures terrasses	> 2,5
	Planchers de combles perdus	> 4,5
	Rampants de toiture de pente inférieure à 60 °	> 4
	Planchers bas donnant sur l'extérieur ou sur un parking collectif	> 2,3
	Planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou sur un volume non chauffé	> 2
Parois vitrées	Coefficient de transmission thermique U (W/m².K)	
	Fenêtres coulissantes (U _w ou U _{jn} si présence d'un volet)	< 2,6
	Autres fenêtres (U _w ou U _{jn} si présence d'un volet)	< 2,3
	Vitrage (U _g)	< 2
	Coffre de volets roulants (U _c)	< 3

Le cas du bâti ancien

Le bâti ancien fait cependant l'objet de mesures particulières.

D'une part, du fait de sa sensibilité à l'humidité, le bâti ancien n'est pas soumis aux exigences relatives à l'isolation thermique des parois opaques. Ces exigences ne s'appliquent en effet qu'aux parois ainsi constituées :

- « murs composés des matériaux suivants : briques industrielles, blocs béton industriels ou assimilés, béton banché et bardages métalliques ;
- plancher bas composé des matériaux suivants : terre cuite ou béton ;
- tous types de toiture. » (article 2).

Il s'agit là d'une mesure de précaution destinée à éviter une éventuelle dégradation du bâti, consécutive à l'utilisation de matériaux isolants imperméables à l'humidité.

D'autre part, parmi les bâtiments relevant du bâti ancien, « les secteurs sauvegardés, les zones de protection du patrimoine architectural, urbain et paysager, les abords de monuments historiques, les sites inscrits et classés, les sites inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'humanité de l'UNESCO ou tout autre préservation édictée par les collectivités territoriales, ainsi que pour les immeubles bénéficiant du label patrimoine du XXème siècle et les immeubles désignés par l'alinéa 7 de l'article L. 123-1 du code de l'urbanisme » sont exemptés de certaines exigences. Ainsi, pour ces bâtiments :

- « les travaux d'isolation des murs par l'extérieur ne doivent pas entraîner de modifications de l'aspect de la construction en contradiction avec les protections prévues » (article 6) ;
- les travaux relatifs aux parois vitrées « peuvent ne pas être satisfaites lorsque les modifications en résultant sur l'aspect de la construction sont en contradiction avec les protections prévues » (article 15).

¹ cf. introduction pour la définition du bâti ancien

Le DPE

Le Diagnostic de Performance Énergétique (DPE) a pour objectif :

- d'informer le public sur la performance énergétique du bâtiment ;
- de sensibiliser aux économies d'énergie et à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- d'inciter à l'amélioration de la performance énergétique par des recommandations.

Il existe 4 types de DPE :

- le DPE « vente », qui s'applique aux bâtiments existants proposés à la vente et dont l'affichage est obligatoire dans les annonces immobilières depuis de 1^{er} janvier 2011 ;
- le DPE « location », qui s'applique aux bâtiments d'habitation existants proposés à la location et dont l'affichage est obligatoire dans les annonces immobilières depuis de 1^{er} janvier 2011 ;
- le DPE « construction », qui s'applique aux bâtiments neufs ;
- le DPE « bâtiments publics », dont l'affichage est obligatoire pour les bâtiments publics de plus de 1000 m².
- Sa validité est, dans tous les cas, de 10 ans.

Les étiquettes « énergie » et « climat » qui le compose renseignent sur la performance énergétique du bâtiment et sur ses émissions de gaz à effet de serre.

Dans le cas du logement, la performance énergétique se mesure en consommation d'énergie primaire pour 3 des 5 usages réglementaires : le chauffage, la climatisation et la production d'eau chaude sanitaire. Les émissions de gaz à effet de serre se mesurent en kgCO₂/m².an pour les mêmes usages². Les échelles utilisées pour représenter ces indicateurs sont les suivantes :

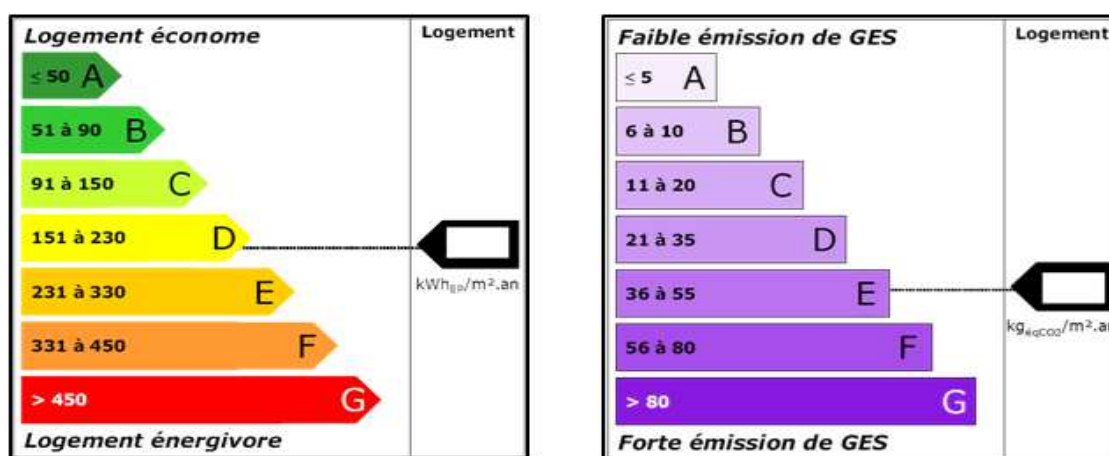


Illustration 3: Étiquettes DPE pour les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre (source : MEDDE)

Le calcul de ces indicateurs se fait à partir d'un calcul conventionnel effectué par un logiciel de type 3CL dans le cas des logements construits après 1948 avec systèmes collectifs de chauffage et de production d'ECS et sans comptages individuels. Dans tous les autres cas, le calcul se fait sur facture.

Le cas du bâti ancien

Ainsi, dans le cas du bâti ancien, le calcul de la consommation d'énergie primaire se fait sur facture. En effet, le calcul conventionnel effectué par un logiciel de type 3CL donne des résultats trop éloignés de la réalité, le logiciel ne prenant pas en compte un certain nombre de spécificités caractéristiques du bâti ancien (conception bioclimatique, inertie, sensibilité à l'humidité, etc...). Afin de ne pas le pénaliser, il a donc été

² Pour les bâtiments autres que d'habitation, les usages ainsi que les échelles considérés diffèrent.

décidé d'utiliser les factures pour déterminer sa consommation en énergie primaire.

Dans le cas d'un logement situé dans un bâtiment ancien (rappelons que les usages considérés pour le calcul de la consommation d'énergie primaire sont dans ce cas le chauffage, la climatisation et la production d'eau chaude sanitaire), cette façon de calculer pose cependant un certain nombre de problèmes :

- pour un logement chauffé électriquement, les factures d'électricité ne fournissent pas uniquement les consommations de chauffage, mais aussi les consommations dues à l'éclairage, à l'électro-ménager, à l'informatique et à tous les autres équipements consommant de l'électricité. La même remarque s'applique pour un logement climatisé ou qui dispose d'une production d'eau chaude sanitaire électrique.

Le cas des bâtiments autre que d'habitation est moins problématique, puisque les usages considérés pour le calcul de la consommation d'énergie primaire comprennent en plus l'éclairage, la bureautique, les ascenseurs et les autres usages.

- pour un logement chauffé au bois ou au fioul, les factures ne donnent pas d'information sur ce qui a été consommé, mais sur la quantité de combustible qui a été livrée.

Aides financières

Nous présentons ici les aides financières à la rénovation énergétique de l'existant, allouées par l'État en 2015 (d'autres aides peuvent être allouées par les collectivités locales) et présentant des critères d'éligibilité techniques spécifiques à chaque équipement et matériau. A ce titre, il ne s'agit pas d'une lecture exhaustive des aides et nous n'aborderons notamment pas :

- les aides du programme « Habiter mieux » de l'ANAH, dont le critère d'éligibilité technique porte sur une amélioration de la performance énergétique d'au moins 25 %, et non sur la performance de chaque équipement et matériau séparément.
- la TVA à taux réduit sur l'achat de matériel et les frais de main d'œuvre.

Pour plus d'informations sur les aides financières destinées aux propriétaires, voir le guide réalisé dans le cadre du Plan de Rénovation Énergétique de l'Habitat (PREH)³ ou consulter le site <http://www.renovation-info-service.gouv.fr/>

L'éco-PTZ, prêt à taux zéro pour la rénovation

L'éco-prêt à taux zéro (à ne pas confondre avec le prêt à taux zéro pour l'acquisition PTZ+) a été mis en place en 2009. Il permet de financer les travaux d'économie d'énergie et les éventuels frais induits par ces travaux afin de rendre le logement plus économe en énergie, plus confortable et moins émetteur de gaz à effet de serre. A noter que depuis le 1^{er} septembre 2014 en métropole, seuls les travaux réalisés par des entreprises RGE (Reconnu Garant de l'Environnement) peuvent être financés par ce prêt.

Pour bénéficier de l'éco-prêt à taux zéro, le particulier peut :

- soit mettre en œuvre un « bouquet de travaux ».
- soit atteindre un niveau de « performance énergétique globale » minimal du logement. Cette dernière possibilité ne s'applique qu'aux bâtiments construits après 1948.
- soit réhabiliter un système d'assainissement non collectif par un dispositif ne consommant pas d'énergie.

Le cas du bâti ancien

Dans le cas du bâti ancien, l'éco-prêt à taux zéro peut donc uniquement être octroyé s'il y a réalisation d'un bouquet de travaux. Celui-ci consiste à faire réaliser par des entreprises RGE au moins deux travaux parmi les suivants :

- isolation performante de la toiture ;

³ Disponible sur le site www.developpement-durable.gouv.fr/Le-plan-de-renovation-energetique,34149.html

- isolation performante des murs donnant sur l'extérieur ;
- isolation performante des fenêtres et portes donnant sur l'extérieur ;
- installation ou remplacement d'un chauffage ou d'une production d'eau chaude sanitaire ;
- installation d'un chauffage utilisant les énergies renouvelables,
- installation d'une production d'eau chaude sanitaire utilisant les énergies renouvelables.

Les équipements et matériaux mis en œuvre doivent de plus répondre à des caractéristiques techniques minimales. Depuis le 1^{er} janvier 2015, ces caractéristiques sont identiques à celles du Crédit d'Impôt Transition Énergétique (CITE, cf. ci-dessous).

NB : Attention, contrairement à la réglementation thermique, les résistances thermiques indiquées concernent uniquement l'isolant, et non la paroi entière.

Il est à noter qu'aucune mise en garde n'est faite ici sur l'utilisation, dans le bâti ancien, de matériaux isolants imperméables à l'humidité. De même, l'intérêt architectural et patrimonial du bâti ancien n'est pas abordé dans les textes.

Ces deux aspects du bâti ancien sont cependant abordés dans les « fiches éco-prêt à taux zéro », qui présentant des exemples de rénovation pour 12 typologies du bâti existant en France, parmi lesquelles on trouve 4 typologies de bâti ancien :

- maison en pan de bois remplissage torchis du XVIII^{ème} siècle ;
- appartement en brique de terre cuite du début du XX^{ème} siècle ;
- appartement en pierre de taille du XVII^{ème} siècle ;
- maison en moellon du XVI^{ème} siècle.

Crédit d'Impôt Transition Énergétique (CITE)

L'objectif du CITE est d'inciter les particuliers à effectuer des travaux d'amélioration énergétique de leurs logements tout en soutenant les technologies émergentes les plus efficaces en termes de développement durable et en faisant évoluer les différents marchés vers des standards de performance plus élevés.

En 2015, le dispositif a été simplifié et ne comporte plus qu'un seul taux, porté à 30 %, quelle que soit l'action réalisée. Il n'est plus nécessaire que cette action soit incluse dans un bouquet de travaux pour être éligible.

Le crédit d'impôt concerne les dépenses d'acquisition de certains équipements et matériaux fournis par les entreprises ayant réalisé les travaux et faisant l'objet d'une facture. Ces équipements et matériaux sont les suivants :

- l'isolation thermique ;
- les équipements utilisant une source d'énergie renouvelable (excepté l'énergie solaire)
- les appareils de régulation de chauffage ;
- les DPE.

Les équipements et matériaux mis en œuvre doivent de plus répondre à des caractéristiques techniques minimales. Le tableau suivant présente les caractéristiques thermiques à respecter pour les isolants et les matériaux mis en œuvre :

Parois opaques	Résistance thermique R (m².K/W)	
	Planchers bas sur sous-sol, sur vide sanitaire ou sur passage ouvert	> 3
	Murs en façade ou en pignon ⁴	> 3,7
	Toiture terrasse	> 4,5
	Planchers de combles perdus	> 7
	Rampants de toitures, plafonds de combles	> 6
	Volets isolants caractérisés par une résistance thermique additionnelle apportée par l'ensemble volet – lame d'air ventilé ⁵	> 0,22
Parois	Coefficient de transmission thermique U (W/m².K)	

4 Un plafond de dépenses a été instauré pour les matériaux d'isolation thermique : l'isolation par l'extérieur est ici favorisée puisqu'elle bénéficie d'un plafond plus élevée.

5 Éligible uniquement s'il y a réalisation d'un bouquet de travaux.

vitrées⁶	Fenêtres et porte – fenêtre avec $S_w > 0,3 (U_w)$	< 1,3
	Fenêtres et porte – fenêtre avec $S_w > 0,36 (U_w)$	< 1,7
	Portes d'entrée donnant sur l'extérieur (U_d)	< 1,7
	Vitrages de remplacement à isolation renforcée (vitrages à faible émissivité) (U_g)	< 1,1
	Doubles fenêtres (seconde fenêtre sur la baie avec un double vitrage renforcé avec $S_w > 0,32 (U_w)$	< 1,8
	Fenêtres de toiture avec $S_w < 0,36 (U_w)$	< 1,5

NB : Attention, contrairement à la réglementation thermique, les résistances thermiques indiquées concernent uniquement l'isolant, et non la paroi entière.

Le cas du bâti ancien

Aucune mention n'est ici faite du bâti ancien.

Certificat d'économie d'énergie (CEE)

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie repose sur l'obligation de réalisation d'économie d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie, appelés les « obligés ». Ceux-ci sont incités à promouvoir activement l'efficacité énergétique auprès de leurs clients : ménages, collectivités territoriales ou professionnels. En cas de non respect de leurs obligations, les obligés sont tenus de verser une pénalité de deux centimes d'euros par kWh cumac⁷ manquant.

Les certificats sont obtenus à la suite d'actions entreprises par les obligés ou par l'achat à d'autres acteurs ayant mené des opérations d'économies d'énergie. Ces actions sont définies par arrêté et présentées sous forme de fiches : elles définissent, pour les opérations les plus fréquentes, les montants forfaitaires d'économies d'énergie en kWh cumac. Les secteurs concernés par les CEE sont les suivants : le bâtiment résidentiel, le bâtiment tertiaire, l'industrie, le transport et l'agriculture.

Dans le secteur du bâtiment résidentiel, les opérations valorisables au titre du dispositif des CEE visent l'isolation de l'enveloppe (6 fiches pour la France métropolitaine), les systèmes de chauffage, de climatisation, de production d'ECS, de ventilation (57 fiches), l'éclairage et l'électro-ménager (7 fiches) et les services (2 fiches). A titre d'exemple, voici les caractéristiques thermiques minimales des opérations valorisables au niveau de l'isolation de l'enveloppe :

Parois opaques	Résistance thermique R ($m^2.K/W$)	
	Combles ou toitures	> 5
	Murs	Avant le 01/01/2011 : > 2,4 Après le 01/01/2011 : > 2,8
	Plancher	> 2,4
	Toitures terrasses	> 3
Parois vitrées	Coefficient de transmission thermique U ($W/m^2.K$)	
	Fenêtre ou porte – fenêtre complète avec vitrage isolant	Avant le 01/01/2011 : < 2 Après le 01/01/2011 : < 1,8

NB : Attention, contrairement à la réglementation thermique, les résistances thermiques indiquées concernent uniquement l'isolant, et non la paroi entière.

Exemple pour le cas de l'isolation des combles ou de la toiture d'un logement :

⁶ id. 3

⁷ Le terme « cumac » correspond à la contraction de « cumulée » et « actualisés ». Ainsi, par exemple, le montant de kWh cumac économisé suite à l'installation d'un appareil performant d'un point de vue énergétique correspond au cumul des économies d'énergie annuelles réalisées durant la durée de vie de ce produit. En outre, les économies d'énergie réalisées au cours de chaque année suivant la première sont actualisées en divisant par 1,04 les économies de l'année précédente (taux d'actualisation de 4 %).

La durée de vie conventionnelle de l'isolation des combles ou de la toiture est fixée par la fiche correspondante à 35 ans. Pour un isolant de résistance thermique supérieure à 5 m².K/W, la quantité de kWh cumac économisée en 35 ans par mètre carré d'isolant mis en œuvre est elle aussi fixée par cette fiche et dépend de la zone climatique dans laquelle se trouve le bâtiment et de son énergie de chauffage. Pour obtenir la quantité de kWh cumac effectivement économisée par l'isolation des combles ou de la toiture de ce logement, il suffit de multiplier par la surface d'isolant mise en œuvre.

4. Durée de vie conventionnelle

35 ans.

5. Montant de certificats en kWh cumac

Montant en kWh cumac /m² d'isolant			X	Surface d'isolant (m²)
Zone climatique	Energie de chauffage			S
	Electricité	Combustible		
H1	1 200	1 900		
H2	980	1 600		
H3	660	1 000		

Illustration 4: Calcul à effectuer pour obtenir le montant de certificats obtenus en isolant des combles (source : MEDDE)

Certains obligés ont mis en place des dispositifs innovants à destination des particuliers, dont le but est de recueillir le plus de certificats possibles :

- Les primes-énergie des enseignes de bricolage ou de grande distribution. En effet, ces enseignes appartiennent à des grands groupes dont certaines filiales vendent de l'énergie et sont donc considérées comme des obligés. En l'échange des factures des travaux d'amélioration énergétique qu'il a réalisés sur son logement, le particulier bénéficie d'une compensation financière.
- En Alsace, les opérations « 50 chantiers pionniers », initiée en 2009 et « Je rénove BBC », démarrée en 2010 permettent, entre autres, à EDF de remplir leurs obligations. En effet, les entreprises réalisant des travaux d'amélioration énergétique dans le cadre de ces deux opérations s'engagent à leur transmettre toutes les factures valorisables au titre du dispositif des CEE.

Le cas du bâti ancien

Aucune mention n'est ici faite du bâti ancien.

Labels et certifications

Le label « HPE rénovation »

Le label « Haute performance énergétique rénovation » permet de valoriser une démarche volontaire de maîtres d'ouvrage désireux de réaliser une opération de rénovation plus performante que ce qu'exige la réglementation thermique des bâtiments existants. Il est délivré dans le cadre d'une certification portant également sur la qualité globale du bâtiment, par des organismes certificateurs privés ayant passé une convention spéciale avec le ministère en charge de la construction, qui les autorise à délivrer ce label (CERQUAL, PROMOTELEC, CEQUAMI pour les bâtiments de logement).

Pour les bâtiments de logements, le label comporte deux niveaux :

- un niveau « haute performance énergétique rénovation, HPE rénovation 2009 » qui correspond à une consommation conventionnelle d'énergie primaire de 150 kWh_{EP}/m².an⁸, modulée selon la zone climatique et l'altitude. En Alsace, pour une altitude inférieure à 400 m, ce niveau est en fait de 195

⁸ Cette consommation conventionnelle d'énergie primaire est calculée à partir du moteur de calcul réglementaire Th-C-E Ex et pour les 5 usages réglementaires (chauffage, production d'ECS, éclairage, auxiliaires).

- kWh_{EP}/m².an.
- un niveau « bâtiment basse consommation énergétique rénovation, BBC rénovation 2009 » plus performant, qui correspond à une consommation d'énergie primaire de 80 kWh_{EP}/m².an, modulée selon la zone climatique et l'altitude. En Alsace, pour une altitude inférieure à 400 m , ce niveau est en fait de 104 kWh_{EP}/m².an.

Pour les bâtiments non résidentiels, le label comporte un unique niveau « bâtiment basse consommation énergétique rénovation, BBC rénovation 2009 », qui correspond à une consommation inférieure de 40 % à la consommation de référence de la réglementation thermique « globale » des bâtiments existants.

Le cas du bâti ancien

Ce label, définit par l'arrêté du 29 septembre 2009, ne s'applique pas au bâti ancien. En effet, d'après la réglementation thermique des bâtiments existants, le bâti ancien n'est pas soumis à la RT existant « globale », car le moteur de calcul réglementaire Th-C-E Ex n'est pas capable de le modéliser correctement. Or, l'obtention du label HPE Rénovation suppose de simuler le bâtiment rénové à l'aide de ce moteur, afin de vérifier si ses consommations sont inférieures à une certaine limite. L'utilisation du moteur Th-C-E Ex pour valider un label HPE sur un bâtiment relevant du bâti ancien est donc, a priori, proscrite.

Cependant, un certain nombre de labels spécifiques au bâti ancien ont été défini par les organismes certificateurs, sans que ceux-ci ne soient validés par un arrêté.

Les labels « Effinergie Rénovation »

Le label « Effinergie Rénovation » se décline en deux sous-labels :

- « BBC Effinergie Rénovation », qui s'applique aux bâtiments construits après 1948. Ce sous-label bénéficie de l'appellation BBC par l'arrêté du 29 septembre 2009.
- « Effinergie Rénovation » s'applique au bâti ancien.

Les exigences de ces sous-labels sont les mêmes que pour le label «BBC Rénovation 2009 » mais intègrent un certain nombre d'exigences supplémentaires, notamment la mesure obligatoire de la perméabilité à l'air pour les bâtiments de logement.

Le label « Rénovation 150 »

Le label « Rénovation 150 » s'applique à tous les bâtiments, y compris ceux relevant du bâti ancien. Les exigences de ce label sont les mêmes que pour le label «HPE Rénovation 2009 » mais intègrent un certain nombre d'exigences supplémentaires. Peu d'informations sont disponibles sur ce label.

Organismes certificateurs, certifications et labels applicables au bâti ancien⁹

Un label est délivré dans le cadre d'une certification du bâtiment qui porte sur la sécurité, la durabilité et les conditions d'exploitation des installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de climatisation et d'éclairage, ou encore sur la qualité globale du bâtiment.

	Certification	Labels délivrés	Labels délivrés	Remarque
--	---------------	-----------------	-----------------	----------

⁹ D'après Frédéric SAILLY, ARCAD/PQE Champagne -Ardenne

	associée	(après 1948)	(avant 1948)	
CEQUAMI	NF Maison Rénovée		-	
CERQUAL	Patrimoine Habitat  PATRIMOINE HABITAT Patrimoine Habitat et Environnement  PATRIMOINE HABITAT & ENVIRONNEMENT	HPE Rénovation BBC Effinergie Rénovation	Rénovation 150 Finerie Rénovation	La notion de « patrimoine » est à prendre ici au sens de « possession » et non au sens culturel du terme : aucune disposition de sauvegarde du patrimoine n'entre ici en ligne de compte.
PROMOTELEC	Promotelec Rénovation Énergétique 		Effinergie Rénovation	

Autres labels : label Minergie – Standard pour la rénovation / label Passivhaus

Minergie est une association suisse dont le but est la diminution de la consommation d'énergie dans le bâtiment en proposant d'utiliser l'énergie de manière rationnelle et d'avoir recours aux énergies renouvelables. A ce titre, elle propose un standard de construction certifié par un label, le label Minergie, ainsi que le service de contrôle de ce label.

Parmi les différents labels proposés, on trouve le label Minergie – Standard pour la rénovation. Il s'applique aux bâtiments antérieurs à 2000. Pour le logement, la valeur limite de consommation à ne pas dépasser est 60 kWh_{EP}/m².

Les usages concernés sont différents des usages réglementaires français et concernent le chauffage des locaux, la production d'ECS, la climatisation si elle est prévue et l'électricité nécessaire à la VMC s'il y en a une. Le logiciel utilisé pour ce calcul doit avoir été validé par l'association Minergie et le coefficient d'énergie primaire pour l'électricité n'est pas le même en France et en Suisse.

MINERGIE®

Passivhaus est un label allemand de performance énergétique dans les bâtiments, délivré en Allemagne par le Passivhaus Institut. Il concerne à la fois le neuf et la rénovation.

Pour bénéficier du label Passivhaus, le besoin de chauffage du bâtiment doit être inférieur à 15 Wh_{EF}/m².an et la consommation d'énergie primaire pour le chauffage, la production d'ECS, l'éclairage, la ventilation, les auxiliaires et l'électro-domestique doit être inférieure à 120 kWh_{EP}/m².an. Le logiciel utilisé pour calculer ces valeurs doit avoir été validé par le Passivhaus Institut et le coefficient d'énergie primaire pour l'électricité

n'est pas le même en France et en Allemagne.



Le cas du bâti ancien

Ces deux labels ne présentent aucune restriction quant à leur application au bâti ancien.

Synthèse

Dans sa déclinaison élément par élément, la réglementation thermique des bâtiments existants fixe des exigences relativement faibles en termes de performances thermiques de l'enveloppe. Le rôle des aides financières, directes (comme l'éco-prêt à taux zéro ou le crédit d'impôt) ou indirectes (comme les CEE) et des labels de performance énergétique est justement d'inciter les maîtres d'ouvrage à aller plus loin que la réglementation.

Cependant, certaines considérations restent absentes de quasiment tout le dispositif réglementaire et incitatif français, puisqu'il définit un isolant à partir de sa résistance thermique, en omettant ses autres caractéristiques thermiques (inertie), hygriques (hygroscopicité, capillarité, résistance à la diffusion de vapeur) et environnementales (énergie grise). D'autres problématiques, plus globales, tels que la valeur patrimoniale du bâtiment à rénover, qui influe sur le choix des techniques d'isolation, ou la qualité de la mise en œuvre (et notamment la perméabilité à l'air) ou sur la performance thermique du bâtiment rénové, ne sont pas non plus abordées (sauf dans les labels).

Dans ces conditions, le fait que le bâti ancien ne soit pas soumis à l'exigence concernant l'isolation des parois est une précaution nécessaire. Cela ne signifie pas que les parois du bâti ancien ne doivent pas être isolées, mais qu'elles doivent l'être avec des matériaux et des techniques adaptées, qui ne sont cependant pas définies précisément pour l'instant.

3. Contexte incitatif en Alsace : le programme « Je rénove BBC »

Le programme « Je rénove BBC » a été lancé par la Région Alsace et le groupe EDF en 2010 et fait suite à l'opération « 50 chantiers pionniers » initiée en 2009. Il s'est terminé en décembre 2014.

Il a pour objet la rénovation énergétique de maisons individuelles existantes à un niveau BBC (104 kWh_{EP}/m².an sur les cinq usages réglementaires en Alsace) et doit permettre à chaque propriétaire de bénéficier d'une prestation de maîtrise d'œuvre générale qui lui apporte une garantie de résultat sur les performances énergétiques après travaux, dans des conditions financières très favorables.

La prestation d'accompagnement thermique de la maîtrise d'œuvre pourra être subventionnée à 50 % par EDF et la Région Alsace, dans la limite de 3 000 €. D'autre part, la Région Alsace verse une aide forfaitaire de 5 000 € lorsque le projet s'inscrit dans les critères du programme et une aide de 35 € / m² de surface habitable si au moins 50 % du projet est isolé à l'aide d'éco-matériaux, dans la limite de 5 000 €. Potentiellement, ce sont donc 13 000 € de subventions qui peuvent être obtenus pour la rénovation d'un logement.

Un référentiel technique regroupe les obligations, en termes d'épaisseurs d'isolants, de systèmes et de techniques mises en œuvre, que doivent respecter les projets candidats pour arriver à un niveau BBC. Ce référentiel permet donc de s'affranchir des études thermiques longues et coûteuses. Son respect n'est pas obligatoire si une étude thermique réglementaire vient par ailleurs prouver que le projet atteint un niveau BBC. La version consultée pour l'élaboration de ce paragraphe date du 26 juin 2013.

Pour atteindre un niveau BBC, l'accent est essentiellement mis sur l'isolation de l'enveloppe. Le choix du système de chauffage et de production d'ECS est laissé au maître d'ouvrage, mais les épaisseurs d'isolant compatibles avec une rénovation de niveau BBC (104 kWh/m².an en Alsace) ont été calculées en considérant que le chauffage et la production d'ECS étaient fournis par une chaudière gaz à condensation de rendement annuel sur PCI égal à 1. La ventilation, quant à elle, devra être réalisée soit par une VMC simple-flux Hygro B, soit par une VMC double-flux avec un récupérateur de chaleur de rendement supérieur ou égal à 85 %, munis, dans tous les cas, de ventilateurs économes en énergie (consommation inférieure à 25 Wh/m³ par moteur). Globalement, les niveaux de performances doivent être conformes à la RT existant élément par élément et doivent permettre au client d'atteindre l'éligibilité au crédit d'impôt, et ce, aussi bien pour les systèmes que pour les composants de l'enveloppe.

Les obligations sur l'isolation de l'enveloppe sont déclinées en fonction de la typologie constructive du bâtiment à rénover et des techniques mises en œuvre :

Parois opaques	Résistance thermique R (m².K/W)	Colombages – Rénovation légère	Colombages – Rénovation lourde	Maçonnerie et béton	Ossature bois – Isolée en sous – face	Ossature bois – Isolée sous chape
	Type d'isolation à mettre en œuvre	Par l'intérieur pour préserver la valeur patrimoniale	Par l'intérieur pour préserver la valeur patrimoniale	De préférence par l'extérieur pour limiter les ponts thermiques		
	Murs extérieurs	4,8	3,4	5	5	2,4
	Dalle inférieure	3	2,4	3,75	3,75	2,4
	Rampants / Dalle supérieure	7,5	7,5	7,5	7,5	6,5
Parois vitrées	Coefficient de transmission thermique U (W/m².K)	Colombages – Rénovation légère	Colombages – Rénovation lourde	Maçonnerie et béton	Ossature bois – Isolée en sous – face	Ossature bois – Isolée sous chape
	Fenêtres (U_w)	1,1				
	Portes (U_w)	1				

Dans tous les cas, des préconisations précises sont données sur le traitement :

- des ponts thermiques induits par l'isolation par l'intérieur ou par l'extérieur :
 - retour d'isolant au niveau des embrasures de fenêtres ;
 - isolation sous chape du plancher bas en cas d'isolation par l'intérieur des murs afin de limiter les ponts thermiques ;
 - détail de l'isolation des pignons ;
 - isolation au 2/3 de la résistance thermique imposée aux murs extérieurs des murs donnant sur des volumes non chauffés, traitement des parois donnant sur une cage d'escalier et des parois mitoyennes ;
- de l'étanchéité à l'air :
 - en cas de rénovation lourde (avec dépose des planchers existants) en isolation par l'intérieur, faire filer l'isolant entre les solives du plancher d'un étage à l'autre, afin de garantir la continuité de la membrane d'étanchéité à l'air / à la vapeur ;
 - doublage technique recommandé, afin de ne pas percer la membrane d'étanchéité à l'air / à la vapeur ;
 - pour les maisons en maçonnerie ou béton : pose d'un pare-vapeur continu du côté intérieur et pose d'un isolant n'entraînant pas de risques d'accumulation d'humidité due à la condensation dans le mur et l'isolant intérieur, afin d'éviter l'accumulation d'humidité au niveau des abouts de poutre ;
 - pour les maisons à ossature bois : présence d'un frein-vapeur continu côté intérieur indispensable, utilisation d'isolants perspirants préférable.

Ainsi, le référentiel technique du programme « Je rénove BBC » préconise, pour les murs, une résistance thermique (et donc une épaisseur) en moyenne deux fois plus élevée que la réglementation et permet d'aborder la rénovation de manière globale, notamment grâce à la prise en compte de l'étanchéité à l'air sur chantier. De plus, de par l'aide financière allouée par la Région, le recours aux isolants bio-sourcés est favorisé.

Des études sont actuellement menées par EDF pour encore améliorer le programme « Je rénove BBC », notamment du point de vue :

- de la préservation de la valeur patrimoniale du bien à rénover, qui dépend presque uniquement, pour l'instant, de la volonté de la maîtrise d'ouvrage (hors actions des ABF). En effet, le référentiel technique ne préconise pas de traitements précis des modénatures de façades par exemple, ou encore des décors intérieurs en cas d'isolation par l'intérieur. La seule obligation architecturale présente dans le référentiel est l'isolation des maisons à colombages par l'intérieur.
- de l'étude des coûts. Grâce à ses deux programmes, EDF dispose aujourd'hui d'une base de données de coûts. Des études sont en cours sur le thème de la valeur verte du bien rénové et sur l'analyse de la rentabilité des opérations BBC.
- de la qualité de l'air à l'intérieur des logements rénovés.

4. Guides et études à destination des maîtres d'ouvrages

Le choix a été fait de présenter ici uniquement les productions traitant de la rénovation énergétique de logements, et ce, à l'échelle d'un périmètre bien identifié, ce périmètre pouvant être temporel (le bâti ancien ou le bâti existant en général), géographique (un quartier, un centre ancien, un parc naturel régional, une Région) ou typologique (les maisons individuelles, les immeubles collectifs, les logements sociaux). D'autre part, les productions présentées ci-dessous ont toutes pour objectif d'inciter les maîtres d'ouvrages à réaliser des travaux de rénovation énergétique sur leurs bâtiments de logements : il s'agit en fait d'apporter aux maîtres d'ouvrage la connaissance des techniques et matériaux adaptée au bâti ancien afin qu'ils soient prêts à s'engager dans une rénovation énergétiquement durable du bâti ancien.

Ces productions ont donc un objet d'étude et un objectif similaire à l'étude « Habitat ancien en Alsace » et permettront d'enrichir la réflexion sur le déroulement et la communication autour de la phase 2 de l'étude.

La structure générale de ces productions repose sur trois grands volets, qui sont repris partiellement ou totalement selon les productions :

- Connaissance des bâtiments à rénover énergétiquement.
Il s'agit de connaître les caractéristiques architecturales et thermiques, voire hygrothermique du bâtiment, afin de faire émerger ses points forts et ses points faibles.
- Préconisations de solutions d'amélioration énergétique adaptées à ces bâtiments.
Grâce à la connaissance des points forts et des points faibles du bâtiment, aussi bien du point de vue architectural que thermique, voire hygrothermique, il est possible de préconiser des solutions d'améliorations énergétique adaptées.
- Exemples de mise en application
Les solutions d'amélioration énergétique possibles pour ce bâtiment étant connues, il s'agit désormais de les mettre en application afin d'en prouver la faisabilité technique, voire économique.

Le premier et le second volet vont souvent de paire. Il n'est pas rare que des bâtiments réels soient étudiés et ces productions prennent souvent la forme de guides (ATHEBA, APUR, Ville de Grenoble). Cependant, aucun exemple de mise en application ne vient appuyer la démarche.

Certaines productions n'abordent que le troisième volet, à savoir les exemples. Ces démarches ponctuelles, dont l'objectif est cependant très clair, intègrent souvent des éléments de connaissances, nécessaires à la justification des solutions d'amélioration choisies (Ville de Bayonne, fiches éco-PTZ, fiches energivie.info).

Dans certains cas, la connaissance par la littérature des bâtiments à rénover est jugée suffisante et seuls les deux derniers volets sont abordés (Ville de Mulhouse, Grand Poitiers, ENRABF).

Enfin, les productions abordant les trois volets sont plus nombreuses (Guide ABC, PNR des Vosges du Nord, Région Alsace).

Notre étude s'inscrit dans ce troisième type de production, qui allie à la fois la connaissance, les préconisations et les exemples.

	Unité temporelle	Unité géographique et / ou typologique	Unité géographique, typologique et temporelle
Connaissance et Préconisations	- ATHEBA (bâti ancien)	- APUR (Paris, logements collectifs)	- Ville de Grenoble (centre-ville de Grenoble, logements collectifs, bâti ancien)
Exemples		- Fiches éco-PTZ (toute la France, logements) - Fiches energivie.info (Alsace, logements)	- Ville de Bayonne (centre-ville de Bayonne, logements collectifs, bâti ancien)
Préconisations et Exemples		- ENRABF (toute la France, tout type de bâtiments)	- Ville de Mulhouse (quartier Franklin, logements collectifs, bâti ancien) - Grand Poitiers (centre-ville de Poitiers, maisons individuelles, bâti ancien)
Connaissance, Préconisations et Exemples		- Guide ABC (Paris, logements collectifs)	- PNR des Vosges du Nord (territoire du Sycoparc, maisons individuelles, bâti ancien) - Région Alsace (Alsace, logements collectifs, post-1948) - DREAL / DRAC Alsace, <i>Habitat ancien en Alsace (Alsace, logements, bâti ancien)</i>

Rappel : Cet état de l'art a été réalisé début 2014 et ne prétend pas à l'exhaustivité en ce qui concerne les études, les aides financières, les matériaux et les techniques de mise en oeuvre répertoriées.

4.1. Connaissance et préconisations

Il s'agit, pour ces productions, après avoir défini les caractéristiques des bâtiments à rénover énergétiquement, de proposer des solutions d'amélioration énergétique adaptées.

Dans ce paragraphe, on pourrait également citer L'isolation thermique écologique, de Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey, qui souligne la nécessité de bien comprendre les spécificités thermique et hygrothermique du bâti ancien avant de l'isoler.

ATHEBA

Titre de la production	Amélioration Thermique des Bâtiments Anciens	
Type de production	Fiches à destination du grand public	
Adresse de la production	http://www.cete-est.developpement-durable.gouv.fr/productions-a-telecharger-r1521.html http://www.maisons-paysannes.org/actions/economies-denergie/	
Maîtrise d'ouvrage	Ministère de l'Écologie du Développement Durable et du Logement, Ministère de la Culture et de la Communication, Fondation du patrimoine	
Maîtrise d'œuvre	Maisons paysannes de France, CETE de l'Est	
Année de publication	2011	
Public visé	Grand public	
Périmètre d'étude	Bâti ancien	
Objectif de la production	Les fiches ATHEBA ont pour objectif de sensibiliser le grand public et les professionnels aux spécificités thermiques, hygrothermiques et architecturales du bâti ancien, dans le but de favoriser une amélioration thermique durable du bâti ancien.	
Démarche mise en œuvre	Les fiches se divisent en trois parties : - la première est consacrée à la connaissance des spécificités et du comportement thermique et hygrothermique du bâti ancien ; - la seconde aborde les exigences réglementaires applicables au bâti ancien ; - la troisième détaille les interventions à réaliser ou au contraire, à éviter.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Bâti ancien en général	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Il n'y a pas d'objectif de performance thermique.
	Transferts d'humidité	Deux fiches sont consacrées aux transferts d'humidité dans les murs du bâti ancien. Les phénomènes physiques en jeu et les sources potentielles d'humidité y sont décrits, ainsi que les interventions à réaliser ou au contraire, à éviter.
	Confort d'été	Le confort d'été est abordé dans de nombreuses fiches. Il s'agit en effet de l'un des points forts du bâti ancien, qu'il convient de conserver lors de la rénovation du bâtiment.
	Coût	Les coûts ne sont pas abordés.
	Patrimoine	Les qualités du patrimoine bâti ancien sont mises en avant et toutes

		les interventions proposées vont dans le sens de la préservation de ces dernières.	
	Autres problématiques abordées	Effet de paroi froide, Ponts thermiques, Accès à la lumière naturelle, Matériaux naturels, Approche globale, Abords du bâti	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	Sur terre-plein : hérisson ventilé, géotextile, dalle perméable à l'humidité, panneaux isolants, isolant en vrac et parquet (configuration différente selon l'inertie recherchée, ici, faible) Sur cave : entre les lambourdes du plancher existant, isolant sec (pas d'humidité supplémentaire dans les poutres, respirant et stable à l'humidité)
		Plancher haut	Conservation de la dalle lourde existante, 30 cm en deux couches + plancher technique, isolant respirant et stable à l'humidité, avec de bonnes qualités d'inertie
		Toiture	ITI à privilégier, maintenir l'aération de la charpente, protection du complexe isolant par un pare-pluie respirant, isolant respirant et stable à l'humidité, avec de bonnes qualités d'inertie en forte épaisseur et en couches croisées, frein-vapeur, parement respirant
		Menuiseries	Avantages et inconvénients de différentes interventions possibles en rénovation (nouvelle menuiseries, restauration, double fenêtres, renforcement du vitrage)
		Murs	Avantages et inconvénients de différentes interventions possibles en rénovation (réhabilitation de la maçonnerie, enduit intérieur pour couper l'effet de paroi froide, ITI avec des laines isolantes de type végétal ou animal de 5 à 10 cm d'épaisseur avec frein-vapeur et parement intérieur respirant, ITI « boîte dans la boîte » avec lame d'air entre le mur et l'isolant, enduit extérieur isolant et perméable à la vapeur de 5 cm, ITE avec panneaux isolants perméable à la vapeur d'eau de 10 à 20 cm avec enduit respirant)
	Chauffage	Avantages et inconvénients de différents systèmes possibles en rénovation (PAC, effet Joule, gaz, fioul, bois), importance de la régulation, de la programmation, de la distribution et de l'émission	
	ECS	-	
	Ventilation	Avantages et inconvénients de différents systèmes possibles en rénovation (VMC simple flux et double-flux, ventilation naturelle, ventilation répartie)	
Constat	Les fiches ATHEBA proposent une approche globale de la rénovation du bâti ancien, axée sur la connaissance des spécificités de ce dernier, sur le diagnostic de l'existant et sur la mise en œuvre de techniques adaptées. Cette dernière est d'ailleurs souvent détaillée et par là-même, rendue accessible au grand public. La problématique de la perméabilité à l'air ne fait pas l'objet d'une fiche particulière, car c'est l'approche globale qui est ici privilégiée. Ce sujet est cependant évoqué dans plusieurs fiches de manière transversale (la ventilation, les combles, les murs, etc...). D'autre part, les fiches présentent des techniques, mais il n'y a pas d'exemple concret de mise en œuvre sur des cas réels.		

APUR

Titre de la production	Analyse de la performance thermique des logements parisiens		
Type de production	Étude thermique et architecturale		
Adresse de la production	http://www.apur.org/etude/analyse-performance-thermique-logements-parisiens		
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Paris		
Maîtrise d'œuvre	APUR		
Année de publication	Mars 2011		
Public visé	Grand public		
Périmètre d'étude	Immeubles parisiens construits avant 2000		
Objectif de la production	Au travers de plusieurs opérations, la ville de Paris souhaite inciter les copropriétaires d'immeubles parisiens à réaliser des travaux de réhabilitation thermique. Ces cahiers d'analyse retracent l'évolution de la construction à Paris et analyse les performances énergétiques des différentes périodes.		
Démarche mise en œuvre	Dans un premier temps, le contexte de la production de logements est rappelé durant la période concernée, puis la forme urbaine et les techniques constructives sont analysées. Enfin, les atouts et les faiblesses des bâtiments en tant que consommateurs d'énergie sont énoncés. Aucun bâtiment réel n'a été étudié et aucune simulation n'a été effectuée.		
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Immeubles parisiens construits avant 1800 ; entre 1801 et 1850 ; entre 1851 et 1914 : Consommations de chauffage et de d'ECS de 150 kWh _{EF} /m ² .an +/- 50 Immeubles parisiens construits entre 1918 et 1939 : Consommations de chauffage et de d'ECS de 200 kWh/m ² .an +/- 50		
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	L'objectif est de ramener les consommations à environ 80 kWh/m ² .an par l'intermédiaire de mesures simples.	
	Transferts d'humidité	Une attention particulière est portée aux transferts hygrothermiques dans les parois isolées par l'intérieur, et notamment à l'atteinte du point de rosée.	
	Confort d'été	L'excellent confort d'été des constructions anciennes est évoqué, tout comme sa mise en péril par le recours à l'isolation par l'intérieur.	
	Coût	Les coûts ne sont pas abordés.	
	Patrimoine	La connaissance du patrimoine parisien est l'objet principal de ces cahiers. Une bonne connaissance permet par la suite de proposer des solutions d'améliorations adaptées.	
	Autres problématiques abordées	Effet de paroi froide, Ponts thermiques et réduction de la surface habitable dus à l'isolation par l'intérieur, Qualité de la mise en œuvre du pare-vapeur	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	-
		Plancher haut	Isolant dense pour éviter les surchauffes estivales
		Toiture	-

		Menuiseries	Changement des menuiseries
		Murs	Isolant perméable à la vapeur d'eau, ITE sur cour, ITE sur rue si façade dégradée (rabotage des modénatures, ravalement à l'enduit ciment) et présentant peu de modénatures, enduit extérieur à la chaux dans les deux cas. Si ITE impossible, enduit chaux-chanvre à l'intérieur ou enduit isolant extérieur sauf si moulure au plafond
	Chauffage		Remplacement par des équipements performants, déplacer les radiateurs s'ils se trouvent sur un mur extérieur, amélioration de la régulation dans le cas du chauffage collectif
	ECS		-
	Ventilation		-
Constat	Ces cahiers de l'APUR mettent en garde utilement sur les inconvénients de l'isolation par l'intérieur (risques dus à l'accumulation d'humidité, réduction de la surface habitable, impossibilité de surventiler la nuit en été à cause du bruit de la circulation). Dans un contexte patrimonial fort et dans une ville comme Paris, où les intérieurs possèdent souvent des modénatures intéressantes, l'isolation par l'extérieur est donc présentée comme la solution la plus efficace. De plus, la ville autorise un débord de 20 cm sur la voirie lorsque l'isolation par l'extérieur est possible, c'est-à-dire quand il n'y a pas ou quasiment pas de modénatures de façades (cas fréquent pour les façades arrière par exemple). A noter, les cahiers de l'APUR n'entrent pas dans le détail des mises en œuvre techniques des solutions préconisées et n'abordent pas la question du coût.		

Ville de Grenoble

Titre de la production	Le bâti ancien, le patrimoine et l'énergie : Cahier de recommandations techniques et architecturales	
Type de production	Guide réalisé à partir d'une étude thermique et architecturale	
Adresse de la production	Guide : http://www.an-patrimoine.org/Des-outils-de-sensibilisation-pour	
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Grenoble	
Équipe de maîtrise d'œuvre	Thermi Fluides, Sylvie Amselem et Nobatek	
Année de publication	Septembre 2010	
Public visé	Grand public pour le guide, thermiciens et architectes pour l'étude thermique et architecturale	
Périmètre d'étude	Bâtiments anciens de Grenoble, dont ceux situés en zone ZPPAUP	
Objectif de la production	La Ville de Grenoble, membre de l'ANVPAH s'est engagée dans une démarche d'amélioration thermique et de valorisation de son patrimoine bâti ancien (cf. annexe 7.1) . L'objectif du guide élaboré par la Ville est de guider les propriétaires vers des techniques de rénovation et de valorisation patrimoniale adaptées à ce bâti.	
Démarche mise en œuvre	Une étude architecturale et thermique a été réalisée dans le but d'alimenter le guide de recommandations techniques et architecturales. Pour ce faire, l'étude s'est déroulée en trois phases : - diagnostics et relevés sur trois bâtiments anciens situés à Grenoble ; - bilans énergétiques et hygrothermiques à partir d'outils de simulation (Pléiades + COMFIE et WUFI 2D) ; - propositions d'améliorations et de mise en œuvre.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Immeubles en moellon calcaire en R+5 (6 appartements)	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	L'objectif est la diminution des consommations énergétiques. L'objectif BBC – Rénovation est d'emblée écarté pour des raisons patrimoniales.
	Transferts d'humidité	Une attention particulière est portée aux transferts hygrothermiques dans les parois isolées. Des préconisations sont données pour traiter les remontées capillaires ; les isolants et enduits mis en œuvre doivent être hygroscopiques et perméable à la vapeur (le polystyrène, les enduits à base de ciment et les pare-vapeur sont à exclure, les laines minérales, de part leur faible hygroscopicité, ne sont pas adaptées non plus).
	Confort d'été	L'excellent confort d'été des constructions anciennes est évoqué, mais l'évolution de celui-ci après une isolation par l'intérieur n'est pas évoquée.
	Coût	Les coûts au m ² des différentes solutions d'amélioration sont donnés à titre indicatif.
	Patrimoine	La problématique du patrimoine est très présente. Le règlement de la ZPPAUP est rappelé concernant le traitement des extérieurs. L'importance des décorations intérieures oriente également le traitement des intérieurs.

	Autres problématiques abordées	Accès à la lumière naturelle, Traitement des parties communes, Ventilation, Traitement des ponts thermiques au niveau des menuiseries si isolation, Photovoltaïque	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	Liège, vermiculite, perlite, béton de chanvre
		Plancher haut	20 cm d'isolant minéral ou végétal, en rouleaux ou par insufflation
		Toiture	20 à 30 cm d'isolant minéral ou végétal, en panneaux semi-rigides ou rigides, en sous-face de la toiture, entre et sous chevrons
		Menuiseries	double – fenêtre, remplacement des vitrages ou de la menuiserie complète.
		Murs	Par l'extérieur si absence de décors, pignon aveugle, façade sur cour : enduit isolant (3 à 8 cm) ou panneaux de béton cellulaire (10 cm). Par l'intérieur : enduit isolant (4 à 6 cm), panneaux de laine végétale (10 cm) ou de béton cellulaire (10 cm).
	Chauffage	Remplacement par une chaudière gaz ou fioul à condensation (ventouse côté cour), radiateurs à panneaux rayonnants ou à chaleur douce et régulation	
	ECS	Chauffe-eau solaire	
	Ventilation	Double-flux ou naturelle	
Constat	Après avoir mis en valeur les caractéristiques thermiques et architecturales du bâti ancien grenoblois, ce guide dresse la liste, élément par élément, des solutions d'amélioration thermique adaptées à ce bâti. La description de la mise en œuvre de ces solutions reste volontairement générale et théorique et certaines problématiques globales sont, de ce fait, difficilement traitables : la perméabilité à l'air ou la performance énergétique globale du bâtiment. La problématique des transferts d'humidité au sein des parois est, par contre, traitée de manière exhaustive.		

4.2. Exemples

Ville de Bayonne

Titre de la production	Connaissance des performances et du comportement thermique de bâtiments types du centre ancien de Bayonne		
Type de production	Étude thermique		
Adresse de la production	Etude : http://www.agenda21.bayonne.fr/spip.php?article132 Synthèse de l'étude : http://www.agenda21.bayonne.fr/docts_links/synthese_NEOTIM_STD22bourgneuf.pdf		
Maîtrise d'ouvrage	Ville de Bayonne		
Maîtrise d'œuvre	Neotim		
Année de publication	Juin 2010		
Public visé	Grand public pour la synthèse de l'étude thermique, Thermicien pour l'étude thermique		
Périmètre d'étude	Bâtiments anciens du secteur sauvegardé de Bayonne		
Objectif de la production	Cette production intervient dans le cadre de la redynamisation du centre historique de Bayonne, ville membre de l'ANVPAH (cf. annexe 7.1). Il s'agit, pour la ville, de montrer que l'éco-rénovation d'un immeuble situé dans ce dernier est possible et que la protection du patrimoine historique n'y fait pas obstacle.		
Démarche mise en œuvre	Une simulation thermique dynamique d'un immeuble situé dans le centre historique de Bayonne a été réalisée, afin de déterminer quelle combinaison de solutions d'améliorations énergétiques était la plus favorable en termes de confort d'été et de besoin de chauffage.		
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Immeuble de ville, R+5, moellon de pierre et pan de bois sur rue		
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Il n'y a pas d'objectif de performance thermique, seul un compromis entre confort d'été et performance thermique d'hiver est recherché.	
	Transferts d'humidité	Les transferts d'humidité dans les murs du bâtiment ne sont pas étudiés, et ne font pas partie des critères de choix de la combinaison la plus favorable.	
	Confort d'été	Le confort d'été est un critère de choix de la combinaison la plus favorable.	
	Coût	Le coût n'est pas étudié dans cette production.	
	Patrimoine	La notion de patrimoine semble ici intervenir uniquement sur le fait qu'il n'est pas possible d'isoler par l'extérieur. Les problématiques inhérentes à l'isolation par l'intérieur (moulure, parquet) et à l'installation d'une VMC (faux-plafond) ne sont pas abordées.	
	Autres problématiques abordées		
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	-

		Plancher haut	-
		Toiture	-
		Menuiseries	Menuiseries : restauration ; remplacement par une menuiserie double-vitrage ; ajout d'une double-fenêtre
		Murs	Isolation par l'intérieur de tous les murs par 10 cm de laine de verre ; isolation par l'intérieur par 10 cm de laine de bois ou de liège sur les murs en pans de bois et 3 cm d'enduit chaux-chaux sur les murs en moellons de pierre
	Chauffage	-	
	ECS	-	
	Ventilation	Simple-flux ; double-flux	
Constat	L'étude thermique conclut que la combinaison la plus favorable est l'isolation partielle en laine de bois ou liège, la mise en place d'une VMC double-flux et l'ajout d'une double-fenêtre qui limite au mieux les surchauffes estivales. Il est intéressant de voir qu'en termes de confort d'été, la laine de bois ou le liège et la double-fenêtre sont préférables à la laine de verre et à une nouvelle fenêtre double-vitrage. Les transferts d'humidité ne sont ici pas évoqués, ni la mise en œuvre pratique des solutions, ces sujets n'entrant pas dans le champ de l'étude.		

Fiches-conseil energivie.info

Maîtrise d'ouvrage	Programme energivie.info (Région Alsace et ADEME)	
Maîtrise d'œuvre	Programme energivie.info	
Type de production	Fiche – conseil	
Adresse de la production	http://www.energivie.info/docutheque/pour-les-particuliers	
Année de publication	Octobre 2011	
Public visé	Grand public	
Périmètre d'étude	Le bâti existant en Alsace, dont le bâti ancien	
Objectif de la production	Inciter le grand public à engager une démarche de rénovation globale de son logement. Démontrer la faisabilité économique et technique de la démarche. Informer sur les points techniques sensibles en rénovation, qui nécessitent une attention particulière.	
Démarche mise en œuvre	Réalisation de fiches – conseil à partir de projets de rénovation énergétique simulés.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	- Maison à colombages, remplissage torchis (1) / brique (1) / torchis et brique (1). - Maison en pierre (1) / grès des Vosges (1) - Maison en brique (2)	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Facteur 4. En pratique, les consommations après travaux atteignent un niveau BBC.
	Transferts d'humidité	Des mises en garde sont émises concernant : - l'isolation en général, qui modifie le comportement hygrothermique du mur ancien ; - l'isolation par l'intérieur en particulier : choisir des isolants végétaux, perspirants. - les remontées capillaires : choisir un enduit extérieur perspirant. Cependant, ces mises en garde ne se retrouvent pas dans toutes les fiches et aucun isolant végétal et / ou perspirant n'est nommé.
	Confort d'été	Le confort d'été apporté par des murs anciens de forte épaisseur est souligné, mais le fait que l'isolation par l'intérieur détruit cette propriété n'est pas mentionnée.
	Coût	Un bilan financier présente les consommations conventionnelles en énergie primaire par an, ainsi que le coût de fonctionnement annuel avant et après rénovation. L'investissement à réaliser est indiqué séparément pour chaque poste abordé (murs, plancher, toiture et plancher haut, fenêtres, ventilation, autres poste, chauffage et ECS).
	Patrimoine	La qualité patrimoniale des bâtiments est évoquée en première page de chaque fiche. Dans certains cas, elle oblige à isoler le bâtiment par l'intérieur. Certains autres bâtiments, dont la qualité patrimoniale est jugée moindre, sont isolés par l'extérieur. Dans les deux cas, la conservation d'éléments patrimoniaux intérieurs (moulure, boiserie) ou extérieurs (encadrements de fenêtres en grès, modénatures) n'est pas abordée.
	Autres problématiques abordées	Étanchéité à l'air Ponts thermiques

Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	12 à 15 cm de perlite, vermiculite, billes d'argile, liège, éventuellement laine de roche ou ouate de cellulose
		Plancher haut	30 cm d'isolant
		Toiture	20 à 30 cm d'isolant entre et sous chevrons
		Menuiseries	DV argon (U_w de 1,1 à 1,14), pas de changement si menuiseries datant des années 1980. Pas d'indication sur le matériau (PVC, bois?).
		Murs	Isolation par l'intérieur si intérêt patrimonial fort, par l'extérieur si non. Par l'intérieur : 12 à 15 cm de laine minérale, laine végétale selon les cas Par l'extérieur : 12 à 15 cm de laine minérale, laine végétale voire polystyrène
	Chauffage	Chaudière basse température ou à condensation. Calorifugeage des canalisations. Nécessité de la mise en place d'une régulation. Émetteur de chaleur basse température.	
	ECS	Chauffe – eau solaire (exigences de la rénovation BBC)	
	Climatisation	/	
	Ventilation	Double-flux en général, simple-flux Hygro B si menuiseries datant des années 1980	
Constat	Ces fiches – conseil ont été réalisées dans le but d'inciter le particulier à rénover sa maison, que ce soit en passant par un professionnel ou pas. Certains thèmes y sont donc abordés de manière simplifiée et les améliorations proposées correspondent à celles auxquelles le particulier peut avoir accès dans le commerce.		

Fiches – conseil de l'éco-PTZ

Maîtrise d'ouvrage	MEEDDM / ADEME		
Maîtrise d'œuvre	MEEDDM		
Type de production	Fiche – conseil		
Adresse de la production	http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-eco-pret-a-taux-zero-en-outre,28952.html		
Année de publication	Mars 2010		
Public visé	Grand public		
Périmètre d'étude	Le bâti existant en France, dont le bâti ancien		
Objectif de la production	Mettre en avant des bouquets de travaux permettant de bénéficier de l'éco-PTZ et les économies financières réalisées grâce à ce dernier.		
Démarche mise en œuvre	Réalisation de fiches – conseil à partir de projets de rénovation énergétique simulés.		
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	- Appartement du XVII^{ème} siècle en pierre de taille calcaire - Maison en pan de bois du XVIII^{ème} siècle, remplissage torchis et soubassement en pierre, toiture en chaume - Maison de bourg du XVI^{ème} siècle, en moellon de pierre calcaire - Appartement du début du XX^{ème} siècle, en brique		
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Réduction plus ou moins importante des consommations conventionnelles. En pratique, entre 35 et 55 % de réduction.	
	Transferts d'humidité	Dans la plupart des cas, le choix a été fait de ne pas isoler les murs du fait à la fois de la valeur patrimoniale des bâtiments, mais aussi de leurs sensibilité à l'humidité. Si l'isolation par l'intérieur est cependant envisagée, des mises en garde sont émises concernant les matériaux (proscrire les matériaux étanches) et les épaisseurs (influence néfaste sur le confort d'été) à mettre en œuvre.	
	Confort d'été	Le confort d'été n'est pas impacté puisque l'isolation par l'intérieur n'est jamais retenue.	
	Coût	Des simulations montrent les économies financières réalisables sur 1 mois et sur 20 ans, en prenant en compte l'éco-prêt à taux zéro, un éventuel crédit d'impôt et le prix de l'énergie.	
	Patrimoine	Dans la plupart des cas, le choix a été fait de ne pas isoler les murs du fait à la fois de la valeur patrimoniale des bâtiments, mais aussi de leurs sensibilité à l'humidité. Les doubles-fenêtres sont parfois conseillées.	
	Autres problématiques abordées	Ventilation	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	10 cm en sous face avec un isolant non étanche
		Plancher haut	Plafond suspendu et 20 cm d'isolant
		Toiture	16 cm
		Menuiseries	Fenêtres double-vitrage ($U_w = 1,6$) avec entrées d'air,

			double-fenêtres (U_w fenêtre intérieure = 1,6) avec entrées d'air
		Murs	Enduit chaux-chanvre de 5 cm d'épaisseur pour atténuer l'effet de paroi froide (hors éco-prêt à taux zéro).
	Chauffage	Chaudière gaz à condensation, chaudière à granulés et appoint électrique (maison indépendante), régulation et programmation	
	ECS	Chaudière gaz à condensation, chaudière à granulés et appoint électrique (maison indépendante)	
	Climatisation	/	
	Ventilation	Entrées d'air si changement de menuiseries	
Constat	Ces fiches mettent en avant des travaux éligibles à l'éco-prêt à taux zéro. Elles illustrent bien les précautions à invoquer lorsque l'on s'intéresse à la rénovation énergétique du bâti ancien : les travaux sur les systèmes (chauffage, ECS) sont à préférer aux travaux d'isolation des murs anciens (attention au fait que le nouveau système sera surdimensionné si l'amélioration de l'enveloppe est un jour envisagée). La correction thermique des murs anciens présente moins de risques hygrothermiques que l'isolation (même si elle n'est pas éligible aux aides). Le changement des menuiseries nécessite la mise en place d'entrées d'air sur les nouvelles menuiseries. A noter que les aides financières de l'Etat ont évoluées depuis la publication de ces fiches.		

4.3. Préconisations et exemples

Grand Poitiers

Titre de la production	Guide pour la rénovation énergétique des bâtiments anciens	
Type de production	Guide réalisé à partir d'une étude thermique et architecturale	
Adresse de la production	http://www.grandpoitiers.fr/c_177_642_Renovation_du_patrimoineancien.html	
Maîtrise d'ouvrage	Grand Poitiers	
Équipe de maîtrise d'œuvre	AUP, D.GROLEAU, Pouget Consultants	
Année de publication	Mars 2010	
Public visé	Grand public	
Périmètre d'étude	Bâtiments anciens du secteur sauvegardé du Grand Poitiers	
Objectif de la production	Cette production intervient dans le cadre de la redynamisation de l'espace urbain du Grand Poitiers, membre de l'ANVPAH (cf. annexe 7.1). Pour ce faire, il s'agit tout d'abord d'identifier le patrimoine afin de le préserver et d'inciter à sa mise en valeur, en respectant les contraintes urbaines, le PLU et le PSMV (Plan de Sauvegarde et de Mise en Valeur) en vigueur sur Poitiers.	
Démarche mise en œuvre	Une étude architecturale et thermique a été réalisée dans le but d'alimenter le guide de recommandations techniques et architecturales. La démarche est similaire à celle entreprise à Grenoble : - diagnostics et relevés sur trois bâtiments anciens situés dans le secteur sauvegardé de Poitiers ; - bilans énergétiques à partir d'outils de simulation réglementaire (et non dynamique comme à Grenoble) ; - application d'un panel d'améliorations et impact thermique des interventions envisageables en accord avec la valeur patrimoniale du bâtiment. Contrairement à Grenoble, cette étude n'est pas disponible sur internet, mais transparaît beaucoup plus dans le guide, qui est en fait plus une synthèse de l'étude thermique. De plus, le guide, après avoir détaillé les résultats bâtiment par bâtiment et proposé pour chacun, un bouquet d'améliorations envisageables, présente également sous forme de fiches les améliorations possibles sur ce type de bâti, élément par élément.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Maisons individuelles en bande, pierre de pays, R+2 Consommation initiale : entre 131 et 283	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	L'objectif est d'atteindre une consommation de 80 kWh _{EP} /m ² .an, soit le niveau BBC Rénovation.
	Transferts d'humidité	Aucune étude n'a été conduite sur les transferts d'humidité dans les parois de ces bâtiments. Le panel d'améliorations ne précise pas toujours les matériaux isolants à utiliser, que ce soit en isolation par l'intérieur ou par l'extérieur : a priori, des matériaux isolants étanches à l'eau pourraient donc être utilisés. Cependant, dans la fiche consacrée à l'isolation des murs, il est conseillé d'utiliser des

		techniques permettant à l'humidité de s'évaporer vers l'intérieur et vers l'extérieur, afin d'éviter tout problème d'humidité.	
	Confort d'été	Le confort d'été et les conséquences de l'isolation par l'intérieur sur celui-ci n'est pas évoqué, sauf dans les fiches de manière générale. Un tableau en annexe classe cependant les isolants courants en fonction de leur capacité à maintenir le confort d'été.	
	Coût	Pour chacune des solutions du panel et pour chaque bâtiment étudié, l'économie annuelle en euros, le coût d'investissement et le temps de retour brut en années ont été calculés. Ces calculs ne tiennent pas compte de l'augmentation du coût de l'énergie et n'ont pas servi à définir les bouquets d'améliorations envisageables. Il est cependant précisé que les gains escomptés ne concernent pas seulement les économies réalisées, mais également le confort et la qualité de vie.	
	Patrimoine	Le panel d'améliorations a été pensé en accord avec le patrimoine. Ainsi, l'isolation par l'extérieur est testée uniquement sur cour et une correction thermique à l'enduit chaux-chanvre est également proposée. D'autre part, le remplacement des menuiseries se fait par du double-vitrage bois, partout ou uniquement sur cour. Le recours au sur-vitrage est également envisagé.	
	Autres problématiques abordées	Création d'une véranda, Éclairage naturel, Étanchéité à l'air, Importance des volets pour le confort d'été et la thermique d'hiver	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	10 cm en sous-face ou 6 cm sous-chape
		Plancher haut	- (hauteur sous plafond trop faible pour mettre en place les 24 cm d'isolant prévu par le panel)
		Toiture	- (amélioration non prévue dans le panel, entre 10 et 20 cm dans le guide)
		Menuiseries	Remplacement par du double-vitrage bois partout
		Murs	Correction thermique intérieure de 10 cm d'enduit chaux-chanvre sur tous les murs
	Chauffage	Remplacement par une chaudière à condensation, amélioration de la régulation et calorifugeage des canalisations	
	ECS	- (amélioration non retenue, ECS solaire)	
	Ventilation	- (amélioration non retenue, double-flux ou simple flux)	
Constat	Ce guide est intéressant car trois exemples sont utilisés pour illustrer la rénovation énergétique du bâti ancien et car il montre qu'un objectif de 80 kWh _{EP} /m².an (soit le niveau BBC Rénovation) est quasiment atteignable pour tous les bâtiments. La question des transferts d'humidité est peu abordée car ce guide préconise exclusivement la correction thermique des murs anciens à l'aide d'un enduit chaux-chanvre de 10 cm d'épaisseur. Cette solution a l'avantage de traiter également l'étanchéité à l'air du mur.		

Ville de Mulhouse

Titre de la production	Étude sur la « basse énergie » appliquée aux bâtiments anciens : Faisabilité technique et économique. Évaluation technico-économique de réhabilitations « basse consommation » d'immeubles d'habitation	
Maîtrise d'ouvrage	Programme energivie.info	
Maîtrise d'œuvre	ALME (Agence Locale pour la Maîtrise de l'Énergie Mulhouse Sud – Alsace), partenariat avec la SERM (Société d'Équipement de la Région Mulhousienne)	
Bureau d'études thermiques	Enertech	
Type de production	Rapport d'étude	
Adresse de la production	www.energivie.info/sites/default/files/documents/rapportenertech0605.pdf	
Année de publication	2005	
Public visé	Professionnels	
Périmètre d'étude	Deux bâtiments anciens du centre-ville de Mulhouse (XIXème siècle et début du XXème)	
Objectif de la production	Cette étude de faisabilité technique et économique a pour objectif d'aboutir à une solution dite « universelle » applicable aux bâtiments anciens du centre-ville de Mulhouse, permettant d'atteindre un niveau de consommation de chauffage de 50 kWh _{EP} /m ² .an.	
Démarche mise en œuvre	Pour ce faire, deux bâtiments représentatifs ont été choisis, instrumentés et modélisés à l'aide d'un logiciel de simulation thermique dynamique (Pléiades + COMFIE). Des améliorations énergétiques ont ensuite été apportées au modèle. Une étude économique ainsi qu'une étude des performances énergétiques obtenues et du confort d'été ont enfin été réalisées.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Immeubles en bloc calcaire en R+2, R+3	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Consommations de chauffage < 50 kWh _{EP} /m ² .an
	Transferts d'humidité	Les matériaux ne sont désignés que par leurs résistances thermiques. Les transferts d'humidité et les pathologies qui lui sont associées, notamment en isolant par l'intérieur, ne sont pas abordés.
	Confort d'été	Un chapitre entier est consacré à ce thème. Les simulations montrent des températures très élevées en été. La stratégie conseillée pour améliorer le confort d'été dans ces bâtiments basse énergie est de contrôler les apports solaires, de réduire les apports internes, de conserver autant que faire se peut l'inertie du bâtiment existant et d'évacuer la chaleur accumulée durant la nuit.
	Coût	Le coût de chacune des solutions (isolation, menuiseries, double-flux, PAC, chaudière à condensation) a été évalué. La solution retenue présente un coût moyen de 167 €/m ² habitable. Le temps de retour, à l'époque, était inférieur à 15 ans. Le surcoût d'investissement est estimé à 15 % du montant total des travaux, pour une division par 8 de la facture de chauffage.

	Patrimoine	L'étude ne considère que l'aspect thermique de la rénovation. En pratique, les bâtiments concernés dans le quartier Franklin ont été isolés par l'intérieur, mais aucune mention n'est faite de la qualité patrimoniale initiale des intérieurs et des menuiseries.	
	Autres problématiques abordées	Étanchéité à l'air, Maîtrise de la demande en électricité, Comportement des occupants	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe (STU)	Plancher bas	R = 4,3 m².K /W
		Plancher haut	R = 7,5 m².K /W
		Toiture	R = 4,3 m².K /W
		Menuiseries	Triple-vitrage en bois (Uw = 1,1)
		Murs	Isolation par l'intérieur ou par l'extérieur : R = 4,3 m².K /W
	Chauffage	Pompe à chaleur sur air extrait, Chaudière collective à condensation, radiateurs basse température (ancien réseau de chauffage) et régulation	
	ECS	Chauffe-eau solaire	
	Ventilation	Double-flux collective, ou individuelle centralisée ou non avec échangeur de chaleur d'efficacité 70% (si pas de pompe à chaleur)	
Constat	Le bureau d'études Enertech se fixe ici un objectif de consommations de chauffage ambitieux, puisqu'il est deux fois plus faible que l'objectif réglementaire sur les bâtiments neufs construits à cette époque (2005). Pour l'atteindre, il propose le concept de STU (pour Solution Technique Universelle), méthode d'intervention simplifiée visant à éviter le recours à une étude thermique. Les propositions techniques relatives à l'isolation de l'enveloppe ne considèrent qu'un seul indicateur, la résistance thermique. Il s'agit bien d'une première approche, puisqu'un certain nombre de problématiques ne sont pas abordées : notamment les transferts d'humidité dans les parois du bâti ancien, le maintien du confort d'été après isolation thermique par l'intérieur (ITI), la perméabilité à l'air.		

ENR ABF

Titre de la production	ENR ABF : concilier économie d'énergie et patrimoine		
Type de production	Site web et fiches		
Adresse de la production	www.enrabf.fr		
Maîtrise d'ouvrage	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement		
Maîtrise d'œuvre	Tribu Énergie, Maisons Paysannes de France		
Année de publication	Mise en ligne en 2012		
Public visé	Maîtres d'ouvrages et particuliers		
Périmètre d'étude	Bâti ancien présentant une valeur patrimoniale		
Objectif de la production	Partant du constat qu'il existait des points de conflit entre conservation du patrimoine et amélioration de la qualité énergétique des bâtiments, ce site se propose de doter les maîtres d'ouvrage / d'œuvre d'outils leur permettant d'effectuer une rénovation énergétique respectueuses des qualités patrimoniales du bâtiment.		
Démarche mise en œuvre	Après avoir rappelé les pathologies auxquels sont souvent soumis les bâtiments anciens et comment les éviter (fiches AQC), le site met à disposition des fiches à joindre au dossier de déclaration de travaux. Elles présentent de manière détaillée les travaux énergétiques envisagés et leurs impacts sur l'aspect des bâtiments. Sont présentés également les interventions préjudiciables à la préservation du patrimoine, en fonction du type de bâtiment rénové. Enfin, 7 fiches illustrent, par l'exemple, qu'une rénovation énergétique compatible avec la préservation du caractère patrimonial du bâtiment est possible.		
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	- Maison individuelle, maison ancienne de village (consommation énergétique avant : 324, après : 119, en kWh_{EP}/m².an) - Immeuble d'habitation, haussmannien (avant : 250, après : 161) - Immeuble d'habitation, meulière – brique (avant : 540, après : 142) - Immeuble d'habitation, brique (avant : 306, après : 98) – bâtiment à usage multiple - Immeuble d'habitation, pan de bois remplissage tout venant (avant : 321, après : 78)		
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Il n'y a pas d'objectif de performance thermique.	
	Transferts d'humidité	Les transferts d'humidité dans les murs du bâtiment est une problématique abordé dans la rubrique « Pathologie » du site. Les fiches l'abordent rarement, sauf lorsqu'il s'agit de murs en pan de bois.	
	Confort d'été	Le confort d'été est abordé au travers des protections solaires sur le site, et au travers des cas très vitrés dans les fiches.	
	Coût	Le coût n'est pas étudié dans cette production.	
	Patrimoine	La notion de patrimoine est ici primordiale et oriente fortement les améliorations proposées.	
	Autres problématiques abordées	Pathologies	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	Soufflage dans le plancher bois, laine minérale, 10 cm

			Isolation sous chape sur commerces, polystyrène expansé, 8 cm Flocage plancher bas sur cave en sous face R > 2 m².K/W
		Plancher haut	Si toiture terrasse, ITE, laine minérale, 12 cm
		Toiture	ITI, au moins 10 cm, plutôt 20 cm entre et sous chevrons, pare-vapeur côté intérieur
		Menuiseries	Remplacement par des fenêtres double vitrage performant en menuiserie bois à l'identique. Si menuiserie métallique à l'origine, menuiserie métallique à rupteur de pont thermique Double fenêtre (double vitrage) côté intérieur avec création d'entrée d'air dans les deux fenêtres Porte rénover, amélioration de l'étanchéité à l'air, remplacement vitrage par double vitrage performant de même aspect que le verre d'origine
		Murs	Côté rue : ITI, laine minérale, 8 à 10 cm , pose d'un pare-vapeur explicite si pan de bois Côté cour : ITE, laine minérale, 14 cm
	Chauffage	Chaudière gaz individuelle à condensation, raccordement sur conduit de cheminée avec tubage ou à ventouse selon valeur patrimoniale, programmation, robinets thermostatiques	
	ECS		
	Ventilation	VMC simple flux hygroréglable de type B, ventilateurs basse consommation Tirage naturel	
Constat	Les outils proposés par le site ENR ABF facilitent grandement le dialogue entre ABF et maîtrise d'ouvrage / d'œuvre. Ils permettent à ces derniers de constater qu'une rénovation respectueuse du patrimoine est possible, tout en atteignant des niveaux de consommations acceptables. Les pathologies spécifiques au bâti ancien et la manière de les éviter sont rappelées. La bonne compréhension des transferts d'humidité dans les murs est, à ce titre, primordiale. Le parti est pris d'utiliser de la laine minérale et des membranes d'étanchéité à la vapeur uniquement si la paroi est en pan de bois. L'aspect économique ainsi que la problématique de l'étanchéité à l'air ne sont pas abordés.		

4.4. Connaissance, préconisations et exemples

Il s'agit, pour ces productions, après avoir défini les caractéristiques des bâtiments à rénover énergétiquement, de proposer des solutions d'amélioration énergétique adaptées et de montrer, par l'exemple, leur faisabilité technique, voire économique.

Dans ce paragraphe, on pourrait également citer La rénovation écologique, de Pierre Lévy, qui n'est pas uniquement dédié au bâti ancien, mais qui illustre la variété des situations (en ville, à la campagne ; en pierre, en pisé ; monument historique, bâti rural ; label de performance énergétique, isolation sommaire de l'enveloppe ; climat de montagne, climat méditerranéen) de telle manière à ce que chacun puisse identifier son projet à l'un des cas.

Guide ABC

Titre de la production	Le guide ABC – Amélioration thermique des Bâtiments Collectifs construits de 1850 à 1974	
Type de production	Ouvrage	
Auteurs	Pouget Consultants, EBÖK, CSTB, Patrick de Jean – Jérôme Martin, TRANSSOLAR	
Année de publication	2011	
Public visé	Maîtres d'ouvrage publics et privés	
Périmètre d'étude	Logements collectifs construits entre 1850 et 1974	
Objectif de la production	Par la confrontation des points de vue d'architectes d'une part, et de thermiciens, d'autre part, cet ouvrage constitue un outil d'aide à la réflexion, pour une approche globale de l'amélioration du bâti.	
Démarche mise en œuvre	Après avoir réalisé une typologie des bâtiments collectifs construits entre 1850 et 1974, l'ouvrage aborde leur rénovation par des thèmes transversaux, tels que l'humidité dans les bâtiments, l'étanchéité à l'air, le renouvellement d'air, le confort d'été, l'acoustique, la sécurité incendie et l'accessibilité des personnes handicapées. Les caractéristiques thermiques des bâtiments avant et après isolation sont ensuite énumérées, tandis que la dernière partie de l'ouvrage est consacrée à des mises en application.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Immeubles collectifs construits entre 1850 et 1914 ; 1918 et 1939	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Si le facteur 4 est évoqué, aucun objectif de performance thermique n'est vraiment fixé.
	Transferts d'humidité	Une partie entière de l'ouvrage est consacrée aux transferts d'humidité. La condensation superficielle ainsi qu'à l'intérieur des murs est abordée. Un certain nombre de préconisations sont énoncées et des solutions d'isolation non pathogènes sont présentées. Les conséquences néfastes d'une isolation par l'intérieur mal réalisée sur les planchers intermédiaires avec poutres et les manières d'y remédier sont également évoquées, tout comme les remontées capillaires.
	Confort d'été	Une partie entière de l'ouvrage est consacrée au confort d'été.
	Coût	La notion de coût n'est pas abordée.
	Patrimoine	Selon la valeur patrimoniale du bâtiment à rénover énergétiquement,

		divers scénarios sont proposés au maître d'ouvrage : changement des fenêtres possibles ? ITE possible ? Le patrimoine est donc indirectement pris en compte par les choix du maître d'ouvrage.	
	Autres problématiques abordées	Acoustique, Accessibilité des personnes handicapées, Sécurité incendie, Étanchéité à l'air, Ponts thermiques	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	R = 2 à 4 m².K/W. Si isolation sous chape, remontée d'isolant en périphérie sur une épaisseur égale à la moitié de l'épaisseur d'isolation
		Plancher haut	-
		Plancher intermédiaire avec balcon	Manchonnage du balcon : R = 1,1 à 1,25 m².K/W en partie supérieure, R = 2,5 à 1,25 m².K/W en partie inférieure et traitement thermique du bout de la dalle du balcon
		Plancher intermédiaire	Intervention lourde : ITI continue dans le plancher, sous le parquet ; ITI « boîte dans la boîte » : 2,28 m².K/W en partie supérieure et 0,86 m².K/W en partie inférieure ; ITI avec rupteur au niveau du plancher, R = 1,875 m².K/W
		Refend	Si ITI : retour d'isolant sur 100 cm avec R = 1 ou 2 m².K/W ; isolation totale du mur de refend R = 2 ou 5 m².K/W
		Toiture	ITE : R = 1,25 ou 2,5 m².K/W entre chevrons et R = 3 ou 2,5 m².K/W à l'extérieur ITI : R = 1,875 ou 3 m².K/W entre chevrons et R = 3,55 ou 1,33 m².K/W à l'intérieur
		Menuiseries	double vitrage ou double-fenêtre Retour d'isolant : ITE : R = 0,4 m².K/W ITI : R = 0,4 à 1 m².K/W
		Murs	ITE : R = 3 ou 6,3 m².K/W (R = 2 m².K/W sur 60 cm pour l'isolation qui descend en-dessous du niveau du sol) ITI : R = 3 ou 5 m².K/W (pas de valeur pour le pan de bois, car étude au cas par cas)
	Chauffage	-	
	ECS	-	
Ventilation	-		
Constat	L'ouvrage n'aborde volontairement pas la question des systèmes et se concentre sur la réduction des besoins de chauffage, par l'intermédiaire du changement des fenêtres, de l'isolation des parois et de la limitation des ponts thermiques. L'ouvrage propose des règles de mise en œuvre simples, qui garantissent, à condition que les éléments soient posés dans les règles de l'art, de bonnes performances thermiques (limitation des ponts thermiques par retour d'isolant), hygrothermiques (caractéristiques hygrothermiques des matériaux compatibles avec un mur perméable à la vapeur d'eau) et aérauliques (traitement de la perméabilité à l'air aux jonctions entre deux éléments). Le choix de l'isolant est laissé au maître d'ouvrage, puisque, dans la partie « Préconisations », les isolants ne sont définis que par leur conductivité thermique : le comportement hygrothermique des isolants à privilégier n'est, par exemple, pas décrit. Enfin, les exemples proposés en fin d'ouvrage ne comportent pas d'éléments de coût et ne concernent que des réhabilitations lourdes d'immeubles entiers construits après 1948.		

Région Alsace

Titre de la production	Définition de solutions techniques pour la rénovation énergétique des logements collectifs d'après 1948 en Alsace	
Maîtrise d'ouvrage	Programme energivie.info	
Équipe de maîtrise d'œuvre	Eegénie, Tekhnê	
Type de production	Rapport d'étude	
Adresse de la production	www.energivie.info/sites/default/files/documents/renovationlogementscollectifs.pdf	
Année de publication	2013	
Public visé	Professionnels	
Périmètre d'étude	Logements collectifs d'après 1948	
Objectif de la production	Il s'agit de définir un référentiel de propositions techniques adaptées à la rénovation énergétique du parc de logements collectifs alsaciens, et ce, à un niveau BBC-compatible et en agissant sur l'enveloppe. Les maîtres d'ouvrage pourront ainsi s'appuyer sur les solutions de rénovation proposées, afin de définir des programmes de travaux leur assurant un gain énergétique fort, sans pour autant passer par des études thermiques coûteuses. L'objectif principal de cette production est donc la massification des rénovations sur le segment des logements collectifs construits entre 1948 et 1999.	
Démarche mise en œuvre	Une typologie du parc de logements collectifs construits après 1948 a tout d'abord été établie et a conduit à l'identification de six types, puis un ensemble de solutions de rénovation permettant, a priori, d'atteindre l'un des deux niveaux de performance fixé a été défini. L'application, au travers de simulations thermiques dynamiques, de cet ensemble de solutions à six bâtiments réels, relevant des six types identifiés, a permis de montrer quel niveau de performance était, dans la plupart des cas, atteignable et comment on pouvait les atteindre par une mise en œuvre soignée au niveau des ponts thermiques et du traitement de l'étanchéité à l'air du bâtiment.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	Aucune car l'étude porte sur le bâti construit après 1948. L'intérêt de cette production se situe surtout au niveau de sa méthodologie.	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Besoins de chauffage < 35 kWh/m ² _{SHAB} /an voire < 15 kWh/m ² _{SHAB} /an
	Transferts d'humidité	Une partie entière est consacrée à l'étude de l'accumulation d'humidité dans les parois et en particulier dans le cas de l'ITI d'un mur en béton. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de risque d'accumulation d'humidité, tant que l'étanchéité à l'air est assurée du côté intérieur de l'isolant et tant que les remontées capillaires et les infiltrations d'eau de pluie sont faibles. Dans le cas contraire, la laine de bois présente de meilleurs résultats que le polystyrène et la laine minérale.
	Confort d'été	Une partie entière est consacrée à l'étude du confort d'été et souligne la nécessité de prévoir des protections solaires et une surventilation nocturne pour le bâtiment rénové.
	Coût	Une partie entière est consacrée à l'étude de l'évaluation des coûts : ils sont compris entre 135 et 378 €/m ² _{SHAB} . On observe que plus le bâtiment est compact, moins sa rénovation s'avère coûteuse.
	Patrimoine	Le caractère patrimonial est un point sur lequel l'étude recommande

		d'être vigilant. Le double regard d'un architecte et d'un maître d'œuvre spécialiste de la rénovation énergétique apparaît, à ce titre, nécessaire.	
	Autres problématiques abordées	Étanchéité à l'air, réglementation incendie, Traitement des ponts thermiques, Détails de mise en œuvre, Analyse de cycle de vie, Phasage du chantier	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe (solutions de base)	Plancher bas	Sur sous-sol $R = 3,5 \text{ m}^2.K / W$
		Plancher haut	$R = 7,5 \text{ m}^2.K / W$ Acrotère emballée pour traitement du pont thermique $R = 3 \text{ m}^2KW$
		Toiture	$R = 7,5 \text{ m}^2.K / W$
		Menuiseries	Fenêtre : $U_w < 1,4 \text{ W/m}^2.K$ et $U_g < 1,1 \text{ W/m}^2.K$ + retour d'isolant en tableau $R = 1 \text{ m}^2K/W$ avec recouvrement du dormant de menuiserie Porte : $U_d < 1,4 \text{ W/m}^2.K$
		Murs	ITE $R = 5 \text{ m}^2K/W$ Isolation enterrée du soubassement sur 60 cm par un isolant incompressible
	Chauffage	Listes de réflexions sur le chauffage (production, distribution, émission, régulation) nécessaires après rénovation	
	ECS	/	
	Ventilation	Avantages et inconvénients de différents systèmes possibles en rénovation (VMC simple flux, double-flux et décentralisée, ventilation naturelle, ventilation répartie)	
Constat	Cette étude aborde de nombreux thèmes et permet d'avoir une vision globale de la problématique de la rénovation d'un bâtiment existant. Elle est, à ce titre, très complète, et atteint son objectif, qui est d'inciter les maîtres d'ouvrage à réaliser des travaux d'amélioration énergétique sur leurs bâtiments, surtout lorsque ceux-ci relèvent d'une typologie facile à rénover. En ce sens, la démarche proposée se rapproche de celle du bureau Enertech et de la notion de solution technique universelle, tout en s'adaptant aux spécificités de chacun des types étudiés. La performance énergétique à atteindre est évaluée par le besoin de chauffage (et non les consommations de chauffage), la problématique des systèmes et de leurs mises en œuvre en rénovation n'est donc, volontairement, pas abordée. Enfin, même si cette étude n'est pas illustrée, à proprement parler, par des exemples, les détails de mise en œuvre permettent aux maîtres d'ouvrage d'envisager sereinement la préparation de leurs programmes de travaux.		

PNR des Vosges du Nord

Titre de la production	Guide de l'éco-rénovation	
Maîtrise d'ouvrage	Syndicat de Coopération pour le Parc naturel régional des Vosges du Nord SYCOPARC	
Équipe de maîtrise d'œuvre	Panoptique, Solares Bauen, Vade'mecum	
Type de production	Guide à télécharger	
Adresse de la production	http://eco-renover.parc-vosges-nord.fr/encourager-l-eco-renovation/consommer-moins-d-energie-isoler-adapter-le-bati-ancien-avec-des-materiaux-naturels/le-guide-eco-renover.html	
Année de publication	2014	
Public visé	Grand public	
Périmètre d'étude	Bâti ancien	
Objectif de la production	Le guide de l'éco-rénovation a pour objectif d'apporter une réponse concrète à la problématique de la rénovation du bâti ancien sur le territoire du Parc, en présentant au particulier comment et grâce à quels outils il est possible d'organiser son projet de rénovation énergétique respectueuses des qualités patrimoniales de l'existant.	
Démarche mise en œuvre	Le guide est composé de plusieurs fiches thématiques, abordant d'une part la gestion du projet (« faire un état des lieux », « développer son projet », « organiser son chantier ») et d'autre part les notions indispensables à la réalisation d'un projet durable (« reconnaître les typologies bâties », « évaluer les performances », « raisonner en coût global », « choisir ses matériaux »). La face arrière des fiches est dédiée à l'application du processus de rénovation à deux bâtiments réels, relevant des deux typologies les plus représentées sur le territoire du Parc, à savoir la maison bloc et la maison cour. Ces deux bâtiments ont en effet subi tout le processus, de l'identification des points forts et des points faibles, à l'étude de différentes solutions d'amélioration énergétique compatibles avec leurs caractéristiques architecturales et hygrothermiques, en passant par l'évaluation économique de leur rénovation.	
Typologies étudiées relevant du bâti ancien	- Maison bloc, en moellon de pierre Consommation initiale : environ 640 kWh_{EP}/m².an pour les 5 usages réglementaires - Maison cour, à colombages Consommation initiale : environ 400 kWh_{EP}/m².an pour les 5 usages réglementaires	
Problématiques abordées	Objectif de performance thermique	Le facteur 4 est visé.
	Transferts d'humidité	Les transferts d'humidité dans les parois ont été étudiés pour chacun de deux bâtiments. Ils ont permis de définir la nature et l'épaisseur d'isolation par l'intérieur à partir de laquelle il y avait un risque de pathologie.
	Confort d'été	Le fait que le confort d'été soit excellent dans le bâti ancien est souligné, ainsi que l'attention à porter au maintien de ce confort lors d'une rénovation. Mais l'influence de l'isolation par l'intérieur sur celui-ci n'est cependant pas étudié.
	Coût	Une fiche entière est consacrée à la nécessité de raisonner en coût global, c'est-à-dire comprenant les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance.
	Patrimoine	La préservation du patrimoine bâti est l'une des missions de Parc et

		est donc omniprésent dans ces fiches. Elles ont pour objectif de le mettre en valeur et de le rendre attractif aux yeux de ses actuels ou futurs habitants.	
	Autres problématiques abordées	Étanchéité à l'air, Matériaux bio-sourcés, Détails de mise en œuvre, Analyse de cycle de vie, Phasage et organisation du chantier, Acoustique, Lumière naturelle, Traitement des cheminées	
Améliorations proposées	Isolation de l'enveloppe	Plancher bas	Traitement anti-capillarité + drainage neuf Sur terre-plein : hérisson, liège, membrane d'étanchéité à l'eau, chape chaux ou béton de chanvre, membrane d'étanchéité à l'air en continuité des murs, plancher sur lambourdes et isolation entre lambourdes Sur cave : isolation par le dessous, membrane d'étanchéité à l'air, parquet Sur cave voûtée : isolation par le dessus, liège, membrane d'étanchéité à l'air en continuité des murs, parquet
		Plancher haut	Laine de mouton, création d'un plancher technique
		Toiture	/
		Menuiseries	Conservation ou $U_w < 1,5 \text{ W/m}^2.K$ Retour de l'isolant et du pare-vapeur sur les tableaux, linteaux et appuis et autour des portes
		Murs	ITI, laine de mouton 12 cm, pare-vapeur, vide technique isolé ou Multipor 12 cm et enduit de finition A l'extérieur, enduit chaux ou chaux-sable
	Chauffage	Choix non renseigné	
	ECS	Choix non renseigné	
	Ventilation	Choix non renseigné	
Constat	Les fiches du guide de l'éco-rénovation du Parc Naturel Régional des Vosges du Nord apportent aux particuliers des réponses concrètes à leurs interrogations quant à leurs projets de rénovation. Ce guide aide le particulier à identifier les étapes nécessaires au bon déroulement de son projet et lui sert de feuille de route. Les exemples présentés à l'arrière des fiches permettent de se représenter rapidement les travaux envisageables sur ce type de bâti et les carnets de détails en annexe illustrent le traitement de nombreux points singuliers, aussi bien en ce qui concerne les ponts thermiques que l'étanchéité à l'air, communs à toute rénovation. Ce guide constitue un premier outil pratique, que des formations à destination des professionnels, organisées par le Parc, viennent compléter.		

4.5. Synthèse

Les principaux points forts et points faibles du bâti ancien semblent désormais bien connus, tout comme les solutions d'amélioration énergétique a priori adaptées. Seul le traitement des transferts d'humidité dans les parois diffère d'une production à l'autre : certaines productions n'y consacrent qu'une remarque, sans la répercuter dans le choix de l'isolant, d'autres consacrent une partie entière à l'étude des transferts d'humidité, d'autres, enfin, se prémunissent de tout risque en préconisant un seul type d'isolant compatible.

Cependant, nous avons pu relever, au travers des différentes productions étudiées, que deux aspects étaient peu voire pas documentés, ce qui pourrait inciter le maître d'ouvrage (et surtout le particulier) à ne pas entreprendre de travaux d'amélioration énergétique sur son bâtiment :

- **La mise en œuvre concrète des solutions** : cette étape est souvent peu détaillée, ce qui peut laisser croire que les solutions proposées sont en fait difficilement, voire pas du tout applicables, surtout lorsque la valeur patrimoniale du bâtiment entre en ligne de compte. Voici quelques questions qui ne sont pas toujours approfondies :
 - VMC simple Flux : est-il possible d'installer des réglettes permettant une entrée d'air contrôlée sur des fenêtres anciennes ? Est-ce souhaitable du point de vue architectural ? Dans quel cas est-ce possible ?
 - VMC double Flux : est-il possible d'installer un faux-plafond permettant le passage de gaines lorsque le plafond d'origine présente des moulures en plâtre ?
 - VMC et chaudière en appartement : où installer les caissons contenant les ventilateurs ? Où prendre l'air neuf et où rejeter l'air vicié ?
 - Isolation des murs par l'extérieur : quels isolants utiliser pour garantir la pérennité des murs ? Dans quel cas est-ce possible sur rue ? Sur cour ? Quelle épaisseur d'enduit isolant extérieur est acceptable ?
 - Isolation des murs par l'intérieur : quels isolants utiliser pour garantir la pérennité des murs ? Peut-on isoler par l'intérieur lorsque l'on a des moulures au plafond et un parquet d'intérêt ? Quelle épaisseur d'enduit isolant intérieur est acceptable ?
 - Isolation des planchers : quels isolants utiliser pour garantir la pérennité des planchers bois ? Dans quels cas faut-il mettre un pare-vapeur ou un frein-vapeur ?
 - Étanchéité à l'air : comment traiter l'étanchéité à l'air des menuiseries ? Des planchers ?
- **L'évaluation économique est souvent peu significative pour le maître d'ouvrage**, voir absente des productions étudiées. Lorsqu'elle est significative, elle n'est que partiellement traitée : pas de calcul en coût global, pas de prise en compte de la hausse des coûts de l'énergie.

5. Retour d'expériences

Contrairement aux productions présentées dans le paragraphe précédent, les productions relevant du retour d'expériences sont à destination des professionnels.

Dans le cadre de la rénovation énergétique, le retour d'expériences consiste en l'analyse des informations collectées une fois le bâtiment rénové. Il permet de valoriser les signes de qualité du bâtiment rénové, mais aussi de faire l'inventaire des non-qualités et des difficultés rencontrées, d'analyser leurs causes et d'expliquer comment on aurait pu les éviter. Ces informations peuvent être collectées à différentes phases du projet (conception, chantier, exploitation) et concerner différents éléments du projet (enveloppe, systèmes, usages).

Les retours d'expériences concernant la rénovation énergétique du bâti ancien sont rares. S'il est toujours valorisant de souligner les signes de qualité d'une rénovation, il est en revanche, beaucoup plus difficile pour le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre ou les entreprises, de faire l'inventaire des non-qualités, et ce, aussi bien pour le neuf que pour la rénovation. Cependant, les retours d'expériences concernant les non-qualités sont précieux pour tous les acteurs du bâtiment, puisqu'ils permettent de détecter les points sur lesquels une amélioration est possible.

Un autre objectif du retour d'expérience peut également porter sur la connaissance statistique du parc des bâtiments rénovés :

- Quels matériaux et systèmes ont été mis en œuvre ?
- Quelle performance énergétique a été atteinte ?
- Quel est le coût de la rénovation énergétique ?

5.1. Rénovations BBC, AQC / EDF

Depuis 2010, l'Agence Qualité Construction (AQC) analyse les erreurs qui ont pu être commises par les acteurs précurseurs de la construction et de la rénovation BBC, afin qu'elles ne soient pas renouvelées à l'avenir. Cette analyse a fait l'objet de plusieurs productions, dont le rapport Retours d'expériences dans les bâtiments à basse consommations & risque de non qualité¹⁰, qui a été réalisé dans le cadre du programme RAGE (Règle de l'Art Grenelle Environnement 2012).

Le travail de l'AQC a consisté à réaliser des enquêtes sur plus de 200 opérations BBC (en neuf ou en rénovation) réparties dans toute la France. Ces opérations ont pu être identifiées grâce aux nombreux partenaires de l'AQC, dont les organismes certificateurs, mais aussi des entreprises telles qu'EDF.

A ce titre, EDF a fourni à l'AQC de nombreuses opérations issues de ses programmes « 50 chantiers pionniers » et « Je rénove BBC » et a réalisé, toujours en partenariat avec l'AQC, une plaquette spécifique à la rénovation à destination des maîtres d'œuvre.

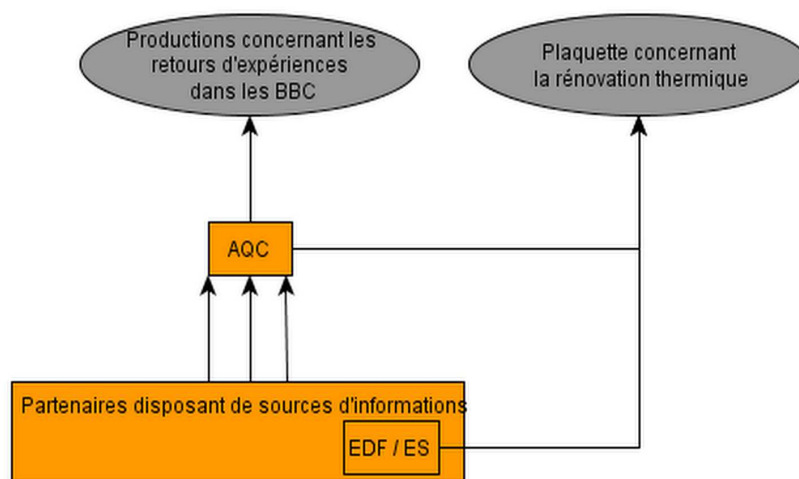


Illustration 5: Collaborations entre l'AQC et EDF (source : Cerema)

Synthèse sur les productions concernant les retours d'expériences dans les rénovations BBC

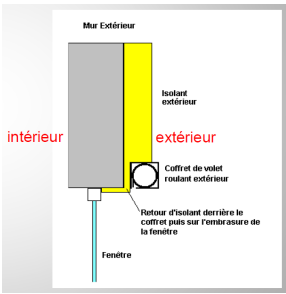
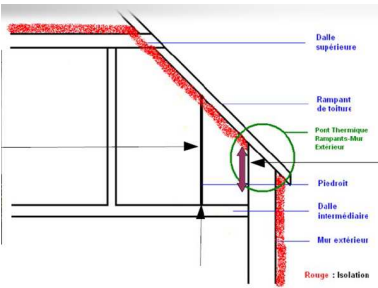
La synthèse suivante présente les signes de non-qualités et les difficultés spécifiques à la rénovation au niveau BBC de l'existant. Elle a été établie à l'aide du rapport RAGE sus-nommé, de la présentation des premiers résultats lors des 9ème Rencontres Energivie 2012 et de la présentation de la plaquette réalisée par l'AQC et EDF à l'occasion du salon BATIMAT 2013. Toutes les illustrations sont issues de ces documents.

Il est à noter que les signes de non-qualités repérés dans le neuf peuvent, dans certains cas, s'appliquer à la rénovation. C'est pourquoi les résultats de l'enquête dans la construction neuve sont rapidement présentés en annexe.

¹⁰ Disponible sur le site http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr/fileadmin/redacteurs/Regles_de_l_Art/Rapports/rapport-rex-batiments-performants-risques-2013-07.pdf

Impact sur la performance de l'enveloppe

– Ponts thermiques

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
 Prolongement d'éléments en béton hors du volume chauffé	 Tronçonnage des débords  Désolidarisation des débords
 Coffre de volets roulants	 En ITE, retour d'isolant derrière le coffret puis sur l'embrasure de la fenêtre.
 Alternance ITI / ITE	

– Ponts thermiques (suite)

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
	 Positionner les menuiseries du côté de l'isolation afin d'éviter les ponts thermiques, c'est-à-dire au nu intérieur en ITI et au nu extérieur en ITE
 Interruption de l'isolation au niveau du plancher bas	

– Calorifugeage des réseaux

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
 Impossibilité de réaliser un calorifugeage d'une épaisseur satisfaisante autour des tuyaux de chauffage et d'ECS	

– Étanchéité à l'air

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
 Fuites parasites par les colombages et par le cœur des vieilles poutres qui traversent l'enveloppe.	
	 Réaliser un retour du frein vapeur au niveau des embrasures des ouvertures en venant le fixer sur les cadres des portes et fenêtres

Pathologies

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
 Faire attention au comportement hygroscopique des murs en terre et en pierre	Maintenir une ventilation suffisante dans la cave après isolation du plancher bas sans quoi apparition de moisissures

Délais

- Mise en œuvre de la VMC

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
	

- Mise en œuvre des accès pour personnes à mobilité réduite

Qualité d'usage

- Rénovation en site occupé
- Inconfort acoustique dû aux équipements, à l'amplification des bruits intérieurs
- Locaux techniques

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
 Local trop étroit  VMC hors d'atteinte	Prévoir des locaux techniques adaptés et accessibles pour les nouveaux systèmes de chauffage ou de ventilation afin de permettre leur maintenance

- Confort d'été

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
	Maintenir des parois lourdes (plancher ou refend) dans le bâtiment
	 Maintenir ou renforcer les protections solaires

Systèmes

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
Chaudière surdimensionnée après isolation de l'enveloppe, qui engendre l'encrassement des conduits et la diminution du rendement	

- Système de chauffage au bois

Non-qualités ou difficultés rencontrées	Bonnes pratiques
 Incompatibilité entre étanchéité à l'air de l'enveloppe + présence d'une VMC double flux et prise d'air extérieur nécessaire au bon fonctionnement du système de chauffage au bois, refoulement éventuel des fumées et production de monoxyde de carbone	 Système de chauffage au bois étanche à l'air

Plaquette « Bien concevoir un projet de rénovation thermique »

Cette plaquette, réalisée par l'AQC et EDF, est à destination des maîtres d'œuvre. Son objectif est de les sensibiliser, dès la conception, aux étapes clés et aux points de vigilance liés à des projets de rénovation thermique. Elle est disponible en téléchargement à l'adresse suivante :

<http://www.qualiteconstruction.com/fiche-publication/publication/bien-concevoir-un-projet-de-renovation-thermique.html>

Le document conseille d'aborder les travaux de rénovation énergétique avec une vision globale et à long terme, et de réaliser dans un premier temps une analyse de l'existant, qui permettra de définir l'état général du bâti, son comportement thermique, y compris sa perméabilité à l'air avant travaux.

En effet, l'accent doit donc être mis sur l'amélioration de l'étanchéité à l'air et ce, de la conception à l'exploitation (sensibilisation des usagers) en passant par l'exécution (carnets de détails pour les entreprises). Il s'agit également de prendre conscience du fait qu'une intervention sur un élément peut avoir des conséquences sur un autre, comme la diminution de renouvellement d'air par infiltration lors du changement des fenêtres, et à terme, l'apparition de moisissures.

Le document propose ensuite un programme de travaux et pointe les points sensibles à surveiller (étanchéité à l'air, ponts thermiques, acoustiques, ventilation), ainsi que les interactions possibles avec les autres travaux. Tous ces points d'attention émanent en fait des retours d'expériences effectués dans le cadre de l'étude de l'AQC. Les travaux abordés sont :

- l'isolation des combles ;
- l'installation d'une VMC ;
- l'isolation des murs ;
- le remplacement des menuiseries ;
- l'isolation du plancher bas ;
- la production de chauffage et d'ECS.



5.2. Fiches « 50 chantiers pionniers » et « Je rénove BBC »

EDF met à disposition sur le site jerenovebbc.info des fiches descriptives de chaque réalisation ayant bénéficié d'un financement dans le cadre des programmes « 50 chantiers pionniers » et « Je rénove BBC ». Plus de 70 fiches sont à ce jour publiées et accessibles via le moteur de recherche et selon les critères suivants : ville, année et type de construction.

Ces fiches techniques recensent :

- les données relatives au bâtiment avant rénovation (année de construction, matériaux, surface habitable, type de chauffage) ;
- les entreprises ayant participé au projet ;
- les épaisseurs et la nature des isolants et des équipements mis en place, les consommations et

émissions de gaz à effet de serre du bâtiment avant rénovation, celles du projet initial et celles du projet de rénovation BBC ;

- le coût des travaux thermiques, la facture énergétique en euros par mètre carré par an, le retour sur investissement, le devis initial et l'investissement complémentaires pour atteindre le facteur 4.

5.3. Fiches de l'Observatoire BBC

Le référencement des projets dans la base de données de l'Observatoire BBC est réalisé avec l'aide des contributions des Régions, des directions régionales de l'ADEME et des organismes certificateurs sous convention avec le MEDDTL. Cette base de données recense, en grande partie, des opérations labellisées par ces organismes : <http://www.observatoirebbc.org/site/accueil/>

Les recherches sur cette base de données peuvent se faire selon différents critères : le type d'opérations (neuf ou rénovation) le type de bâtiment, la Région, les matériaux de structure des murs extérieurs (brique, pierre entre autres), etc... L'année de construction n'étant pas systématiquement indiquée sur les fiches, elle ne constitue pas un critère de sélection.

1200 fiches sont disponibles sur toute la France, dont environ 250 concernent la rénovation. Si l'on restreint ces recherches à l'Alsace, 8 fiches sont disponibles, dont 6 relèvent du bâti ancien.

Ces fiches techniques recensent :

- les données relatives au bâtiment avant rénovation (année de construction, matériaux, surface habitable, type de chauffage) ;
- les entreprises ayant participé au projet ;
- les épaisseurs et la nature des isolants et des équipements mis en place, la performance énergétique du projet, sa performance réglementaire ;
- la manière dont ont été traités les ponts thermiques et l'indice de perméabilité à l'air s'il a été mesuré.
- le coût des travaux thermiques et les aides financières déclarées par le maître d'ouvrage.

Ces données étant communiquées par le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre, certaines peuvent être manquantes.

5.4. Ville de Mulhouse

Un retour d'expériences¹¹ a été réalisé par le bureau d'études Enertech pour la ville de Mulhouse sur six bâtiments d'habitation situé dans le quartier Franklin, ayant fait l'objet, entre 2006 et 2007, d'importants travaux de rénovation dont l'objectif était, entre autres, de ramener leurs consommations de chauffage à 50 kWh_{EP}/m²_{SHAB}/an (cf. p.38) contre 410 dans l'état initial.

11. Le rapport détaillé du bureau d'études ainsi que sa synthèse sont disponibles sur le site : www.alme-mulhouse.fr, rubrique « Réalisations »

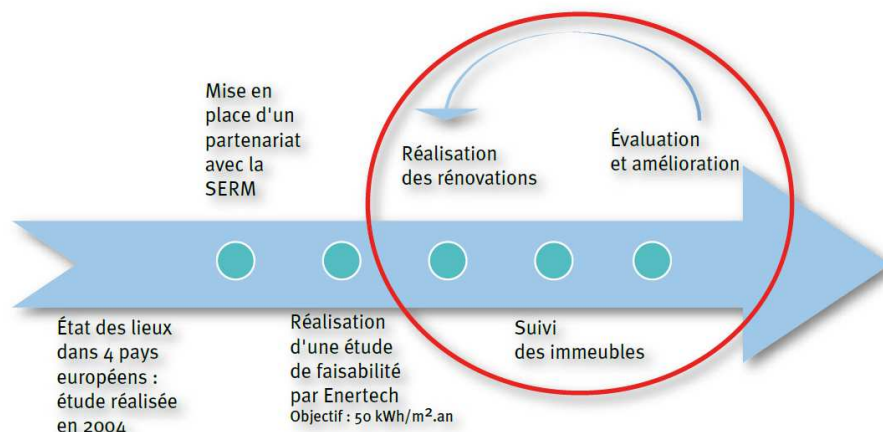


Illustration 7: Chronologie des opérations menées sur le quartier Franklin (source : Ville de Mulhouse)

Pour ce faire, une campagne de mesure a été mise en place et a notamment permis de mesurer les consommations et les températures réelles dans les logements. Trois bâtiments ont été instrumentés plus lourdement que les autres. Les mesures ont montré que les consommations moyennes de chauffage s'élevaient à $84 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2_{SHAB}/\text{an}$. La différence avec l'objectif annoncé est élevée, mais peut s'expliquer par trois raisons:

- La température de consigne à partir de laquelle les calculs ont été réalisés est de 19°C . Cette température n'a pas été respectée dans les logements. Il est précisé que dans le cas de ces bâtiments, chaque degré supplémentaire conduit à une augmentation de 15 % de la consommation de chauffage.
- Le bureau d'études n'avait, à l'époque, pas souhaité traiter l'étanchéité à l'air de manière globale, afin de concentrer les efforts des maîtres d'œuvre et des entreprises sur la mise en œuvre d'une isolation renforcée et sur l'intégration d'une VMC double-flux. Seul le traitement de la jonction entre les menuiseries et la maçonnerie avait donc été traité. Les résultats des tests d'étanchéité à l'air réalisés sur ces bâtiments se sont avérés médiocres. Des calculs ont montré que diviser la perméabilité à l'air de ces bâtiments par 5 revenait à réduire les consommations de $16 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2_{SHAB}/\text{an}$, ce qui n'est pas du tout négligeable.
- Enfin, les apports internes ont été inférieurs aux prévisions, ce qui a engendré une surconsommation de chauffage.

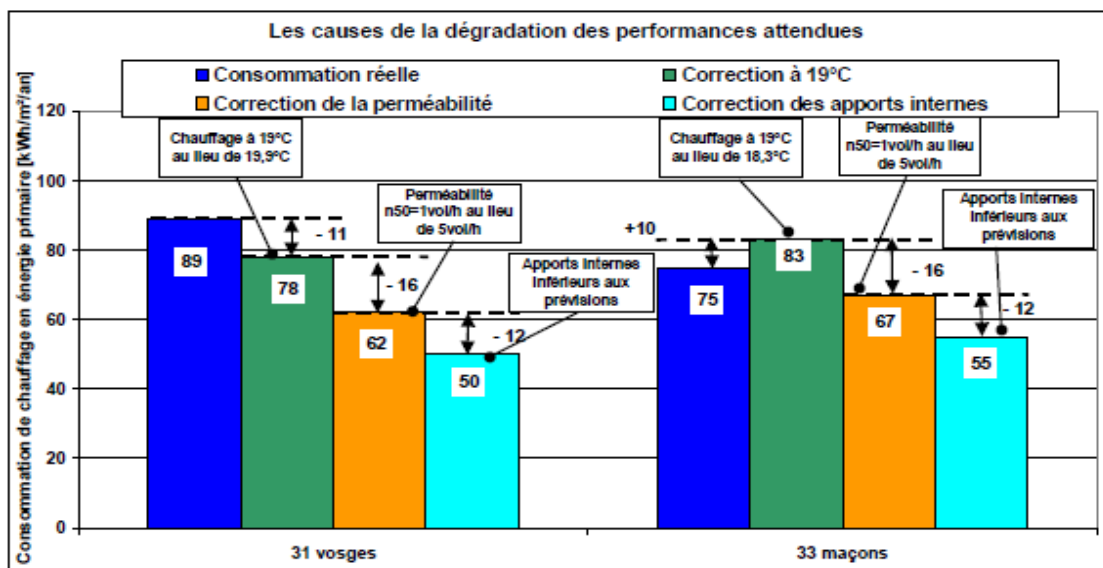


Illustration 8: Les causes de la dégradation des performances attendues (source : Enertech)

Le détail des consommations a également permis de repérer certains dysfonctionnements des équipements. Ainsi, :

- l'installation de chauffage a fonctionné de fin avril à début octobre ;
- dans certains bâtiments, les relances de chauffage sont mal réglées (relance vers 3h du matin au lieu de 7h) voire inexistantes (il n'y aucune diminution de la température la nuit) ;
- toutes les chaudières mises en place sont surdimensionnées par rapport aux besoins des bâtiments rénovés, et ce, d'au moins 50 %. Rappelons que le sur-dimensionnement d'une chaudière conduit à la dégradation de son rendement, et donc à des consommations de chauffage plus élevées que prévues.
- des dysfonctionnements ont également été observés au niveau de la production d'ECS solaire.

L'étude du confort d'été dans ces bâtiments a montré qu'il était acceptable, sans être excellent. En cause, le comportement des certains occupants, dont la gestion des ouvertures n'est pas satisfaisante, mais aussi l'absence de sur-ventilation nocturne.

L'étude économique s'avère également intéressante, bien qu'obsolète aujourd'hui puisque l'estimation des coûts date de 2006. De plus, comme expliqué plus haut, le poste « étanchéité à l'air » n'est pas pris en compte dans les calculs.

À l'époque, le coût moyen de la rénovation énergétique STU (Solution Technique Universelle, comprenant l'isolation, les menuiseries, la VMC, la production de chauffage et sa régulation) était de 323 €/m², le triple vitrage constituant le poste le plus coûteux, suivi de l'isolation des murs et de la mise en place de la VMC. S'agissant de travaux de rénovation lourde d'immeubles très dégradés, la rénovation non énergétique représente une part très importante des coûts de rénovation. Les autres coûts liés à l'énergie constituent la mise en place du chauffe-eau solaire et des équipements s'y rapportant, la mise en place de portes isolantes et la mise en place des équipements de chaufferie, des émetteurs et de la distribution de chauffage.

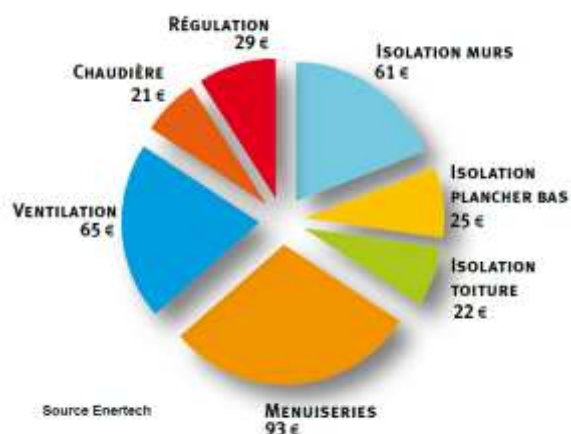


Illustration 9: Ventilation des coûts moyens de la STU en €/HT/m²SHAB (source : Ville de Mulhouse)

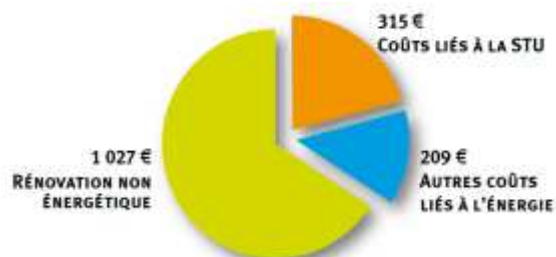


Illustration 10: Répartition des coûts de la rénovation en €/HT/m²SHAB (source : Ville de Mulhouse)

Globalement, depuis 2006, le bureau d'études Enertech constate une diminution des coûts associés à la réalisation de la STU.

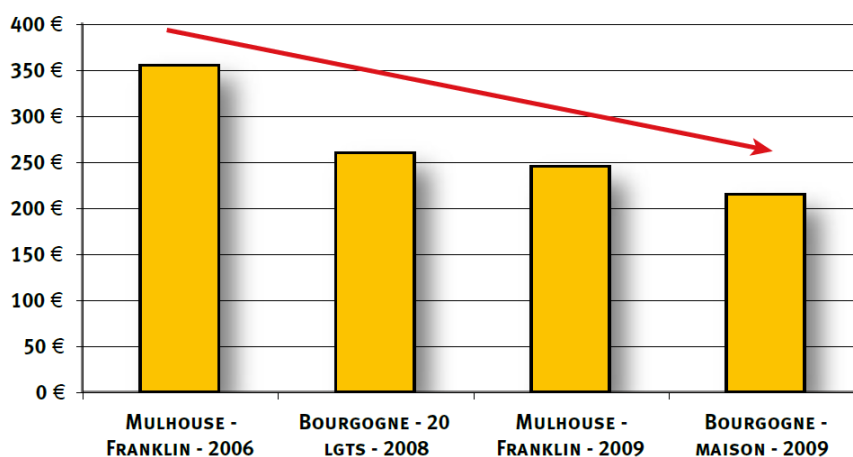


Illustration 11: Evolution des coûts de la STU prix corrigé indice BT nov. 2009 en €/HT/m²SHAB (source : Ville de Mulhouse)

Depuis ces premières rénovations, d'autres ont vu le jour. Certains dysfonctionnements observés ont donc pu être corrigés. Lors de la journée technique consacrée à la réhabilitation thermique des bâtiments anciens du 13 octobre 2011, organisée par le CETE de l'Est à Metz, l'Agence locale de maîtrise de l'énergie (ALME) de Mulhouse a présenté les principaux changements apportés. Ils concernent :

- les transferts d'humidité dans les parois : la laine minérale et le pare-vapeur ont été remplacés par de la ouate de cellulose insufflée et un frein-vapeur hygro-variable.
- le traitement de l'étanchéité à l'air : une très grande attention est désormais portée à ce point. Le fait que les réhabilitations soient lourdes permet de mettre en œuvre des procédés très aboutis, comme le passage de la membrane d'étanchéité à la vapeur / à l'air au travers du plancher, de manière à garantir sa continuité d'un étage à l'autre.

6. Techniques et matériaux adaptés à la rénovation thermique du bâti ancien

Rappel : Cet état de l'art a été réalisé début 2014 et ne prétend pas à l'exhaustivité en ce qui concerne les études, les aides financières, les matériaux et les techniques de mise en oeuvre répertoriées.

Les matériaux et techniques énumérés ci-dessous ont été choisis pour leur fréquence de mise en oeuvre ou leur utilisation locale. D'autres matériaux, utilisés plus couramment dans d'autres régions ou pays n'ont pas forcément été développés ci-après.

Néanmoins nous pouvons citer en prémisses, à titre d'information, plusieurs matériaux isolants d'origine végétale ou animale qui pourraient trouver leur place dans ce chapitre (sources : JP Oliva- *L'isolation thermique écologique*, éditions Terre Vivante) :

- **Les dérivés du bois** : – Fibbragglos / Bois minéralisés / Copeaux de bois ou liège.

Ces procédés de réutilisation de déchets issus du travail du bois, mis en oeuvre en soufflage ou en panneaux, sont aussi efficaces en isolation du bâti ancien. Ils permettent pour la plupart de conserver les échanges hygrothermiques, sauf les fibbragglos qui peuvent avoir un coefficient μ compris entre 5 et 20, tout comme le liège lorsqu'il est utilisé de manière expansée en panneaux.

Les premiers ont un λ assez faible ($\sim 0,08$), alors que les copeaux de bois ou le liège ont une valeur comprise entre 0,04 et 0,05.

- **Les isolants issus de l'agriculture** tels que le chanvre, le lin ou la paille.

Leurs mises en oeuvre sont soit en vrac soit en panneaux, sauf pour les pailles qui peuvent être présentées en botte. Leurs conductivités thermiques sont comprises en moyenne entre 0,04 et 0,08 et leur coefficient μ est évidemment très faible. Cependant leur mise en oeuvre dans le cadre d'une réhabilitation est plus délicate, surtout pour la paille.

- **Les isolants d'origine animale** telle que la laine de mouton

Présentée en rouleaux ou en panneaux semi-rigides, la laine de mouton offre de bonne qualité isolante et hygrothermique ($\lambda = 0,04$ et $\mu = 1$ à 2), mais elle présente des risques liés à l'humidité et au développement des mites et ce malgré les lavages et les traitements antimites. Sa mise en oeuvre n'est donc pas garantie et demande des vérifications régulières, difficiles à réaliser.

6.1. Enduits isolants

Enduit chaux-chaivre

Type	Enduit intérieur et/ou extérieur
Propriétés	L'enduit chaux-chaivre permet d'améliorer le comportement thermique du mur ancien en corrigeant l'effet de paroi froide. Il ne s'agit pas d'un isolant thermique à proprement dit, mais d'un enduit apportant un confort intérieur.
Mise en œuvre	Il peut être appliqué en extérieur et/ou en intérieur. Il est appliqué sur des épaisseurs de 4 à 6 cm en intérieur et Pierre Lévy dans son ouvrage <u>La rénovation écologique</u> (éditions Terre Vivante) le préconise en 14/16 cm d'épaisseur en extérieur.
Qualités	Il permet de maintenir l'hygrométrie des murs et les échanges afférents.
Conductivité thermique λ	~ 0,11 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	4 – 8
Commentaires	L'enduit chaux-chaivre est réputé pour apporter du confort dans le bâti existant en supprimant les effets de paroi froide. Son utilisation en isolant est délicate, puisque pour obtenir des résultats conséquents il faut l'utiliser en intérieur et en extérieur, ce qui n'est pas forcément judicieux pour la conservation du patrimoine. Sa mise en œuvre se répand et il devient plus facile de trouver des entreprises compétentes qu'auparavant. Des sites internet proposent des explications très rigoureuses sur son application : http://www.tiez-breiz.org/chanvre_chaux.php le site Tiez Breizh – Maisons et Paysages de Bretagne.

Enduit isolant « perspirant » avec ajout de silices expansées

Type	Enduit intérieur et/ou extérieur
Propriétés	Mortier minéral d'isolation thermique intérieur ou extérieur, constitué d'un mélange de silices expansées, lié par la chaux hydraulique naturelle.
Mise en œuvre	Il peut être appliqué en extérieur et/ou en intérieur. Il est appliqué sur des épaisseurs de 4 à 6 cm en intérieur et en extérieur.
Qualités	Ce type d'enduit isolant élimine les ponts thermiques, diminue les déperditions thermiques et agit comme un régulateur hygrométrique de la paroi.
Conductivité thermique λ	~ 0,065 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	10
Commentaires	Son utilisation est plus efficace en termes d'isolation que l'enduit chaux-chaivre, sa conductivité thermique λ étant inférieure. Unilit 20® ou équivalent. <u>NB :</u> Il faut isoler le produit du sol.

Enduit isolant « perspirant » avec ajout de billes de polystyrène

Type	Enduit intérieur et/ou extérieur
Propriétés	Enduit léger isolant en sac prêt à l'emploi, allégé par des billes de polystyrène vierge expansées et enrobées d'un adjuvant.
Mise en œuvre	Il peut être appliqué en plusieurs couches, avec un enduit de finition faiblement perméable à l'eau.
Qualités	Isolation thermique des bâtiments par système à couches; élimine les ponts thermiques; idéal pour isoler tous les murs présentant des dispersions thermiques.
Conductivité thermique λ	~ 0,058 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	12,67
Commentaires	Sa perméabilité à la vapeur d'eau est cependant faible que pour d'autres enduits isolants et pourrait présenter des risques selon son utilisation sur du bâti ancien. ISOLTECO® ou équivalent. <u>NB</u> : Il faut isoler le produit du sol.

Enduit isolant « perspirant » avec ajout de granulats légers sans fibres

Type	Enduit intérieur et/ou extérieur
Propriétés	Enduit à base d'hydrate de chaux blanche et de ciment blanc, avec granulats légers sans fibres.
Mise en œuvre	Il peut être appliqué en plusieurs couches. Son épaisseur varie de 2 à 12 cm. Finition par un mortier d'enrobage biologique après 20 jours de séchage, avec treillis en fibre.
Qualités	C'est un produit isolant thermiquement, incombustible et à haute capacité respiratoire idéal pour la déshumidification pour des façades et des parois intérieures.
Conductivité thermique λ	~ 0,07 W/mK
Résistance à la diffusion de vapeur μ	< 8
Commentaires	Son utilisation est plus efficace en termes d'isolation que l'enduit chaux-chanvre, sa conductivité thermique λ étant inférieure. HAGA Biotherm® ou équivalent.

Enduit isolant « perspirant » avec ajout de poudres de diatomées

Type	Enduit extérieur
Propriétés	Enduit à base de chaux hydraulique naturelle, de liège, d'argile et de poudres de diatomées (algues).
Mise en œuvre	Il peut être appliqué en plusieurs couches de 1 cm, avec une épaisseur minimale de 3cm Finition avec un enduit de lissage approprié.
Qualités	C'est un produit isolant thermiquement, incombustible et à haute capacité respiratoire.
Conductivité thermique λ	~ 0,045 W/m.K
Résistance à la	4

diffusion de vapeur μ	
Commentaires	C'est l'enduit isolant le plus performant (λ et μ les plus faibles). Diathonite Evolution® ou équivalent.

6.2. Isolants

Mousse minérale

Type	Isolant intérieur et/ou extérieur
Propriétés	Composé de sable, eau et chaux, c'est un isolant minéral composé en panneaux rigides, résistants à la compression, il est imputrescible et incombustible.
Mise en œuvre	Le produit est présenté sous forme de panneaux rigides, à fixer mécaniquement ou coller selon l'épaisseur. Sa mise en œuvre est ensuite complétée par un enduit spécifique.
Qualités	Il permet le maintien des échanges hygrométrique et possède une très bonne inertie. De plus, il est très capillaire.
Conductivité thermique λ	0,04 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	3
Commentaires	Multipor® (certification ACERMI obtenue octobre 2014) ou équivalent. Il est assez difficile de trouver des entreprises qui savent poser ce genre de produit, même si sa mise en œuvre n'est pas compliquée. Des formations pour les entreprises (peinture, maçonnerie, etc) ont été mises en place par les fabricants pour garantir la mise en œuvre de leurs produits.

Silicate de calcium

Type	Isolant intérieur et/ou extérieur
Propriétés	Composé de sable, eau et chaux (oxyde de silicium, de calcium, de silicate de potassium et de celluloses), c'est un isolant minéral composé en panneaux rigides, résistants à la compression, il est imputrescible et incombustible. C'est un produit très similaire au Multipor.
Mise en œuvre	Le produit initialement prévu pour habiller les cheminées est maintenant utilisé pour l'isolation.
Qualités	Il permet le maintien des échanges hygrométrique et possède une très bonne inertie. De plus, il est très capillaire.
Conductivité thermique λ	0,06 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	3 - 6
Commentaires	Il existe plusieurs fabricants de panneaux de silicate de calcium (CALSITHERM®, TECTEM® ou équivalent). Son application en isolant est récente, il n'y a donc pas encore de retour sur la mise en œuvre et son emploi régulier.

Laine de bois ou laine de chanvre ou laine de mouton

Type	Isolant intérieur et extérieur (sous réserve d'utilisation d'un bardage)
Propriétés	Isolant composé de panneaux semi-rigides, ils ne sont pas résistants à la compression et ne sont pas imputrescibles, ni incombustibles.
Mise en œuvre	Il convient de les poser dans un cadre assurant la tenue du produit (contre cloison en bois ou Prégymétal ou équivalent). Il faut associer sa mise en œuvre à l'emploi d'une membrane d'étanchéité à la vapeur.
Qualités	Il possède une très bonne inertie.
Conductivité thermique λ	0,038 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	Très faible (isolant fibreux)
Commentaires	L'utilisation de la laine de bois en rénovation convient très bien aux rampants de toiture, sa mise en œuvre est plus aisée sur ces parties que celle d'un isolant rigide. Elle peut être posée sur les murs, mais avec les contraintes précitées.

Ouate de cellulose

Type	Isolant intérieur
Propriétés	Elle est fabriquée à partir d'environ 85 % de journaux recyclés ; les 15 % restants étant un additif ignifugeant et fongicide comme l'acide borique et de biocide.
Mise en œuvre	La ouate de cellulose peut être trouvée en plaque ou en vrac. Elle possède une bonne inertie thermique, mais n'est pas résistante à la compression et n'est ni imputrescible, ni incombustible.
Qualités	Cet isolant est considéré comme étant très écologique, mais contient tout de même des additifs.
Conductivité thermique λ	0,039 W/m.K
Résistance à la diffusion de vapeur μ	Très faible (isolant fibreux)
Commentaires	Elle avait été mise en cause dans des risques d'incendie (mauvaise application du produit, cf. avis technique du CSTB 2014/310), depuis corrigé par une meilleure information sur sa mise en œuvre. Le produit présente une sensibilité à l'eau et sa mise en œuvre doit être rigoureuse. Son utilisation est préconisée sur des combles perdus, ou dans des zones peu enclin à rencontrer de l'eau.

Études concernant les transferts d'humidité dans les parois de bâti ancien isolées

L'étude HYGROBA¹² (2012), réalisée par le CETE de l'Est, Maisons Paysannes de France, le LMDC de Toulouse (INSA) ainsi que le LRA de Toulouse (ENSA) porte sur l'étude des transferts hygrothermiques dans les parois du bâti ancien (terre crue, brique de terre cuite, pierre et pan de bois remplissage torchis) après isolation, intérieure ou extérieure.

Le guide ISOLIN¹³ (2010) a été réalisé par la cellule de recherche Architecture et Climat de l'Université Catholique de Louvain (Belgique). Il est destiné à aider les concepteurs à faire un choix approprié en termes d'isolation par l'intérieur de murs en brique, qu'ils soient anciens ou récents. En effet, les constructions en brique sont très courantes en Belgique et pour des raisons architecturales, il est souvent impossible de les isoler par l'extérieur.

Enfin, le rapport RAGE (Règle de l'Art Grenelle Environnement 2012) intitulé Évaluation des risques de pathologies liées à l'humidité au niveau des poutres encastrées dans un mur extérieur isolé par l'intérieur¹⁴ (septembre 2013) est aussi à considérer.

Ces trois études ont permis de mettre en avant les isolants les plus adaptés au bâti ancien pour HYGROBA, aux bâtiments existants en brique pour ISOLIN et aux bâtiments anciens en brique et en pierre pour l'étude RAGE. Il conviendra d'analyser attentivement ces études lors de la phase 2 de l'étude « Habitat ancien en Alsace ».

6.3. Menuiseries extérieures

Les verres épais

Le maintien des menuiseries anciennes, rénovées et restaurées (correction de l'étanchéité à l'air et à l'eau),

12 Disponible sur le site www.cete-est.developpement-durable.gouv.fr/productions-a-telecharger-r1521.html

13 Disponible sur le site www-climat.arch.ucl.ac.be/guide%20ISOLIN_avril2011_web.pdf

14 Disponible sur le site www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr/

peut être l'occasion de remplacer les vitrages anciens, dont l'épaisseur entre 1 et 3 mm ne permet pas d'apporter de correction thermique (valeur Ug moyenne entre 5 et 7).

Plusieurs fabricants ont développé des verres plus épais, dont la valeur Ug s'approche des 3 mm au mieux. Il s'agit donc d'une amélioration thermique et non d'une véritable isolation.

Vitrage épais patrimonial

Propriétés	Verres isolants
Épaisseurs	Verres isolants épais pouvant aller de 3 à 13,4 mm
Qualités	Permet le maintien des menuiseries anciennes avec remplacement du vitrage
Valeur Ug	3,4 W/m ² .K (max. 3,0)
Commentaires	Ces verres ont pour la plupart des propriétés acoustiques intéressantes en lien avec l'épaisseur du vitrage. Van Ruysdael ou équivalent.

Vitrage épais

Propriétés	Verres isolants
Épaisseurs	Les épaisseurs varient de 1,5 à 7,5 mm. Il existe des solutions en double vitrage augmentant les performances thermiques dans des épaisseurs allant de 9 à 13 mm (avec gaz Argon ou Krypton), et dont la valeur Ug peut approcher les 1,9 W/m ² .K.
Qualités	Permet le maintien des menuiseries anciennes avec remplacement du vitrage.
Valeur Ug	Max. 3,7 W/m ² .K
Commentaires	Au-delà de l'indéniable qualité de surface de ces verres et de leur emploi dans la réhabilitation, ils offrent l'avantage dans les solutions en double vitrage d'être très performant thermiquement. Cependant le prix reste un frein à leur emploi régulier. Saint-Just ou équivalent.

NB: Il est couramment supposé que tous les vitrages épais apportent un minimum de confort thermique, mais l'étude des différents produits non répertoriés ici, montre que leur Ug est généralement compris entre 4,7 et 5,7 W/m².K, soit bien au-dessus des produits proposés par les deux fabricants précités.

Les doubles fenêtres

Dans le cas où il est techniquement et architecturalement possible d'intégrer une double fenêtre, celle-ci permet à la fois le maintien d'une fenêtre ancienne en apportant une véritable isolation thermique, soit par la mise en place d'une fenêtre à simple vitrage ou par la mise en place d'une fenêtre à double vitrage mince. Leur mise en œuvre oblige à vérifier que les dispositifs d'ouverture soient maintenus, que la deuxième fenêtre puisse correctement s'ouvrir et que les volets extérieurs puissent aussi être manœuvrés.

Ces double-fenêtres sont intégrées soit en intérieur, soit en extérieur, selon les possibilités techniques offertes.

Travaux d'Yves BELMONT – DRAC Rhône-Alpes

Auteur	Yves BELMONT – Conseiller pour l'architecture de la DRAC Rhône-Alpes
Type de production	Fiche – conseil
Année de publication	En cours de réalisation
Public visé	Grand public
Périmètre d'étude	Le bâti existant dans le département du Rhône
Objectif de la production	Mettre en avant les possibilités de mise en œuvre d'une double-fenêtre sur des anciens châssis en prenant en compte la ventilation.
Commentaires	L'étude sur la base de la maquette vise à montrer qu'il est possible d'intégrer une double fenêtre à l'intérieur des logements avec mise en œuvre d'un isolant intérieur + ventilation décentralisée + maintien des volets intérieurs. Les jalousies extérieures existantes à Lyon permettent de cacher les dispositifs de ventilation nécessairement visibles à l'extérieur. (source : Yves Belmont) <u>NB :</u> Les échanges avec l'auteur de l'étude ont mis en avant des possibilités de modifications pour l'insertion de la VMD, mais aussi la problématique liée au chauffage, les tablettes étant plus grandes, elles recouvrent le radiateur, souvent disposé en allège, et limitent ainsi les effets de celui-ci. Il conviendrait de le déplacer.

Ville de Genève

Auteur	État de Genève – Service des Monuments et des Sites
Type de production	Fiche – conseil
Année de publication	01/01/08
Public visé	Grand public
Périmètre d'étude	Les fenêtres anciennes dans la ville de Genève
Objectif de la production	Les fiches expliquent les différents cas d'amélioration thermique des fenêtres existantes : - Remplacement du verre - Survitrage intérieur - Double fenêtre extérieure - Double fenêtre intérieure - Pose d'un vitrage isolant - Remplacement de la fenêtre Chaque cas est étudié sous différents angles (description avant/après travaux, données techniques sur les matériaux et leurs valeurs thermiques, notion de confort acoustique/thermique/ventilation, remarques sur le dispositif, conservation du patrimoine)
Commentaires	L'étude montre tous les cas d'intervention sur les fenêtres et les possibilités offertes selon le cas. Le panel semble exhaustif, avec quelques détails sommaires explicatifs, mais peu de données techniques sur la mise en œuvre et la réalisation.

Ville de Poitiers

Auteur	Communauté d'Agglomération du Grand Poitiers
Type de production	Guide – Conseil http://www.grandpoitiers.fr/c_177_642_Renovation_du_patrimoineancien.html
Année de publication	Postérieur à 2010
Public visé	Grand public
Périmètre d'étude	Les fenêtres anciennes dans la région de Poitiers
Objectif de la production	Le guide aborde la question de la fenêtre par une explication détaillée de sa fabrication ancienne et des différents éléments qui la compose. Une deuxième partie porte sur les questions liées au confort et aux propriétés des fenêtres, puis sur la question patrimoine/développement durable en comparant les avantages et les inconvénients du maintien ou des modifications graduelles d'une fenêtre existante. La troisième partie décrit les différentes interventions sous un angle technique et qualitatif : - Entretien/réparation - Amélioration thermique - Doublage des fenêtres - Remplacement
Commentaires	L'étude montre tous les cas d'intervention sur les fenêtres et les possibilités offertes selon le cas. Le panel est exhaustif et comporte des détails techniques et des descriptions de mise en œuvre, notamment sur les anciens châssis. NB : cette étude explique les démarches nécessaires au regard du code de l'urbanisme (Déclaration Préalable) et des copropriétés.

6.4. Ventilation

Tous les types de ventilation présentent des inconvénients :

- pour la VMC simple-flux : le fait qu'il existe des entrées d'air au-dessus des fenêtres pose un problème de confort (dans de nombreux logements, ces entrées d'air sont souvent bouchées par les occupants eux-mêmes pour cette raison), mais aussi énergétique, puisque l'air entrant est froid en hiver et doit être réchauffé, ce qui engendre des consommations énergétiques supplémentaires.
- pour la ventilation naturelle ou naturelle assistée : outre le même problème que la VMC simple flux concernant les entrées d'air, la conception d'une telle ventilation est délicate et les débits de ventilation réglementaires ne sont pas toujours respectés.
- pour la VMC double-flux : il n'y a plus d'entrée d'air au-dessus des fenêtres, mais deux réseaux de ventilation séparés, l'un permettant l'amenée d'air extérieur frais et l'autre l'évacuation de l'air intérieur vicié. De plus, un échangeur de chaleur permet de transférer la chaleur de l'air intérieur vicié à l'air extérieur frais, ce qui permet d'économiser l'énergie. Cependant, surtout dans un contexte patrimonial fort, le passage des gaines est problématique.

Il existe en fait deux autres types de ventilation, qui peuvent pallier certains des inconvénients cités.

VMC répartie

La VMC répartie (parfois aussi appelée ponctuelle) consiste à installer dans les pièces humides (salle de bain et cuisine) des ventilateurs permettant d'extraire l'air intérieur vicié.

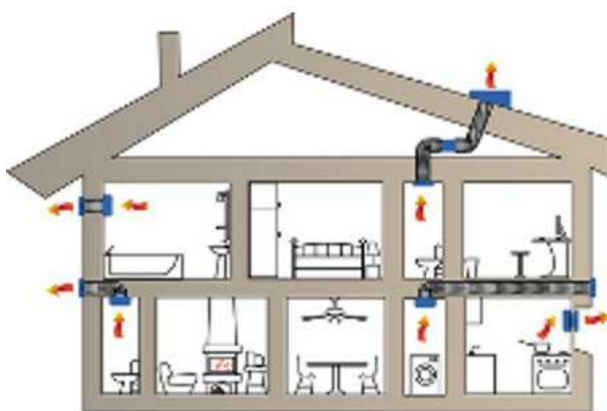


Illustration 12: Schéma de principe de la VMC répartie (source : Leroy-Merlin)

Ce système est plus facile à mettre en place qu'une VMC simple-flux en rénovation du fait du passage limité de gaines. Cependant, les extracteurs sont visibles en façade et ce système ne résout pas le problème de l'inconfort et des consommations énergétiques supplémentaires dus à l'amenée d'air extérieur frais dans le logement.

VMC décentralisée

La VMC décentralisée consiste à installer des modules de ventilation double-flux avec récupérateur de chaleur dans chaque pièce du logement.

Dans le cas d'une VMC décentralisée avec extraction et soufflage alternés, deux modules doivent être placés face à face, par exemple dans une pièce traversante. Les modules sont équipés d'un seul ventilateur, qui assure alternativement l'extraction et le soufflage : au cours d'un cycle, pouvant durer de 50 secondes à

2 minutes selon les modèles, l'un des modules assure l'extraction, tandis que l'autre assure le soufflage. Au bout de cette durée, le sens de rotation des ventilateurs changent. L'air extérieur frais pénétrant dans le module est alors réchauffé au passage par le récupérateur de chaleur, qui a accumulé la chaleur de l'air intérieur vicié lors du cycle précédent.

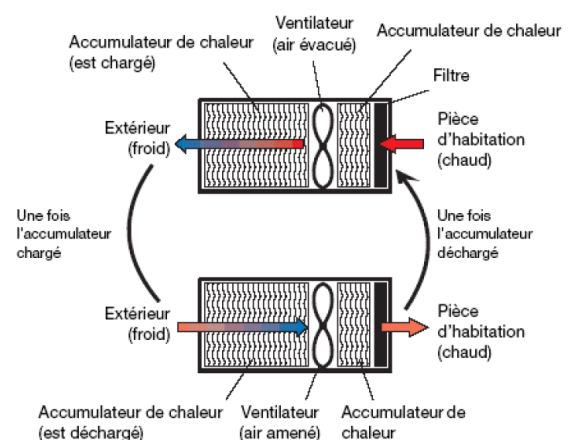


Illustration 13: Schéma de principe de la VMC décentralisée avec extraction et soufflage alternée (source : Enertech)

Dans le cas d'une VMC décentralisée avec extraction et soufflage simultanés, l'extraction et le soufflage est assuré par le même module. On peut toutefois se demander si le balayage de la pièce est vraiment satisfaisant avec ce type de ventilation, puisque les deux flux d'air (vicié, « Abluft » et frais, « Zuluft ») sont quasiment générés au même endroit.

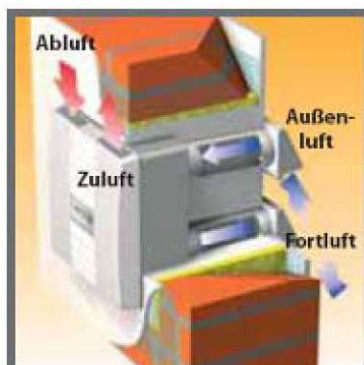


Illustration 14: Schéma de principe de la VMC décentralisée avec extraction et soufflage simultanée (source : Enertech)

Les différents types de VMC décentralisées sont une alternative intéressante aux VMC plus traditionnelles. Cependant, leur inconvénient principal est que les modules sont visibles en façade, ce qui limite leur utilisation à des bâtiments sans grande valeur patrimoniale.

7. Annexes

7.1. Le guide méthodologique de l'ANVPAH

En 2011, l'Association Nationale des Villes et Pays d'Art et d'Histoire a réalisé, avec l'aide du CETE de l'Est, un Guide méthodologique à l'usage des villes souhaitant réaliser un audit énergétique du patrimoine bâti ancien¹⁵. Ce guide présente la méthode à appliquer pour réaliser et faire réaliser les études qu'ont par exemple menées les villes de Grenoble, Poitiers et Bayonne (cf. plus haut) sur leurs centres anciens. Plusieurs niveaux d'approfondissement sont proposés aux villes :

- niveau 0 / préambule : établir une typologie architecturale du patrimoine bâti ancien de la ville et connaître ses consommations avant travaux.
- niveau 1 : établir en plus une typologie thermique et réaliser des fiches détaillées par grands types présentant les consommations énergétiques et les caractéristiques thermiques de ces derniers.
- niveau 2 : comprendre le comportement thermique de chaque type et en tirer une analyse des points forts et des points faibles du type, puis proposer des réhabilitations adaptées.
- niveau 3 : étudier la mise en œuvre de ces solutions, réaliser un guide de mise en œuvre sur chantier, mise en place d'actions de sensibilisation...

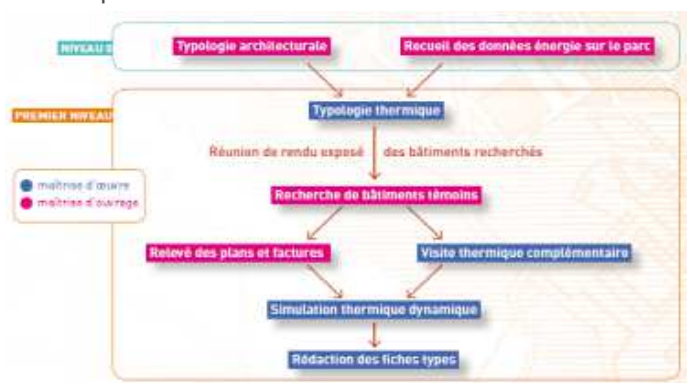


Illustration 15: Méthode à appliquer pour réaliser un audit énergétique de premier niveau (source : ANVPAH)

À ce titre, l'étude « Habitat ancien en Alsace » peut être considérée comme la mise en application de ce guide sur l'ensemble du territoire alsacien.

15 <http://www.est.cerema.fr/productions-a-telecharger-r1521.html>

7.2. Principaux signes de non-qualités dans la construction BBC neuve

Synthèse issue du rapport Retours d'expériences dans les bâtiments à basse consommations & risque de non qualité¹⁶.

Impact sur la performance de l'enveloppe

- Conception :
 - Ponts thermiques
 - Surchauffes d'été et d'intersaisons
- Exécution :
 - Étanchéité à l'air :
 - Ouvertures
 - Éléments de structure
 - Passages de réseaux et les fourreaux
 - Équipements
 - Mise en œuvre de l'isolation
 - Accumulation d'eau dans l'isolant en phase chantier
 - Changement de matériaux ou de produits en cours de chantier
 - Ponts thermiques dus à une mauvaise mise en œuvre
- Utilisation, modifications et aménagements après livraison

Performances des équipements

- Conception :
 - Mauvais positionnement des équipements :
 - Systèmes de ventilation mécanique
 - Positionnement des panneaux solaires, accessibilité et prise en compte des masques solaires
 - Choix et dimensionnement des équipements
 - Surdimensionnement des chaudières et poêles à bois
 - Surdimensionnement des installations d'ECS solaire
 - Danger de refoulement des poêles à bois sans prises d'air extérieur indépendantes
 - Complexification des systèmes faisant appel aux énergies renouvelables
- Exécution :
 - Mise en œuvre des équipements :

¹⁶ Disponible sur le site http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr/fileadmin/redacteurs/Regles_de_L_Art/Rapports/rapport-rex-batiments-performants-risques-2013-07.pdf

- Ventilation mécanique double flux
- Pompe à chaleur
- Calorifugeage des réseaux
- Changement d'équipements en cours de chantier
- Exploitation
 - Déficiences et pannes
 - Absence de maintenance et d'entretien
 - Commissionnement, suivi et optimisation des systèmes
 - Facteurs influençant les consommations réelles :
 - Comportement inapproprié des utilisateurs
 - Ajouts d'équipements après la livraison

Délai

- Conception :
 - Difficultés d'ordre réglementaire
- Exécution :
 - Séchage en phase chantier
 - Départ de feu en phase chantier
 - Approvisionnement des chantiers
 - Changements apportés par l'exigence d'étanchéité à l'air
 - Organisation, suivi des chantiers et interfaces entre corps d'état
 - Spécificités techniques des matériaux non connues

Qualité d'usage

- Perte de hauteur sous plafond
- Qualité de l'air intérieur
- Poids du triple vitrage et des portes isolantes
- Défauts esthétiques
- Positionnement des bouches d'insufflations des VMC DF et circulation d'air
- Entretien des vitres derrière les brise-soleil
- Inconfort acoustique

Incompatibilité entre réglementations