COMPRENDRE POUR AGIR

HABITAT ANCIEN EN ALSACE

AMÉLIORATION ÉNERGÉTIQUE ET PRÉSERVATION DU PATRIMOINE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Dossier technique

Phase 2 de l'étude – septembre 2015

La maison à colombages avec schlupf

Kochersberg (type III.02 / Fiche de synthèse n°8)

Scénarios de rénovation énergétique

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET
DE LA RÉGION
ALSACE

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

Direction territoriale Nord-Picardie (ex-CETE Nord-Picardie)
2, rue de Bruxelles – CS 20275 – 59019 LILLE CEDEX
t/03 20 49 60 00 – f/03 20 53 15 25
courriel : bertrand.reydellet@Cerema.fr
courriel : lionel.lombardo@developpement-durable.gouv.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

décembre 2015_ V2

Sommaire

1. Rappel des caractéristiques architecturales et énergétiques du type avant rénovation (phase 1).....7
1.1. Consommations énergétiques.....9
Étiquette-énergie.....9
Déperditions de chaleur.....9
1.2. Confort thermique.....10
Confort d'été.....10
Diminution de l'effet de paroi froide en hiver.....10
1.3. Comportement hygrothermique.....11
2. Rappel de la méthodologie de la phase 2.....12
3. Approche architecturale du projet de rénovation énergétique 14
3.1. Définition des enjeux propres au type.....14
3.2. Parti architectural.....14
4. Analyse multi-critères qualitative des actions possibles.....16
4.1. Murs donnant sur l'extérieur.....17
A – Amélioration de l'étanchéité à l'air, y compris cloisons et refends.....17
B – Correction thermique intérieure, y compris cloisons et refends.....18
C – Remplacement du remplissage du pan de bois, y compris cloisons et refends.....19
D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends.....21
E – Correction thermique extérieure.....23
F – Isolation par l'extérieur.....25
4.2. Cloisons et refends donnant sur des espaces-tampons uniquement 27
A – Amélioration de l'étanchéité à l'air.....27
B – Correction thermique intérieure.....27
C – Remplacement du remplissage du pan de bois.....27
D – Isolation par l'intérieur.....27
4.3. Plancher bas.....28
A – Amélioration de l'étanchéité à l'air.....28
B – Isolation en sous-face.....29
C – Isolation dans le plancher existant.....30
D – Isolation sur le plancher existant.....31
E – Isolation sur dalle (sol drainé et ventilé sous la dalle).....32
F – Isolation (ou correction thermique) sur terre plein.....32
4.4. Plancher haut.....33
A – Amélioration de l'étanchéité à l'air.....33
B – Isolation du plancher du grenier par le dessus.....34
C – Isolation de la toiture par l'intérieur.....35
D – Isolation de la toiture par l'extérieur.....37

4.5. Fenêtres....39
A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants....39
B – Conservation des châssis, remplacement des vitrages et maintien des volets existants....40
C – Ajout de double fenêtres, maintien des volets existants....41
D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants....44
4.6. Porte extérieure du logement....46
A – Amélioration de l'étanchéité à l'air....46
B – Remplacement du dormant de la porte....47
C – Remplacement du vitrage de la porte....47
D – Remplacement de la porte....48
4.7. Ventilation....49
A – Conservation de l'existant....49
B – VMC....49
4.8. Chauffage et production d'ECS....51
A – Conservation de l'existant....51
B – Chaudière à condensation....51
4.9. Synthèse....53
5. Construction des bouquets d'actions adaptés suivant trois scénarios....59
5.1. Scénario 1....60
Scénario 1....60
Variante du scénario 1....62
5.2. Scénario 2....64
5.3. Scénario 3....66
6. Analyse multi-critères quantitative des bouquets d'actions par scénario....68
6.1. Scénario 1....68
Scénario 1....68
Variante du scénario 1....78
6.2. Scénario 2....86
6.3. Scénario 3....94
7. Synthèse finale....102
8. Annexe 1 : détails des résultats....104
8.1. Scénario 1....104
Scénario 1....104
Variante du scénario 1....106
8.2. Scénario 2....108
8.3. Scénario 3....110
8.4. Calculs économiques....111
Coûts des bouquets d'actions....111
Temps de retour actualisé (TRA)....113
Émissions de CO_2....114

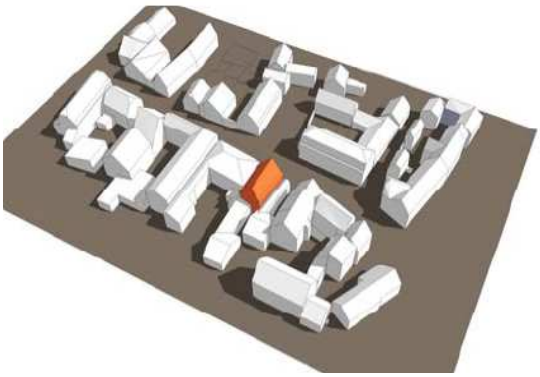
Index des illustrations

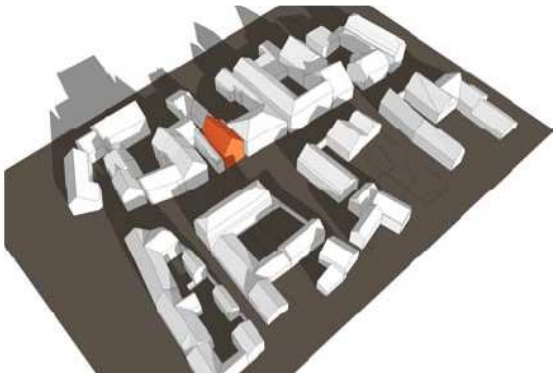
Illustration 1 : Étiquette-énergie pour le type III.02.....9
Illustration 2 : Répartition des pertes de chaleur par l'enveloppe du logement.....9
Illustration 3 : Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues). 10
Illustration 4 : Humidité relative dans la brique.....11
Illustration 5 : Humidité relative dans le mortier.....11
Illustration 6 : Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour le type III.02.....11
Illustration 7 : Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour le type III.02 11
Illustration 8 : Démarche générale d'évaluation (source : Cerema).....13
Illustration 9 : Algorithme des trois scénarios (source : Cerema).....59
Illustration 10: Synthèse des actions pour le scénario 1.....61
Illustration 11: Synthèse des actions pour la variante du scénario 1.....63
Illustration 12: Synthèse des actions pour le scénario 2.....65
Illustration 13: Synthèse des actions pour le scénario 3.....67
Illustration 14: Étiquette-énergie pour le scénario 1.....104
Illustration 15: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour le scénario 1.....104
Illustration 16: Humidité relative dans la brique pour le scénario 1.....105
Illustration 17: Humidité relative dans le mortier pour le scénario 1.....105
Illustration 18: Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour le scénario 1.....105
Illustration 19: Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour le scénario 1 105
Illustration 20: Étiquette-énergie pour la variante du scénario 1.....106
Illustration 21: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour la variante du scénario 1.....106
Illustration 22: Humidité relative dans la brique pour la variante du scénario 1.....107
Illustration 23: Humidité relative dans le mortier pour la variante du scénario 1.....107
Illustration 24: Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour la variante du scénario 1.....107
Illustration 25: Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour la variante du scénario 1.....107
Illustration 26: Étiquette-énergie pour le scénario 2.....108
Illustration 27: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour le scénario 2.....108
Illustration 28: Humidité relative dans la brique pour le scénario 2.....109
Illustration 29: Humidité relative dans le mortier pour le scénario 2.....109
Illustration 30: Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour le scénario 2.....109
Illustration 31: Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour le scénario 2 109
Illustration 32: Étiquette-énergie pour le scénario 3.....110
Illustration 33: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour le scénario 3.....110

1. Rappel des caractéristiques architecturales et énergétiques du type avant rénovation (phase 1)

Les conclusions présentées ci-dessous sont issues du dossier technique de la phase 1, qui est consultable dans les centres de documentation de la DREAL Alsace et de la DRAC Alsace. Elles ont été synthétisées dans la fiche de synthèse, qui est, elle, téléchargeable sur les sites internet de la DREAL Alsace et de la DRAC Alsace.

Le type III.02 correspond à une maison de ville, en pan de bois remplissage brique et séparée des autres maisons par des schlupfs. Cet espace tampon entre deux constructions, souvent à pignon sur rue, appelé « Schlupf », permettait la circulation de l'air, l'évacuation de l'eau et freinait la propagation du feu en cas d'incendie.





L'analyse du bâtiment extrapolé, tiré d'un bâtiment réel relevant de ce type et supposé bien entretenu, a permis d'obtenir, avant toute action de rénovation énergétique, des informations relatives :

- aux consommations énergétiques du type ;
- au confort thermique d'été et d'hiver du type ;
- au comportement hygrothermique des murs du type.

Nous avons fait le choix de considérer le type comme étant proche de sa situation initiale, pouvant donc à ce titre être encore doté de ses menuiseries d'origine, de ses décors intérieurs le cas échéant (moulures, lambris, etc.) et n'ayant pas fait l'objet de modifications dont la singularité pourrait fausser les résultats. Les cas particuliers ont donc été supprimés (fenêtres modifiées, aménagements tardifs, etc.).

Ce postulat permet de prendre en compte les fenêtres anciennes comme étant conservées avant toute action, ainsi que les volets lorsqu'ils existaient et les portes d'origine.

Les caractéristiques architecturales du type III.02 peuvent donc être résumées ainsi :

- Construction à pignon sur rue avec un schlupf.
- Maison de village à pan de bois décoratif, remplissage en briques, enduit
- Encadrements en grès sur maçonnerie et encadrements bois sur colombage
- Ouvertures modestes avec volets battants en bois
- Fenêtres d'origines en bois, à petits bois ou vitrages au plomb
- Toitures à forte pentes, ½ croupes et auvents sur pignon, couverture en tuiles « bieberschwantz »
- 1 à 2 niveaux d'habitation au-dessus du RDC à vocation artisanale ou de stockage
- Hauteurs sous plafond réduites
- Combles avec grenier de stockage

Variantes parfois rencontrées :

- Décors de façade
- Lambrissage intérieur, alcôves

Appréciation patrimoniale :

Les constructions du type III-02 représente une image iconique de la maison « alsacienne », possédant une forte valeur identitaire, véritable carte postale de l'Alsace, les pignons à pan de bois étant le symbole d'un tissu urbain rural ancien, présent sur une grande partie du territoire de plaine et sur les contreforts des Vosges.

1.1. Consommations énergétiques

Étiquette-énergie

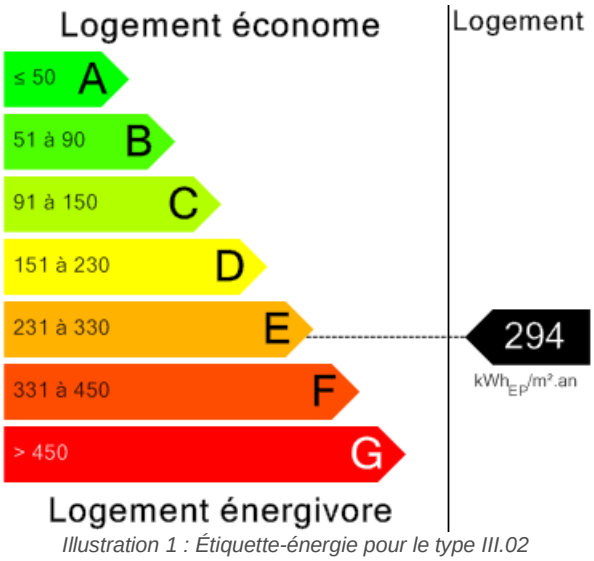


Illustration 1 : Étiquette-énergie pour le type III.02

Dans son état initial, les consommations énergétiques du type III.02 s'élèvent à 294 $kWh_{EP}/m^2.an$, soit une étiquette-énergie de classe E, ce qui est plus élevé que la moyenne nationale, qui est de 272 $kWh_{EP}/m^2.an$.

Déperditions de chaleur

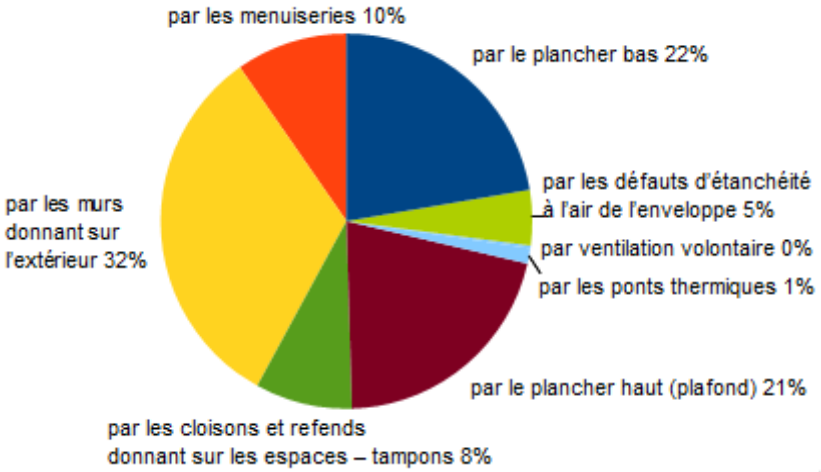


Illustration 2 : Répartition des pertes de chaleur par l'enveloppe du logement pour le type III.02

Les pertes de chaleur du type III.02 se font principalement par les murs donnant sur l'extérieur, suivi des planchers haut et bas. Les menuiseries et les cloisons et refends donnant sur des espaces-tampons arrivent en troisième position.

Les défauts d'étanchéité à l'air ne représentent, quant à eux, que 5 % des pertes de chaleur totales. L'implantation particulièrement contrainte de la maison la protège en effet du vent. Cela ne signifie donc pas que les défauts d'étanchéité sont peu nombreux, mais qu'ils sont peu sollicités. Il est probable que si la maison était implantée différemment, les pertes par ce biais seraient bien plus importantes.

Enfin, les pertes de chaleur sont négligeables par les ponts thermiques et la ventilation volontaire. En effet, les modes constructifs du bâti ancien limitent fortement les ponts thermiques et la ventilation volontaire, qui se traduit par une ouverture de fenêtres d'un quart d'heure tous les jours dans toutes les pièces, ne conduit pas à des pertes de chaleur importantes.

1.2. Confort thermique

Confort d'été

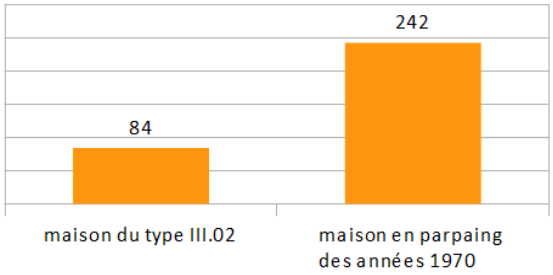


Illustration 3 : Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour le type III.02

Le type III.02 présente peu de surchauffes estivales par rapport à une maison en parpaing des années 1960. Les surchauffes observées sont localisées sur les façades sud et sont dues à la faible épaisseur des murs en briques, dont l'inertie n'est pas suffisante pour protéger efficacement le logement de la chaleur. Pour le bâtiment extrapolé, les autres façades donnent sur les schlupfs ou sont protégés de rayonnement solaire par les autres bâtiments : les surchauffes n'y sont pas observées.

Diminution de l'effet de paroi froide en hiver

Globalement, l'effet de paroi froide se fait ressentir sur toutes les parois du logement, du fait d'une température de surface de ces parois faibles.

1.3. Comportement hygrothermique

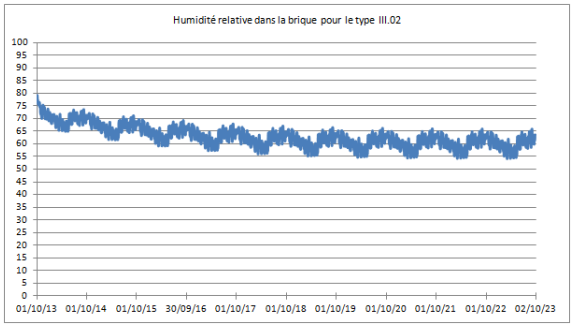


Illustration 4 : Humidité relative dans la brique pour le type III.02

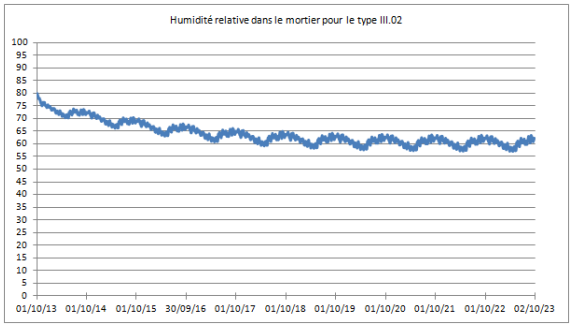


Illustration 5 : Humidité relative dans le mortier pour le type III.02

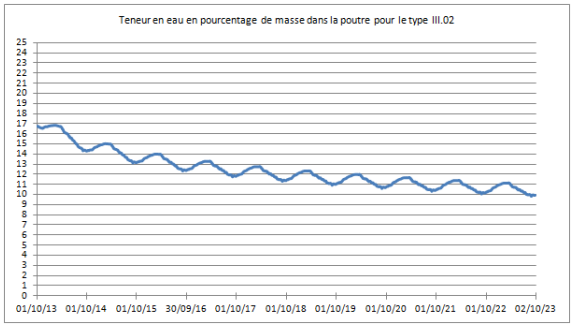


Illustration 6 : Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour le type III.02

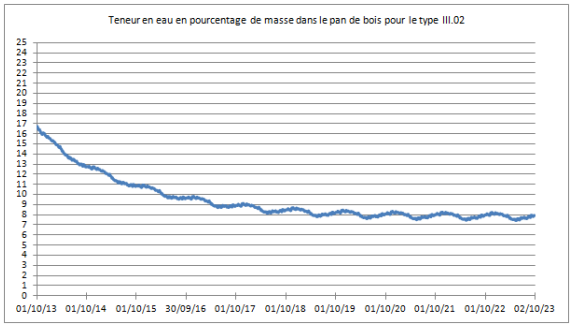


Illustration 7 : Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour le type III.02

Les murs du type III.02 sont en équilibre hygrothermique, ce qui signifie qu'en l'état actuel, l'humidité n'engendre pas de pathologie au sein du mur.

En effet, les différentes courbes ci-dessus, qui illustrent la quantité d'humidité dans une poutre du plancher, un élément du pan de bois, une brique et du mortier, diminuent et se stabilisent à une valeur d'humidité faible, ce qui garantit un fonctionnement hygrothermique optimal.

2. Rappel de la méthodologie de la phase 2

La démarche générale d'évaluation de la phase 2 s'applique à tous les types étudiés au cours de la phase 1. Elle se divise en six parties :

- l'inventaire des actions possibles
- l'approche architecturale du projet de rénovation énergétique ;
- l'analyse multi-critères qualitative des actions possibles ;
- la construction de bouquets d'actions adaptées suivant trois scénarios ;
- l'analyse multi-critères quantitative des bouquets d'actions ;
- l'analyse économique, par l'étude de la rentabilité et de la soutenabilité de ces bouquets d'actions, au travers des critères suivants :
  - coût total des bouquets d'actions ;
  - temps de retour sur investissement ;
  - évolution des charges énergétiques sur 20 ans avant et après travaux ;
  - évaluation des quantités de CO_2 évitées sur 20 ans et monétarisation de ces quantités ;
  - coût mensuel du prêt nécessaire au financement des bouquets d'actions

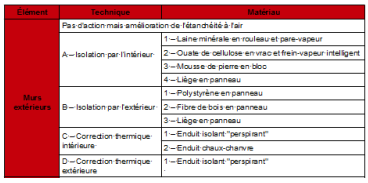
Le schéma ci-dessous rappelle l'enchaînement des six étapes.

Pour plus de précisions, se référer au rapport méthodologique de la phase 2 de l'étude.

1

INVENTAIRE DES ACTIONS POSSIBLES

Actions possibles dans l'absolu sur :
✓ l'enveloppe
✓ les systèmes

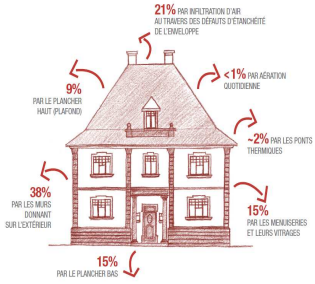


Élément	Technique	Matériau
Murs extérieurs	Pas d'action mais amélioration de l'étanchéité à l'air	
	A – Isolation par l'intérieur	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur intelligent
		3 – Mousse de pierre en bloc
		4 – Liège en panneau
	B – Isolation par l'extérieur	1 – Polystyrène en panneau
		2 – Fibre de bois en panneau
		3 – Liège en panneau
	C – Correction thermique intérieure	1 – Enduit isolant "perspirant"
		2 – Enduit chaux-chanvre
	D – Correction thermique extérieure	1 – Enduit isolant "perspirant"

2

APPROCHE ARCHITECTURALE
DU PROJET DE RENOVATION ENERGETIQUE

Au regard du diagnostic réalisé en phase 1,
définition des enjeux du projet,
définition des partis architecturaux.

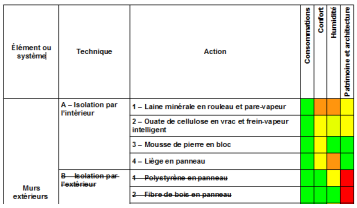


3

ANALYSE MULTI-CRITERE QUALITATIVE
DES ACTIONS POSSIBLES

Pour chaque action possible sur le bâti,
analyse multi-critère qualitative :
✓critère « gain énergétique » ;
✓critère « confort d'été » ;
✓critère « confort d'hiver » ;
✓critère « absence de risques liés à l'humidité » ;
✓critère « patrimoine et architecture » ;

Elimination des actions rouges, les autres sont considérées comme adaptées.

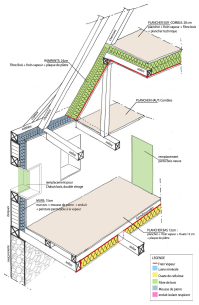


Élément ou système	Technique	Action	Consommations	Confort	Humidité	Patrimoine et architecture
Murs extérieurs	A – Isolation par l'intérieur	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur				
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur intelligent				
		3 – Mousse de pierre en bloc				
		4 – Liège en panneau				
	~~B – Isolation par l'extérieur~~	~~1 – Polystyrène en panneau~~				
		~~2 – Fibre de bois en panneau~~				

4

CONSTRUCTION DE BOUQUETS D'ACTIONS
ADAPTEES SUIVANT DEUX SCENARIOS

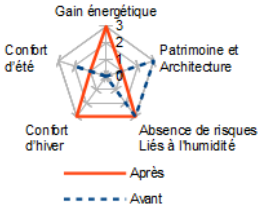
Selon :
✓ le scénario 1 et sa variante
✓ le scénario 2
✓ le scénario 3



5

ANALYSE MULTI-CRITERES QUANTITATIVE
DES BOUQUETS D'ACTIONS

Pour chaque bouquet d'actions adaptées au bâti,
analyse multi-critère quantitative :
✓critère « gain énergétique » -> simulation thermique dynamique ;
✓critère « confort d'été » -> simulation thermique dynamique ;
✓critère « confort d'hiver » -> simulation thermique dynamique ;
✓critère « absence de risques liés à l'humidité » -> simulation hygrothermique dynamique ;
✓critère « patrimoine et architecture » -> à dire d'expert ; .



6

Enfin, analyse économique selon deux approches :
✓ la rentabilité
✓ la soutenabilité

Illustration 8 : Démarche générale d'évaluation (source : Cerema)

3. Approche architecturale du projet de rénovation énergétique

3.1. Définition des enjeux propres au type

Fort des caractéristiques patrimoniales du type III-02, nous avons défini les enjeux ci-dessous :

Extérieurs

(enjeu principal)

- conserver la perception des façades et toitures (volumes, proportions, modénatures) et la matière existante : maçonneries, enduits, menuiseries, notamment si les menuiseries sont très anciennes, au plomb ou à croisées
- éventuellement, restituer un état d'origine connu des façades (enduit sur le colombage si et seulement s'il est structurel)

Intérieurs

- préserver les décors (lambris, moulures, menuiseries) et la matérialité des surfaces (plâtre, parquet)
- préférer l'ajout de matière mise en œuvre de manière traditionnelle à la substitution, et l'entretien au remplacement
- maintenir les qualités spatiales et l'habitabilité des volumes

3.2. Parti architectural

Sur la base des enjeux précités, de l'identification des problématiques liées à ceux-ci et de l'évolution des usages du bâti ancien, notre parti architectural vise à changer le principe énergétique du type, sans en changer l'aspect, en isolant la partie logement dans l'ensemble, en préservant les espaces tampons.

A l'origine les espaces étaient organisés pour favoriser la circulation de la chaleur, le foyer étant extérieur au logement, lequel récupérait l'énergie produite dans l'atelier situé au RDC par la perméabilité des planchers et le conduit de fumée.

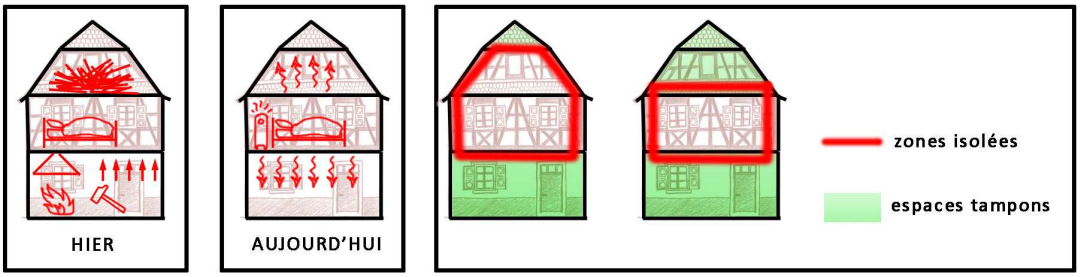
L'usage ayant évolué, la source de chaleur a disparu, le logement a depuis été chauffé par des radiateurs sans modification des interactions avec les espaces tampons et l'ancien atelier, lesquels génèrent depuis des déperditions.

Notre démarche vise à conserver les qualités des espaces tampons, tout en isolant le logement. L'isolation par l'intérieur génère des pertes de surfaces, ce qui nous a conduit à proposer deux solutions :

– Suite aux constats de modifications d'usage des locaux annexes à l'habitation (activité artisanale disparue au RDC et rôle de stockage abandonné pour le comble) et donc à la modification induite du comportement thermique initial (voir schéma joint), la première solution propose une possibilité d'extension de l'habitat dans les combles, avec la conservation d'un surcomble non utilisé.

– La deuxième propose une isolation du logement tel qu'il était initialement, sur un niveau, sans utilisation future du 2ème étage. Ce comble non aménagé continue à jouer un rôle d'espace tampon dans le logement, ce dernier n'étant pas en contact avec le toit.

Ces solutions vont être appliqués respectivement au scénario 1 et aux scénarios 2 et 3.



EVOLUTIONS D'USAGES PARTI ARCHITECTURAL

4. Analyse multi-critères qualitative des actions possibles

Cette partie aborde tour à tour les différents éléments de l'enveloppe (murs donnant sur l'extérieur, plancher haut, etc.) et les différents systèmes sur lesquels portent les différentes actions possibles. L'analyse est réalisée de manière qualitative, c'est-à-dire à dire d'expert pour tous les critères étudiés.

Les différentes actions possibles ont été examinées, pour ce type précis, au regard des différents critères.

Les propriétés thermiques et hygriques des matériaux isolants étudiés sont disponibles dans le rapport méthodologique de la phase 2.

4.1. Murs donnant sur l'extérieur

NB : Rappelons qu'en cas d'actions sur les murs donnant sur l'extérieur par l'intérieur, les cloisons et refends donnant sur des espaces-tampons sont isolés par une épaisseur de 2/3 de celle des murs donnant sur l'extérieur, soit 10 cm d'isolation ou 4 cm de correction thermique.

A – Amélioration de l'étanchéité à l'air, y compris cloisons et refends

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Reprises d'enduit ou plâtres dégradés, rejointoiement de moellons ou de briques, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (planchers, passage de gaines)	Le mur n'est pas isolé, sa résistance thermique n'est donc pas améliorée.	Le mur n'est pas isolé, le confort d'été reste donc identique à la situation initiale, c'est-à-dire élevé.	L'effet de paroi froide est diminué grâce à l'amélioration de l'étanchéité à l'air du plancher bas, mais de manière insuffisante.	Le mur n'est pas isolé, les risques hygrothermiques sont donc très faibles.	Pas de modifications des parois, conservation des épidermes existants et des décors (lambris, moulures, plinthes, etc.) Facilité de mise en œuvre

B – Correction thermique intérieure, y compris cloisons et refends

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 6 cm	Conductivité thermique plus élevée que pour un isolant (0,055 W/m.K). De plus, l'enduit isolant "perspirant" peut difficilement être mis en œuvre sur plus de 6 cm. Sa résistance thermique est donc limitée, mais non négligeable.	La correction thermique intérieure apporte de la masse et ne coupe donc pas l'inertie des murs donnant sur l'extérieur. L'inertie de l'enduit isolant "perspirant" est très forte.	En hiver, grâce à l'enduit, l'effet de paroi froide au niveau des murs donnant sur l'extérieur est atténué.	L'enduit isolant "perspirant" est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. De plus, l'épaisseur limitée de l'enduit permet des transferts d'humidité plus rapides. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori.	Côté extérieur : Aspect conservé. Côté intérieur : dans le cas d'absence de décors, maintien d'un revêtement intérieur enduit traditionnel Perte de surface habitable minime
					Côté extérieur : Aspect conservé. Côté intérieur : dans le cas de présence de décors, conservation délicate pour une mise en œuvre complète. Perte de surface habitable minime
2 – Enduit chaux-chanvre, épaisseur 6 cm	La conductivité thermique de l'enduit chaux-chanvre est élevée (0,19 W/m.K) et il ne peut donc pas être considéré comme un isolant. De plus, il est mis en œuvre en épaisseur limitée.	La correction thermique intérieure apporte de la masse et ne coupe donc pas l'inertie des murs donnant sur l'extérieur. L'inertie de l'enduit chaux-chanvre est très forte.		L'enduit chaux-chanvre est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. De plus, l'épaisseur limitée de l'enduit permet des transferts d'humidité plus rapides. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce	Côté extérieur : Aspect conservé. Côté intérieur : dans le cas d'absence de décors, maintien d'un revêtement intérieur enduit traditionnel Perte de surface habitable minime
					Côté extérieur : Aspect conservé. Côté intérieur : dans le cas de présence de décors, conservation délicate pour une mise en œuvre complète.

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
				matériau convient a fortiori.	Perte de surface habitable minime
3 – Béton de chanvre, épaisseur 15 cm	Conductivité thermique plus élevée que pour un isolant (0,107 W/m.K). Cependant, il est mis en œuvre en épaisseur plus importante que les enduits, ce qui contribue à augmenter sa résistance thermique.	L'isolation par l'intérieur dégrade le confort d'été. L'inertie du béton de chanvre est élevée.		Le béton de chanvre est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori, d'autant plus qu'il ne nécessite pas de membrane.	Aspect extérieur conservé. Suppression de l'aspect de surface intérieur d'origine Application d'un enduit ou d'un plâtre traditionnel sur le nouveau support Perte de surface habitable importante (9 %)

C – Remplacement du remplissage du pan de bois, y compris cloisons et refends

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Béton de chanvre, épaisseur variable	Conductivité thermique plus élevée que pour un isolant (0,085 W/m.K). Cependant, l'épaisseur mise en œuvre dans le cas d'un remplacement du remplissage du pan de bois peut permettre d'atteindre une résistance thermique acceptable. Des ponts thermiques seront à craindre du fait de la présence du	Le remplacement du remplissage du pan de bois n'altère pas le confort d'été, voire l'augmente par rapport à un remplissage en brique, dont l'inertie est plus faible.	En hiver, grâce à l'enduit, l'effet de paroi froide au niveau des murs donnant sur l'extérieur est atténué. Il faudra cependant s'assurer que les jonctions entre le	Le béton de chanvre est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. De plus, l'épaisseur limitée du béton	Dans le cas où le mur est encore en bon état sanitaire et ne nécessite pas de remplacement du remplissage, cette mise en œuvre n'est pas préconisée car il s'agit d'une perte de matière d'origine à valeur patrimoniale Dans le cas où l'état sanitaire nécessite une reprise conséquente

	pan de bois entre le béton de chanvre.		pan de bois et le béton de chanvre sont correctement traitées, sans quoi l'amélioration de la sensation de paroi froide pourrait être atténuée par des infiltrations d'air extérieurs.	de chanvre dans le cas d'un remplacement du remplissage du pan de bois permet des transferts d'humidité plus rapides. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori. Cependant, ce sont les jonctions entre le pan de bois et le béton de chanvre qui peuvent poser problème, surtout s'il n'y a ni enduit intérieur, ni enduit extérieur.	des remplissages, cette solution est adaptée à condition de ne pas masquer les colombages décoratifs et de restituer l'aspect d'origine. La mise en œuvre est conséquente et demande à reprendre les enduits extérieurs et les parements intérieurs.

D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur, épaisseur 15 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur une même épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques.	L'isolation par l'intérieur dégrade le confort d'été. L'inertie de la laine minérale est très faible.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau des murs donnant sur l'extérieur est annulé.	La laine minérale est très perméable à la vapeur d'eau, mais n'est ni capillaire, ni hygroscopique. De plus, un pare-vapeur n'est pas capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ces matériaux ne sont pas capables de gérer cet apport. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ces matériaux peuvent convenir. Cependant, il y a ici un risque fort de percement de la membrane.	Côté extérieur : Aspect conservé Côté intérieur : suppression de l'aspect traditionnel des murs (peu de possibilités d'enduits ou plâtre traditionnels), raidissement des plans des murs, effet de plaque (sonne creux) Perte de surface habitable importante (9 %) et épaississement de l'ébrasement entraînant une perte de luminosité.
2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur hygro-variable, épaisseur 15 cm		L'isolation par l'intérieur dégrade le confort d'été. L'inertie de la ouate de cellulose est faible.		La ouate de cellulose est très perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, un frein-vapeur hygro-variable est capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ces matériaux sont	

				capables de gérer cet apport. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ces matériaux conviennent a fortiori. Cependant, il y a ici un risque fort de percement de la membrane.	
3 – Mousse minérale en bloc, épaisseur 15 cm		L'isolation par l'intérieur dégrade le confort d'été. L'inertie de la mousse minérale est moyenne.		La mousse minérale est perméable à la vapeur d'eau, très capillaire et très hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori, d'autant plus qu'il ne nécessite pas de membrane.	Côté extérieur : aspect conservé Côté intérieur : suppression de l'aspect de surface intérieur d'origine Application d'un enduit ou d'un plâtre traditionnel sur le nouveau support Perte de surface habitable importante (9 %) et épaississement de l'ébrasement entraînant une perte de luminosité.
4 – Liège en panneau, épaisseur 15 cm		L'isolation par l'intérieur dégrade le confort d'été. L'inertie du liège est moyenne.		Le liège est peu perméable à la vapeur d'eau et n'est ni capillaire, ni hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau n'est pas capable de gérer cet apport. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau peut convenir.	Côté extérieur : aspect conservé Côté intérieur : suppression de l'aspect de surface intérieur d'origine Application d'un enduit ou d'un plâtre traditionnel sur le nouveau support Perte de surface habitable importante (9 %) et épaississement de l'ébrasement entraînant une perte de luminosité
5 – Polystyrène		L'isolation par l'intérieur		Le polystyrène est peu perméable à la vapeur d'eau et n'est ni capillaire,	Aspect extérieur conservé.

en panneau, épaisseur 15 cm		dégrade le confort d'été. L'inertie du polystyrène est très faible.		ni hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau n'est pas capable de gérer cet apport. De plus, du fait de sa très faible perméabilité à la vapeur d'eau, il contraint l'humidité à rester en contact avec les murs donnant sur l'extérieur, ce qui peu causer des pathologies telles que le développement de moisissures. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau peut convenir.	Suppression de l'aspect de surface intérieur d'origine Application d'un enduit ou d'un plâtre traditionnel sur le nouveau support Perte de surface habitable importante (9 %)

E – Correction thermique extérieure

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 3 cm	Conductivité thermique plus élevée que pour un isolant (0,055 W/m.K). De plus, l'enduit isolant "perspirant" peut difficilement être mis en œuvre sur plus de 6 cm. Sa résistance thermique est donc limitée, mais non négligeable.	. La correction thermique extérieure apporte de la masse et ne coupe donc pas l'inertie des murs donnant sur l'extérieur. L'inertie de l'enduit isolant "perspirant" est très forte.	En hiver, grâce à l'enduit, l'effet de paroi froide au niveau des murs donnant sur l'extérieur est atténué.	L'enduit isolant "perspirant" est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. De plus, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant	La structure en pan de bois décoratif doit rester apparente sur toutes ses façades. Il n'est donc pas envisageable de mettre en œuvre un enduit perspirant par l'extérieur en occultant le colombage (ce n'est pas le cas sur un pan de bois qui a pu être enduit si les recherches bibliographiques ou historiques le prouvent) Dans le cas d'une recherche

				tendance à sécher vers l'intérieur. D'autre part, l'épaisseur limitée de l'enduit permet des transferts d'humidité plus rapides. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori.	bibliographique prouvant la présence d'un enduit sur colombage, la mise en œuvre de l'enduit perspirant sur les panneaux miroirs (panneaux de maçonnerie) est envisageable en ayant au préalable piqué l'existant (s'il n'y a pas de décors extérieurs) pour faciliter son application et éviter des surépaisseurs au droit du pan de bois. Une vérification du comportement chimique avec le support et le bois est nécessaire
2 – Enduit chaux-chanvre, épaisseur 3 cm	La conductivité thermique de l'enduit chaux-chanvre est élevée (0,19 W/m.K) et il ne peut donc pas être considéré comme un isolant. De plus, il est mis en œuvre en épaisseur limitée.	L'enduit chaux-chanvre apporte une inertie non négligeable aux murs donnant sur l'extérieur.		L'enduit chaux-chanvre est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. De plus, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant tendance à sécher vers l'intérieur. D'autre part, l'épaisseur limitée de l'enduit permet des transferts d'humidité plus rapides. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori. De plus, l'épaisseur limitée de l'enduit permet des transferts d'humidité plus rapides. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori.	La structure en pan de bois décoratif doit rester apparente sur toutes ses façades. Il n'est donc pas envisageable de mettre en œuvre un enduit perspirant par l'extérieur en occultant le colombage (ce n'est pas le cas sur un pan de bois qui a pu être enduit si les recherches bibliographiques ou historiques le prouvent) Dans le cas d'une recherche bibliographique prouvant la présence d'un enduit sur colombage, la mise en œuvre de l'enduit perspirant sur les panneaux miroirs (panneaux de maçonnerie) est envisageable en ayant au préalable piqué l'existant (s'il n'y a pas de décors extérieurs) pour faciliter son application et éviter des surépaisseurs au droit du pan de bois. Une vérification du comportement chimique avec le support et le bois est nécessaire

F – Isolation par l'extérieur

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Polystyrène en panneau, épaisseur 15 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur une même épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques.	L'isolation par l'extérieur maintien le confort d'été.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau des murs donnant sur l'extérieur est annulé.	Le polystyrène n'est pas perméable à la vapeur et n'est ni capillaire, ni hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau n'est a priori pas capable de gérer cet apport. Cependant, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant tendance à sécher vers l'intérieur. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient.	La structure en pan de bois brique de la maison de type III.02 doit rester apparente sur toutes ses façades. l'ITE masquerait la totalité des caractéristiques architecturales des modénatures du pan de bois, sculpté ou non. La typologie présente un soubassement en grès et des étages en pan de bois, ce que l'ITE éliminerait en uniformisant la façade et en occultant l'ordonnancement de celle-ci, même en ayant qu'une action sur l'étage. Il n'est donc pas envisageable de l'isoler par l'extérieur, même sur cour, les contraintes techniques (jonctions avec des éléments annexes, auvents, débords de toit, etc) sont trop conséquentes et l'uniformisation de la façade tel qu'évoquée et la suppression des modénatures du pan de bois altéreraient la qualité patrimoniale et architecturale
2 – Fibre de bois en panneau, épaisseur 15 cm				La fibre de bois est perméable à la vapeur d'eau, mais peu capillaire et peu hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport.	

				De plus, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant tendance à sécher vers l'intérieur. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori.	
3 – Liège en panneau, épaisseur 15 cm				Le liège est peu perméable à la vapeur d'eau et n'est ni capillaire, ni hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau n'est pas capable de gérer cet apport. Cependant, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant tendance à sécher vers l'intérieur. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient.	

4.2. Cloisons et refends donnant sur des espaces-tampons uniquement

NB : Rappelons qu'en cas d'actions sur les cloisons et refends donnant sur des espaces-tampons uniquement, ces derniers sont isolés par une épaisseur de 15 cm ou corrigé thermiquement par une épaisseur de 6 cm. Nous considérons en effet que lorsque cette seule action est sélectionnée, il est nécessaire d'être plus exigeant sur l'épaisseur d'isolant, puisque les murs donnant sur l'extérieur ne seront pas isolés.

A – Amélioration de l'étanchéité à l'air

idem 4.1

B – Correction thermique intérieure

idem 4.1

C – Remplacement du remplissage du pan de bois

idem 4.1

D – Isolation par l'intérieur

idem 4.1

4.3. Plancher bas

A – Amélioration de l'étanchéité à l'air

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Rejointoiement des lames et reprises ponctuelles, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (murs, passage de gaines)	Le plancher bas n'est pas isolé, sa résistance thermique n'est donc pas améliorée.	Le plancher bas n'est pas isolé, le confort d'été reste donc identique à la situation initiale, c'est-à-dire élevé.	L'effet de paroi froide est diminué grâce à l'amélioration de l'étanchéité à l'air du plancher bas, mais de manière insuffisante.	Le plancher bas n'est pas isolé, les risques hygrothermiques sont donc très faibles.	Le plancher et les solives restent visibles et peuvent être valorisés dans le cadre d'une réhabilitation

B – Isolation en sous-face

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur 12 cm d'épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques.	En été, la cave reste à des températures inférieures à celles de l'extérieur. La présence d'un isolant entre la cave et le logement limite l'accès à la fraîcheur de la cave.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau du plancher bas est annulé.	La laine minérale est très perméable à la vapeur d'eau, mais n'est ni capillaire, ni hygroscopique. De plus, un pare-vapeur n'est pas capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la cave.	Si les solives du plancher bas ne présentent pas d'intérêt patrimonial majeur, elles peuvent être masquées par l'ajout d'une plaque de plâtre. En présence de poutres moulurées ou de plafonds décorés, les poutres seraient masquées par l'ajout d'une plaque de plâtre et supprimerait la perception du décor intérieur.
2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm				La ouate de cellulose est très perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la cave.	Si les solives du plancher bas ne présentent pas d'intérêt patrimonial majeur, elles peuvent être masquées par l'ajout d'une plaque de plâtre. En présence de poutres moulurées ou de plafonds décorés, les poutres seraient masquées par l'ajout d'une plaque de plâtre et supprimerait la perception du décor intérieur.

C – Isolation dans le plancher existant

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur 12 cm d'épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques. Cependant, des ponts thermiques sont à prévoir, puisque l'isolation n'est pas continue du fait de la présence des solives et des lambourdes.	En été, la cave reste à des températures inférieures à celles de l'extérieur. La présence d'un isolant entre la cave et le logement limite l'accès à la fraîcheur de la cave.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau du plancher bas est annulé.	La laine minérale est très perméable à la vapeur d'eau, mais n'est ni capillaire, ni hygroscopique. De plus, un pare-vapeur n'est pas capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la cave au travers du plancher bois.	Dépose complète du parquet nécessaire pour faire passer la membrane. S'il présente un intérêt patrimonial, il faudra prévoir sa repose ce qui n'est pas sans poser problème lors de la dépose en conservation. Cette solution permet de conserver la poutraison inférieure visible, mais nécessite une mise en œuvre conséquente.
2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm				La ouate de cellulose est très perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la cave au travers du plancher bois.	

D – Isolation sur le plancher existant

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur 12 cm d'épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques. Contrairement à l'isolation dans le plancher existant, il est ici possible de poser deux couches croisées d'isolant pour atténuer les ponts thermiques dus aux solives et aux lambourdes.	En été, la cave reste à des températures inférieures à celles de l'extérieur. La présence d'un isolant entre la cave et le logement limite l'accès à la fraîcheur de la cave.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau du plancher bas est annulé.	La laine minérale est très perméable à la vapeur d'eau, mais n'est ni capillaire, ni hygroscopique. De plus, un pare-vapeur n'est pas capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la cave au travers du plancher bois.	La rehausse implique obligatoirement de masquer le plancher originel. Cette solution pourrait être envisagée si celui-ci ne présente vraiment aucun intérêt Toutefois l'impact sur l'architecture est trop conséquent. Cela modifie les proportions des portes ; lesquelles ne peuvent être rehaussées et change le rapport aux allèges de fenêtres qui risquent d'être trop basse. Enfin les maisons à pans de bois n'offrent pas des hauteurs sous plafond importantes et cette action réduirait fortement cette particularité.
2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm				La ouate de cellulose est très perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la cave au travers du plancher bois.	

E – Isolation sur dalle (sol drainé et ventilé sous la dalle)

Sans objet.

F – Isolation (ou correction thermique) sur terre plein

Sans objet.

4.4. Plancher haut

A – Amélioration de l'étanchéité à l'air

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Rejointoiement des lames et reprises ponctuelles, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (murs, passage de gaines)	Le plancher haut n'est pas isolé, sa résistance thermique n'est donc pas améliorée.	Le plancher haut n'est pas isolé, le confort d'été reste donc identique à la situation initiale, c'est-à-dire élevé.	L'effet de paroi froide est diminué grâce à l'amélioration de l'étanchéité à l'air du plancher haut, mais de manière insuffisante.	Le plancher haut n'est pas isolé, les risques hygrothermiques sont donc très faibles.	Le plancher et les solives restent visibles et peuvent être valorisés dans le cadre d'une réhabilitation

B – Isolation du plancher du grenier par le dessus

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 28 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur 28 cm d'épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques.	L'inertie joue un rôle négligeable dans le maintien du confort d'été par rapport au fait de laisser le comble non aménagé (sous réserve de le ventiler correctement). On obtiendra un confort bien meilleur dans ce cas que dans le cas d'un comble aménagé.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau du plancher du grenier, c'est-à-dire du plafond, est annulé.	La laine minérale est très perméable à la vapeur d'eau, mais n'est ni capillaire, ni hygroscopique. De plus, un pare-vapeur n'est pas capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté du grenier.	Dans le cas où il ne serait pas envisagé d'utiliser le grenier à moyen terme, cette action ne présente pas de contraintes patrimoniales au niveau du plancher, mais supprime son usage. Si le grenier est maintenu dans son usage, il convient d'ajouter un sur plancher qui réduira l'espace habitable et utilisable du comble.
2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm				La ouate de cellulose est très perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté du grenier.	Dans le cas où il ne serait pas envisagé d'utiliser le grenier à moyen terme, cette action ne présente pas de contraintes patrimoniales au niveau du plancher, mais supprime son usage. Si le grenier est maintenu dans son usage, il convient d'ajouter un sur plancher qui réduira l'espace habitable et utilisable du comble.
3 – Fibre de bois en panneau et frein-vapeur, épaisseur 28 cm				La fibre de bois est perméable à la vapeur d'eau mais peu capillaire et peu hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de	Dans le cas où il ne serait pas envisagé d'utiliser le grenier à moyen terme, cette action ne présente pas de contraintes patrimoniales au niveau du plancher, mais supprime son usage. Si le grenier est maintenu dans son usage, il convient d'ajouter un sur

				percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté du grenier.	plancher qui réduira l'espace habitable et utilisable du comble.
4 – Béton de chanvre, épaisseur 28 cm	Conductivité thermique plus élevée que pour un isolant (0,06 W/m.K). À épaisseur égale, le béton de chanvre est moins isolant que les isolants mentionnés plus haut.			Le béton de chanvre est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, il ne nécessite pas de mise en œuvre d'une membrane.	Dans le cas où il ne serait pas envisagé d'utiliser le grenier à moyen terme, cette action ne présente pas de contraintes patrimoniales au niveau du plancher, mais supprime son usage.
					Si le grenier est maintenu dans son usage, il convient d'ajouter un sur plancher qui réduira l'espace habitable et utilisable du comble.

C – Isolation de la toiture par l'intérieur

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 24 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur 24 cm d'épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques.	Le comble aménagé accumule la chaleur en été, en plus de celle générée par l'activité humaine qui s'y déroule. De plus, la charpente en bois ne lui apporte aucune inertie. L'inertie de la laine minérale est très faible et ne suffit pas à limiter les surchauffes estivales.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau des rampants de la toiture est annulé.	La laine minérale est très perméable à la vapeur d'eau, mais n'est ni capillaire, ni hygroscopique. De plus, un pare-vapeur n'est pas capable de s'ouvrir pour laisser passer l'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la toiture. Il est à noter que la pose d'un pare-pluie perméable à la vapeur est indispensable pour protéger la charpente et a fortiori l'isolant de la pluie. Sans lui, le risque d'apport d'humidité augmente.	Si la mise en œuvre du pare-pluie nécessite la dépose des tuiles, celles – ci devront être remplacées par des tuiles de récupération ou des tuiles neuves artisanales de dimensions et de formes similaires. La perte de visibilité des chevrons doit être anticipée lors de la pose afin de garantir l'état sanitaire de la charpente. Cette solution permet de conserver le plancher du comble et ne modifie pas les passages de portes, ni le rapport aux allèges de fenêtres.

2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur hygro-variable, épaisseur 24 cm		Le comble aménagé accumule la chaleur en été, en plus de celle générée par l'activité humaine qui s'y déroule. De plus, la charpente en bois ne lui apporte aucune inertie. L'inertie de la ouate de cellulose est faible et limite faiblement les surchauffes estivales.		La ouate de cellulose est très perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la toiture. Il est à noter que la pose d'un pare-pluie perméable à la vapeur est indispensable pour protéger la charpente et a fortiori l'isolant de la pluie. Sans lui, le risque d'apport d'humidité augmente.	L'isolation intérieure des pignons, souvent en pan de bois visibles de l'intérieur, doit être réalisée, mais influe peu sur la perte de surface.
3 – Fibre de bois en rouleau et en panneau et frein-vapeur, épaisseur 24 cm		Le comble aménagé accumule la chaleur en été, en plus de celle générée par l'activité humaine qui s'y déroule. De plus, la charpente en bois ne lui apporte aucune inertie. L'inertie de la fibre de bois est élevée et limite en partie les surchauffes estivales.		La fibre de bois est perméable à la vapeur d'eau mais peu capillaire et peu hygroscopique. De plus, un frein-vapeur laisse passer une certaine quantité d'humidité du côté le plus chaud. Cependant, il y a ici un risque faible d'apport d'humidité, car le risque de percement de la membrane est faible et que l'isolant peut sécher du côté de la toiture. Il est à noter que la pose d'un pare-pluie perméable à la vapeur est indispensable pour protéger la charpente et a fortiori l'isolant de la pluie. Sans lui, le risque d'apport d'humidité augmente.	

D – Isolation de la toiture par l'extérieur

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Polystyrène en panneau, épaisseur 24 cm	Conductivité thermique classique (0,04 W/m.K) pour un isolant. Tous ces isolants ayant la même conductivité thermique et étant posés sur 24 cm d'épaisseur, les consommations énergétiques après rénovation seront identiques.	Le comble aménagé accumule la chaleur en été, en plus de celle générée par l'activité humaine qui s'y déroule. De plus, la charpente en bois ne lui apporte aucune inertie. L'inertie du polystyrène est très faible et ne suffit pas à limiter les surchauffes estivales.	En hiver, grâce à l'isolation, l'effet de paroi froide au niveau des rampants de la toiture est annulé.	Le polystyrène n'est pas perméable à la vapeur et n'est ni capillaire, ni hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau n'est a priori pas capable de gérer cet apport. Cependant, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant tendance à sécher vers l'intérieur. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient.	Cette action nécessite la surélévation de la toiture et modifie la proportion de celle-ci. La surépaisseur n'est pas envisageable, créant un volume de toit trop épais dont l'impact est visible en pignon et sur les murs gouttereaux
2 – Fibre de bois en panneau, épaisseur 24 cm		Le comble aménagé accumule la chaleur en été, en plus de celle générée par l'activité humaine qui s'y déroule. De plus, la charpente en bois ne lui		La fibre de bois est perméable à la vapeur d'eau, mais peu capillaire et peu hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport.	

		apporte aucune inertie. L'inertie de la fibre de bois est élevée et limite en partie les surchauffes estivales.		De plus, le risque d'accumulation d'humidité est plus faible que pour l'isolation par l'intérieur, l'humidité ayant tendance à sécher vers l'intérieur. S'il n'y a pas d'apport d'humidité, ce matériau convient a fortiori.	
3 – Béton de chanvre, épaisseur 24 cm	Conductivité thermique plus élevée que pour un isolant (0,06 W/m.K). À épaisseur égale, le béton de chanvre est moins isolant que les isolants mentionnés plus haut.	Le comble aménagé accumule la chaleur en été, en plus de celle générée par l'activité humaine qui s'y déroule. De plus, la charpente en bois ne lui apporte aucune inertie. L'inertie de la fibre de bois est élevée et limite en partie les surchauffes estivales.		Le béton de chanvre est perméable à la vapeur d'eau, capillaire et hygroscopique. En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, ce matériau est capable de gérer cet apport. De plus, ce matériau ne nécessite pas la mise en œuvre d'une membrane gérant l'apport de vapeur.	

4.5. Fenêtres

A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle	Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre simple vitrage est très faible.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. Le facteur solaire du simple vitrage étant plus élevé que celui du double vitrage, les apports solaires sont plus importants en été et conduisent plus rapidement à des surchauffes.	En hiver, l'effet de paroi froide est très important. Cependant, les apports solaires sont plus élevés en hiver par rapport à un double vitrage du fait du facteur solaire plus faible du simple vitrage.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée.	La conservation et la restauration des châssis existants participe à la préservation des identités des bâtiments et présente un véritable intérêt patrimonial dans le cas de châssis anciens. La conservation des volets assure une pérennité des ouvrages et joue un rôle thermique hiver comme été. Leur entretien est donc important.

B – Conservation des châssis, remplacement des vitrages et maintien des volets existants

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Simple vitrage épais Ug = 3,4 W/m².K	Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre simple vitrage est très faible.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. Le facteur solaire du simple vitrage étant plus élevé que celui du double vitrage, les apports solaires sont plus importants en été et conduisent plus rapidement à des surchauffes.	En hiver, l'effet de paroi froide est très important. Cependant, les apports solaires sont moindres en hiver par rapport à un double vitrage du fait du facteur solaire plus faible du simple vitrage.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée. En cas de mise en œuvre d'une VMC simple-flux, il convient de mettre en place des réglettes d'aération et de soigner leur intégration à la menuiserie. En cas de mise en œuvre d'une VMC double-flux, ces réglettes ne sont pas nécessaires mais une mauvaise maintenance de cette dernière peut conduire à trop assécher ou à trop humidifier l'air intérieur.	Les châssis anciens peuvent être munis de vitrage épais ou patrimonial, sans dénaturer les proportions des menuiseries et en maintenant le clair de vitrage original.
					Dans le cas de fenêtres trop fines et/ou de verres anciens soufflés ou spéciaux, cette action n'est pas envisageable
2 – Double vitrage Ug = 1,1 W/m².K	Coefficient de transmission thermique inférieur à une fenêtre double vitrage. En effet, le coefficient de transmission thermique ne caractérise pas uniquement le vitrage, mais également le châssis, qui, ici, est d'origine et ne saurait rivaliser avec les châssis modernes en termes de performance énergétique.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. Le facteur solaire du double vitrage étant plus élevé que celui du triple vitrage, les apports solaires sont plus importants en été et conduisent plus rapidement à des surchauffes.	Cependant, en hiver, l'effet de paroi froide est, en partie, atténué, le châssis restant inchangé.		Cette action permet une conservation partielle de l'élément d'origine (cadres dormant et ouvrants) cependant les vitrages perdent leur aspect artisanal, et le double vitrage est visible de l'extérieur. L'aspect intérieur du logement n'est pas modifié
					Selon le cas certaines fenêtres n'ont pas les caractéristiques nécessaires à l'insertion de double vitrage (feuillures trop importantes)

C – Ajout de double fenêtres, maintien des volets existants

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Intérieures, châssis en bois, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K	Coefficient de transmission thermique inférieur à une fenêtre double vitrage. En effet, l'espace situé entre les deux vitrages d'une double fenêtre est rempli d'air, moins isolant que l'argon ou d'autres gaz rares que l'on trouve aujourd'hui entre les deux vitrages d'une fenêtre double vitrage.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. La fenêtre extérieure étant difficile d'accès, il sera nécessaire d'installer des protections solaires sur la fenêtre intérieure. Le vide se trouvant entre les deux fenêtres d'une double fenêtre subit un effet de serre, il est donc nécessaire de laisser la fenêtre	En hiver, l'effet de paroi froide est fortement diminué et la fenêtre intérieure peut éventuellement être ouverte pour bénéficier plus amplement des apports solaires.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée. En cas de mise en œuvre d'une VMC simple-flux, il convient de mettre en place des réglettes d'aération et de soigner leur intégration à la menuiserie, et ce, pour les deux fenêtres composant la double fenêtre. En cas de mise en œuvre d'une VMC double-flux, ces réglettes ne sont pas nécessaires mais une mauvaise maintenance de cette dernière peut conduire à trop assécher ou à trop humidifier l'air intérieur.	L'aspect extérieur n'est pas modifié et la mise en place d'une fenêtre à l'intérieur n'est que peu visible de l'extérieur. De plus, cette action est facilement réversible. Cependant, elle modifie fortement l'aspect intérieur du logement. Dans le cas du type III.02, l'épaisseur des murs est rarement suffisante pour permettre la création de la double fenêtre.
2 – Extérieures, châssis en bois, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K					Cette action n'est pas compatible avec les enjeux patrimoniaux et les caractéristiques du type. De plus l'ébrasement extérieur n'étant pas suffisant pour installer le cadre d'une double fenêtre, cela obligerait à la rapporter en façade, par une pose en applique incompatible avec l'identité patrimoniale du type.
3 – Intérieures, châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K	Coefficient de transmission thermique supérieur à une fenêtre double vitrage seule.				L'aspect extérieur n'est pas modifié et la mise en place d'une fenêtre à l'intérieur n'est que peu visible de l'extérieur. De plus, cette action est facilement

		extérieure entrouverte pour éviter les surchauffes			réversible. Cependant, elle modifie fortement l'aspect intérieur du logement. Dans le cas du type III.02, l'épaisseur des murs est rarement suffisante pour permettre la création de la double fenêtre, mais pourrait être intégrée à la mise en œuvre de l'isolant (moins réversible)
4 – Extérieures, châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K					Cette action n'est pas compatible avec les enjeux et les caractéristiques du type. De plus l'ébrasement extérieur n'étant pas suffisant pour installer le cadre d'une double fenêtre, cela obligerait à la rapporter en façade, par une pose en applique incompatible avec l'identité patrimoniale du type.
5 – Intérieures, châssis en aluminium ou PVC, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K	Coefficient de transmission thermique inférieur à une fenêtre double vitrage. En effet, l'espace situé entre les deux vitrages d'une double fenêtre est rempli d'air, moins isolant que l'argon ou d'autres gaz rares que l'on trouve aujourd'hui entre les deux vitrages d'une fenêtre double vitrage.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. La fenêtre extérieure étant	En hiver, l'effet de paroi froide est fortement diminué et la fenêtre intérieure peut éventuellement être ouverte pour bénéficier plus amplement des apports solaires.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée. En cas de mise en œuvre d'une VMC simple-flux, il convient de mettre en place des réglettes d'aération et de soigner leur intégration à la menuiserie, et ce, pour les deux fenêtres composant la double fenêtre.	L'aspect extérieur n'est pas modifié et la mise en place d'une fenêtre à l'intérieur n'est que peu visible de l'extérieur. De plus, cette action est facilement réversible. Cependant, elle modifie fortement l'aspect intérieur du logement. Dans le cas du type III.02, l'épaisseur des murs est rarement suffisante pour permettre la création de la double fenêtre, mais pourrait

		difficile d'accès, il sera nécessaire d'installer des protections solaires sur la fenêtre intérieure. Le vide se trouvant entre les deux fenêtres d'une double fenêtre subit un effet de serre, il est donc nécessaire de laisser la fenêtre extérieure entrouverte pour éviter les surchauffes		En cas de mise en œuvre d'une VMC double-flux, ces réglettes ne sont pas nécessaires mais une mauvaise maintenance de cette dernière peut conduire à trop assécher ou à trop humidifier l'air intérieur.	être intégrée à la mise en œuvre de l'isolant.(moins réversible)
6 – Extérieures, châssis en aluminium ou PVC, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K					Ces châssis ne sont pas adaptés à des maisons anciennes. Ni la section des profils, ni la proportion des vitrages ne peuvent convenir à leur emploi, il est impossible de reproduire les moulurations et les petits bois strictement à l'identique.
7 – Intérieures, châssis en aluminium ou PVC, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K	Coefficient de transmission thermique supérieur à une fenêtre double vitrage seule.				L'aspect extérieur n'est pas modifié et la mise en place d'une fenêtre à l'intérieur n'est que peu visible de l'extérieur. De plus, cette action est facilement réversible. Cependant, elle modifie fortement l'aspect intérieur du logement. Dans le cas du type III.02, l'épaisseur des murs est rarement suffisante pour permettre la création de la double fenêtre, mais pourrait être intégrée à la mise en œuvre de l'isolant.
8 – Extérieures, châssis en aluminium ou PVC, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K					Ces châssis ne sont pas adaptés à des maisons anciennes. Ni la section des profils, ni la proportion des vitrages ne peuvent convenir à leur emploi, il est impossible de reproduire les moulurations et les petits bois strictement à l'identique.

D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois	Coefficient de transmission thermique classique pour une fenêtre double vitrage.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. Le facteur solaire du double vitrage étant plus élevé que celui du triple vitrage, les apports solaires sont plus importants en été et conduisent plus rapidement à des surchauffes.	En hiver, l'effet de paroi froide est fortement diminué par rapport à un simple vitrage.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée. En cas de mise en œuvre d'une VMC simple-flux, il convient de mettre en place des réglettes d'aération et de soigner leur intégration à la menuiserie. En cas de mise en œuvre d'une VMC double-flux, ces réglettes ne sont pas nécessaires mais une mauvaise maintenance de cette dernière peut conduire à trop assécher ou à trop humidifier l'air intérieur.	Le remplacement des châssis de la seconde moitié du XX^{e} siècle est envisageable. Les nouveaux châssis bois seront munis de petits bois rapportés et insertion d'intercalaires dans le vitrage. Cette disposition conserve une partie des proportions d'origine. Cependant les châssis actuels présentent des sections plus importantes que les anciens et réduisent donc le clair de vitrage et l'éclairage naturel des pièces.
1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K b – sans petits-bois					La suppression des petits bois appauvrit le dessin de la façade.
2 – Châssis en PVC ou aluminium, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois					Ces châssis ne sont pas adaptés à des maisons anciennes, car les profils, moulures et assemblages ne sont pas reproduits à l'identique. Enfin la matérialité, blanc ou imitation bois n'est en aucun cas envisageable pour maintenir les qualités patrimoniales des façades en pan de bois. L'aspect est souvent brillant ou lisse. Dans le cas du pan de bois, les déformations de celui-ci peuvent entraîner des cassures dans le
2 – Châssis en PVC ou aluminium, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K b – sans petits-bois					

					plastique.
3 – Châssis en bois, triples vitrage Uw = 0,9 W/m².K a – avec petits-bois	Coefficient de transmission thermique plus élevé que le double vitrage. Cependant, le facteur solaire étant plus élevé pour un triple vitrage, les apports solaires sont plus faibles en hiver et il faut donc compenser par le chauffage. Au final, il est probable que la diminution des consommations énergétiques due au triple vitrage ne soit pas si différence de celle du double vitrage.	Sans protection solaire adéquate et sans une gestion adéquate de ces dernières par l'occupant (fermer les volets aux heures les plus chaudes de la journée, etc.), des surchauffes estivales seront à craindre. Le facteur solaire du triple vitrage étant plus faible que celui du double vitrage, les apports solaires sont moins importants en été et conduisent moins rapidement à des surchauffes.	En hiver, l'effet de paroi froide est encore diminué par rapport à un double vitrage. Cependant, les apports solaires sont moindres en hiver par rapport à un double vitrage du fait du facteur solaire plus faible du triple vitrage.		La réalisation de châssis bois munis de verre en triple vitrage pose des problèmes de tenue et augmentent encore la section des profils. La mise en place de petits bois permet de garder le découpage d'origine mais l'impact du cadre sur la proportion des fenêtres est important. Les fenêtres des maisons à pan de bois sont généralement de petites dimensions, ce qui réduirait considérablement le clair de vitrage et l'éclairage et donc la qualité du confort intérieur
3 – Châssis en bois, triple vitrage Uw = 0,9 W/m².K b – sans petits-bois					Les proportions d'un châssis triple vitrage sont incompatibles avec la taille des ouvertures et les dimensions des cadres originaux du type III.02
4 – Châssis en PVC ou aluminium, triple vitrage Uw = 0,9 W/m².K a – avec petits-bois					Les châssis ne sont pas adaptés à des maisons anciennes, car les profils, moulures et assemblages ne sont pas reproduits à l'identique. Enfin la matérialité, blanc ou imitation bois n'est en aucun cas envisageable pour maintenir les qualités patrimoniales des façades en pan de bois.
4 – Châssis en PVC ou aluminium, triple vitrage Uw = 0,9 W/m².K b – sans petits-bois					

4.6. Porte extérieure du logement

A – Amélioration de l'étanchéité à l'air

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle	Le coefficient de transmission thermique d'une porte en bois avec des fenêtres en simple vitrage est très faible.	Le travail sur le calfeutrement du vitrage et du châssis engendrera une diminution de la pénétration de l'air chaud à l'intérieur du logement.	L'effet de paroi froide est important aux abords de la porte, du fait du simple vitrage et du châssis en bois non isolant.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée.	Conservation des menuiseries existantes et des modénatures si elles existent.

B – Remplacement du dormant de la porte

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Conservation de la porte avec modification du dormant et ajout de joints périphérique	Le coefficient de transmission thermique d'une porte en bois avec des fenêtres en simple vitrage est très faible.	Le travail sur le calfeutrement du vitrage et du châssis engendrera une diminution de la pénétration de l'air chaud à l'intérieur du logement.	L'effet de paroi froide est important aux abords de la porte, du fait du simple vitrage et du châssis en bois non isolant.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée.	Remplacement du dormant et conservation de l'ouvrant pour améliorer l'étanchéité entre les deux.

C – Remplacement du vitrage de la porte

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Simple vitrage épais Ug = 3,4 W/m².K	Le coefficient de transmission thermique d'une porte en bois avec des fenêtres en simple vitrage est très faible.	Le travail sur le calfeutrement du vitrage engendrera une diminution de la pénétration de l'air chaud à l'intérieur du logement. Ce travail devra également être réalisé sur le châssis pour une meilleure efficacité.	L'effet de paroi froide sera faiblement atténué aux abords de la porte.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée.	Les châssis anciens peuvent être munis de vitrage épais ou patrimonial, sans dénaturer les proportions des menuiseries et en maintenant le clair de vitrage original (sauf si présence de verres anciens soufflés ou spéciaux)
2 – Double vitrage Ug = 1,1 W/m².K	Coefficient de transmission thermique inférieur à une porte à âme isolante. En effet, le coefficient de transmission thermique ne caractérise pas uniquement le vitrage, mais également le châssis, qui, ici, est d'origine et ne saurait rivaliser avec les châssis modernes en termes de performance énergétique.		L'effet de paroi froide sera atténué grâce au double vitrage aux abords de la porte. Mais le châssis reste un point faible de l'enveloppe du logement.		Cette action permet une conservation partielle de l'élément d'origine (cadres dormant et ouvrants de la porte) cependant les vitrages perdent leur aspect artisanal, et le double vitrage est visible de l'extérieur. De plus, elle ne modifie pas l'aspect intérieur du logement.

					Selon le cas certaines fenêtres n'ont pas les caractéristiques nécessaires à l'insertion de double vitrage (feuillures trop importantes)

D – Remplacement de la porte

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K	Coefficient de transmission thermique classique pour une porte à âme isolante.	Une porte à âme isolante va diminuer la pénétration de chaleur en été.	Une porte à âme isolante va atténuer l'effet de paroi froide en hiver.	Le logement est rendu plus étanche à l'air, ce qui peut engendrer des moisissures sur les murs et une diminution de la qualité de l'air si l'humidité intérieure n'est pas évacuée par une ventilation contrôlée.	Les portes extérieures sont souvent des éléments importants de la façade. Mais pour le type III.02, les portes du logement ne donnent pas toujours directement sur la rue, elles doivent néanmoins faire l'objet d'attention particulière lorsqu'elles sont ouvragées.
					Si les portes sont en façade, leur remplacement est une perte d'élément à valeur patrimoniale car supprime les dispositions d'origine, et altère les façades
2 – Châssis en PVC ou aluminium, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K					Les portes en menuiseries plastiques ne peuvent s'intégrer harmonieusement dans les façades, car les modénatures, profils et assemblages, ainsi que les l'aspect du matériau d'origine, en surface et épaisseur, ne sont pas reproduits

4.7. Ventilation

A – Conservation de l'existant

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Ventilation par ouverture des fenêtres et par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe	Ouvrir les fenêtres pour un bref laps de temps ne consomme pas d'énergie, mais oublier de les refermer peut conduire à des consommations de chauffage plus importantes, surtout si le système de chauffage n'est pas arrêté à l'ouverture.	L'introduction d'air extérieur chaud, au travers de l'ouverture des fenêtres, peut éventuellement diminuer le confort d'été.	De la même manière, en hiver, l'introduction d'air extérieur froid, au travers de l'ouverture des fenêtres, augmente l'effet de paroi froide.	L'ouverture des fenêtres ne permet pas une ventilation générale et permanente du logement et est trop tributaire du comportement de l'occupant pour être efficace. De plus, l'isolation ou la correction thermique de tout ou partie de l'enveloppe conduit à son étanchéification. Celle-ci peut être à l'origine d'une dégradation de la qualité de l'air intérieur, mais aussi d'une augmentation de l'humidité intérieure, ce qui peut se traduire par un développement de moisissures à la surface et dans les murs. C'est pourquoi, dans le cadre d'une rénovation thermique, il n'est pas envisageable de ventiler le logement par ouverture de fenêtres uniquement.	L'absence d'action sur la ventilation n'altère pas la conservation des éléments architecturaux, sauf dans le cas de remplacement des châssis de fenêtres risquant d'occasionner des désordres intérieurs si la ventilation naturelle n'est pas réalisée manuellement.

B – VMC

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Simple-	Le principe d'une VMC est de	Une VMC simple-	La nécessité de	Sous réserve d'un entretien correct	L'extracteur et les gaines qui y sont

flux	remplacer l'air intérieur vicié par de l'air extérieur neuf. La VMC simple-flux procède directement à ce remplacement. De ce fait, en hiver, l'air extérieur neuf est froid et doit donc être réchauffé à la température ambiante, ce qui entraîne des consommations énergétiques importantes. De plus, la VMC étant équipée d'un moteur pour l'extraction, elle consomme de l'électricité.	flux n'influence pas plus le confort d'été que dans la situation initiale. L'introduction d'air extérieur chaud, au travers des réglettes d'aération, peut éventuellement diminuer le confort d'été.	mettre en place des réglettes d'aération dans les fenêtres crée des courants d'air inconfortables aux abords de celles-ci, surtout en hiver.	de la VMC, celle-ci a pour but de remplacer l'air intérieur vicié, c'est-à-dire chargé en polluant (COV, CO_2) et en humidité, par de l'air extérieur neuf. Le taux minimal de renouvellement de l'air est fixé par un arrêté.	reliées se situent dans les pièces servantes et ne constituent donc pas un problème. Cependant, pour le bon fonctionnement du système, des réglettes d'aération devront être mises en place sur les fenêtres, qu'elles soient d'origine ou neuves. Une attention particulière devra être apportée à l'insertion de ces réglettes, des solutions pour les masquer derrière les dormants sont possibles.
2 – Double-flux avec échangeur de chaleur et by-pass	La VMC double-flux procède au remplacement de l'air intérieur vicié au travers d'un échangeur de chaleur, qui permet un échange de chaleur avec l'air extérieur neuf. Ainsi, en hiver, ce dernier est amené à l'intérieur du logement avec une température proche de la température de l'air intérieur. Cependant, les consommations énergétiques d'une VMC double-flux sont forcément plus élevées puisqu'elle dispose de deux moteurs, un pour l'extraction et un pour l'insufflation, contre un seul pour la simple-flux.	En été, un dispositif appelé by-pass permet de court-circuiter l'échangeur de chaleur afin qu'il ne transmette pas la chaleur de l'air extérieur à l'air intérieur. Enfin, par un réglage du système, il est possible de sur-ventiler la nuit en été afin d'évacuer les calories accumulées durant la journée.	Pour un bon fonctionnement de la VMC double-flux, il est nécessaire de ne pas ouvrir les fenêtres en hiver afin de ne pas dérégler le système. Par rapport à la VMC simple-flux, un tel système ne provoque pas de courant d'air puisqu'il n'y a pas de réglettes d'aération.		Le principal avantage de la VMC double-flux est qu'elle ne nécessite pas la mise en place de réglettes d'aération. Lorsque le plafond ne présente pas de moulures d'intérêt patrimonial, un faux-plafond peut être mis en œuvre afin de dissimuler les gaines. Pour le type III.02, la hauteur sous plafond est trop faible pour permettre la mise en place d'un faux-plafond.

4.8. Chauffage et production d'ECS

A – Conservation de l'existant

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Chaudière fioul vétuste	Le rendement de l'installation de chauffage actuel est très faible (70 %). Dans ces conditions, il est nécessaire d'opter pour un équipement plus performant. L'isolation des parois devra d'abord être envisagée afin de réduire les besoins de chauffage. Changer la chaudière avant de réduire les besoins de chauffage conduit en effet à sur-dimensionner l'installation de chauffage, ce qui diminue considérablement le rendement de cette dernière.	Ni le type de chaudière, ni le type de radiateur n'ont une influence sur le confort d'été.	Le confort est donc adéquat en hiver.	Ni le type de chaudière, ni le type de radiateur n'ont une influence sur l'humidité.	L'absence d'action n'est en rien préjudiciable à la conservation des éléments architecturaux.

B – Chaudière à condensation

Actions	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
1 – Réutilisation des émetteurs existants	Le rendement d'une chaudière à condensation est l'un des meilleurs parmi tous les systèmes de chauffage et de production d'ECS. En effet, il permet de récupérer à la fois la chaleur de la combustion, et	Ni le type de chaudière, ni le type de radiateur n'ont une influence sur le confort d'été.	Le confort d'hiver dépend des émetteurs : il s'agit de radiateurs à eau en acier, qui procurent une	Ni le type de chaudière, ni le type de radiateur n'ont une influence sur l'humidité.ave	Dans la plupart des cas, un système de chauffage central a été mis en place au cours du siècle dernier. Si les radiateurs sont encore en bon état, il suffit de raccorder la chaudière à condensation au circuit et au ballon déjà existants. L'impact

	celles des fumées dégagées par ces dernières.		température uniforme dans la pièce et qui fonctionnent par rayonnement (pas de courants d'air). Le confort est donc adéquat en hiver.		sur le patrimoine est donc négligeable, si la chaudière est raccordée à un conduit de fumée existant dans les règles de l'art La pose d'une chaudière avec ventouse en façade n'est pas compatible avec les enjeux du type.

4.9. Synthèse

Ce tableau présente la synthèse des actions adaptées ou non au type III.02. Rappelons que les actions non adaptées se sont vues attribuées la couleur rouge sur l'un au moins des critères étudiés.

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Murs donnant sur l'extérieur	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air, y compris cloisons et refends	1 – Reprises d'enduit ou plâtres dégradés, rejointoiement de moellons ou de briques, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (planchers, passage de gaines)					
	B – Correction thermique intérieure, y compris cloisons et refends	1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 6 cm					
		2 – Enduit chaux-chanvre, épaisseur 6 cm					
		3 – Béton de chanvre, épaisseur 15 cm					
	C – Remplacement du remplissage du pan de bois, y compris cloisons et refends	1 – Béton de chanvre, épaisseur variable					
	D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur, épaisseur 15 cm					
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur hygro-variable, épaisseur 15 cm					
		3 – Mousse minérale en bloc, épaisseur 15 cm					
		4 – Liège en panneau, épaisseur 15 cm					

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
		~~5 – Polystyrène en panneau, épaisseur 15 cm~~					
	E – Correction thermique extérieure	1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 3 cm					
		2 – Enduit chaux-chanvre, épaisseur 3 cm					
	~~F – Isolation par l'extérieur~~	~~1 – Polystyrène en panneau, épaisseur 15 cm~~					
		~~2 – Fibre de bois en panneau, épaisseur 15 cm~~					
		~~3 – Liège en panneau, épaisseur 15 cm~~					
Cloisons et refends donnant sur des espaces-tampons uniquement	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Reprises d'enduit ou plâtres dégradés, rejointoiement de moellons ou de briques, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (planchers, passage de gaines)					
	B – Correction thermique intérieure	1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 6 cm					
		2 – Enduit chaux-chanvre, épaisseur 6 cm					
		3 – Béton de chanvre, épaisseur 15 cm					
	C – Remplacement du remplissage du pan de bois	1 – Béton de chanvre, épaisseur variable					
	D – Isolation par l'intérieur	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur, épaisseur 15 cm					

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur hygro-variable, épaisseur 15 cm					
		3 – Mousse minérale en bloc, épaisseur 15 cm					
		4 – Liège en panneau, épaisseur 15 cm					
		~~5 – Polystyrène en panneau, épaisseur 15 cm~~					
Plancher bas	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Rejointoiement des lames et reprises ponctuelles, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (murs, passage de gaines)					
	B – Isolation en sous-face	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm					
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm					
	C – Isolation dans le plancher existant	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm					
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm					
	~~D – Isolation sur le plancher existant~~	~~1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm~~					
		~~2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm~~					
	E – Isolation sur dalle (sol drainé et ventilé sous la dalle)	Sans objet.					
	F – Isolation (ou	Sans objet.					

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
	correction thermique) sur terre plein						
Plancher haut	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					
	B – Isolation du plancher du grenier par le dessus	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 28 cm					
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm					
		3 – Fibre de bois en panneau et frein-vapeur, épaisseur 28 cm					
		4 – Béton de chanvre, épaisseur 28 cm					
	C – Isolation de la toiture par l'intérieur	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 24 cm					
		2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur hygro-variable, épaisseur 24 cm					
		3 – Fibre de bois en rouleau et en panneau et frein-vapeur, épaisseur 24 cm					
	~~D – Isolation de la toiture par l'extérieur~~	~~1 – Polystyrène en panneau, épaisseur 24 cm~~					
		~~2 – Fibre de bois en panneau, épaisseur 24 cm~~					
		~~3 – Béton de chanvre, épaisseur 24 cm~~					
Fenêtres	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					
	B – Conservation des châssis, remplacement des vitrages et maintien des volets existants	1 – Simple vitrage épais Ug = 3,4 W/m².K					
		2 – Double vitrage Ug = 0,9 W/m².K					

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
	C – Ajout de double fenêtres, maintien des volets existants	1 – Intérieures, châssis en bois, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K					
		~~2 – Extérieures, châssis en bois, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K~~					
		3 – Intérieures, châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K					
		~~4 – Extérieures, châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K~~					
		5 – Intérieures, châssis en aluminium ou PVC, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K					
		~~6 – Extérieures, châssis en aluminium ou PVC, simple vitrage Uw = 2,4 W/m².K~~					
		7 – Intérieures, châssis en aluminium ou PVC, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K					
		~~8 – Extérieures, châssis en aluminium OU PVC, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K~~					
	D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants	1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois					
		~~b – sans petits-bois~~					
		~~2 – Châssis en plastique ou aluminium, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K~~ ~~a – avec petits-bois~~					
		~~b – sans petits-bois~~					
		3 – Châssis en bois, triple vitrage Uw = 0,9 W/m².K a – avec petits-bois					
		~~b – sans petits-bois~~					
		~~4 – Châssis en plastique ou aluminium, triple vitrage Uw = 0,9 W/m².K~~ ~~a – avec petits-bois~~					
		~~b – sans petits-bois~~					
Porte extérieure	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
du logement	B – Remplacement du dormant de la porte	1 – Conservation de la porte avec modification du dormant et ajout de joints périphérique					
	C – Remplacement du vitrage de la porte	1 – Simple vitrage épais Ug = 3,4 W/m².K					
		2 – Double vitrage Ug = 0,9 W/m².K					
	D – Remplacement de la porte	1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K					
		~~2 – Châssis en plastique ou aluminium, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K~~					
Ventilation	A – Conservation de l'existant	~~1 – Ventilation par ouverture des fenêtres et par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe~~					
	B – VMC	1 – Simple-flux					
		~~2 – Double flux avec récupérateur de chaleur et by pass~~					
Chauffage et ECS	A – Conservation de l'existant	~~1 – Chaudière fioul vétuste~~					
	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants					

5. Construction des bouquets d'actions adaptés suivant trois scénarios

L'analyse multi-critère qualitative sur l'ensemble des actions possibles a permis l'élimination d'un certain nombre d'actions inadaptées au type III.02, celles présentant une ou plusieurs cases rouges.

Les actions adaptées peuvent désormais être assemblées en bouquets d'actions.

Pour définir le contenu de ces bouquets d'actions, nous avons sélectionné trois scénarios qui illustrent trois conceptions différentes de la rénovation énergétique :

- SCENARIO 1 : privilégier le gain énergétique ;
- SCENARIO 2 : agir sur les pertes de chaleur les plus importantes ;
- SCENARIO 3 : privilégier la conservation du patrimoine.

Des algorithmes ont été définis, afin de sélectionner les actions traduisant le mieux la conception de la rénovation énergétique véhiculées par le scénario. Les bouquets d'actions présentés ci-dessous sont le fruit de ces algorithmes.

Pour plus de précisions sur ces scénarios, voir le rapport méthodologique de la phase 2.

À noter que pour le scénario 1 privilégiant le gain énergétique, nous proposerons également une variante.

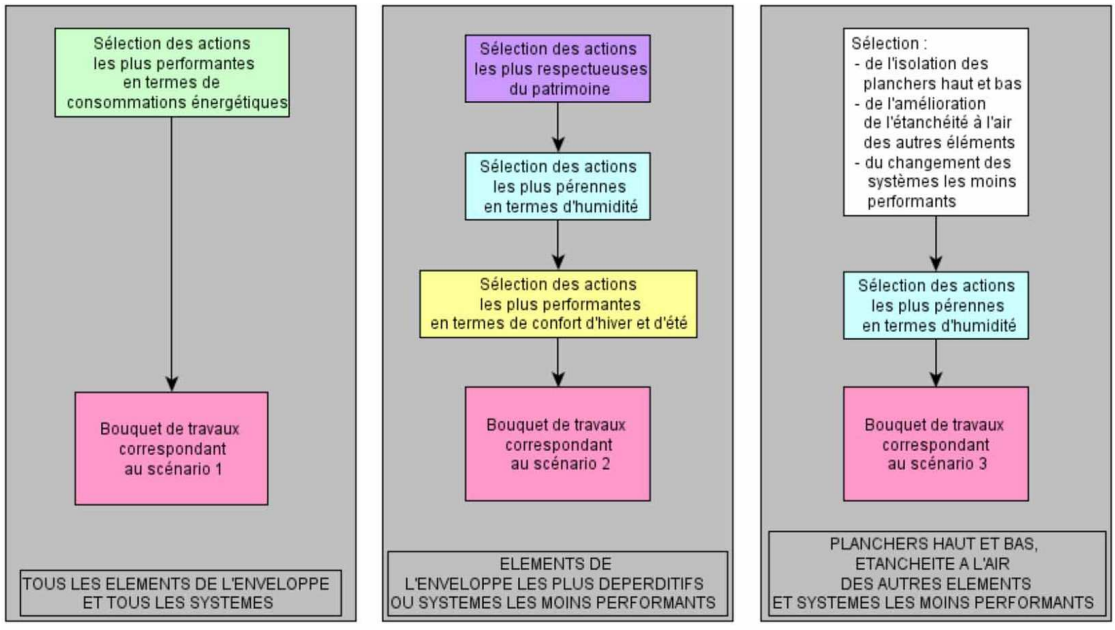


Illustration 9 : Algorithme des trois scénarios (source : Cerema)

5.1. Scénario 1

Rappelons que les actions sélectionnées pour chacun des éléments ou systèmes sont les suivantes :

– les plus performantes en termes de gain énergétique.

Dans ce scénario, le comble est aménagé, ce qui implique les modifications suivantes :

– l'isolation des rampants et du sur-comble ;

– l'installation de 4 fenêtres de toit de type Velux aux dimensions standards ;

– l'installation d'un réseau de chauffage et d'électricité dans le comble.

Afin de pouvoir comparer les différentes variantes entre elles, il a été décidé de faire également apparaître des coûts hors aménagement et isolation du comble, qui seront donc divisés par la surface habitable hors aménagement du comble, soit 90 m² au lieu de 130 m².

Scénario 1

Construction du bouquet d'actions

Élément ou système	Technique	Action
Murs donnant sur l'extérieur	**D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends**	**3 – Mousse minérale en bloc, épaisseur 15 cm**
Plancher bas	**B – Isolation en sous-face**	**2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm**
Plancher haut	**C – Isolation de la toiture par l'intérieur**	**3 – Fibre de bois en rouleau et en panneau et frein-vapeur, épaisseur 24 cm**
Fenêtres	**D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants**	**1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K** **a – avec petits-bois**
Porte extérieure du logement	**D – Remplacement de la porte**	**1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K**
Ventilation	**B – VMC**	**1 – Simple-flux**
Chauffage et ECS	**B – Chaudière à condensation**	**1 – Réutilisation des émetteurs existants**

Illustration 10: Synthèse des actions pour le scénario 1

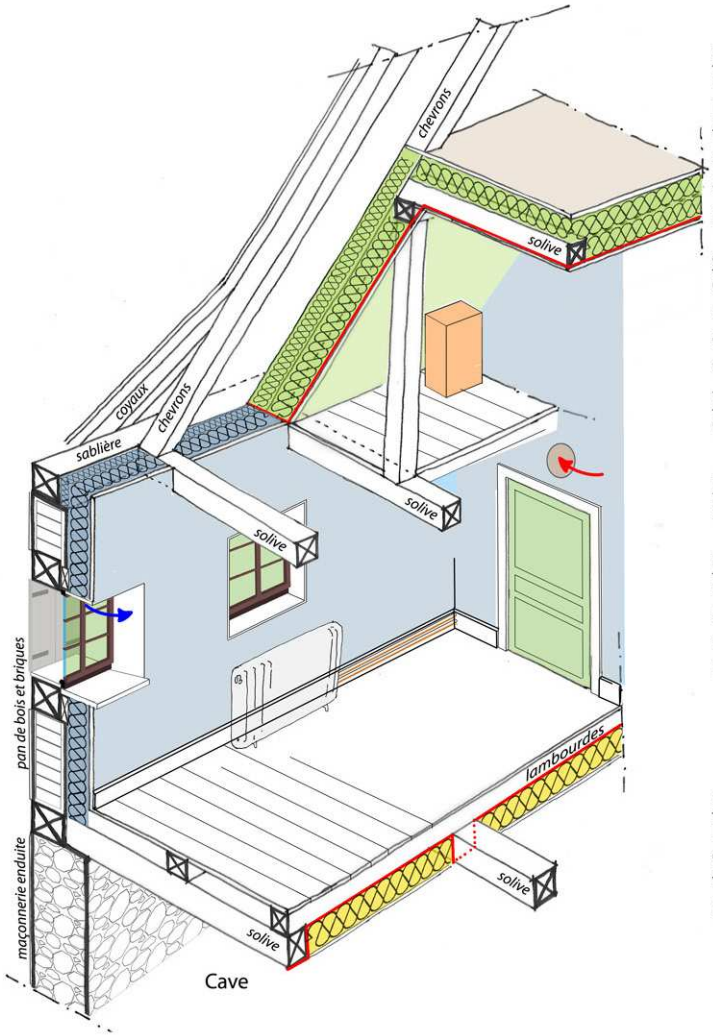
Cloisons et refends donnant sur des espaces tampons
Isolation par l'intérieur,
mousse minérale en bloc,
épaisseur 10 cm
U = 0,35 W/m².K
plâtre traditionnel

Murs donnant sur l'extérieur
Isolation par l'intérieur,
mousse minérale en bloc,
épaisseur 15 cm
U = 0,24 W/m².K
plâtre traditionnel

Fenêtres
Remplacement des fenêtres,
châssis en bois,
Double vitrage Uw = 1,3 W/m².K
avec petits-bois, profils à l'identique
maintien des volets existants,

Travaux induits
Dépose / repose des plinthes,
des radiateurs,
modifications électriques,
sujétions autour des moulures du plafond
décoration des murs
aménagement du comble

LEGENDE
- Frein Vapeur hygro-variable
- Ouate de cellulose
- Fibre de bois
- Mousse minérale
- Entrées d'air
- Bouche VMC



Plancher du surcomble
Plancher conservé
Isolation de la toiture par l'intérieur,
fibre de bois en rouleau et
en panneau et frein-vapeur,
épaisseur 24 cm, U = 0,15 W/m².K
panneaux de bois

Chauffage et ECS
Chaudière neuve à condensation
réutilisation des émetteurs
et des conduits de fumée existants
dans les règles de l'art

Ventilation
Création d'une VMC Simple-flux

Plancher haut
Plancher et plafond conservé

Porte extérieure du logement
Remplacement de la porte,
châssis en bois âme isolante,
moulures à l'identique
Ud = 1,3 W/m².K

Plancher bas
Isolation en sous-face,
ouate de cellulose en vrac et
frein-vapeur, épaisseur 12 cm
U = 0,28 W/m².K

Variante du scénario 1

Construction du bouquet d'actions

Élément ou système	Technique	Action
Murs donnant sur l'extérieur	D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur, épaisseur 15 cm
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm
Plancher haut	C – Isolation de la toiture par l'intérieur	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 24 cm
Fenêtres	D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants	1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois
Porte extérieure du logement	D – Remplacement de la porte	1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants

Illustration 11: Synthèse des actions pour la variante du scénario 1

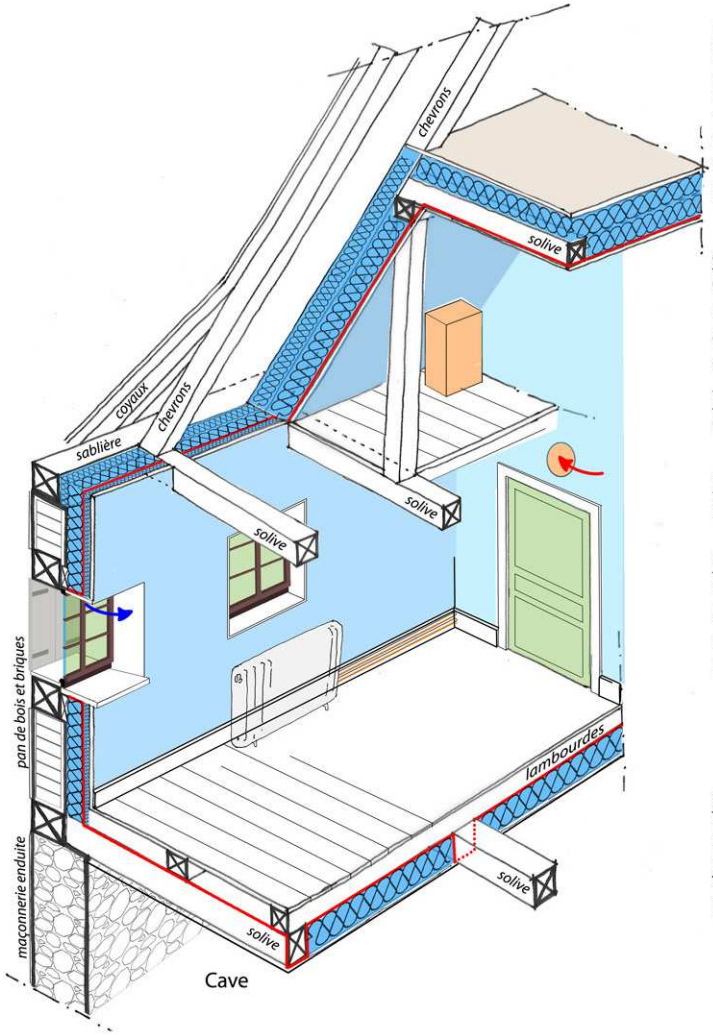
Cloisons et refends donnant sur des espaces tampons
Isolation par l'intérieur,
laine minérale,
épaisseur 10 cm
U = 0,35 W/m².K
plaques de plâtre

Murs donnant sur l'extérieur
Isolation par l'intérieur,
laine minérale,
épaisseur 15 cm
U=0,24 W/m².K
plaques de plâtre

Fenêtres
Remplacement des fenêtres,
châssis en bois,
Double vitrage Uw = 1,3 W/m².K
avec petits-bois, profils à l'identique
maintien des volets existants,

Travaux induits
Dépose / repose des plinthes,
des radiateurs,
modifications électriques,
sujétions autour des moulures du plafond
décoration des murs
aménagement du comble

LEGENDE
- Frein Vapeur
- Ouate de cellulose
- Fibre de bois
- Mousse minérale
- Entrées d'air
- Bouche VMC



Plancher du surcomble
Plancher conservé
Isolation de la toiture par l'intérieur,
laine minérale en rouleau et
en panneau et frein-vapeur,
épaisseur 24 cm, U= 0,15 W/m².K
panneaux de bois

Chauffage et ECS
Chaudière neuve à condensation
réutilisation des émetteurs
et des conduits de fumée existants
dans les règles de l'art

Ventilation
Création d'une VMC Simple-flux

Plancher haut
Plancher et plafond conservé

Porte extérieure du logement
Remplacement de la porte,
châssis en bois âme isolante,
moulures à l'identique
Ud = 1,3 W/m².K

Plancher bas
Isolation en sous-face,
laine minérale et
frein-vapeur, épaisseur 12 cm
U=0,28 W/m².K

5.2. Scénario 2

Les pertes de chaleur du type III.02 se font principalement par les murs donnant sur l'extérieur, suivi des planchers haut et bas. À eux seuls, ils représentent 75 % des déperditions. Il est donc nécessaire d'agir sur ces éléments en priorité.

Rappelons que, sur ces trois éléments, les actions sélectionnées sont les suivantes :

- les plus respectueuses du patrimoine ;
- puis, les moins risquées en termes d'humidité ;
- puis, les plus performantes en termes de confort.

Dans ce scénario, le comble n'a pas été aménagé. De manière à permettre une comparaison réaliste avec les variantes où le comble est aménagé (et pour lequel il a été décidé de ne pas inclure les coûts dus à l'aménagement et isolation du comble), les coûts seront également calculés hors isolation du plancher du grenier.

Construction du bouquet d'actions

Élément ou système	Technique	Action
Murs donnant sur l'extérieur	**B – Correction thermique intérieure, y compris cloisons et refends**	**1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 6 cm**
Plancher bas	**B – Isolation en sous-face**	**2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm**
Plancher haut	**B – Isolation du plancher du grenier**	**2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm**
Fenêtres	**A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants**	**1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle**
Porte extérieure du logement	**A – Amélioration de l'étanchéité à l'air**	**1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle**
Ventilation	**B – VMC**	**1 – Simple-flux**
Chauffage et ECS	**B – Chaudière à condensation**	**1 – Réutilisation des émetteurs existants**

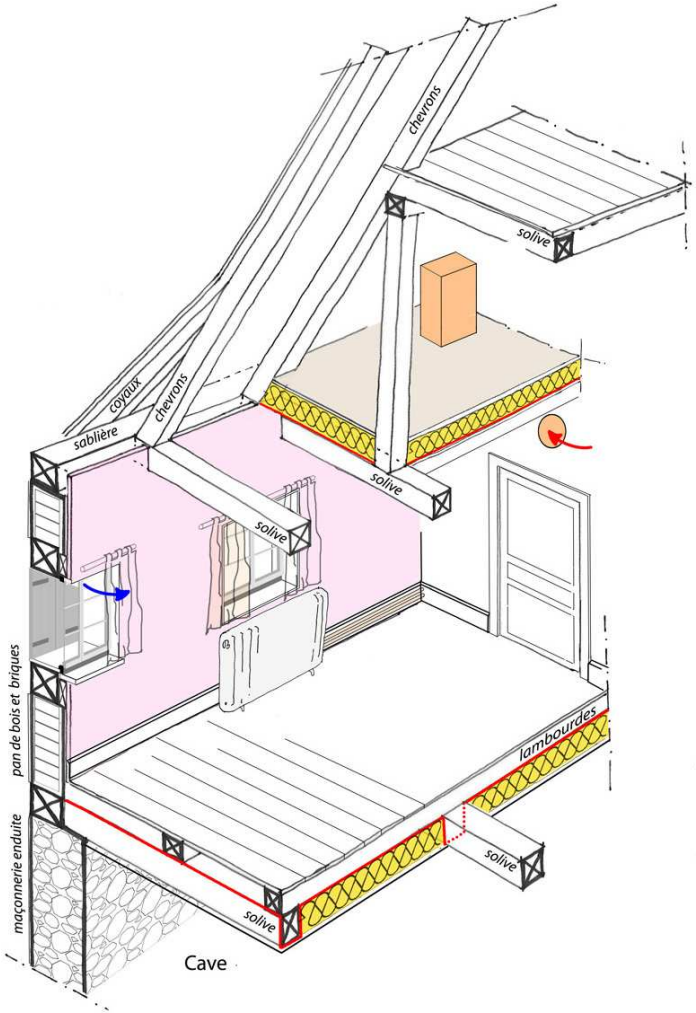
Illustration 12: Synthèse des actions pour le scénario 2

Cloisons et refends donnant sur des espaces tampons
Amélioration de l'étanchéité à l'air

Murs donnant sur l'extérieur
Isolation par l'intérieur,
enduit isolant perspirant,
épaisseur 6 cm
U = 0,6 W/m².K

Fenêtres:
Fenêtres existantes conservées
Volets conservés

Travaux induits
Dépose / repose des plinthes,
des radiateurs,
modifications électriques
décoration des murs



LEGENDE
- Frein Vapeur
- Ouate de cellulose
- Enduit isolant "perspirant"
- Entrées d'air
- Bouche VMC

Plancher du surcomble
Conservation du plancher existant

Chauffage et ECS
Chaudière neuve à condensation
Réutilisation des émetteurs
et des conduits de fumée existants
dans les règles de l'art

Plancher haut
Isolation du plancher par le comble
Ouate de cellulose et frein-vapeur,
épaisseur 24 cm U = 0,13 W/m².K
panneaux bois

Ventilation
Création d'une VMC Simple-flux

Porte extérieure du logement
Porte conservée

Plancher bas
Plancher conservé
Isolation en sous-face,
ouate de cellulose et
frein-vapeur, épaisseur 12 cm
U = 0,28 W/m².K

5.3. Scénario 3

Le scénario 3 privilégie la conservation patrimoniale. Il agit sur les éléments dont l'amélioration thermique ou le changement n'impacte que peu la valeur patrimoniale du logement, à savoir l'amélioration de l'étanchéité à l'air, l'isolation du plancher haut et du plancher bas. Puis, quand un choix entre deux actions s'imposent, le choix se porte sur les plus pérennes en termes d'humidité.

Construction du bouquet d'actions

Élément ou système	Technique	Action
Murs donnant sur l'extérieur	**A – Amélioration de l'étanchéité à l'air, y compris cloisons et refends**	**1 – Reprises d'enduit ou plâtres dégradés, rejointoiement de moellons ou de briques, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (planchers, passage de gaines)**
Plancher bas	**B – Isolation en sous-face**	**2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm**
Plancher haut	**B – Isolation du plancher du grenier**	**2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm**
Fenêtres	**A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants**	**1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle**
Porte extérieure du logement	**A – Amélioration de l'étanchéité à l'air**	**1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle**
Ventilation	**B – VMC**	**1 – Simple-flux**
Chauffage et ECS	**B – Chaudière à condensation**	**1 – Réutilisation des émetteurs existants**

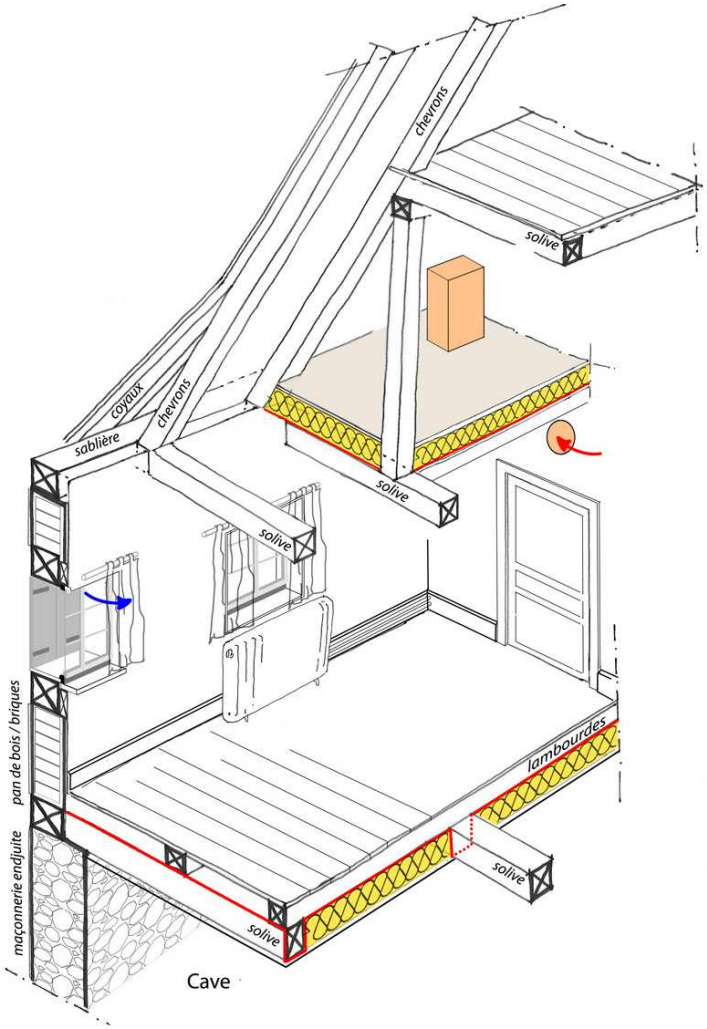
Illustration 13: Synthèse des actions pour le scénario 3

Cloisons et refends donnant sur des espaces tampons
Amélioration de
'étanchéité à l'air

Murs donnant sur l'extérieur
Amélioration de
l'étanchéité à l'air

Fenêtres:
Fenêtres existantes conservées
Volets conservés

Travaux induits
Pas de travaux induits



LEGENDE
- Frein Vapeur
- Ouate de cellulose
- entrée d'air
- Bouche VMC

Plancher du surcomble
Conservation du plancher existant

Chauffage et ECS
Chaudière neuve à condensation
Réutilisation des émetteurs
et des conduits de fumée existants
dans les règles de l'art

Plancher haut
Isolation du plancher par le comble
Ouate de cellulose et frein-vapeur,
épaisseur 28 cm U = 0,13 W/m^2.K
panneaux bois

Ventilation
Création d'une VMC Simple-flux

Porte extérieure du logement
Porte conservée

Plancher bas
Plancher conservé
Isolation en sous-face,
ouate de cellulose et
frein-vapeur, épaisseur 12 cm
U = 0,28 W/m^2.K

6. Analyse multi-critères quantitative des bouquets d'actions par scénario

6.1. Scénario 1

Scénario 1

Tableau d'analyse multi-critères qualitative des actions

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Murs donnant sur l'extérieur	D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends	3 – Mousse minérale en bloc, épaisseur 15 cm					
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm					
Plancher haut	C – Isolation de la toiture par l'intérieur	3 – Fibre de bois en rouleau et en panneau et frein-vapeur, épaisseur 24 cm					
Fenêtres	D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants	1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois					
Porte extérieure du logement	D – Remplacement de la porte	1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K					
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux					
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants					

Notation du critère « gain énergétique »[1]

	SI étiquette < B	SI étiquette C OU SI étiquette D et objectif -38 % « Grenelle » atteint	SI étiquette D	Si étiquette > D
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme-radar	3	2	1	0

Pour le scénario 1, **l'étiquette-énergie est de classe B**, la note est donc de 3 (vert).

Notation du critère « confort d'été »[2]

	SI n<50	SI 50<n<100	SI 100<n<150	SI n>150
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 1, le nombre d'heures pour lesquelles la température est inférieure à 27 ℃ est de 143, la note est donc de 1 (orange).

Notation du critère « diminution de l'effet de paroi froide en hiver »

	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 18 ℃	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 16 ℃	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 ℃ ET amélioration de leur étanchéité à l'air	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 ℃ ET pas d'amélioration de leur étanchéité à l'air
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

1 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères
2 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Pour le scénario 1, la température de surface intérieure des murs est au moins de 18 ℃ (murs isolés), la note est donc de 3 (vert).

Notation du critère « absence de risques liés à l'humidité »[3]

	SI l'humidité relative est inférieure à 85 % ou la teneur en eau inférieure à 20 % de masse pour tous les points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au plus un point d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse au plus 2 points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au moins 3 points d'observation
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 1, les quatre points d'observation voient leur humidité relative inférieure à 85 % ou leur teneur en eau inférieure à 20 % en masse. La note est donc 3 (vert).

3 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Notation du critère « patrimoine et architecture »

Élément ou système	Technique	Action	Notation		
			Valeur	Pond.	Note
Murs donnant sur l'extérieur	D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends	3 – Mousse minérale en bloc, épaisseur 15 cm	1	2	2
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm	2	1	2
Plancher haut	C – Isolation de la toiture par l'intérieur	3 – Fibre de bois en rouleau et en panneau et frein-vapeur, épaisseur 24 cm	1	1	1
Fenêtres	D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants	1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois	1	2	2
Porte extérieure du logement	D – Remplacement de la porte	1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K	1	2	2
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux	2	1	2
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants	3	1	3
				Total/30	14
			Note moyenne/3		1,4*

*un arrondi au 1/10 de la note finale est effectué.

Tableau de synthèse multi-critères quantitative du bouquet d'actions

	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Scénario 1	Niveau BBC rénovation atteint 74 kWh_{EP}/m^2.an pour les 5 usages réglementaires Étiquette-énergie B 51 kWh_{EP}/m^2.an pour chauffage, ECS, refroidissement Facteur 4 atteint < 73 kWh_{EP}/m^2.an pour chauffage, ECS, refroidissement Objectif « Grenelle » -38 % atteint < 181 kWh_{EP}/m^2.an pour chauffage, ECS, refroidissement	Malgré l'utilisation d'isolants à forte inertie, confort d'été dégradé. Nombre d'heures pour lesquelles la température intérieure est supérieure à 27 °C : 143 Avant rénovation, ce nombre valait 84. Ceci est dû à la fois : – à l'isolation par l'intérieur, qui diminue l'inertie des murs donnant sur l'extérieur. – à l'isolation du plancher bas, qui limite l'accès à la fraîcheur de la cave. – à l'aménagement du comble, qui dès lors, ne protège plus l'étage inférieur des surchauffes estivales.	L'effet de paroi froide disparaît quasiment. En effet, les murs donnant sur l'extérieur sont isolés, ce qui conduit à l'élévation significative de leur température de surface.	En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, les simulations hygrothermiques dynamiques montrent que l'humidité baisse légèrement dans la poutre, le pan de bois, la brique et le mortier. Cela signifie que la mousse minérale est capable de gérer cet apport d'humidité. D'autre part, la VMC simple-flux garantira le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'humidité intérieure.	Aspect extérieur conservé que partiellement car. disparition des menuiseries extérieures d'origine Mise en place de petits-bois mais profils épaissis et vitrage d'aspect contemporain Aspect des planchers bois conservé Aspects traditionnels des surfaces intérieurs des murs reproduit. Pas de mise en œuvre de membrane au niveau des murs. Perte de surface importante (9 %) obligeant à compenser la perte par l'aménagement du comble

Analyse économique

Rentabilité

Préalable commun à tous les scénarios :

Les coûts estimés des travaux sont issus des bases de prix et ouvrages en possession du pôle économie de la construction à savoir Batichiffrage, Batitel et Batiprix. Toutefois, vu le caractère particulier de certains matériaux préconisés dans les scénarios, plusieurs prix ont dû faire l'objet de recherches plus approfondies.

L'application de la TVA s'est faite en tenant compte :

- du niveau de performance atteint : seuls les travaux d'amélioration énergétique de niveau CITE ou plus peuvent faire l'objet d'un taux de 5,5 %. Les autres se verront appliquer un taux de 10 %[4] ;
- de l'augmentation de la surface de plancher. Si celle-ci est supérieure à 10 %, un taux de TVA de 20 % s'appliquera alors[5] ;
- du taux de rendu à neuf pour certains éléments de second œuvre (dont les huisseries extérieures, installations sanitaires et de plomberie, installations électriques et système de chauffage). Si celui-ci est supérieur à 2/3, un taux de TVA de 20 % s'applique[6].

Les coûts HT et TTC sont détaillés par poste en annexe 1.

Concernant la valorisation du CO2, le calcul est effectué avec les valeurs mentionnées dans le règlement délégué de la commission européenne du 16/01/2012 complétant la directive 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments à savoir :

- 20 € la tonne jusqu'en 2025,
- 35 € la tonne jusqu'en 2030,
- 50 € la tonne après 2030.

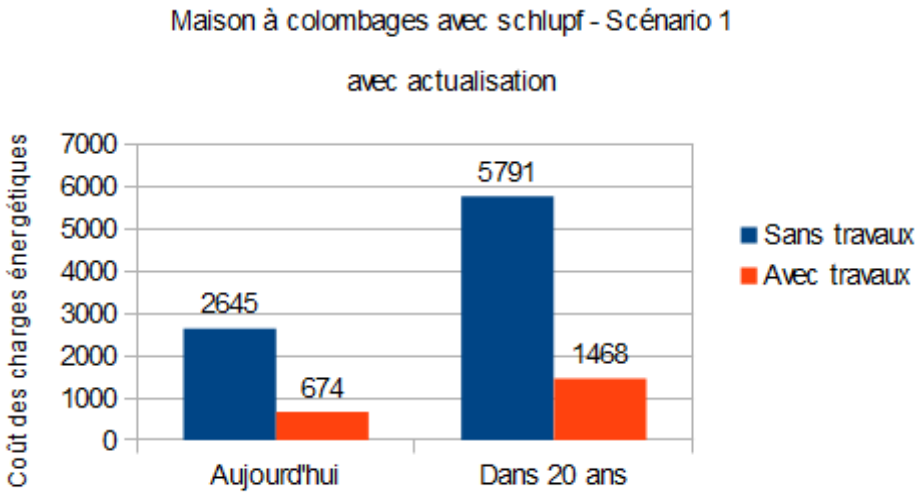
Pour le scénario 1, **le coût total du bouquet d'actions s'élève alors à 78 966 € TTC** (49 913 € TTC hors aménagement et isolation du comble).

Au m², cela représente **607 €/m²** (384 €/m² hors aménagement et isolation du comble) : l'aménagement du comble a permis la diminution du coût de la rénovation au m².

Le temps de retour actualisé est de 25 ans. Ce temps de retour peut toutefois être légèrement modifié en fonction du mode de financement retenu, par intégration du montant des intérêts d'emprunt dans le coût d'investissement, comme détaillé par la suite.

En ce qui concerne l'évolution des charges énergétiques sur 20 ans en coût actualisé, celles-ci sont réduites de 75 % avec un différentiel de 1 971 € par an actuellement et de 4 323 € par an dans 20 ans. On peut également noter qu'en effectuant les travaux de ce scénario, les charges énergétiques dans 20 ans (1 468 €) resteront inférieures aux charges énergétiques actuelles sans travaux (2 645 €) et ce, malgré l'inflation des coûts des énergies.

4 Flash DGALN n°03-2014
5 Article 278-0 ter du code général des impôts
6 http://vosdroits.service-public.fr/professionnels-entreprises/F23568.xhtml



Enfin, le scénario 1 permet **d'éviter l'émission de 131,92 tonnes de CO_2 sur 20 ans** (soit presque 80 ans des émissions moyennes d'une maison de 100 m² habitables RT 2012 en zone H1[7]). En termes de monétarisation, **cela représente 3 925 € de gain sur cette période de 20 ans.**

Soutenabilité

Préalable commun à tous les scénarios :

La méthodologie générale d'appréciation de la soutenabilité est détaillée dans le rapport méthodologique et n'est pas reprise ici. S'y référer préalablement paraît indispensable à la compréhension de la démarche.

Hypothèses communes à tous les cas (sauf mention contraire) :

- apport personnel = 0 € ;
- le prêt de marché a été considéré a priori à 4 % sur 15 ans. Toutefois, pour les scénarios à plus faibles montants, en présence d'éco-prêt, la réduction de sa durée sera nécessaire.
- l'éco-prêt, de 30 000 € sur 15 ans soit sur le mode : « rénovation lourde » = bouquets d'actions / 3 actions ;
- l'économie de charges n'est retenue que pour 50 %, par mesure prudentielle.

NB : il est bien entendu possible de mettre à jour l'ensemble de ces informations pour l'adapter à la réalité des marchés bancaires locaux.

Prêt principal sur 15 ans.

- **Sans éco-prêt : coût mensuel = 584 €**

  Le temps de retour augmente d'un an à 29 ans.

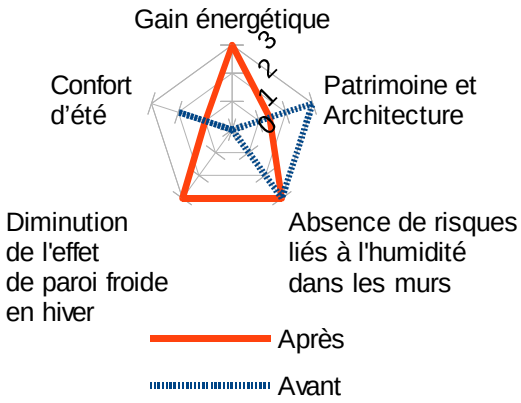
7 Étude thermique réalisée par le bureau d'études Tribu Énergie dans le cadre de l'étude Cost optimal du CETE Nord-Picardie de mars 2013

– **<u>Avec éco-prêt</u> : coût mensuel = 529 €**

Le temps de retour augmente également à 27 ans.

<u>Synthèse</u>

SCENARIO 1



Les consommations énergétiques du scénario 1 sont très faibles : en plus d'atteindre l'objectif « Grenelle » -38 %, elle atteint le facteur 4, le niveau BBC Rénovation et **une étiquette-énergie de classe B**. Ces excellents résultats ont pu être atteints par l'isolation de l'ensemble de l'enveloppe et par la mise en place de systèmes plus performants, notamment une chaudière à condensation. Rappelons qu'avant rénovation, cette maison affichait une étiquette-énergie de classe E.

L'isolation de l'enveloppe a eu pour autre conséquence la diminution de l'effet de paroi froide en hiver, du fait de l'élévation de la température de surface des parois.

Afin de compenser la perte de surface habitable due à l'isolation par l'intérieur, qui s'élève environ à 9 %, le comble a été aménagé. Cet aménagement a cependant dégradé le confort d'été dans l'ensemble du logement.

La mousse minérale a été choisie dans le scénario 1 pour l'isolation des murs donnant sur l'extérieur, car il s'agit de l'isolant qui engendre le moins de risques liés à l'humidité parmi tous les matériaux isolants répertoriés dans l'inventaire des actions possibles. Elle est capable de gérer l'apport d'humidité qui pourrait résulter, par exemple, d'une infiltration d'eau de pluie et présente l'avantage de ne pas nécessiter la mise en place d'une membrane entre l'isolant et le mur ancien (simplicité de mise en œuvre). Cependant, et même si son inertie et celle du panneau de fibre de bois sont fortes, elles ne sont pas suffisantes pour atténuer les surchauffes estivales, encore amplifiées par le fait que l'isolation de l'enveloppe se fait par l'intérieur, y compris dans le comble aménagé.

L'étanchéification de l'enveloppe du fait de son isolation nécessite la mise en place d'une ventilation complémentaire. La VMC simple-flux permet de ventiler la totalité du logement en permanence, selon un taux de renouvellement d'air défini réglementairement. Par rapport à la situation existante, les pertes de chaleur par renouvellement d'air sont donc contrôlées et réduites et la VMC simple-flux garantit un renouvellement d'air suffisant au maintien d'un air

intérieur sain et sec.

D’un point de vue patrimonial ce scénario n’est pas complètement satisfaisant.

L’aspect extérieur est préservé (toitures, colombages, enduits sont conservés), mais les menuiseries sont toutes changées, de même que les proportions des vitrages, ce qui constitue une perte patrimoniale et altère la perception générale de l’édifice.

La mousse minérale permet une finition de surface des murs intérieurs sur la base d’un enduit plâtre, mais supprime les décors éventuels et les surfaces d’origine.

La perte de surface importante induite par l’ITI est proposée en compensation par l’aménagement du comble dont les volumes de grenier sont souvent désaffectés, mais supprime l’espace tampon dont le rôle est dorénavant limité au sur-comble.

La mise en œuvre est conséquente mais permet des finitions intérieures plus traditionnelles sur le support de la mousse minérale.

En termes de coût, le scénario 1 est sensiblement moins vite rentabilisé que sa variante (cf. ci-dessous) puisque son temps de retour actualisé est de 25 ans (contre 21 ans). Ceci est tout à fait logique dans la mesure où les performances atteintes après travaux sont quasiment identiques mais avec un coût d’investissement plus élevé de 32 %. En effet, les matériaux isolants employés, de par leurs qualités intrinsèques (moindre risque par rapport à l’humidité, bonne inertie) et leur part encore réduite de marché, ne sont pas aux mêmes prix que les produits plus courants comme la laine minérale.

Variante du scénario 1

Tableau d'analyse multi-critères qualitative des actions

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Murs donnant sur l'extérieur	D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur, épaisseur 15 cm					
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm					
Plancher haut	C – Isolation de la toiture par l'intérieur	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 24 cm					
Fenêtres	D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants	1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois					
Porte extérieure du logement	D – Remplacement de la porte	1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K					
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux					
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants					

Notation du critère « gain énergétique »[8]

	SI étiquette < B	SI étiquette C OU SI étiquette D et objectif -38 % « Grenelle » atteint	SI étiquette D	Si étiquette > D
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme-radar	3	2	1	0

Pour la variante du scénario 1, **l'étiquette-énergie est de classe B**, la note est donc de 3 (vert).

Notation du critère « confort d'été »[9]

	SI n<50	SI 50<n<100	SI 100<n<150	SI n>150
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour la variante du scénario 1, le nombre d'heures pour lesquelles la température est inférieure à 27 °C est de 169, la note est donc de 0 (rouge).

Notation du critère « diminution de l'effet de paroi froide en hiver »

	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 18 °C	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 16 °C	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 °C ET amélioration de leur étanchéité à l'air	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 °C ET pas d'amélioration de leur étanchéité à l'air
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				

8 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères
9 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour la variante du scénario 1, la température de surface intérieure des murs est au moins de 18 ℃ (murs isolés), la note est donc de 3 (vert).

Notation du critère « absence de risques liés à l'humidité »[10]

	SI l'humidité relative est inférieure à 85 % ou la teneur en eau inférieure à 20 % de masse pour tous les points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au plus un point d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse au plus 2 points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au moins 3 points d'observation
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour la variante du scénario 1, deux points d'observation sur quatre voient leur humidité relative inférieure à 85 % ou leur teneur en eau inférieure à 20 % en masse. La note est donc 1 (orange).

10 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Notation du critère « patrimoine et architecture »

Élément ou système	Technique	Action	Notation		
			Valeur	Pond.	Note
Murs donnant sur l'extérieur	D – Isolation par l'intérieur, y compris cloisons et refends	1 – Laine minérale en rouleau et pare-vapeur, épaisseur 15 cm	1	2	2
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 12 cm	2	1	2
Plancher haut	C – Isolation de la toiture par l'intérieur	1 – Laine minérale en vrac et pare-vapeur, épaisseur 24 cm	1	1	1
Fenêtres	D – Remplacement des fenêtres, maintien des volets existants	1 – Châssis en bois, double vitrage Uw = 1,3 W/m².K a – avec petits-bois	1	2	2
Porte extérieure du logement	D – Remplacement de la porte	1 – Châssis en bois, âme isolante, double vitrage Ud = 1,3 W/m².K	1	2	2
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux	2	1	2
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants	3	1	3
				Total/30	14
			Note moyenne/3		1,4*

*un arrondi au 1/10 de la note finale est effectué.

Tableau de synthèse multi-critères quantitative du bouquet d'actions

	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Variante du scénario 1	Niveau BBC rénovation atteint 72 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour les 5 usages réglementaires Étiquette-énergie B 51 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour chauffage, ECS, refroidissement Facteur 4 atteint < 73 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour chauffage, ECS, refroidissement Objectif « Grenelle » -38 % atteint < 181 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour chauffage, ECS, refroidissement	Confort d'été fortement dégradé. Nombre d'heures pour lesquelles la température intérieure est supérieure à 27 °C : 169 Avant rénovation, ce nombre valait 84. Ceci est dû à la fois : – à l'isolation par l'intérieur, qui diminue l'inertie des murs donnant sur l'extérieur. – à l'isolation du plancher bas, qui coupe l'accès à la fraîcheur de la cave. – à l'aménagement du comble, qui dès lors, ne protège plus l'étage inférieur des surchauffes estivales.	L'effet de paroi froide disparaît quasiment. En effet, les murs donnant sur l'extérieur sont isolés, ce qui conduit à l'élévation significative de leur température de surface.	En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, les simulations hygrothermiques dynamiques montrent que l'humidité augmente dans le pan de bois, la brique et le mortier. Cela signifie que la laine minérale et le pare-vapeur ne sont pas capables de gérer cet apport d'humidité. D'autre part, la VMC simple-flux garantira le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'humidité intérieure.	Aspect extérieur conservé que partiellement carsuppression des menuiseries extérieures d'origine Aspect des planchers bois conservés Aspects modernes des surfaces intérieures des murs. Perte de surface importante (9 %) obligeant à compenser la perte par l'aménagement du comble

Analyse économique

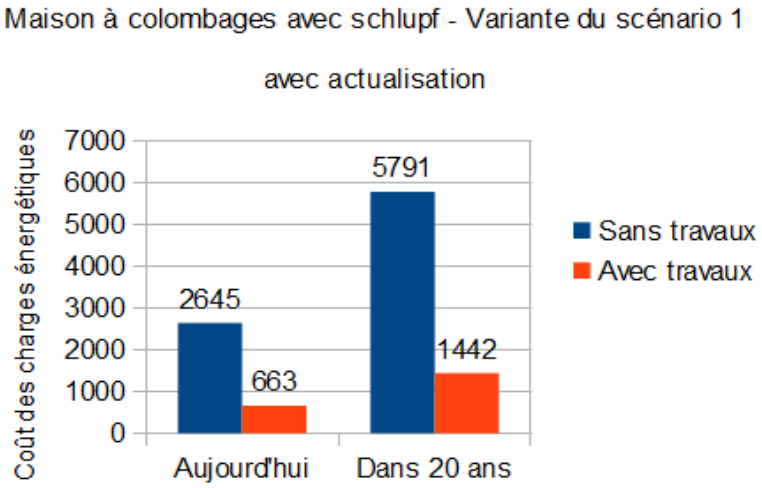
Rentabilité

Pour la variante du scénario 1, **le coût total du bouquet d'actions s'élève à 59 343 € TTC** (40 595 € hors aménagement et isolation du comble).

Au m², cela représente **456 €/m²** (312 €/m² hors aménagement et isolation du comble) : l'aménagement du comble a permis la diminution du coût de la rénovation.

Le temps de retour actualisé est de 21 ans.

En ce qui concerne l'évolution des charges énergétiques sur 20 ans en coût actualisé, celles-ci sont réduites de 75 % comme pour le scénario 1 avec un différentiel de 1 983 € par an actuellement et de 4 349 € par an dans 20 ans. Là aussi, on peut noter qu'en effectuant les travaux de ce scénario, les charges énergétiques dans 20 ans (1 442 €) resteront inférieures aux charges énergétiques actuelles sans travaux (2 645 €) et ce, malgré l'inflation des coûts des énergies.



Enfin, la variante du scénario 1 permet d'**éviter l'émission de 132,75 tonnes de CO2 sur 20 ans** (soit un peu plus de 80 ans des émissions moyennes d'une maison de 100 m² habitables RT 2012 en zone H1[11]). En termes de monétarisation, **cela représente 3 949 € de gain sur cette période de 20 ans.**

Soutenabilité

Prêt principal sur 15 ans.

- **Sans éco-prêt : coût mensuel = 439 €**

  Le temps de retour est à 24 ans.

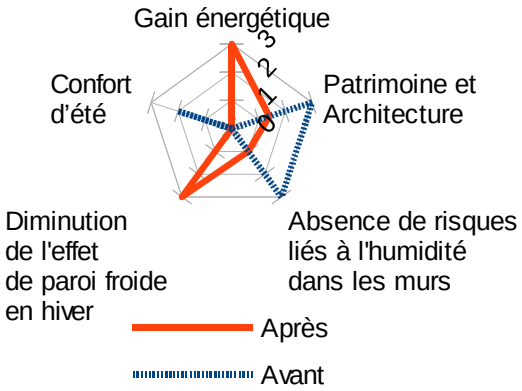
- **Avec éco-prêt : coût mensuel = 384 €**

  Le temps de retour est à 22 ans.

11 Étude thermique réalisée par le bureau d'études Tribu Énergie dans le cadre de l'étude Cost optimal du CETE Nord-Picardie de mars 2013

Synthèse

VARIANTE DU SCENARIO 1



Les consommations énergétiques de la variante du scénario 1 sont très faibles : en plus d'atteindre l'objectif « Grenelle » -38 %, elle atteint le facteur 4, le niveau BBC Rénovation et **une étiquette-énergie de classe B**. Ces excellents résultats ont pu être atteints par l'isolation de l'ensemble de l'enveloppe et par la mise en place de systèmes plus performants, notamment une chaudière à condensation. Rappelons qu'avant rénovation, cette maison affichait une étiquette-énergie de classe E.

L'isolation de l'enveloppe a eu pour autre conséquence la diminution de l'effet de paroi froide en hiver, du fait de l'élévation de la température de surface des parois.

Afin de compenser la perte de surface habitable due à l'isolation par l'intérieur, qui s'élève environ à 9 %, le comble a été aménagé. Cet aménagement a cependant fortement dégradé le confort d'été dans l'ensemble du logement.

La laine minérale a été choisie pour l'isolation de l'enveloppe. Cependant, elle n'est pas capable de gérer l'apport d'humidité qui pourrait résulter, par exemple, d'un percement accidentel du pare-vapeur avec lequel elle est mise en œuvre. C'est pourquoi le choix de la laine minérale constitue un risque pour la pérennité du bâtiment par rapport à l'humidité. De plus, l'inertie de la laine minérale n'est pas suffisante pour atténuer les surchauffes estivales, encore amplifiées par le fait que l'isolation de l'enveloppe se fait par l'intérieur, y compris dans le comble aménagé.

L'étanchéification de l'enveloppe du fait de son isolation nécessite la mise en place d'une ventilation complémentaire. La VMC simple-flux permet de ventiler la totalité du logement en permanence, selon un taux de renouvellement d'air défini réglementairement. Par rapport à la situation existante, les pertes de chaleur par renouvellement d'air sont donc contrôlées et réduites et la VMC simple-flux garantit un renouvellement d'air suffisant au maintien d'un air intérieur sain et sec.

D'un point de vue patrimonial ce scénario n'est pas complètement satisfaisant.

L'aspect extérieur est préservé (toitures, colombages, enduits), mais les menuiseries sont toutes changées, de même que les proportions des vitrages, ce qui constitue une perte patrimoniale et altère la perception générale de l'édifice.

L'ajout d'un isolant intérieur modifie l'aspect et supprime les décors éventuels.

La perte de surface importante induite par l'ITI est proposée en compensation par l'aménagement du comble dont les volumes de grenier sont souvent désaffectés, mais supprime l'espace tampon dont le rôle est dorénavant limité au sur-comble.

La mise en œuvre est conséquente et les aspects de surfaces intérieurs sont raidis par les plaques de plâtre.

D'un point de vue économique, la variante du scénario 1 est plus vite rentabilisée que le scénario 1 puisque son temps de retour actualisé est de 21 ans contre 25 ans. Comme détaillé précédemment, cela s'explique par le coût moins important des matériaux employés qui font partie de ceux les plus utilisés dans le domaine du bâtiment. Cela est toutefois à mettre en regard avec les moindres performances techniques (risque élevé par rapport à l'humidité, faible inertie).

6.2. Scénario 2

Tableau d'analyse multi-critères qualitative des actions

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Murs donnant sur l'extérieur	B – Correction thermique intérieure, y compris cloisons et refends	1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 6 cm					
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm					
Plancher haut	B – Isolation du plancher du grenier	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm					
Fenêtres	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					
Porte extérieure du logement	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux					
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants					

Notation du critère « gain énergétique »[12]

	SI étiquette < B	SI étiquette C OU SI étiquette D et objectif -38 % « Grenelle » atteint	SI étiquette D	Si étiquette > D
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme-radar	3	2	1	0

Pour le scénario 2, l'**étiquette-énergie est de classe C,** la note est donc de 2 (jaune).

Notation du critère « confort d'été »[13]

	SI n<50	SI 50<n<100	SI 100<n<150	SI n>150
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 2, le nombre d'heures pour lesquelles la température est inférieure à 27 ℃ est de 98, la note est donc de 2 (jaune).

Notation du critère « diminution de l'effet de paroi froide en hiver »

	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 18 ℃	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 16 ℃	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 ℃ ET amélioration de leur étanchéité à l'air	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 ℃ ET pas d'amélioration de leur étanchéité à l'air
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

12 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères
13 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Pour le scénario 2, la température de surface intérieure des murs est au moins de 16 ℃ (murs corrigés thermiquement), la note est donc de 2 (jaune).

Notation du critère « absence de risques liés à l'humidité »[14]

	SI l'humidité relative est inférieure à 85 % ou la teneur en eau inférieure à 20 % de masse pour tous les points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au plus un point d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse au plus 2 points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au moins 3 points d'observation
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 2, tous les points d'observation voient leur humidité relative inférieure à 85 % ou leur teneur en eau inférieure à 20 % en masse. La note est donc 3 (vert).

14 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Notation du critère « patrimoine et architecture »

Élément ou système	Technique	Action	Notation		
			Valeur	Pond.	Note
Murs donnant sur l'extérieur	B – Correction thermique intérieure, y compris cloisons et refends	1 – Enduit isolant "perspirant", épaisseur 6 cm	2	2	4
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm	2	1	2
Plancher haut	B – Isolation du plancher du grenier	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm	3	1	3
Fenêtres	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle	3	2	6
Porte extérieure du logement	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle	3	2	6
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux	2	1	2
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants	3	1	3
				Total/30	26
			Note moyenne/3		2,6*

*un arrondi au 1/10 de la note finale est effectué.

Tableau de synthèse multi-critères quantitative du bouquet d'actions

	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Scénario 2	Niveau BBC rénovation non atteint 133 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour les 5 usages réglementaires	Confort d'été très peu dégradé. Nombre d'heures pour lesquelles la température intérieure est supérieure à 27 °C : 98 Avant rénovation, ce nombre valait 84. Ceci est principalement dû au choix de ne pas aménager le comble.	L'effet de paroi froide diminue. En effet, les murs donnant sur l'extérieur sont corrigés thermiquement, ce qui conduit à l'élévation de leur température de surface.	En cas d'apport d'humidité (défauts de mise en œuvre, remontées capillaires, percement de la membrane, infiltration d'eau de pluie, etc.) dans les murs donnant sur l'extérieur, les simulations hygrothermiques dynamiques montrent que l'humidité baisse dans la poutre, le pan de bois, la brique et le mortier. Cela signifie que l'enduit isolant "perspirant" est capable de gérer cet apport d'humidité. D'autre part, la VMC simple-flux garantira le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'humidité intérieure.	Aspect extérieur conservé. Fenêtres et portes conservées. Aspect des planchers bois conservé Aspects traditionnels des surfaces intérieurs des murs. Très peu de perte de surface intérieure Pas de mise en œuvre de membrane au niveau des murs.
	Étiquette-énergie C 92 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour chauffage, ECS, refroidissement				
	Facteur 4 non atteint < 73 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour chauffage, ECS, refroidissement				
	Objectif « Grenelle » -38 % atteint < 181 $kWh_{EP}/m^2.an$ pour chauffage, ECS, refroidissement				

Analyse économique

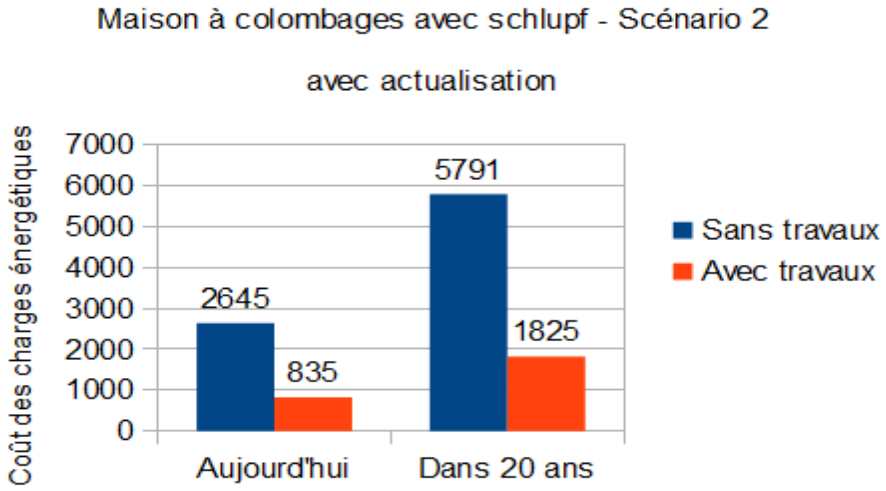
Rentabilité

Pour le scénario 2, **le coût total du bouquet d'actions s'élève à 46 754 € TTC** (41 540 € hors isolation du plancher du comble).

Au m², cela représente **519 €/m²** (462 €/m² hors isolation du plancher du comble). Rappelons ici que le comble n'est pas aménagé ce qui contribue à augmenter ce ratio.

Enfin, **le temps de retour actualisé est de 19 ans.**

En ce qui concerne l'évolution des charges énergétiques sur 20 ans en coût actualisé, celles-ci sont réduites de 69 % avec un différentiel de 1 813 € par an actuellement et de 3 966 € par an dans 20 ans. Comme pour le scénario 1 et sa variante, on peut noter qu'en effectuant les travaux de ce scénario, les charges énergétiques dans 20 ans (1 825 €) resteront inférieures aux charges énergétiques actuelles sans travaux (2 645 €) et ce, malgré l'inflation des coûts des énergies.



Enfin, le scénario 2 permet d'**éviter l'émission de 120,67 tonnes de CO2 sur 20 ans** (soit un peu plus de 70 ans des émissions moyennes d'une maison de 100 m² habitables RT 2012 en zone H1[15]). En termes de monétarisation, **cela représente 3 590 € de gain sur cette période de 20 ans.**

Soutenabilité

Prêt principal sur 15 ans.

- **Sans éco-prêt : coût mensuel = 346 €**

  Le temps de retour est à 22 ans.

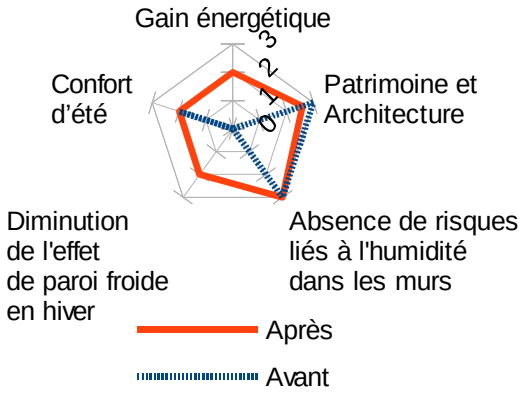
- **Avec éco-prêt : coût mensuel = 291 €**

  Le temps de retour est à 20 ans.

15 Étude thermique réalisée par le bureau d'études Tribu Énergie dans le cadre de l'étude Cost optimal du CETE Nord-Picardie de mars 2013

Synthèse

SCENARIO 2



Les consommations énergétiques du scénario 2 atteignent l'objectif « Grenelle » -38 % et **une étiquette-énergie de classe C.** Le facteur 4 ainsi que le niveau BBC Rénovation ne sont pas atteints. En effet, en plus de l'isolation des planchers haut et bas, le choix a été fait de seulement corriger thermiquement les murs donnant sur l'extérieur. Une nouvelle chaudière, plus performante, et une VMC simple-flux ont cependant été mises en place. Rappelons qu'avant rénovation, cette maison affichait une étiquette-énergie de classe E.

La correction thermique des murs et l'isolation des planchers a eu pour autre conséquence la diminution de l'effet de paroi froide en hiver, du fait de l'élévation de la température de surface des parois.

Le choix a été fait de ne pas aménager le comble, ce qui a été largement bénéfique au confort d'été.

L'enduit isolant « perspirant » a été choisi pour la correction thermique des murs, car il est moins risqué en termes d'humidité que la plupart des isolants. Il est capable de gérer l'apport d'humidité qui pourrait résulter, par exemple, d'une infiltration d'eau de pluie et présente l'avantage de ne pas nécessiter la mise en place d'une membrane. De plus, son inertie est très forte et contribue probablement à l'atténuation des surchauffes estivales.

L'étanchéification de l'enveloppe du fait de son isolation ou de sa correction thermique nécessite la mise en place d'une ventilation complémentaire. La VMC simple-flux permet de ventiler la totalité du logement en permanence, selon un taux de renouvellement d'air défini réglementairement. Par rapport à la situation existante, les pertes de chaleur par renouvellement d'air sont donc contrôlées et réduites et la VMC simple-flux garantit un renouvellement d'air suffisant au maintien d'un air intérieur sain et sec.

D'un point de vue patrimonial ce scénario est satisfaisant.

L'aspect extérieur est préservé (toitures, colombages, enduits) et les menuiseries sont conservées, préservant les caractéristiques du bâti.

L'ajout d'un enduit perspirant à l'intérieur oblige à une dépose des décors (lambris, plinthes, etc) s'ils existent mais favorise un rendu de surface traditionnel.

L’impact architectural est donc très limité, permettant de conserver à la fois les façades, mais aussi l’essentiel des modénatures intérieures si elles existent. Le comble n’est pas modifié, seuls l’ajout de l’isolation et du sur-plancher impactent les portes et les fenêtres, ce qui ne pose pas de problème tant que le comble n’est pas utilisé, lequel conserve son rôle d’espace tampon.

La mise en œuvre est facile et les aspects de surfaces intérieurs peuvent être restitués.

Pour ce qui est des coûts, le scénario 2 n’est qu’un peu plus vite rentabilisé que la variante du scénario 1 (cf. ci-dessus), puisque son temps de retour actualisé est de 19 ans contre 21 ans. Il est cependant sensiblement moins cher (- 27 %). L’économie réalisée en n’isolant que certains éléments de l’enveloppe a permis de choisir des isolants ou corrections thermiques moins courants (et donc plus chers) mais plus performants en termes de gestion de l’humidité et de l’inertie.

6.3. Scénario 3

Tableau d'analyse multi-critères qualitative des actions

Élément ou système	Technique	Action	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Murs donnant sur l'extérieur	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air, y compris cloisons et refends	1 – Reprises d'enduit ou plâtres dégradés, rejointoiement de moellons ou de briques, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (planchers, passage de gaines)					
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm					
Plancher haut	B – Isolation du plancher du grenier	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm					
Fenêtres	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					
Porte extérieure du logement	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle					
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux					
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants					

Notation du critère « gain énergétique »[16]

	SI étiquette < B	SI étiquette C OU SI étiquette D et objectif -38 % « Grenelle » atteint	SI étiquette D	Si étiquette > D
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme-radar	3	2	1	0

Pour le scénario 3, l'**étiquette-énergie est de classe D mais l'objectif -38 % « Grenelle » est atteint**, la note est donc de 2 (jaune).

Notation du critère « confort d'été »[17]

	SI n<50	SI 50<n<100	SI 100<n<150	SI n>150
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 3, le nombre d'heures pour lesquelles la température est inférieure à 27 °C est de 75, la note est donc de 2 (jaune).

Notation du critère « diminution de l'effet de paroi froide en hiver »

	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 18 °C	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 16 °C	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 °C ET amélioration de leur étanchéité à l'air	SI la température de surface intérieure du mur vaut au moins 12 °C ET pas d'amélioration de leur étanchéité à l'air
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				

16 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères
17 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 3, la température de surface intérieure des murs est au moins de 12 ℃ (murs non isolés), mais il y a amélioration de leur étanchéité à l'air, la note est donc de 1 (orange).

Notation du critère « absence de risques liés à l'humidité »[18]

	SI l'humidité relative est inférieure à 85 % ou la teneur en eau inférieure à 20 % de masse pour tous les points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au plus un point d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse au plus 2 points d'observation	SI l'humidité relative est supérieure à 85 % ou la teneur en eau supérieure à 20 % de masse pour au moins 3 points d'observation
Couleur attribuée dans les tableaux multi-critères quantitatifs				
Note sur le diagramme radar	3	2	1	0

Pour le scénario 3, tous les points d'observation voient leur humidité relative inférieure à 85 % ou leur teneur en eau inférieure à 20 % en masse. La note est donc 3 (vert).

18 Cf. annexes pour l'illustration de ces critères

Notation du critère « patrimoine et architecture »

Élément ou système	Technique	Action	Notation		
			Valeur	Pond.	Note
Murs donnant sur l'extérieur	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air, y compris cloisons et refends	1 – Reprises d'enduit ou plâtres dégradés, rejointoiement de moellons ou de briques, colmatage des trous et fissures en partie courante et aux jonctions avec les autres éléments (planchers, passage de gaines)	3	2	6
Plancher bas	B – Isolation en sous-face	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 12 cm	2	1	2
Plancher haut	B – Isolation du plancher du grenier	2 – Ouate de cellulose en vrac et frein-vapeur, épaisseur 28 cm	3	1	3
Fenêtres	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air et maintien des volets existants	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle	3	2	6
Porte extérieure du logement	A – Amélioration de l'étanchéité à l'air	1 – Conservation et vérification des châssis, vérification du calfeutrement, réparation éventuelle	3	2	6
Ventilation	B – VMC	1 – Simple-flux	2	1	2
Chauffage et ECS	B – Chaudière à condensation	1 – Réutilisation des émetteurs existants	3	1	3
				Total/30	28
		Note moyenne/3			2,8*

*un arrondi au 1/10 de la note finale est effectué.

Tableau de synthèse multi-critères quantitative du bouquet d'actions

	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture
Scénario 3	Niveau BBC rénovation non atteint 233 kWh_{EP}/m^2.an pour les 5 usages réglementaires	Confort d'été amélioré. Nombre d'heures pour lesquelles la température intérieure est supérieure à 27 °C : 75 Avant rénovation, ce nombre valait 84. Ceci est principalement dû au choix de ne pas aménager le comble et au fait que le plancher du comble est désormais isolé.	Par contre, l'effet de paroi froide reste problématique puisque les murs donnant sur l'extérieur n'ont pas été isolés. Cependant, leur étanchéité à l'air a été améliorée par rapport à la situation existante.	La situation est identique à la situation initiale. Il n'y a donc pas de problème d'humidité dans les murs donnant sur l'extérieur. D'autre part, la VMC simple-flux garantira le renouvellement de l'air et l'évacuation de l'humidité intérieure.	Aspect extérieur conservé. Fenêtres et portes conservées. Aspect des planchers bois conservés Aspects traditionnels des surfaces intérieurs des murs. Pas de mise en œuvre de membrane au niveau des murs.
	Étiquette-énergie D 162 kWh_{EP}/m^2.an pour chauffage, ECS, refroidissement				
	Facteur 4 non atteint < 73 kWh_{EP}/m^2.an pour chauffage, ECS, refroidissement				
	Objectif « Grenelle » -38 % atteint < 181 kWh_{EP}/m^2.an pour chauffage, ECS, refroidissement				

Analyse économique

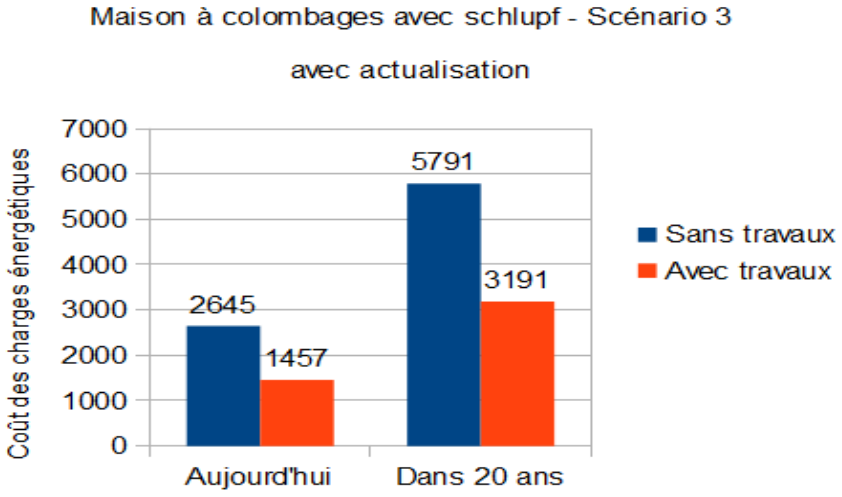
Rentabilité

Pour le scénario 3, **le coût total du bouquet d'actions s'élève à 23 227 € TTC** (18 013 € hors isolation du plancher du comble).

Au m², cela représente **258 €/m²** (200 €/m² hors isolation du plancher du comble). Rappelons ici que le comble n'est pas aménagé ce qui contribue à augmenter ce ratio.

Le temps de retour actualisé est de 15 ans.

En ce qui concerne l'évolution des charges énergétiques sur 20 ans en coût actualisé, celles-ci sont réduites de 45 % avec un différentiel de 1 188 € par an actuellement et de 2 601 € par an dans 20 ans. En revanche, contrairement aux 3 cas précédents, on peut noter qu'en effectuant les travaux de ce scénario, les charges énergétiques dans 20 ans (3 191 €) deviennent supérieures aux charges énergétiques actuelles sans travaux (2 645 €) du fait de l'inflation des coûts des énergies.



Enfin, le scénario 3 permet d'**éviter l'émission de 79,19 tonnes de CO2 sur 20 ans** (soit un peu moins de 50 ans des émissions moyennes d'une maison de 100 m² habitables RT 2012 en zone H1[19]). En termes de monétarisation, **cela représente 2 356 € de gain sur cette période de 20 ans.**

Soutenabilité

Prêt principal sur 10 ans, absent si éco-prêt.

- **Sans éco-prêt : coût mensuel = 235 €**

  Le temps de retour est à 18 ans.

Eco-prêt seul sur 10 ans.

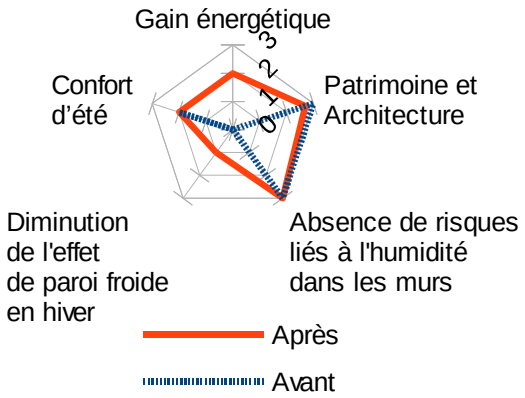
- **Avec éco-prêt : coût mensuel = 194 €**

  Le temps de retour est à 15 ans.

19 Étude thermique réalisée par le bureau d'études Tribu Énergie dans le cadre de l'étude Cost optimal du CETE Nord-Picardie de mars 2013

Synthèse

SCENARIO 3



Les consommations énergétiques du scénario 3 atteignent l'**objectif « Grenelle » -38 % et une étiquette-énergie de classe D**. Le facteur 4 ainsi que le niveau BBC Rénovation ne sont pas atteints. En effet, le choix a été fait de ne pas isoler l'ensemble de l'enveloppe, mais seulement deux de ses éléments, à savoir le plancher haut et le plancher bas du logement. Une nouvelle chaudière, plus performante, et une VMC simple-flux ont cependant été mises en place. Rappelons qu'avant rénovation, cette maison affichait une étiquette-énergie de classe E.

L'absence d'action au niveau des murs donnant sur l'extérieur ainsi que l'isolant du plancher haut, plutôt que l'aménagement des combles, a eu pour conséquence une augmentation du confort d'été, ce qui est remarquable. Par contre, l'effet de paroi froide en hiver n'a pas été corrigé.

L'absence d'action au niveau des murs donnant sur l'extérieur permet également de préserver l'équilibre hygrothermique de ces derniers.

L'étanchéification de l'enveloppe du fait de l'isolation des planchers nécessite la mise en place d'une ventilation complémentaire. La VMC simple-flux permet de ventiler la totalité du logement en permanence, selon un taux de renouvellement d'air défini réglementairement. Par rapport à la situation existante, les pertes de chaleur par renouvellement d'air sont donc contrôlées et réduites et la VMC simple-flux garantit un renouvellement d'air suffisant au maintien d'un air intérieur sain et sec.

D'un point de vue patrimonial ce scénario est très satisfaisant.

L'aspect extérieur est préservé (toitures, colombages, enduits) et les menuiseries sont conservées, préservant les caractéristiques du bâti.

L'impact architectural est très limité, permettant de conserver à la fois les façades, mais aussi l'essentiel des modénatures intérieures si elles existent. Le comble n'est pas modifié, seuls l'ajout de l'isolation et du sur-plancher impactent les portes et les fenêtres, ce qui ne pose pas de problème tant que le comble n'est pas utilisé, lequel conserve son rôle d'espace tampon.

La mise en œuvre est facile et les aspects de surfaces intérieurs sont conservés.

D'un point de vue économique, le scénario 3 est plus vite rentabilisé que les autres scénarios puisque son temps de retour actualisé est de 15 ans (contre 25 ans pour le scénario 1). Ceci

s’explique par le fait qu’il est de loin le moins cher de tous les scénarios. En contre-partie, les consommations énergétiques atteintes après travaux sont les moins bonnes et se situent loin du niveau BBC Rénovation (173 kWh Ep/m².an).

7. Synthèse finale

	Gain énergétique	Confort d'été	Diminution de l'effet de paroi froide en hiver	Absence de risques liés à l'humidité	Patrimoine et architecture	Analyse économique* * la présentation de ces montants a fait l'objet d'arrondis sur la fiche n°8
Situation initiale	**0**	**2**	**0**	**3**	**3**	
Scénario 1	**3**	**1**	**3**	**3**	**1,4**	**Coût total : 607 €/m²** **Temps de retour : 25 ans** **Charges énergétiques dans 20 ans :** **— sans travaux : 5 791 €** **— avec travaux : 1 468 €** **CO_2 économisé : 132 t** **Coût mensuel avec prêt principal sur 15 ans :** **— sans éco-prêt : 584 €** **— avec éco-prêt : 529 €**
Variante du scénario 1	**3**	**0**	**3**	**1**	**1,4**	**Coût total : 456 €/m²** **Temps de retour : 21 ans** **Charges énergétiques dans 20 ans :** **— sans travaux : 5 791 €** **— avec travaux : 1 442 €** **CO_2 économisé : 133 t** **Coût mensuel avec prêt principal sur 15 ans :** **— sans éco-prêt : 439 €** **— avec éco-prêt : 384 €**

Scénario 2	**2**	**2**	**2**	**3**	**2,6**	**Coût total : 519 €/m²** **Temps de retour : 19 ans** **Charges énergétiques dans 20 ans :** **— sans travaux : 5 791 €** **— avec travaux : 1 825 €** **CO_2 économisé : 121 t** **Coût mensuel avec prêt principal sur 15 ans :** **— sans éco-prêt : 346 €** **— avec éco-prêt : 291 €**
Scénario 3	**2**	**2**	**1**	**3**	**2,8**	**Coût total : 258 €/m²** **Temps de retour : 15 ans** **Charges énergétiques dans 20 ans :** **— sans travaux : 5 791 €** **— avec travaux : 3 191 €** **CO_2 économisé : 79 t** **Coût mensuel avec prêt principal sur 10 ans :** **— sans éco-prêt : 235 €** **Coût mensuel sans prêt principal :** **— avec éco-prêt : 194 €**

8. Annexe 1 : détails des résultats

8.1. Scénario 1

Scénario 1

Critère « gain énergétique »

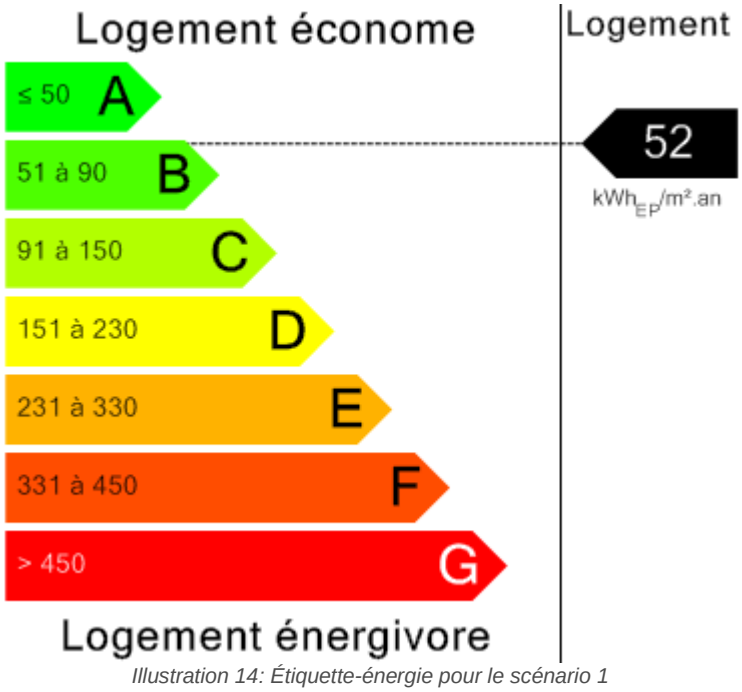


Illustration 14: Étiquette-énergie pour le scénario 1

Critère « confort d'été »

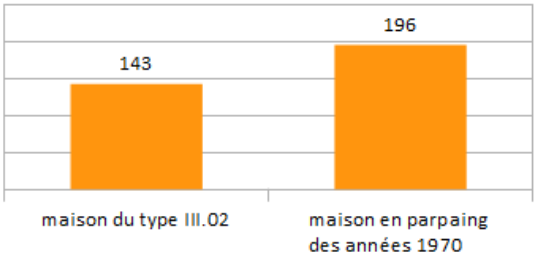


Illustration 15: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour le scénario 1

Critère « absence de risques liés à l'humidité »

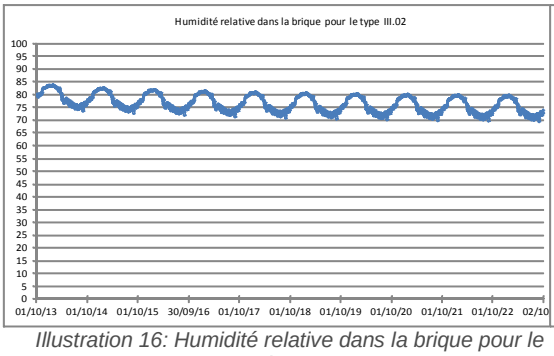


Illustration 16: Humidité relative dans la brique pour le scénario 1

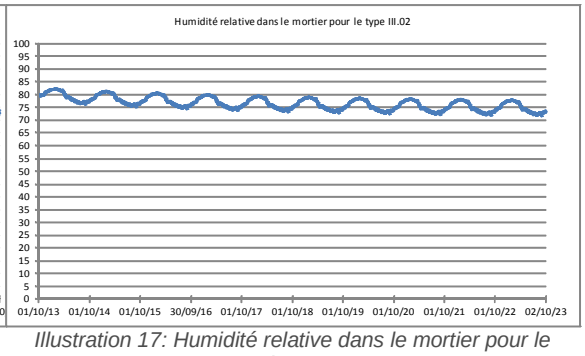


Illustration 17: Humidité relative dans le mortier pour le scénario 1

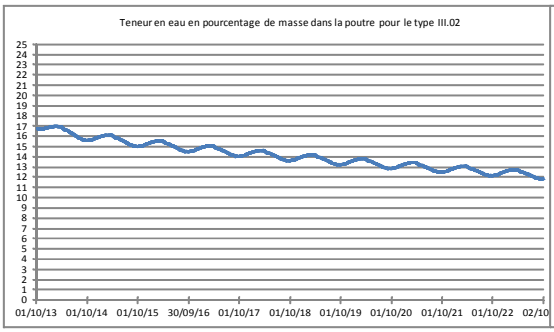


Illustration 18: Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour le scénario 1

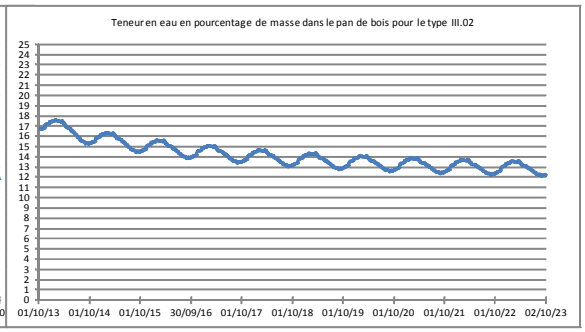


Illustration 19: Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour le scénario 1

Variante du scénario 1

Critère « gain énergétique »

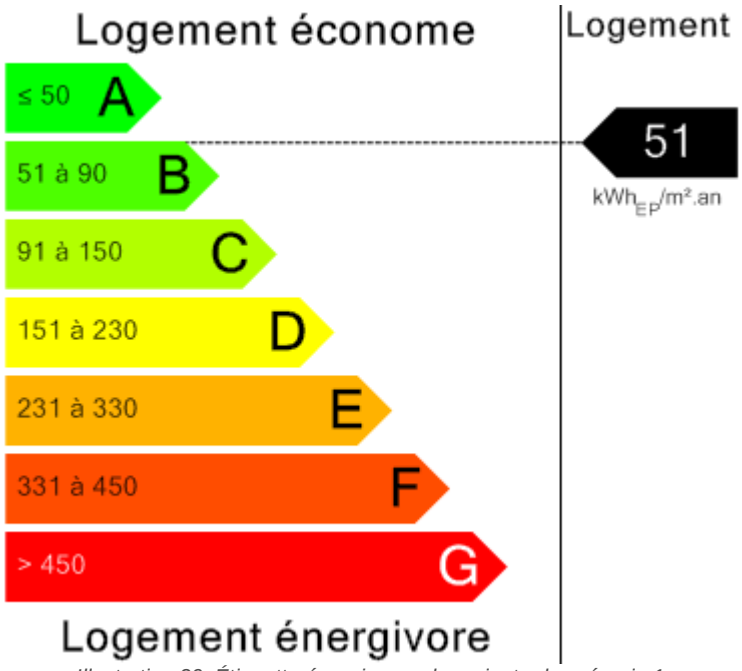


Illustration 20: Étiquette-énergie pour la variante du scénario 1

Critère « confort d'été »

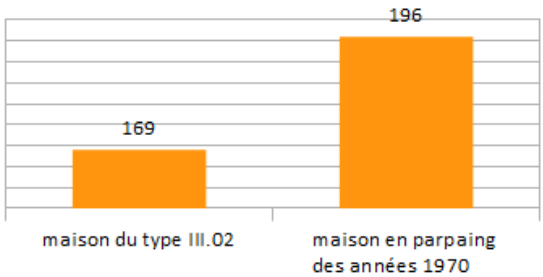


Illustration 21: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour la variante du scénario 1

Critère « absence de risques liés à l'humidité »

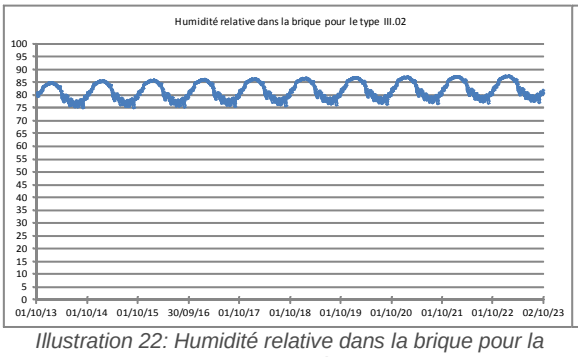


Illustration 22: Humidité relative dans la brique pour la variante du scénario 1

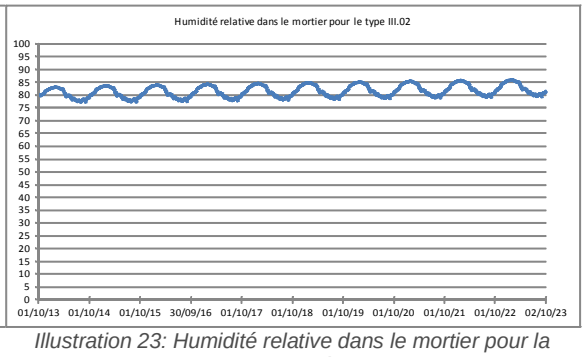


Illustration 23: Humidité relative dans le mortier pour la variante du scénario 1

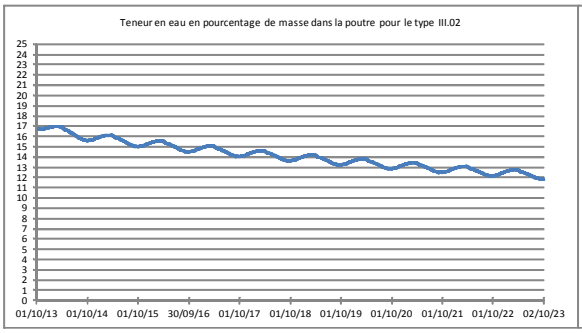


Illustration 24: Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour la variante du scénario 1

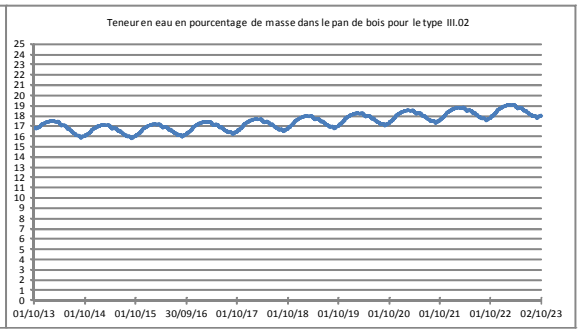


Illustration 25: Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour la variante du scénario 1

8.2. Scénario 2

Critère « gain énergétique »

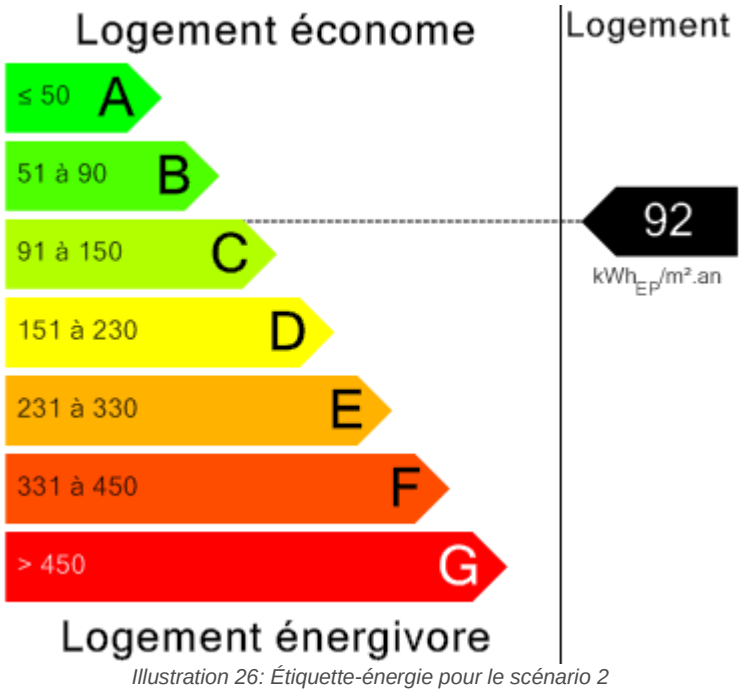


Illustration 26: Étiquette-énergie pour le scénario 2

Critère « confort d'été »

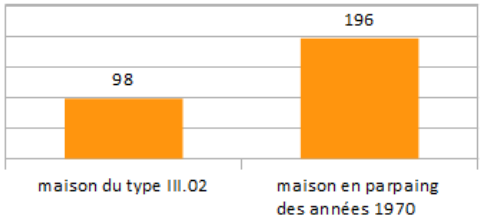


Illustration 27: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 ℃ en été (toutes pièces confondues) pour le scénario 2

Critère « absence de risques liés à l'humidité »

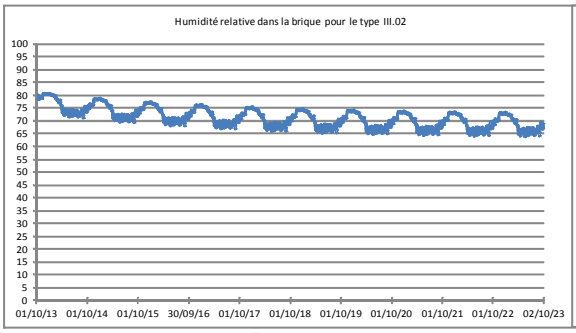


Illustration 28: Humidité relative dans la brique pour le scénario 2

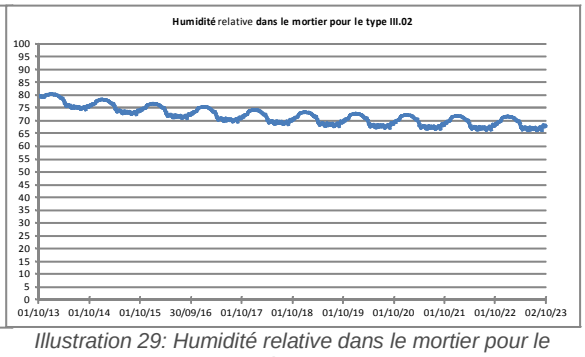


Illustration 29: Humidité relative dans le mortier pour le scénario 2

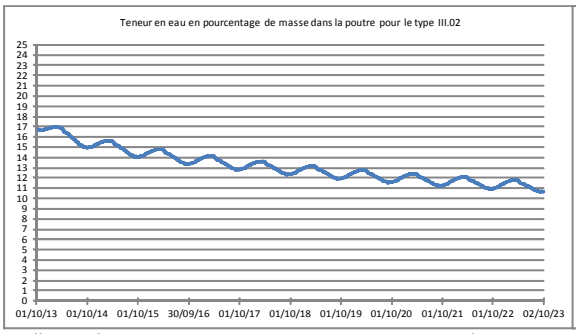


Illustration 30: Teneur en eau en pourcentage de masse dans la poutre pour le scénario 2

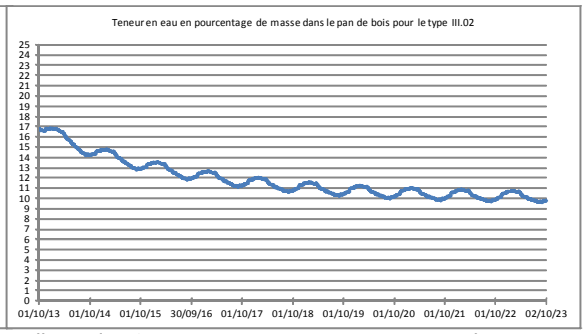


Illustration 31: Teneur en eau en pourcentage de masse dans le pan de bois pour le scénario 2

8.3. Scénario 3

Critère « gain énergétique »

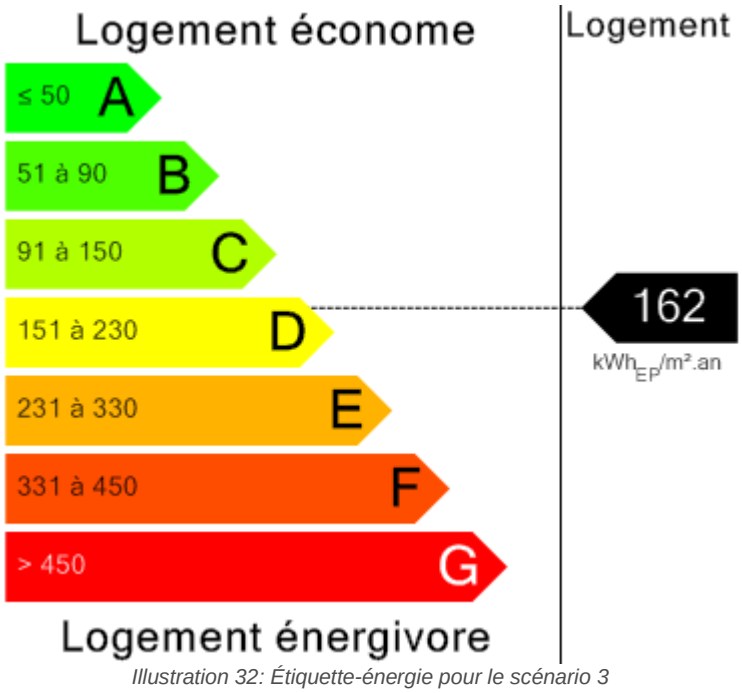


Illustration 32: Étiquette-énergie pour le scénario 3

Critère « confort d'été »

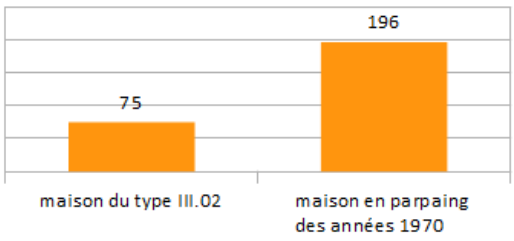


Illustration 33: Nombre d'heures pour lesquels Tint > 27 °C en été (toutes pièces confondues) pour le scénario 3

Critère « absence de risques liés à l'humidité »

Identique à la situation initiale puisqu'il n'y a pas eu de rénovation thermique des murs.

8.4. Calculs économiques

Coûts des bouquets d'actions

Coûts HT

COUTS HT ESTIMES DES SCENARI PAR GRANDS POSTES DE DEPENSES

		Quantité	Sc1	Var_Sc_1	Sc_2	Sc_3
Murs	Préparation	95,8 m²	658 €	658 €	658 €	-
	Isolation murs extérieurs	80,1 m²	8 907 €	1 758 €	8 010 €	-
	Isolation murs tampons (y.c. Escalier)	18,7 m²	1 533 €	318 €	1 870 €	-
	Placos (y.c. Hydro)	98,8 m²	-	4 302 €	-	-
	Nouveaux réseaux	1	8 281 €	8 281 €	8 281 €	-
	Finitions	98,8 m²	2 569 €	583 €	2 569 €	-
	Total		**21 948 €**	**15 910 €**	**21 388 €**	**0 €**
Plancher haut	Isolation plancher haut	82,2 m²	-	-	3 627 €	3 627 €
	Plancher technique	82,2 m²	-	-	1 262 €	1 262 €
	Isolation rampants	73,4 m²	6 724 €	3 403 €	-	-
	Placos sur rampants	73,4 m²	2 828 €	2 828 €	-	-
	Isolation pignons	33,1 m²	3 500 €	360 €	-	-
	Placos sur Pignons	33,1 m²	-	1 272 €	-	-
	Isolation + placos surcomble	40 m²	3 536 €	2 326 €	-	-
	Isolation + placos cage d'escalier	6,4 m²	500 €	337 €	-	-
	Nouveaux réseaux (chauffage + électricité)	1	2 342 €	2 342 €	-	-
	Finitions	106,5 m²	2 676 €	639 €	-	-
	Total		**22 106 €**	**13 507 €**	**4 889 €**	**4 889 €**
Plancher bas	Isolation + Placos	76 m²	6 202 €	4 340 €	6 202 €	6 202 €
	Isolation cage d'escalier	2,3 m²	184 €	124 €	-	-
	Finitions	76 m²	1 910 €	1 373 €	1 910 €	1 910 €
	Total		**8 296 €**	**5 837 €**	**8 112 €**	**8 112 €**
Menuiseries	Fenêtres	9	5 660 €	5 660 €	-	-
	Fenêtres de toit	4	2 440 €	2 440 €	-	-
	Portes	1	1 430 €	1 430 €	-	-
	Total		**9 530 €**	**9 530 €**	**0 €**	**0 €**
Travaux spécifiques	Puits de lumière	1	1 500 €	1 500 €	1 500 €	1 500 €
	Isolations supplémentaires (cheminée + fumoir)	13,8 m² et 7,7 m²	1 415 €	1 219 €	815 €	815 €
	Total		**2 915 €**	**2 719 €**	**2 315 €**	**2 315 €**
Equipements	Chaudière fuel condensation	1	4 759 €	4 759 €	4 759 €	4 759 €
	VMC simple flux hygro	1	1 700 €	1 700 €	1 700 €	1 700 €
	Total		**6 459 €**	**6 459 €**	**6 459 €**	**6 459 €**
	Coût total HT estimé des scenari		**71 254 €**	**53 962 €**	**43 163 €**	**21 775 €**
	Surface habitable (m²)		**130**	**130**	**90**	**90**
	Coût total HT estimé au m² de surface habitable		**548 €**	**415 €**	**480 €**	**242 €**
Coûts optionnels						
Plancher Haut	Dépose/repose couverture pour pose pare-pluie	155 m²	19 790 €	19 790 €	-	-

Préparation : enlèvement papier peint existant + plinthes
Isolation : comprend le pare-vapeur + kit électro-étanchéité
Placos : comprend les fourrures, joints, habillages tableaux
Nouveaux réseaux : électricité + chauffage avec dépose rés eaux existants (dépose estimée à 10 % du neuf pour l'électricité)
Finitions : papier-peint ou peinture
Isolations supplémentaires : fumoir + conduit de cheminée
Puits de lumière : chiffrage avec store extérieur solaire

Coûts TTC

COUTS TTC ESTIMES DES SCENARI PAR GRANDS POSTES DE DEPENSES

		Quantité	Sc1	Var_Sc_1	Sc_2	Sc_3
Murs	Préparation	95,8 m²	694 €	694 €	724 €	-
	Isolation murs extérieurs	80,1 m²	9 397 €	1 855 €	8 811 €	-
	Isolation murs tampons (y.c. Escalier)	18,7 m²	1 687 €	350 €	2 057 €	-
	Placos (y.c. Hydro)	98,8 m²	-	4 573 €	-	-
	Nouveaux réseaux	1	8 736 €	8 736 €	9 109 €	-
	Finitions	98,8 m²	2 826 €	652 €	2 826 €	-
	Total		**23 341 €**	**16 861 €**	**23 527 €**	**0 €**
Plancher haut	Isolation plancher haut	82,2 m²	-	-	3 826 €	3 826 €
	Plancher technique	82,2 m²	-	-	1 388 €	1 388 €
	Isolation rampants	73,4 m²	8 068 €	4 083 €	-	-
	Placos sur rampants	73,4 m²	3 393 €	3 393 €	-	-
	Isolation pignons	33,1 m²	4 201 €	432 €	-	-
	Placos sur Pignons	33,1 m²	-	1 526 €	-	-
	Isolation + placos surcomble	40 m²	4 244 €	2 791 €	-	-
	Isolation + placos cage d'escalier	6,4 m²	550 €	370 €	-	-
	Nouveaux réseaux (chauffage + électricité)	1	2 810 €	2 810 €	-	-
	Finitions	106,5 m²	3 211 €	767 €	-	-
	Total		**26 477 €**	**16 172 €**	**5 214 €**	**5 214 €**
Plancher bas	Isolation + Placos	76 m²	6 543 €	4 578 €	6 543 €	6 543 €
	Isolation cage d'escalier	2,3 m²	201 €	135 €	-	-
	Finitions	76 m²	2 101 €	1 510 €	2 101 €	2 101 €
	Total		**8 845 €**	**6 223 €**	**8 644 €**	**8 644 €**
Menuiseries	Fenêtres	9	5 972 €	5 972 €	-	-
	Fenêtres de toit	4	2 576 €	2 576 €	-	-
	Portes	1	1 509 €	1 509 €	-	-
	Total		**10 057 €**	**10 057 €**	**0 €**	**0 €**
Travaux spécifiques	Puits de lumière	1	1 800 €	1 800 €	1 582 €	1 582 €
	Isolations supplémentaires (cheminée + fumoir)	13,8 m² et 7,7 m²	1 556 €	1 340 €	896 €	896 €
	Total		**3 356 €**	**3 140 €**	**2 478 €**	**2 478 €**
Equipements	Chaudière fuel condensation	1	5 021 €	5 021 €	5 021 €	5 021 €
	VMC simple flux hygro	1	1 870 €	1 870 €	1 870 €	1 870 €
	Total		**6 891 €**	**6 891 €**	**6 891 €**	**6 891 €**
	Coût total TTC estimé des scenari		**78 966 €**	**59 343 €**	**46 754 €**	**23 227 €**
	Surface habitable (m²)		**130**	**130**	**90**	**90**
	Coût total TTC estimé au m² de surface habitable		**607 €**	**456 €**	**519 €**	**258 €**
Coûts optionnels						
Plancher Haut	Dépose/repose couverture pour pose pare-pluie	155 m²	23 748 €	23 748 €	-	-

Préparation : enlèvement papier peint existant + plinthes
Isolation : comprend le pare-vapeur + kit électro-étanchéité
Placos : comprend les fourrures, joints, habillages tableaux
Nouveaux réseaux : électricité + chauffage avec dépose réseaux existants (dépose estimée à 10 % du neuf pour l'électricité)
Finitions : papier-peint ou peinture
Isolations supplémentaires : fumoir + conduit de cheminée
Puits de lumière : chiffrage avec store extérieur solaire

Temps de retour actualisé (TRA)

TRA sans prise en compte d'un prêt à rembourser

Calcul du temps de retour actualisé sur investissement avec inflation annuelle du coût de l'énergie

Taux actualisation : 4,00%

Scénario	Montant des travaux (TTC)	Surface habitable avant travaux(m²)	Surface habitable après travaux(m²)	Type d'énergie	Conso avant travaux (kWh Ef)	Conso après travaux (kWh Ef)	Coût kWh (€) (*)	Taux d'inflation annuel de l'énergie (**)	Temps de retour actualisé (années)
Sc1	78 966	90	130	Fuel	294	51	0,0889	8,36%	25
		90	130	Electricité	20	4	0,1628	6,17%	
Var_Sc_1	59 343	90	130	Fuel	294	50	0,0889	8,36%	21
		90	130	Electricité	20	4	0,1628	6,17%	
Sc_2	46 754	90	90	Fuel	294	93	0,0889	8,36%	19
		90	90	Electricité	20	6	0,1628	6,17%	
Sc_3	23 227	90	90	Fuel	294	162	0,0889	8,36%	15
		90	90	Electricité	20	11	0,1628	6.17%	

(*) : valeur du kWh TTC moyen (fioul : données du MEDDE – prix moyen 2014 / électricité : base de données eurostat – prix moyen 2014)
(**) : taux moyen d'inflation calculé (fioul : prix moyens annuels du MEDDE de 2009 à 2014 / électricité – prix moyens annuels EUROSTAT de 2009 à 2014)

Émissions de CO_2

Gaz à effet de serre économisés sur 20 ans (en tonnes de CO_2 et en €)

	Sc_1	Var_Sc_1	Sc_2	Sc_3
GES économisé par an	6,60	6,64	6,03	3,96
GES économisé sur 20 ans	131,92	132,75	120,67	79,19
Monétarisation sur 20 ans (à.c. de 2015)	3 925 €	3 949 €	3 590 €	2 356 €

Pour information (cf explications dans le rapport méthodologique de la phase 2), les valeurs de monétarisation des GES en € par kg de CO_2 sont les suivantes :

Jusqu'à 2025	0,020
De 2026 à 2030	0,035
A compter de 2031	0,050