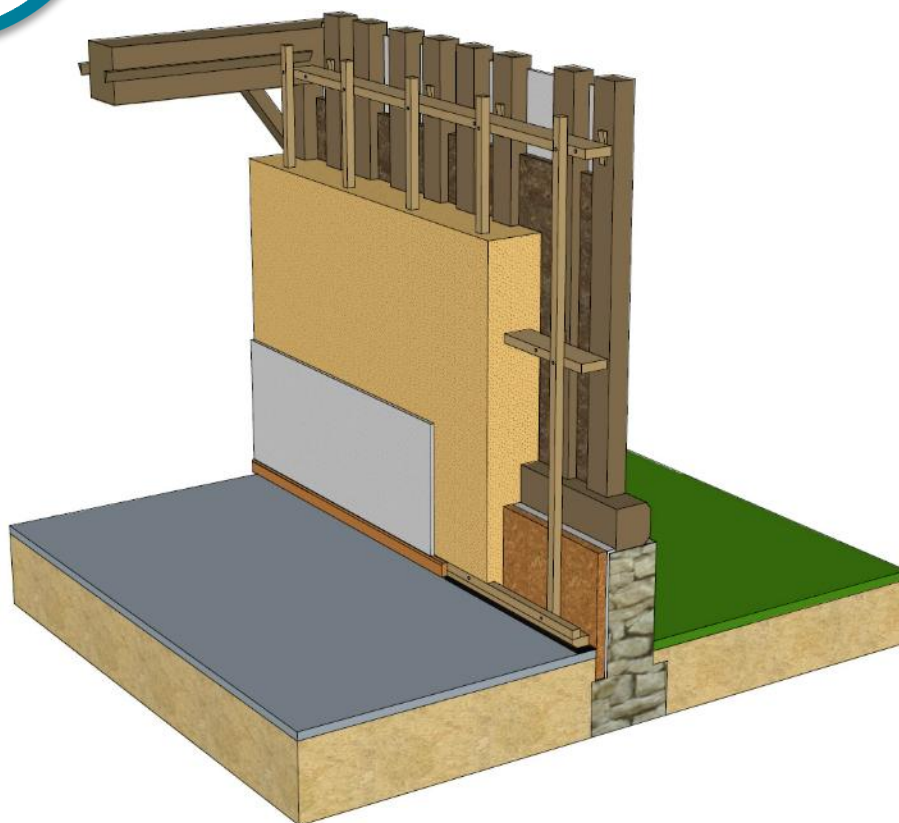


GUIDE TECHNIQUE Solution ERN

Décembre 2025



RAPPORT RESTORE



RÉDACTION

Équipe de conception :

Xavier D'ALENCON (ATELIERS SAINT BENOIST)

David BRIERE (BATIDERM INGENIERIE)

Christophe DAVIGNON (ETABLI 61)

Anne LEQUERTIER (LES CHANTIERS DE DEMAIN)

Julien LUCAS (BATIR EN TERRE)

Jean-Baptiste ROUZIN (LES CHANTIERS DE DEMAIN)

Sophie POPOT (ARCHITECTE - URBANISTE)

Nicolas KNAPP (ARCHITECTE - INGENIEUR)

Jean HOURANY (BATIDERM INGENIERIE)

COORDINATION

Benjamin RIOU (CSTB)

Billy RAKOTOMALALA (CSTB)

RELECTURE

Franck LEGUILLON (CSTB)

Rémi BOUCHIE (CSTB)



1	OBJECTIF DE CE GUIDE	8
2	DOMAINE D'APPLICATION.....	11
2.1	Matériaux constitutifs de murs.....	11
2.2	Localisation géographique visée.....	12
2.3	Typologies visées par la gamme de solutions.....	13
2.3.1	Type A1 – Maison de bourg / Avant 1915.....	13
2.3.2	Type C2 – Maison rurale à étage Avant 1880	14
2.3.3	Type C4 – Longère / Avant 1880.....	15
2.4	Modèles des maisons de référence.....	18
2.4.1	Type A1 – Maison de bourg avant 1915	18
2.4.2	Type C2 – Maison rurale à étage avant 1880.....	19
2.4.3	Type C4 – Longère en pan de bois avant 1880.....	20
2.5	Les variantes dans les typologies visées	24
2.5.1	Type A1 – Maison de bourg avant 1915	25
2.5.2	Type C2 - Maison rurale à étage avant 1880	26
2.5.3	Type C4 – Longère avant 1880.....	28
3	PRINCIPE GENERAL DE LA SOLUTION GLOBALE	31
3.1	Principe générale de la solution globale	31
3.1.1	Nos techniques.....	31
3.1.2	Intérêt des fibres végétales d'origine locale.....	31
3.1.3	La fibre de chanvre et la caractérisation hygrothermique des matériaux.....	32
3.1.4	Caractérisation des isolants de référence utilisés.....	33
3.1.5	Caractérisation massique et thermique des isolants de référence utilisés.....	33
3.1.6	Modélisation des isolants de référence utilisés.....	34
3.1.7	Structuration des interventions en Filière humide et Filière sèche	35
3.2	Description de principe de l'ensemble des lots	36
4	DECLINAISON EN GAMME.....	38
4.1	Variantes d'isolation pour les murs.....	38
4.2	Variantes d'isolation pour les planchers bas.....	39
4.3	Variantes d'isolation pour les rampants de toit.....	40
4.4	Variantes sur les menuiseries	40
4.5	Variantes sur les systèmes de chauffage	41
4.6	Variantes sur les systèmes de VMC.....	41
4.7	Variantes de solutions pour la typologie A1.....	42
4.8	Variantes de solutions pour la typologie C2	43
4.9	Variantes de solutions pour la typologie C4.....	45
5	ELEMENTS DE DIAGNOSTIC	47
5.1	Diagnostic structurel.....	47
5.2	Diagnostic de la toiture	48

5.3	Diagnostic fonctionnel.....	50
5.4	Diagnostic architectural et contextuel.....	51
5.5	Diagnostic sanitaire	52
5.6	Diagnostic technique.....	53
6	DESCRIPTION DETAILLEE DES LOTS PRIORITAIRES	57
6.1	Lots prioritaires	57
6.1.1	Isolation des murs en filière humide par l'intérieur.....	57
6.1.2	Isolation des murs en filière sèche par l'extérieur.....	65
6.1.3	Lot 2 – Isolation des planchers bas.....	67
6.1.4	Lot 3 – Isolation des rampants de combles aménagés	69
6.1.5	Lot 4 – Isolation des planchers hauts de combles perdus	69
6.1.6	Lot 5 – Menuiserie.....	69
6.1.7	Lot 6 – Réseau de ventilation (intégrant le traitement des traversées de parois) ..	71
6.1.8	Lot 8 – Système de chauffage et/ou refroidissement.....	72
6.1.9	Lot 9 – Système de ventilation	73
6.1.10	Lot 10 – Réseau électrique (intégrant le traitement des traversées de parois) ...	74
6.1.11	Lot 11 – Réseau de plomberie (intégrant le traitement des traversées de parois) ..	75
6.2	Interactions entre lots - Solution de référence	76
6.2.1	Description détaillée – première combinaison (Lot Plancher bas/Lot murs extérieurs).....	76
6.2.2	Description détaillée – deuxième combinaison (Lot Menuiseries/Lot murs extérieurs).....	77
6.2.3	Description détaillée – troisième combinaison (Lot murs ITI / Lot murs ITE).....	81
6.2.4	Description détaillée – quatrième combinaison (Lot murs / Lot planchers intermédiaire)	83
6.2.5	Description détaillée – cinquième combinaison (Lot murs pans de bois / Lot plancher bas).....	85
6.2.6	Description détaillée – sixième combinaison (Lot plancher intermédiaire / Lot murs) ..	88
6.2.7	Description détaillée – septième combinaison (Lot plancher haut / Lot murs) ..	90
6.3	Déclinaisons.....	91
6.3.1	Déclinaisons de la typologie A1.....	91
6.3.2	Déclinaison, mur en bauge	94
6.3.3	Déclinaison, mur en brique.....	95
6.3.4	Déclinaison de C4, Isolation de plancher bas sur hérisson ventilé	96
6.3.5	Déclinaison n°6 (concerne C4) : Plancher haut / mur	97
7	REGLES DE CONCEPTION DES LOTS ET INTERFACES.....	98
7.1	Adaptations de type 2 lié à la localisation géographique	98
7.1.1	Zone sismique	98
7.1.2	Prescription PLU / zone classée (patrimoine).....	98
7.1.3	Gel/hors gel.....	98
7.1.4	RGA.....	98

7.1.5	Zone inondable.....	98
7.1.6	Zone urbaine avec pollution automobile et bruit.....	99
7.1.7	Zone urbaine ou hameau sensibles aux émissions de particules	99
7.1.8	Zone tendue	99
7.1.9	Milieu salin	99
7.1.10	Nappe phréatique affleurante	99
7.1.11	Zone climatique humide	100
7.1.12	Arrachement/vent.....	100
7.1.13	Accessibilité.....	100
7.1.14	Albedo élevé	100
7.1.15	Albedo faible	100
7.1.16	Environnement bruyant.....	100
7.2	Adaptations de type 3 lié à l'état initial.....	102
7.2.1	Paroi déjà isolée mur.....	102
7.2.2	Paroi déjà isolée comble	102
7.2.3	Menuiseries déjà remplacées	102
7.2.4	Remontées capillaires	102
7.2.5	Descentes d'eaux pluviales dégradées.....	103
7.2.6	Hors d'eau pluviales	103
7.2.7	Problème d'infiltration d'eau	103
7.2.8	Pourriture du bois	103
7.2.9	Insectes, champignons.....	104
7.2.10	Fissures et affaissement des parois	104
7.2.11	Risque de pertes d'usage (perte de surface).....	104
7.2.12	Risque de pertes d'usage (autres).....	104
8	CONDITIONS DE FABRICATION.....	105
9	MISE EN ŒUVRE	106
9.1	Contexte et règles de l'art	106
9.2	Modalités générales et particulières de mise en œuvre.....	106
10	COMPETENCES REQUISES	107

Les projets RENOSTANDARD puis RESTORE ont été engagés pour favoriser la massification de la rénovation des maisons individuelles diffuses. Ce parc de maisons (16,5 millions de maisons en résidence principale) est un vivier très important dans un objectif de réduction du besoin énergétique et de l'impact environnemental du secteur du bâtiment, sachant que plus de 40 % des maisons ayant un DPE sont notées E, F ou G¹.

RESTORE s'appuie sur l'analyse architecturale du parc de maisons en France qui permet de faire ressortir des typologies de maisons aux caractéristiques constructives proches. Ces similarités permettent de concevoir des solutions de rénovation globale et performante adaptées à une même typologie de maisons qui pourront ensuite être ajustées en fonction du cas particulier de chaque maison (besoin du ménage, particularité du bâti, etc.). On parle alors d'une gamme de solutions.

La massification de la rénovation passe alors par le développement d'une offre de solutions innovantes dont la faisabilité technique, sur ces typologies, a déjà été validée par des réalisations ou des travaux de conception bien avancés.

Pour concevoir des solutions innovantes, plusieurs appels à manifestation d'intérêt (AMI) ont été lancés à destination de groupements d'entreprises puis une combinaison d'offres adaptées à des modèles de maisons très courants a été sélectionnée. Les critères de choix des solutions ont été, entre autres, le potentiel des solutions pour répondre à la massification, la complétude des groupements portant la solution, le potentiel de la solution à accéder rapidement au marché et bien sûr la performance de la solution (thermique, environnementale, confort et économique).

Les groupements sélectionnés bénéficient dans le cadre du projet d'un accompagnement dans la conception de leur solution. Cet accompagnement consiste essentiellement en la coordination et la mobilisation de différents experts du CSTB issus de divers domaines scientifique ou technique pour appuyer les équipes sur la consolidation technique, la validation du niveau de performance attendu et la répliquabilité des solutions développées.

Par ailleurs, quelques études spécifiques ont été conduites sur des problématiques bien ciblées afin d'aider certains groupements à opérer des choix dans la conception de leur solution et à définir des règles de dimensionnement.

Le présent document rassemble un ensemble d'éléments techniques jugés pertinents à prendre en compte dans la conception de la solution proposée par les équipes de conception

¹ [Le parc de logements par classe de performance énergétique au 1er janvier 2022, SDES, 2022.](#)

et ses déclinaisons. Il est le fruit d'un travail collaboratif mené dans le cadre du projet RESTORE entre les équipes de conception et le CSTB. Sans prétendre au statut d'un guide de recommandation professionnelle, le présent document en reprend la philosophie et les éléments de langage.

1 OBJECTIF DE CE GUIDE

Le patrimoine bâti est un élément dominant de la constitution de nos paysages urbains mais aussi ruraux. De longue date, l'habitat est clairement un élément d'identification des territoires auxquels tiennent particulièrement les occupants (les usagers) permanents ou occasionnels.

Préserver ce patrimoine, noble ou vernaculaire, qu'il soit en bourg ou en campagne est une demande sociale forte et légitime, que se doit de respecter la rénovation thermique des bâtiments. En même temps cette rénovation thermique par le confort et les économies de fonctionnement qu'elle apporte est une nécessité pour conserver des bâtiments utiles, c'est à dire dont l'usage correspond à l'attente de leurs habitants.

Rénovation thermique et préservation du patrimoine sont donc des objectifs conjoints. Pour les atteindre il est nécessaire, d'élaborer un diagnostic initial complet du bâtiment (voir paragraphe 5).

L'objectif des travaux de réhabilitation thermique est à la fois de réparer des bâtiments qui ont souvent été mal entretenus dans les 50 voire les 100 dernières années, mais aussi d'accroître l'utilité d'un bâtiment de logement en améliorant son confort d'usage en particulier hygrothermique en été et en hiver et en réduisant son coût de fonctionnement et son impact carbone. Dans le domaine de l'habitat individuel, cette démarche ne peut se faire qu'avec l'adhésion étroite au projet du propriétaire et de l'occupant. Contraintes ou opportunités, les réglementations thermiques obligent les corps de métier intervenants vis à vis des occupants ou des propriétaires. Effectuer des travaux importants, cela implique maintenir l'existant, mettre en conformité au regard des règlements sanitaires départementaux du code de la construction ou de l'urbanisme en portant en particulier attention à l'application des normes actuelles du logement décent, voir à anticiper celles de demain.

L'objectif de ce guide est de fournir un ensemble d'informations techniques pour la conception et le dimensionnement d'une solution innovante de rénovation destinées à être mise en œuvre en maisons individuelles. Il fournit en particulier des éléments de descriptions détaillés concernant les Lots Murs extérieurs, plancher bas, menuiseries, plancher intermédiaire ainsi que leurs interfaces. Il fournit également des éléments plus généraux pour la conception d'une rénovation globale adaptée à certains types de maisons courantes en vue de faciliter son déploiement territorial.

Nos buts sont :

- De mettre en évidence les spécificités multiples du bâti ancien (en pierre, terre et paille...)
- De partager et diffuser nos différentes méthodes et techniques de mise en œuvre
- De mettre les artisans, l'architecte et le thermicien au cœur des choix du projet, avec une mise en application éclairée des règles thermiques à la rénovation pratique du bâti ancien.
- De diffuser les techniques utilisées lors de nos rénovations performantes BBC Normandie.

Le type de solutions étudiées dans le présent guide cible en particulier des types de maison individuelles très communes telles que décrites ci-après :

Maison type A1

Maison de bourg avant 1915 (1 680 000 U)

Interfaces étudiées :

- Interface 1 = plancher bas x murs extérieurs
- Interface 2 = menuiseries x murs extérieur



Maison type C2

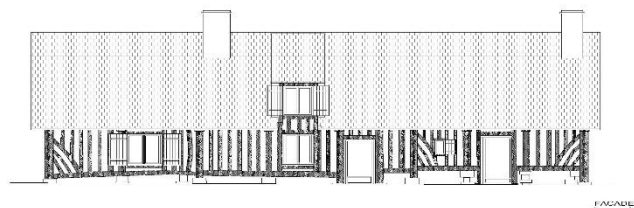
Maison rurale à étage avant 1880 (230 000 U)

Interfaces étudiées :

- Interface 1 = Murs ITI x Murs ITE
- Interface 2 = Murs x Plancher intermédiaire



Maison type C4



Longère avant 1880 (70 000 U)²

Interfaces étudiées :

- Interface 1 = Murs x plancher bas
- Interface 2 = Plancher intermédiaire x murs

Suivant les régions, les colombes (pièces de bois verticales) sont apparentes (pays d'Auge par exemple) ou cachées sous un enduit (bocage normand par exemple).

Les informations techniques contenues dans ce guide ont pour but de fournir une base technique la plus fiable possible en vue de faciliter l'appropriation et la diffusion de la solution vers l'ensemble des acteurs de la construction.

Le présent guide contient en particulier les éléments d'information suivant :

- Le domaine d'application de la solution
- Le principe général de la solution globale
- une gamme de déclinaisons
- des éléments de diagnostic,
- une description des lots
- des objectifs de conception de certains lots et interfaces
- le descriptif des compétences requises

Pour les conditions de fabrication et de mise en œuvre on se référera au Guide de Mise en Œuvre.

² Nombre beaucoup plus élevé si l'on considère les longères en pans de bois enduits.

2 DOMAINE D'APPLICATION

La rénovation du bâti ancien (bâtiments d'avant 1915 construits en pierre, terre et bois) a des exigences spécifiques, auxquelles les techniques et matériaux de construction modernes et standardisés (conçus pour des constructions plus récentes en parpaings de ciment, béton et autres) se révèlent souvent inadaptés. Une transposition erronée de ces techniques au bâti ancien augmente le risque de désordres. De fait les solutions de référence adaptées sont à rechercher davantage dans les « règles de l'art » plutôt que dans les NF DTU qui ne peuvent s'y appliquer que très partiellement, sur certaines parties du bâtiment notamment lors de leur réfection à neuf (ce qui n'est, la plupart du temps, pas notre objectif). Dans notre contribution nous décrivons des techniques de rénovation pensées pour leur bonne adaptation au bâti ancien et leur capacité à l'amener vers un niveau de confort et de performance actuel.

Nous développerons le domaine d'application de la solution de référence des EcoRénovateurs Normands en prenant en compte :

- Les adaptations prioritaires identifiées dans le Tableau 2
- Les différents cas de localisations géographiques compatibles
- L'avis des experts du CSTB consultés pendant la phase d'accompagnement

La solution de référence des EcoRénovateurs Normands est une approche globale. Cette solution sera détaillée dans le paragraphe 3.1. Notre solution de référence s'applique à un large spectre de maisons anciennes, dont les typologies A1, C2 et C4 font partie.

2.1 Matériaux constitutifs de murs

L'intervention sur ces types d'habitations nécessite de différencier les matériaux capillaires des matériaux non capillaires. En effet, les problématiques de diffusion la vapeur d'eau comme d'absorption d'eau liquide en provenance des précipitations sont très influents sur la pérennité des structures ou des matériaux isolants.

Concernant les murs en pierres, les études hygrothermiques que nous avons réalisées nous permettent pour l'instant de valider nos solutions seulement pour les pierres du type moyennes ou tendres (calcaire ou autre). Le critère principal que nous avons déterminé est que la valeur de leur résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (μ) doit être égale ou inférieure à 50. Le tableau ci-après donne les valeurs de μ pour quelques types de pierres et autres matériaux composant couramment les murs anciens. Il convient de bien identifier en premier lieu les caractéristiques des matériaux (pierres et mortier de hourdage) et de recourir en cas

de doute (par exemple si μ est voisin de 50) à une étude hygrothermique dynamique (par exemple sous le logiciel WUFI).

Tableau 1 : Caractéristiques des principaux matériaux des murs du bâti ancien (sources : cf. pack technique en annexe des pages des typologies [Maison de Bourg - A1 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#), [Maison moyenne - C2 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#), [La longère - C4 - Fiche RESTORE - Pro'Réno](#))

	Densité (kg/m ³)	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ)	Solution d'isolation par l'intérieur des murs applicable ?
Granits	2600	10000	Non
Schistes	2400	800	Non
Pierres calcaires dures	2000 à 2200	200	Non
Pierres calcaires moyennes	1850	50	Oui
Pierres tendres	1600	25 à 40	Oui
Grès	2000 à 2800	20 à 40	Oui
Briques pleines	Env. 2000	10 à 20	Oui
Enduit au ciment	Env. 1900	25 à 85	Suivant valeur de μ
Mortiers à la chaux	Env. 1600	6 à 20	Oui
Mortiers sable/plâtre	Env. 1500	6 à 10	Oui
Torchis, terre, bauge	1200 à 2000	5 à 15	Oui

2.2 Localisation géographique visée

Les zones géographiques d'implantation des maisons référencées ici, sont, à priori, toutes compatibles avec les solutions proposées. Le climat local interviendra sur les prescriptions mais pas sur leurs principes. En ce qui concerne les matériaux choisis, le chanvre et la terre, d'origine locale, pas de restriction non plus du domaine d'application sachant qu'en cas d'absence de production locale de chanvre, d'autres fibres végétales peuvent être mises en œuvre (voir entre-autres le Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue).

Les solutions choisies seront applicables en climat tempéré ou océanique, c'est à dire l'ouest de la France : régions Normandie, Bretagne, Pays de la Loire, Centre-val de Loire, Ile de France, la Nouvelle-Aquitaine et au moins une partie des Hauts de France. Les climats continentaux

et de montagne ne sont actuellement pas couverts par nos solutions. Il conviendra de mener des études hygrothermiques complémentaires pour éventuellement envisager une applicabilité à davantage de régions françaises. L'intégralité des Hauts de France, mais aussi l'Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur pourraient être concernées dans un second temps. Les conditions climatiques locales sont à prendre en compte et divers éléments constructifs des bâtiment visés (débords de toiture, nature des enduits, protections de certaines façades par un bardage, etc.) sont prévus pour y faire face.

2.3 Typologies visées par la gamme de solutions

Les typologies sur lesquelles nos solutions s'appliquent sont exposées ci-après. Il s'agit des typologies **A1, C2 et C4** suivant la nomenclature établie par le CSTB. Mais les techniques que nous proposons peuvent être élargies à d'autres typologies, notamment les typologies A3.3, C1, C3, C5, C8, C10, et, dans une moindre mesure : A2.1, A2.3, A4.1, A4.2. En effet, c'est avant tout la nature des murs qui est techniquement déterminante, bien davantage que la forme architecturale de la maison. Attention au fait que tous les murs d'une même maison ne sont pas toujours de même nature. Ils peuvent varier dans leur position dans la maison que ce soit en terme hauteur : base, surélévation, etc., ou fonction de l'orientation : sur rue ou sur cour ou en refend notamment.

2.3.1 Type A1 – Maison de bourg / Avant 1915

La maison de bourg est présente dans les noyaux urbains anciens, sur des parcelles de dimensions variables, en largeur et profondeur. Elle constitue une typologie (alignement sur rue, mitoyenneté, faible hauteur, cour ou jardin arrière, activité commerciale ou artisanale en RdC) qui se décline en différents types avec de nombreuses variantes (galerie à l'étage/arcade en RdC, encorbellement de la façade sur rue, etc.).

Il s'agit de maisons à l'architecture vernaculaire. Construites le plus souvent sans architecte, elles témoignent d'une compétence populaire de la construction. Elles sont à R+1 ou plus. Elles sont généralement mitoyennes sur les 2 pignons sur toute hauteur ou partiellement. Mais parfois la mitoyenneté ne concerne qu'un seul pignon. Les spécificités régionales sont nombreuses, et intègrent les matériaux locaux.



Figure 1 : Type A1 : Maisons de bourg avant 1915

2.3.2 Type C2 – Maison rurale à étage Avant 1880

La maison rurale « moyenne » est fréquente et souvent construite dans le 2ème moitié du XIXème siècle pendant une période de prospérité économique et de croissance démographique. Sur un plan rectangulaire avec la façade principale souvent symétrique, la façade arrière plus rarement et les pignons en général aveugles, elle abrite une famille sur deux niveaux : les pièces communes au RdC et les chambres et cabinet de toilette à l'étage. Construite au milieu d'une parcelle à quelque distance des étables, laiteries, porcherie etc., elle est souvent affublée d'une remise ou d'une écurie. Les façades régulières peuvent comporter des modénatures plus ou moins riches. Cheminées, corniche, bandeaux, appuis de fenêtre, linteaux etc. témoignent du savoir-faire des compagnons et de la richesse du propriétaire. On la trouve suivant les régions et les ressources de leur sous-sol construite en pierre, en brique ou en bauge (tous comme la typologie A1).



Figure 2 : Type C2 : Maison rurale à étage avant 1880, avec sa grange mitoyenne (sur la droite

2.3.3 Type C4 – Longère / Avant 1880

La longère, terme générique, est caractérisée par ses proportions : longueur importante/faible épaisseur. Elle est présente dans différentes régions de France, notamment la Normandie et le Nord. En général, la maison comporte deux pièces d'habitation, les autres surfaces étant dédiées aux activités rurales artisanales ou agricoles : bergerie, laiterie, etc. Le comble était destiné au fourrage, qui était introduit par les lucarnes. La longère possède une façade principale dotée de nombreuses ouvertures, qui est le plus souvent orientée au Sud. La façade arrière comporte peu d'ouvertures.

Les murs sont en pan de bois avec un remplissage torchis ou brique, ou en pierre. Il est extrêmement fréquent dans le secteur du Pays d'Auge ou de la vallée de la Seine (Eure, Seine maritime) que le hourdis originel en torchis ait été remplacé en enveloppe dès le 18^e siècle par un hourdis tout venant en plâtras. Cette prescription par édit royal en ville a provoqué une modification majeure du fonctionnement thermique de ces maisons et immeubles. Il est proposé ici de restaurer ce fonctionnement thermique en réintroduisant le bénéfice apporté des mortiers et techniques de remplissage avec des mélanges de fibres et de terre sur des supports en bois. La toiture est à l'origine en chaume, ou tuile plate, ou ardoise. La longère est un patrimoine architectural très menacé.



Figure 3 : *Type C4 : Longères à pans de bois avant 1880*

Les principes constructifs de l'existant impactent fortement les solutions de rénovation, et nécessitent une approche matricielle à trois dimensions (principes constructifs, différenciation architecturale) pour l'approche typologique proposée. La diversité des formes des pièces de bois du Pan de bois est une des raisons pour laquelle, la filière humide, un matériau plastique (à base de terre) est tout indiqué pour remplir toute la gamme de ces alvéoles.

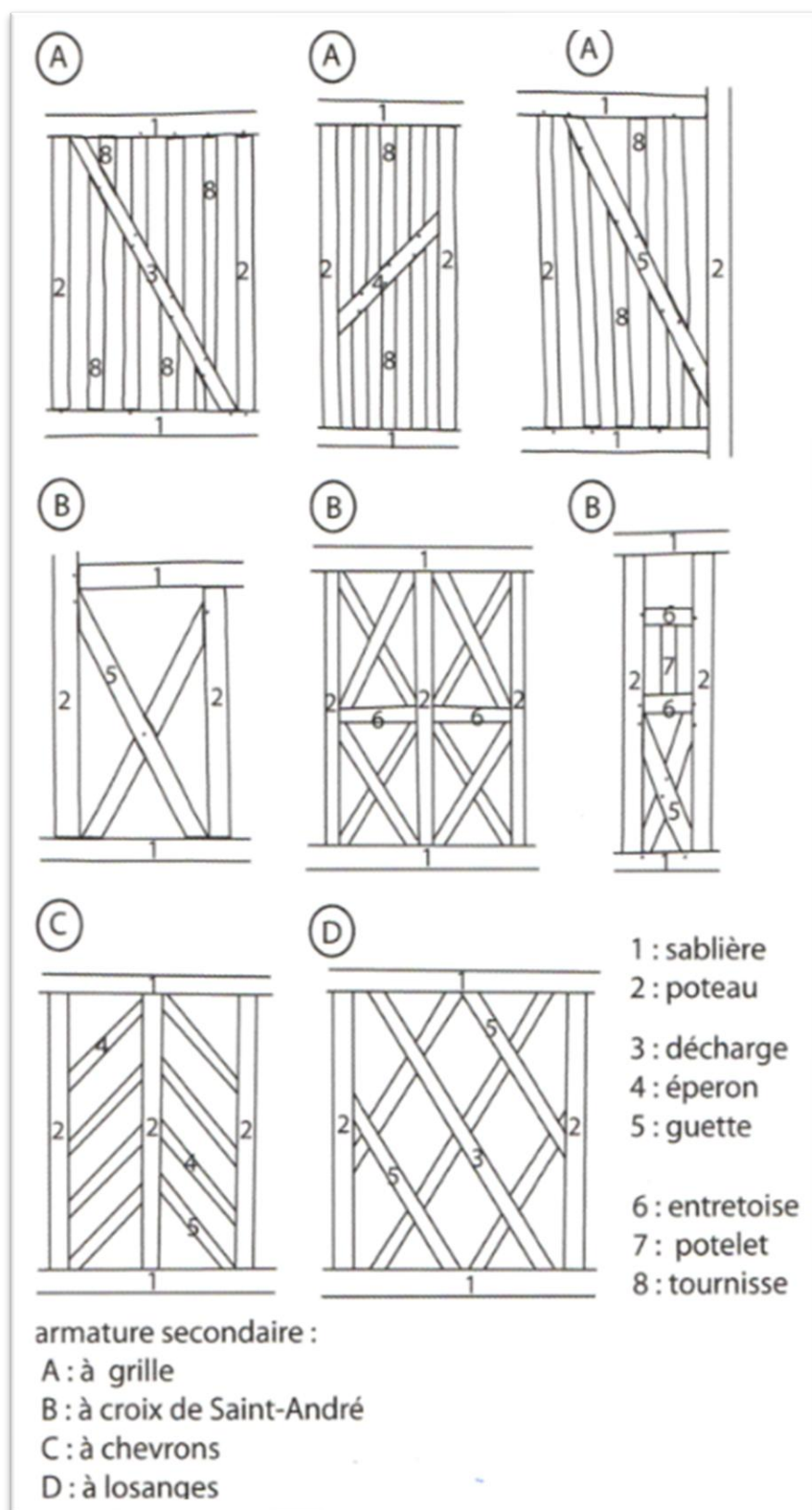


Figure 4 : Glossaire « La construction en pan de bois au Moyen-âge et à la Renaissance » sous la direction de Clément Alix et Frédéric Epaud, 2013

2.4 Modèles des maisons de référence

Remarque préalable : Toutes les maisons auraient pu être étudiées sous leur meilleur attrait : sans autre défaut que l'isolation insuffisante à nos yeux contemporains. Nous en avons décidé autrement, car nos expériences de chantier nous démontrent qu'il faut souvent régler plusieurs problèmes à la fois. Nous avons donc attribué, de façon réaliste mais sûrement un peu arbitraire ces handicaps : humidité, logement indécent (trop petit, mal éclairé), non adapté (accessibilité), etc. A l'issue de l'étude, il ne faudra pas attribuer systématiquement ces désordres ou non conformités à l'une ou l'autre catégorie, mais plutôt élargir le nombre de cas et renforcer le diagnostic initial afin d'effectuer les choix de travaux les plus pertinents en fonction de l'état réel du bâtiment. Notre but est de faire ainsi la démonstration que ces petites maisons, charmantes, issues du patrimoine vernaculaire ont l'atout de pouvoir se transformer en habitations économes, confortables, et adaptées, pour qui est sensible à leurs spécificités.

Les maisons de référence étudiées font partie des types A1, C2 et C4. Les composants principaux visés par la solution sont constitués de la manière suivante :

2.4.1 Type A1 – Maison de bourg avant 1915

Composition des parois de la maison de référence :

	Cas général	Élément de référence
Parois verticales	Murs en matériaux anciens : pierres de diverses natures ou briques pleines, directement enduits sur leur face intérieure par des enduits terre ou chaux ou plâtre.	Pierre moyenne ou tendre (résistance à la diffusion de vapeur $\mu < 50$), typiquement : pierres calcaires
Plancher bas	Les planchers bas sont soit sur terre-plein soit sur sous-sol. Les sous-sols étant le plus souvent enterrés (soit totalement, soit en grande partie)	Terre-plein comme c'est souvent le cas dans les bourgs construits sur roches dures affleurantes
Planchers intermédiaires et plancher du grenier	Les différents planchers sont la plupart du temps à structure porteuse en bois. Il peut s'agir de planchers légers (plancher bois sur le dessus des solives bois, lattis et plâtre en-dessous) ou de planchers lourds (chape en terre ou à la chaux portée par des solives et poutres), dans ce cas des poutres porteuses sont la plupart du temps	Planchers lourds (chape en terre ou à la chaux posée sur les solives)

	présentes pour réduire la longueur des solives soumises à une charge plus importante.	
--	---	--

Situation architecturale initiale :

La situation architecturale retenue pour décrire la solution de référence est la suivante :

- Maison mitoyenne sur les deux pignons, avec des maisons voisines de hauteurs légèrement différentes
- Couverture à 2 pans, de pente $45^\circ \pm 10^\circ$, avec combles perdus
- Débord de toiture limité
- Maison faisant partie d'une Zone de prescription au PLU
- Maison avec des petits espaces : Risque de perte d'usage (perte de surface de pièces déjà exiguës)

2.4.2 Type C2 – Maison rurale à étage avant 1880

Composition des parois de la maison de référence :

	Cas général	Solution de référence
Parois verticales	Murs en matériaux anciens : pierres de diverses natures ou briques pleines ou bauge, directement enduits sur leur face intérieure par des enduits terre ou chaux ou plâtre, ou non enduits. L'aspect extérieur est souvent plus riche côté rue, avec des fenêtres plutôt grandes et disposées symétriquement dans une souris d'apparence esthétique	Pierre moyenne ou tendre (résistance à la diffusion de vapeur $\mu < 50$), typiquement : pierres calcaires
Planchers intermédiaires et plancher du grenier	Les différents planchers sont la plupart du temps à structure porteuse en bois. Il peut s'agir de planchers lourds (chape en terre ou à la chaux posée sur les solives), dans ce cas des poutres porteuses sont la plupart du temps présentes pour réduire la longueur des solives soumises à une charge plus importante, ou	Planchers légers, creux à structure bois

de planchers creux (plancher bois sur le dessus des solives bois, lattis et plâtre en-dessous)
--

Situations architecturales de référence considérées :

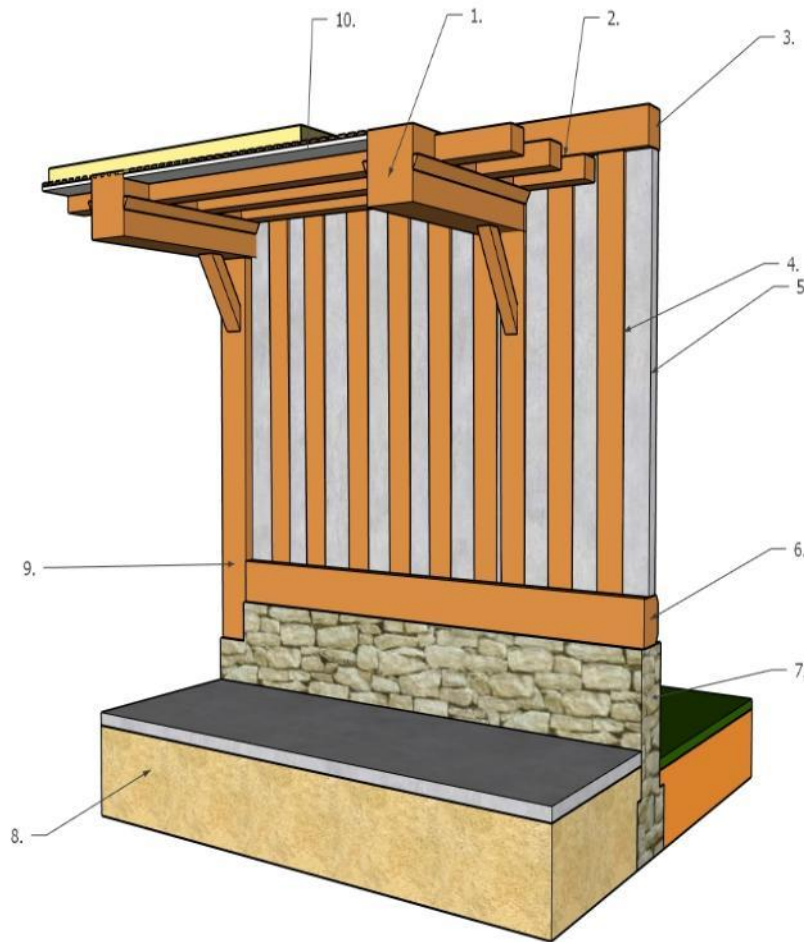
La situation architecturale retenue pour décrire la solution de référence est la suivante :

- Maison mitoyenne avec sa propre grange
- Plancher bas sur terreplein
- Couverture à 2 pans, de pente $45^\circ \pm 10^\circ$, avec combles perdus
- Débord de toiture limité

2.4.3 Type C4 – Longère en pan de bois avant 1880

Composition des parois de la maison type :

	Cas général	Cas particulier
Parois verticales	Les parois verticales sont composées d'un soubassement en pierre et de murs en pans de bois	Le hourdis des pans de bois a été partiellement refait avec un remplissage en cailloux tout-venant liés au plâtre
Plancher bas	Les planchers bas sont sur terre-plein	Terre-plein sur sol parfois humide et drainage périphérique impossible
Planchers intermédiaires et plancher haut de comble	Le plancher intermédiaire comporte des sommiers traversants particulièrement délicats à rendre étanche à l'air. Le plancher haut de comble et en contact avec les rampants	Sur le plancher intermédiaire ou le plancher haut, présence d'un terri ou torchis sur plancher à conserver ou restaurer. Rampants d'aménagement de comble : préférer l'isolation par le dessus de la toiture (étoupe de chanvre, balle locale, ...)



Désignation

1. Poutre maîtresse ou Sommier traversant l'enveloppe
2. Solives (parallèles au mur gouttereau) du plancher reposent sur un linçoir ou le sommier
3. Sablière haute du Pan de bois
4. La colombe formant le colombage. Le contreventement avec une colombe en écharpe peut être réalisé au nu de la façade ou à l'intérieur (non représenté)
5. Hourdis - entre colombage rempli d'un mélange pierre / plâtre ou ciment (variante avec torchis à l'état initial)
6. Sole ou sablière basse (chêne ou bois Classe 4)
7. Mur bahut ou Solin – de hauteur variable et composé de moellons pierre calcaire hourdée à la terre / joint superficiel chaux ou bâtard sable de mer (variante brique)
8. Terre-plein par-dessus chape ciment + carrelage constituant le plancher bas
9. Poteau du Pan de bois ou ossature
10. Plancher intermédiaire ou haut = enduit sous lattes terri ou plâtre ou chaux ... lattes sur solive support du terri - aire de plancher ou terri composé de terre / fibres végétales ou plâtre sur bacula en Île de France

Figure 5 : ETAT INITIAL de la longère à pan de bois

Remarque :

Ces schémas ne représentent pas :

- les parois en fruit et / ou surplomb. Cette situation sera pourtant prise en compte au diagnostic et à l'exécution. Le contreventement avec une colombe en écharpe peut être réalisé au nu de la façade ou à l'intérieur.
- Les pièces de bois souvent courbes et qui répartissent les charges habilement.
- L'enduit intérieur et tout doublage ont été déposés et ne sont plus visibles

Situation architecturale type :

La situation architecturale type est la suivante :

- Plancher bas sur terre-plein
- L'étage à surcroît est aménagé sous le comble haut (Couverture à 2 pans)
- Débord de toiture dégradé (insuffisant), toiture à revoir
- Élément important issu du diagnostic dont tient compte la solution : État initial dégradé (une maison mal entretenue, abîmée par les opérations successives méconnaissant le patrimoine, ou environnement modifié avec apport d'humidité).

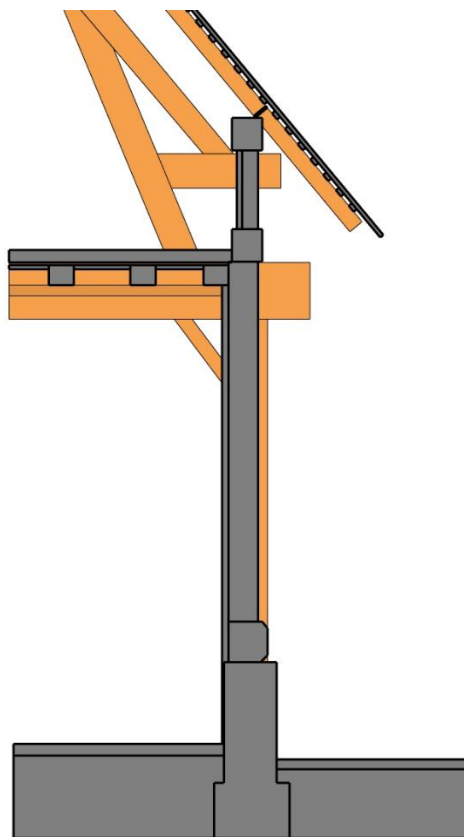
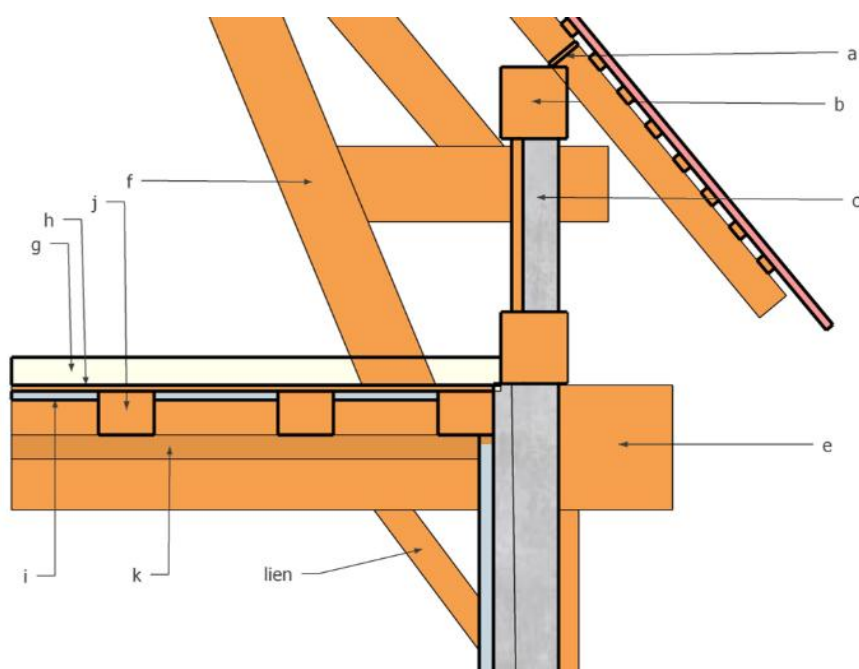


Figure 6 : Vue en coupe verticale d'un mur en pan de bois - ETAT INITIAL



ÉTAT INITIAL

a. pare moineaux + complexe de couverture, ici : chevrons liteaux et tuiles.

Le débord de toit est supposé insuffisant.

b. sablière haute

c. surcroît du comble ou « dératèlement ». Remplissage entre colombage.

Comble non aménagé à l'état initial

d. sablière intermédiaire

e. « sommier » traversant ou poutre maîtresse

f. arbalétrier composant la ferme de charpente ici à blochet traversant

g. terri ou chape de terre crue fibrée ou aire de plancher (en plâtre dans les régions où il est abondant) = torchis à conserver / réparer

h. lattis en bois ou support de fixation de l'aire de plancher en torchis ou terri

i. enduit par dessous plâtre ou terre ...

j. solives

k. linçoir : pièce de bois fixée sur le sommier qui permet de placer les solives au même niveau que le sommier pour constituer une aire de plancher.

Figure 7 : Détail de la traversée du plancher haut ou intermédiaire

2.5 Les variantes dans les typologies visées

Nous avons tout d'abord recherché les priorités des déclinaisons en utilisant le tableau de référence suivant fournie par le CSTB et avec des adaptations mineures. Dans ce tableau on désigne par :

- « 0 », les caractéristiques initiales de chaque typologie
- « **P1** », Les caractéristiques donnant lieu à une variante de priorité 1 : à documenter en priorité
- « **P2** », Les caractéristiques donnant lieu à une variante de priorité 2 : à documenter si possible
- « **R** », Les caractéristiques donnant lieu à une variante non prioritaire, pour lesquelles on donnera simplement une recommandation ou une règle de dimensionnement.

Tableau 2 : Liste des adaptations prioritaires à prendre en considération dans la déclinaison de la solution en gamme

Adaptations de la solution			A1	C2	C4
Adaptation architecturale	Nature du mur	Bauge	R	P2	R
		Maçonnerie courante (brique pleine)	P2	P2	P2
		Pan de bois – hourdi pierre	R	R	0
		Pan de bois hourdi torchis	R	R	P2
		Pierre étanche à la vapeur d'eau (granite)	0	P1	R
		Pierre perméable à la vapeur d'eau	P1	0	P2
	Toiture	Double pente	0	0	0
		Débord large	R	R	0
		Débord limité	0	0	P1
	Plancher haut	Combles perdus	0	0	R
		Combles aménagés	R	R	0
	Plancher intermédiaire	Plancher terre ou mortier sur à structure porteuse bois	0	P1	0
		Plancher creux à structure bois	P1	0	0
	Plancher bas	sur terre plein	0	0	0
		Hérisson ventilé	R	P2	P2
		Local Non Chauffé (enterré)	P1	R	R
		Local Non Chauffé (semi enterré)	P1	R	R
	Obstacle à la mise en place de la solution	Escalier extérieur	R	P2	R
		Mur semi-enterré/soubassement	R	P1	R
		Poutres apparentes (ITI)	0	0	0
		piéd de mur irrégulier	P2	P2	P2
		murs mitoyens avec mauvais isolement acoustique	P1	R	R
		Lucarne de toit/chien assis / cheminée	P2	P2	0
		Extension (verticale, horizontale)	R	0	R
		Mur à proximité de limites parcellaires	0	R	R
		Impossibilité d'installer d'équipement technique à l'extérieur	P1	R	R
	Mitoyenneté (double, ou mono)		0	0	R
Adaptation -localisation géographique	Prescription PLU / Zone classée (patrimoine) c'est pas un critère architectural ?		P2	R	P2
	Zone urbaine avec pollution automobile et bruit urbain		P1	R	R
	Zones urbaines ou hameau sensibles aux émissions de particules		P1	R	R
	Zone tendue		P2	R	R
	Zone climatique humide (littoral, fond de vallée humide....)		P1	P1	P1
	Zone ventée		R	R	P2
Adaptation état initial - lié au diag	Parois déjà isolée	Murs	P2	P2	P2
		Combles	R	P2	R
	Menuiseries (fenêtres) déjà remplacées		P2	P2	R
	Remontée capillaire		R	0	0
	Présence moisissures/traces humidité sur les parois		R	R	0
	Présence de végétation dans les descentes d'eau puviales / chéneaux et EP dégradé		R	R	0
	Problèmes d'infiltration d'eau		R	R	0
	Pourriture du bois (acier corrodé)		R	R	0
	Fissures, affaissement murs périphérique		R	R	0
	Risque de perte d'usage (rétrécissement de l'escalier, du balcon, perte de surface...)		P1	P2	P1

Les adaptations architecturales principales étudiées dans le présent guide sont listées ci-après (**en orange les adaptations non décrites dans ce livrable**)

2.5.1 Type A1 – Maison de bourg avant 1915

La nature des murs est par défaut de la pierre moyenne ou tendre. Les pierres dures à forte résistance à la diffusion de la vapeur ne sont pas compatibles avec le cadre de cette étude. Cependant, il est possible d'envisager des déclinaisons en bauge ou en briques (descriptions aux chapitres §6.3.2 et §6.3.3).

Les autres déclinaisons se feront en fonction du besoin d'isoler acoustiquement les murs mitoyens, ou alors de considérations architecturales : plancher sur sous-sol à isoler en sous-face ou maison non mitoyenne sur un de ses pignons. La nature du plancher intermédiaire pourra donner lieu à des croquis de mis en œuvre spécifiques.

Potentiellement exiguë la maison risque de supporter assez mal des épaisseurs de complexes isolants de 20 cm ou plus. Ce problème pourra être résolu par un retraitement architectural de la maison, ou alors par une moindre épaisseur d'isolation thermique en mur.

Au niveau des menuiseries la solution de référence inclut leur remplacement et l'isolation des ébrasements avec un plaque de liège d'épaisseur 3 à 4 cm. Dans le cas assez fréquent où la fenêtre aurait déjà été remplacée sans laisser de place pour une isolation des ébrasements, nous prévoyons une déclinaison sans isolation des ébrasements et une déclinaison avec une double fenêtre.

Au niveau du système de chauffage, notre choix de référence est un poêle à granulé qui pourra venir en remplacement d'un chauffage central à chaudière gaz. Une ventilation à double flux fait partie de notre solution de référence car elle créera moins de besoins thermiques dans les pièces éloignées du poêle, et aussi car elle permettra d'éviter des entrées d'air sur rue (bruit, pollution). Nous n'étudierons pas de variantes du système de chauffage car les cas peuvent être très variés et assez hypothétiques (présence d'un réseau de chaleur, possibilité de rester au gaz de ville, environnement urbain potentiellement très sensible à la pollution et ne tolérant même pas un chauffage à granulés, etc.).

		Référence	Var 1	Var 2
Adaptation architecturale	Nature du mur	Pierre moyenne (calcaire, ...) ou tendre	Bauge	Brique pleine
	Mitoyenneté	Maison mitoyenne sur ses deux pignons	Maison mitoyenne sur un seul pignon	

	Plancher intermédiaire	Plancher plein (terre ou mortier) sur structure bois	Plancher creux à structure bois	
	Plancher bas	Sur terre-plein	Plancher bas sur Local Non Chauffé enterré ou semi-enterré	
	Obstacle mur	Néant	Mur mitoyen à faible isolation acoustique	2 murs mitoyens à faible isolation acoustique
			ITE impossible	
Adaptation au diagnostic initial	Risque de perte d'usage, rétrécissement escalier	Néant	Isolation en moindre épaisseur (pas simulé)	VMC simple flux
Adaptation au projet de vie des occupants et au contexte	Contexte urbain	Poêle à granulés, VMC DF	PAC air/eau	Gaz de ville
	Environnement extérieur humide, littoral, fond de vallée	Oui		

Les critères retenus pour la simulation des variantes du livrable 3 sont indiqués en bleu ci-dessus. Il y aura 6 variantes à simuler. La nature du plancher intermédiaire donnera lieu à une déclinaison (croquis) mais pas de variante pour le livrable 3. Idem pour les maisons en bauge et briques pleines.

Par ailleurs, du fait de l'optimisation architecturale que nous avons effectué du projet, il n'est pas utile d'envisager une isolation en faible épaisseur.

2.5.2 Type C2 - Maison rurale à étage avant 1880

La nature des murs est par défaut de la pierre moyenne ou tendre. Les pierres dures à forte résistance à la diffusion de la vapeur ne sont pas compatibles avec notre solution. Cependant,

il est possible d'envisager des déclinaisons en bauge ou en briques (descriptions aux chapitres §6.3.2 et §6.3.3).

Les autres déclinaisons se feront en fonction de considérations architecturale : présence ou non d'une grange du côté ouest, présence d'un mur enterré impossible à isoler du fait du risque d'entrée d'humidité. La nature du plancher intermédiaire pourra donner lieu à des croquis de mis en œuvre spécifiques (A1, C2).

Au niveau des menuiseries la solution de référence inclut leur remplacement et l'isolation des ébrasements avec une plaque de liège d'épaisseur 3 à 4 cm. Dans le cas assez fréquent où la fenêtre aurait déjà été remplacée sans laisser de place pour une isolation des ébrasements, nous prévoyons une déclinaison sans isolation des ébrasements et une déclinaison avec une double fenêtre.

Au niveau du système de chauffage, notre choix de référence est un poêle à bûches qui pourra venir en remplacement d'un chauffage central à chaudière gaz. Une ventilation à double flux fait partie de notre solution de référence car elle créera moins de besoins thermiques dans les pièces éloignées du poêle. Nous étudierons une variante avec chauffage PAC et ventilation simple-flux.

		Référence	Var 1	Var 2
Adaptation architecturale	Nature du mur	Pierre moyenne ou tendre	Bauge	Briques pleines
	Plancher intermédiaire	Plancher creux à structure bois	Plancher plein sur structure bois	
	Plancher bas / remontées capillaires	Terre-plein	Hérisson ventilé	
	Obstacle extérieur mur	Néant	Mur semi-enterré non isolé et/ou ventilé	
		Non donc ITE murs nord et ouest	Oui donc ITI murs nord et ouest	
Adaptation au diagnostic initial	Menuiseries déjà remplacées	Non	Pas d'isolation des ébrasements	Doubles fenêtres

Adaptation au projet de vie des occupants et architecturale	Contexte urbain	Poêle a bûche, VMC DF	PAC + VMC SF	
	Environnement extérieur humide, littoral, fond de vallée	Oui		

Les critères retenus pour les simulations des variantes du livrable 3 sont indiqués en bleu ci-dessus. Il y aura 6 variantes à simuler. La nature du plancher intermédiaire donnera lieu à une déclinaison (croquis) mais pas de variante pour le livrable 3. Idem pour les maisons en bauge et briques pleines.

2.5.3 Type C4 – Longère avant 1880

Le diagnostic initial est capital. Il devra en premier lieu évaluer l'état du pan de bois et la nature du hourdis de l'entre-colombage.

S'il nécessite des réparations importantes (ce qui est fréquent, beaucoup de maisons ont subi des travaux inappropriés qui le dégradent), il sera possible, à l'occasion de travaux lourds, d'opter pour une isolation de 30 cm max de mortier isolant type terre-chènevotte (car le pan de bois étant mis à nu, le séchage du mortier sera possible sur ses deux faces).

Si le pan de bois et le torchis sont encore en bon état, alors une rénovation moins lourde est privilégiée. Le séchage du mortier isolant sera possible sur une seule face, et par conséquent l'épaisseur de terre-chènevotte ne pourra pas dépasser 15 cm en tout. Cela fera sens aussi pour les petites maisons exiguës non compatibles avec une épaisseur d'isolation de 30 cm. Pour des maisons plus amples, on pourrait envisager de compléter l'isolation thermique par une intervention d'isolation par l'intérieur en filière sèche.

Il arrive que certains murs de la maison soient en briques. Les murs en briques restés dans leur état d'origine sont suffisamment ouverts à la vapeur pour que notre solution puisse être appliquée de manière inchangée.

Pour le cas de référence, nous faisons l'hypothèse que la maison possède un débord de toiture limité qu'il faudra prolonger. Si le débord est suffisant (parce que d'autres dispositions ont été prévues, e.g : un revêtement de façade, essentage, petit auvent, etc.) ou que l'exposition est exposition très protégée, le débord pourra être laissé tel quel.

Si la maison est trop exiguë, on peut envisager une isolation par l'extérieur de certains murs, ce qui peut parfois être délicat techniquement et architecturalement sur cette typologie. Par

défaut, seule l'isolation par l'intérieure est retenue (solution de référence), afin de maintenir au moins une façade emblématique du patrimoine augeron.

Si les pans de bois sont toujours enduits et les bois dissimulés, les solutions envisagées peuvent être différents.

Au niveau des systèmes, nous proposons un chauffage central à pompe à chaleur mais en fonction du profil et du mode de vie des occupants, un poêle à bois ou un poêle de masse peut aussi convenir. Dans ce cas l'eau chaude est fournie par un ballon thermodynamique qui peut également fournir un appoint de chauffage (« PAC simplifiée à unité intérieure »).

		Référence	Var 1	Var 2	Var 3
Adaptation architecturale	Nature du mur	Pan de bois hourdis gravas ou dégradés	Pan de bois hourdis torchis en bon état	Murs en pierres moyennes (voir C2)	Murs en briques pleines
	Toiture	Débord limité	Débord suffisant à conserver		
	Plancher bas	Terre-plein	Hérisson ventilé		
Adaptation au diagnostic initial	Risque de perte d'usage, (surface habitable, rétrécissement escalier)	Réduire l'épaisseur du complexe isolant	Mise en œuvre de 30cm de mortier isolant terre-chênevotte		
	Paroi déjà isolée	Néant			
Adaptation au projet de vie des occupants et architecturale	Contexte urbain	PAC au R290 VMC SF	Poêle de masse	PAC simplifiée à unité intérieure	
	Environnement extérieur humide, littoral, fond de vallée				

Les critères retenus pour la simulation des variantes du livrable 3 sont indiqués en bleu ci-dessus. Les systèmes et les débords de toit ne donneront pas lieux à déclinaisons ni à variantes du livrable 3.

3 PRINCIPE GENERAL DE LA SOLUTION GLOBALE

3.1 Principe générale de la solution globale

3.1.1 Nos techniques

Les techniques d'isolation thermique que nous proposons sont :

- en filière humide : la technique de terre allégée ou l'application de mortiers isolants composés de terre et de fibres végétales, mise en œuvre contre une paroi verticale. Cette technique est applicable en ITI, sur des épaisseurs d'une quinzaine de centimètres (pour une résistance thermique ne dépassant pas 1,5 à 2 m².K/W). Les temps de séchage par la seule face libre du mortier ne permettent pas d'envisager davantage de performance ; sauf quand un séchage du mortier par ses deux faces est possible, comme cela peut être le cas pendant la phase de chantier où un mur est rendu « à claire-voie » (case d'une dépose des hourdis entre colombages d'un mur en pan de bois). On peut alors viser des résistances thermiques plus élevée (supérieures ou égales à 3 m².K/W).
- en filière sèche : isolation des murs par l'extérieur. L'isolation des toitures et plancher haut se fait avec un isolant en vrac sous forme de fibres végétales longues (par exemple de l'étope de chanvre à 60kg/m³), derrière une membrane Hautement Perméable à la Vapeur (HPV), en paroi verticale ou inclinée (rampants de toiture).

Ces deux techniques sont complétées par une rupture du pont thermique de certaines interfaces critiques. Cette rupture est réalisée en utilisant un isolant thermique à base de liège expansé, mis en œuvre soit par panneaux collés à la chaux, soit par granulats en vrac, soit encore sous forme de granulats plus ou moins liés au mortier chaux (légèrement moins performant thermiquement). Les interfaces critiques concernées sont : ébrasements de fenêtres, parties basses des murs en RDC, isolation enterrée en rupture de pont thermique de plancher bas. Ces traitements des interfaces avec rupture de pont thermique constituent une spécificité de notre étude qui permet de rendre la rénovation de ces maisons performante.

3.1.2 Intérêt des fibres végétales d'origine locale

Les techniques qui prennent pour approvisionnement les co-produits issus d'activités autres que celle du bâtiment (par exemple agriculture, terrassement, bois forêt, bois bocage ... bio sourcé, géosourcé ...) présentent un fort potentiel de stockage de carbone du fait de leur nature. De plus leur utilisation permettra également de réduire les émissions de gaz à effet de serre liées au transport s'ils sont d'origine locale, ce qui est généralement le cas pour la terre, le bois (essences disponibles et peu valorisées), et les fibres végétales (suivant les régions : chanvre, lin, foin, menues pailles, balles (consulter : <https://batirenballes.fr>), chaume

ou paille de blé, de riz, de seigle, avoine, roseau etc.). Des matériaux locaux permettent enfin de développer l'économie locale et rurale, stimulant le secteur de l'artisanat, de la foresterie, de l'agriculture, mais aussi de rénover les petites villes, les villages et les hameaux en respectant la qualité du patrimoine architectural qui fait la typicité de nos territoires.

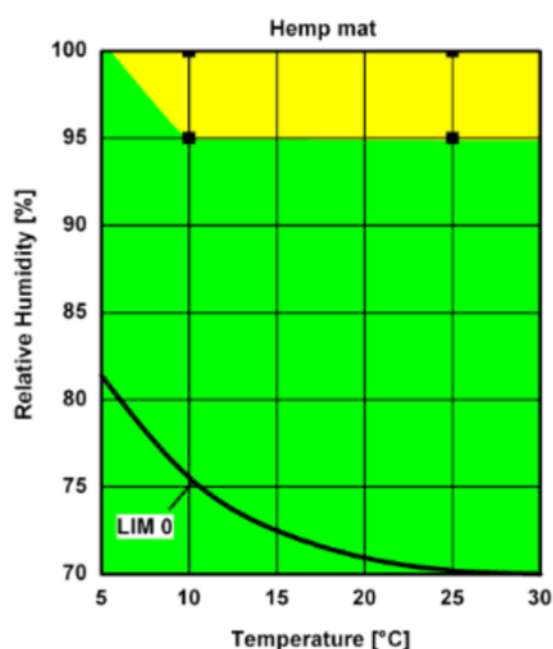
Les filières agricoles et industrielles sont déjà existantes au niveau local dans plusieurs régions de France, dont la nôtre (la Normandie) : la culture locale du lin et du **chanvre** y est présente ainsi que diverses entreprises dédiées aux applications textiles ou autre de la culture. Des acteurs de transformation dédiés aux bâtiments existent également.

3.1.3 La fibre de chanvre et la caractérisation hygrothermique des matériaux

La fibre de chanvre a fait ses preuves en matière de résistance à une exposition prolongée à l'humidité au travers de son utilisation traditionnelle en corderie, en charpente navale pour étancher les coques de bateau (calfatage), en plomberie pour l'étanchéité des raccords. **Notre choix pour la fibre de chanvre comme matériau de référence est motivé par ses qualités éprouvées de résistante à une exposition prolongée à l'humidité.** Cela nous paraît sécurisant pour réduire les conséquences d'un éventuel désordre du bâtiment qui viendrait à exposer l'isolant thermique mis en œuvre à un niveau d'humidité anormalement élevé.

La nature peu putrescible des fibres de chanvre a été validée par plusieurs études notamment le travail de recherche réalisé par Sedlbauer et al. dont les isoplèthes indiquent une absence de risque fongique en dessous de 95% d'humidité relative dans la fibre de chanvre.

Figure 8: Isoplèthe pour la fibre de chanvre (Sedlbauer et al.), dans la partie inférieure « vert » aucune moisissure n'est attendue, au milieu « jaune » un développement de moisissure est possible, en haut du diagramme « rouge » (non présent dans l'exemple présent du chanvre) l'apparition de moisissures aura lieu.



Remarque importante : Initialement l'équipe ERN proposait des mises en œuvre à base de fibres de chanvre en filière sèche pour l'isolation par l'intérieur des murs. Des simulations hygrothermiques réalisées conformément au guide SIMHUBAT ont permis de valider le critère d'« absence de développement fongique dans les matériaux biosourcés » uniquement sous certaines conditions, et n'ont de ce fait, pas permis de valider la pérennité de nos solutions dans tous les cas.

Par ailleurs, une meilleure maîtrise du niveau d'humidité intérieur des maisons sera également déterminante pour favoriser l'émergence de nouvelles techniques d'isolation par l'intérieur. Les moyens tels que VMC à double-flux, centrales de traitement de l'air permettent d'y parvenir.

Comme précisé dans le guide SIMHUBAT, les critères « utilisés à l'heure actuelle pour évaluer le risque de développement fongique dans les matériaux biosourcés ne donnent pas entière satisfaction, c'est la raison pour laquelle des actions de recherche sont en cours pour améliorer leur fiabilité ».

3.1.4 Caractérisation des isolants de référence utilisés

Les deux modes d'application que nous proposons sont :

- pour les **fibres végétales** « filasse » (partie fibreuse constituant la périphérie de la tige de la plante), aussi désignée comme « étoupe », en vrac, dans un coffrage avec une densité de fibres de 60kg/m^3
- pour le cœur de la plante, la **chènevotte** (partie « bois » de la plante), sous forme de granulats à **mélanger à de la terre** pour constituer un mélange léger de masse volumique comprise entre **200 et 300 kg/m³**. Cette terre allégée se met en œuvre en technique projetée ou banchée.

3.1.5 Caractérisation massique et thermique des isolants de référence utilisés

Les isolants de références sont caractérisés par des rapports d'essais établis par un laboratoire accrédité COFRAC, *obtenus par l'association des chanvriers en circuit court* :

	Mortier isolant terre-chènevotte		Fibre de chanvre en vrac
Masse volumique	210 kg/m^3	319 kg/m^3	60 kg/m^3
Conductivité d'après le rapport d'essai	$0,063\text{ W/m.K}^*$	$0,112\text{ W/m.K}^{**}$	$0,046\text{ W/m.K}$

* Rapport d'essai CODEM RE0220BL-003, RE0220BL-004 et RE0220BL-006 du 05/02/2020

** Rapport d'essai CODEM RE0118BL-005 du 30/01/2018

Dans le cadre du présent travail, les valeurs suivantes ont été retenues :

	Mortier isolant terre-chènevotte	Fibre de chanvre en vrac
Masse volumique retenue	200 à 300 kg/m³	50 à 70 kg/m³
Conductivité retenue	0,10 W/m.K	0,056 W/m.K

Afin de garantir ces valeurs, il est de la responsabilité de l'intervenant de vérifier régulièrement :

- L'homogénéité du matériau ;
- Vérifier la masse volumique du matériau (sec) tel qu'il est mis en œuvre.

Dans un éventuel développement ultérieur du présent travail, il nous semble possible de spécifier une masse volumique ne dépassant pas 250 kg/m³ pour le mortier terre chènevotte ce qui nous permettrait de spécifier une valeur plus faible (de l'ordre de 0,08 W/m.K) pour la conductivité thermique.

3.1.6 Modélisation des isolants de référence utilisés

La solution proposée ici a pour but de venir en complément des solutions du guide des bonnes pratiques Chanvrier dans l'habitat et de préciser les interfaces entre parties courantes. Ce Guide technique aborde toutes les parties courantes de cette technique : le mur, le comble, l'isolation répartie etc. Il concerne la filière sèche (chènevotte et étoupe) et la filière humide (mortier isolant terre-chènevotte).

/!\ Attention : il s'agit ici d'un béton de terre et non d'un béton de chaux. De manière à ne pas créer de confusion avec les règles professionnelles du béton de chènevotte à la chaux, nous adopterons la terminologie de **mortier isolant type terre-chènevotte**. D'autres fibres pourraient être utilisées, elles ne sont pas abordées dans cette étude.

Pour leurs caractéristiques, en l'absence de données connues, on se référera aux valeurs par défaut de l'annexe XII de l'arrêté du 4 août 2021 de la RT-RE bâtiment « autres isolants à base de fibres végétales », et aux valeurs fournies par la Confédération de la construction en terre crue issues du Laboratoire LNE.

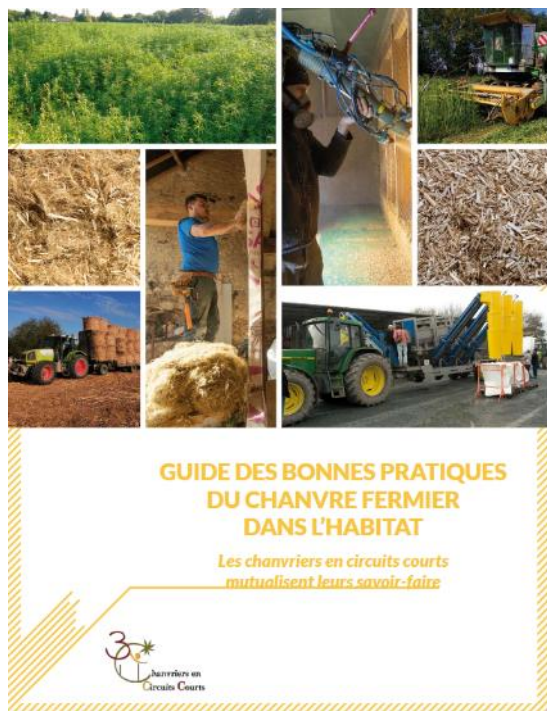


Figure 9: Guide des bonnes pratiques du chanvre fermier dans l'habitat : les chanvriers en circuits courts mutualisent leurs savoir-faire.

(http://www.chanvriersencircuitscourts.org/wp-content/uploads/2022/03/GDBP_bd.pdf)

3.1.7 Structuration des interventions en Filière humide et Filière sèche

Notre solution technique englobe la **réparation de l'enveloppe** du bâtiment et la **pose de l'isolation thermique**. Elle raisonne en types d'intervention. Elle se compose à minima de deux types d'interventions :

- **Une intervention en filière humide par un maçon** qui aura en charge (et/ou charpentier et menuisier dans le cas d'une maison en pan de bois) :
 - les réparations des murs maçonnés et des murs bahut des constructions à pan de bois (piquetage des joints et enduits dégradés ou au ciment),
 - éventuellement les modifications d'ouvertures,
 - le disquage du plancher bas pour la rupture du pont thermique plancher bas / murs-menuiserie, en ayant soin de protéger l'arrête,
 - éventuellement la démolition du plancher bas en cas de réalisation d'une hérisson et/ou d'une isolation de plancher bas,
 - les bandes de redressement pour la pose de menuiseries,
 - les jointoiements ou enduits extérieurs,
 - les gobetis et enduits intérieurs de répartition à la chaux,
 - les rebouchages (dont plancher bas avec rupture du pont thermique par panneaux de liège),
 - la mise en œuvre de mortier isolant terre-chènevotte par voie humide (incluant la mise en œuvre des ossatures si nécessaire)
- **Une intervention en filière sèche :**

- Pose des menuiseries,
- isolation intérieure des rampants de toiture et planchers des combles par des fibres de chanvres en vrac associées à une membrane pare-vapeur étanche à l'air hygrovARIABLE,
- isolation extérieure des murs, bardage,
- réalisation de l'étanchéité à l'air par des produits d'étanchéité adaptés,
- pose du parement intérieur.

3.2 Description de principe de l'ensemble des lots

La solution globale présentée vise la rénovation globale des typologies de maisons A1, C2 et C4 telle que décrite dans le §2.3. Les solutions proposées dans ce chapitre illustrent des solutions à titre indicatif dans un objectif d'atteindre une performance globale (Cf [Guide performanciel](#)). L'objectif est de montrer au moins une solution avec des matières locales et disponibles qui requièrent un savoir-faire dans le domaine des maisons vernaculaires. Ces solutions démontrent l'intérêt de développer des inter-filières de proximité : en particulier artisanat du bois / agriculture vivrière et textile et bâtiment avec réemploi.

Tableau 3 : Solutions appliquées sur chaque lot en fonction de la typologie de maison

	A1	C2	C4
Isolation des murs	Filière humide pour l'ITI en technique banchée ou projetée. Pour une performance thermique optimale, on isolera certains murs par l'extérieur en filière sèche. Le coût, la résistance à l'humidité et l'épaisseur acceptable des doublages sont les clés de décision.		Filière humide en ITI épaisseur 15 cm (voire 30 cm si séchage possible sur les deux faces) Mise en œuvre banchée ou projetée.
	Les parois mitoyennes seront isolées si indispensable : pour des raisons d'isolation acoustique ou de locaux adjacents non chauffés. Sinon préférer de conserver l'inertie thermique des murs mitoyens.		
Plancher bas	Rupture du pont thermique plancher bas / mur		
	Isolation par le dessous si sous-sol	Isolation si mise en place d'un hérisson ventilé	

Isolation de la toiture	Filière sèche : fibres de chanvre en vrac ou autre		
Isolation des planchers haut de combles perdus	Isolant en vrac masse volumique > 25kg/m ³ Optionnellement en bottes de paille Prévoir cheminement ou plancher au-dessus de l'isolant		
Remplacement de fenêtres	Avec ou sans dormants élargis, en fonction à la fois de l'impact sur l'éclairément et du nécessaire traitement des ponts thermiques des ébrasements.		
Réseau de ventilation	Double flux pour un air moins humide Réseau semi-rigide qualité alimentaire		Simple flux Réseau semi-rigide
Réseau de chauffage	Non	Distributions au plus court	
Système de chauffage	Poêle à granulés sauf si contrainte pollution de l'air	Pompe à chaleur + poêle à bûche ou mixte	
Système de ventilation	Centrale à double flux certifiée PHI		Hygro A ou B
Réseau électrique	Filière sèche dans les combles aménagés : devant le pare-vapeur sans traversées. Filière humide : noyé dans l'isolant		Noyé dans l'isolant
Réseau de plomberie	Filière sèche : apparents ou non, devant le pare-vapeur sans traversées Filière humide : apparents ou noyé dans l'isolant		Apparent ou noyé dans l'isolant

4 DECLINAISON EN GAMME

Le paramètre principal de la déclinaison en gamme de notre proposition est l'isolation des murs. Ces derniers constituent en général la plus grande surface constructive mais aussi l'élément le plus caractéristique de la maison en termes de nature de matériau. La **gamme** est composée **d'une solution de référence** et de plusieurs **variantes de solution** en fonction des contraintes du projet.

N.B : Les termes « **déclinaisons de solution** » et « **variantes de solution** » seront utilisées pour désigner la même chose, à savoir une solution particulière permettant de traiter un cas spécifique.

4.1 Variantes d'isolation pour les murs

Concernant le lot principal (murs) nous retenons les jeux de compositions suivantes.

Tableau 4 : Solutions d'isolation pour les murs

Code	Nature	R total	Épaisseur totale du complexe fini	Description	Applicables aux typologies			Indication d'usage
					A1	C2	C4	
E	ITE	3	23 cm extérieur	extérieur : Fibres de chanvre 17cm + bardage	X	X		
FHE	ITI+ITE	5	8 cm intérieur 23 cm extérieur	Intérieur : terre-chènevotte de 6 cm + enduit extérieur : Fibres de chanvre 17cm + bardage	X	X		NORD
FH06	ITI humide	0,6	7	Terre-chènevotte de 6cm + 2cm d'enduit	X	X		Projeté ou banché sur le mur
FH08	ITI humide	0,8	7	Terre-chènevotte de 8cm + 2cm d'enduit	X	X		Projeté ou banché sur le mur

FH15	ITI humide	1,5	17	Terre-chènevotte de 15cm + 2cm d'enduit	X	X	X	Projeté ou banché Sur Ossature
FH30	ITI humide	3	32	Terre-chènevotte de 30cm dans ossature + 2cm d'enduit			X	Projeté ou banché Sur Ossature bardé à l'ouest

Nomenclature des codes :

FH15 = Filière Humide de 15 cm d'épaisseur (en ITI)

FH30 = Filière Humide de 30 cm d'épaisseur (en ITI)

FHE = Filière Humide de 8cm (en ITI) et filière sèche de 23 cm à l'Extérieur (en ITE)

Les interventions en filière humide en ITI (FH15, FH30) seront effectuées sur l'ensemble des parois donnant sur l'extérieur, les isolations en faible épaisseur (FH) seront réservées aux murs mitoyens ou aux endroits présentant de fortes contraintes forçant à réduire l'épaisseur de l'isolation thermique, tandis que l'isolation par l'extérieur (E, FHE) sera plutôt à réserver à des murs moins visibles et moins intéressants en termes d'esthétique architecturale.

4.2 Variantes d'isolation pour les planchers bas

Tableau 5 : Solutions d'isolation pour le plancher bas

Code	Nature	Description	Motivation	Applicables aux typologies		
				A1	C2	C4
	Isolation périphérique	Panneaux de liège expansé en filière sèche ou mortier chaux-liège en filière humide	Coût modéré, conserver l'inertie thermique du sol, réduire les nuisances du chantier	X	X	X

	Hérisson ventilé	Isolation thermique au-dessus du hérisson ventilé	Performance accrue, le fait de mettre en place une ventilation du sol introduit la nécessité d'isoler le sol.		X	X
--	------------------	---	---	--	---	---

4.3 Variantes d'isolation pour les rampants de toit

Note importante : les solutions d'isolation pour les rampants de toit présentées dans ce Livrable n'ont pas fait l'objet d'une validation notamment en termes de risques de migration de vapeur. Elles doivent donc faire l'objet d'analyse de risque au cas par cas conformément au Guide [SimHuBat](#).

Concernant le lot « rampant de toiture », l'intervention se fera par le dessus ou par le dessous selon la typologie concernée. Il est préférable d'isoler par le dessus les typologies A1 et C4 pour des raisons différentes (préserver la surface utile pour A1, garder la charpente apparente et prolonger la toiture pour C4). Pour la typologie C2, l'absence de contrainte permettra de privilégier une isolation par le dessous, réduisant les coûts de l'intervention.

Tableau 6 : Solutions d'isolation pour les rampants de toit

Code	Nature	R total	Description	Motivation	Applicables aux typologies		
					A1	C2	C4
TI	ITI de toit	> 6	Fibres de chanvre en vrac (épaisseur 34cm)	Coût modéré		X	
TE	ITE de toit	> 6	Plusieurs possibilités	Préservation SHAB	X		
				Meilleure adaptation architecturale à la typologie			X

4.4 Variantes sur les menuiseries

Tableau 7 : Solutions pour le traitement des menuiseries

Code	Nature	Nature	Motivation	Applicables aux typologies		
				A1	C2	C4

	Menuiseries en ébrasement	Solution classique	Architecturalement classique	X	X	
	Menuiserie au nu intérieur du mur		Permet de réduire les ponts thermiques		X	X
	Double fenêtres		Réduction des ponts thermiques + rendu architectural	X	X	

4.5 Variantes sur les systèmes de chauffage

Tableau 8 : Systèmes de chauffage

Code	Nature	Motivation	Inconvénients	Applicables aux typologies		
				A1	C2	C4
	Poêle à granulés	Système simple compatible avec contexte urbain	Attention aux rejets de particules	X	X	X
	Poêle à bûches	Système simple	Demande effort manuel + régulation moyenne		X	X
	PAC	Chauffage central	Système technologique	X	X	X

4.6 Variantes sur les systèmes de VMC

Tableau 9 : Systèmes de VMC

Code	Nature	Motivation	Lien avec mode de chauffage	Applicables aux typologies		
				A1	C2	C4
	Double flux à haut rendement	Meilleur taux de ventilation. Permet de mieux évacuer la charge en humidité	Favorable pour poêle à bois ou à granulés	X	X	

Simple flux type B ou A ou à contrôle de simultané de l'hygrométrie et du CO2	Moins onéreux	Suffisant si chauffage central	X	X	X
---	---------------	--------------------------------	---	---	---

4.7 Variantes de solutions pour la typologie A1

La maison citée en exemple est composée de petites pièces. Une reconfiguration des cloisonnements permettra de rendre la perte de surface habitable acceptable et d'améliorer l'éclairage naturel.

Nous faisons l'hypothèse que la façade sur cour peut être isolée en ITE. La composition de mur « FHE » sera appliquée. Le mur sur rue sera isolé à l'aide de la composition « FH15 ».

Les déclinaisons sont présentées ci-après. Elles concernent la nature du plancher bas, le besoin d'isolation acoustiques par rapport aux maisons voisines ou à l'inverse l'absence de maison mitoyenne (cas où la maison est en bout de rangée). Enfin on envisagera le cas où l'ITE de la façade sur cour ne soit pas possible et le cas où il n'y ait pas assez de place pour intégrer une VMC à double-flux.

Tableau 10 : Variantes de solutions pour la typologie A1

Déclinaison	Type	Plancher bas	Isolation mur	Menuiseries	Plancher intermédiaire	Descriptif de la variante	Impact sur la performance ?
Combinaison 1		x	x				
Combinaison 2			x	x			
1	1	Plancher bas sur local non chauffé				Plancher bas sur sous-sol	Oui
2	1		1 Mur mitoyen à faible isolation acoustique			ITI 1 pignon « FH08 »	Oui
3	1		2 Mur mitoyen à forte isolation acoustique			ITI 2 pignons « FH08 »	Oui

4	1		Mitoyen simple			ITI FH15 ou ITE pignon « FHE »	Oui
5	3		Obstacle ITE mur			Façade arrière ITI (« FH15 »)	Oui
6						VMC simple-flux	Oui

4.8 Variantes de solutions pour la typologie C2

Nous faisons l'hypothèse que les façades nord et ouest peuvent être isolées en ITE, ainsi la composition de mur « FHE » est appliquée à ces orientations. Le mur sur rue sera isolé à l'aide de la composition « FH15 ». Les déclinaisons sont présentées ci-après :

Tableau 11 : Variantes de solutions pour la typologie C2

Déclinaison	Type	Plancher bas	Isolation mur	Menuiseries	Plancher intermédiaire	Descriptif de la variante	Impact sur la performance ?
Combinaison 1			x		x		
Combinaison 2			x				
1		Remontées capillaires				Hérisson ventilé	
2	1		Obstacle ITE nord			Façade arrière ITI « FH15 »	Oui
3	1		Obstacle mur enterré			Mur non isolé	Oui
4	3			Déjà changées		Pas d'isolation des ébrasements	Oui
5						Double-fenêtres	Oui
6						Variante systèmes	Oui

4.9 Variantes de solutions pour la typologie C4

Les déclinaisons sont présentées au chapitre §6.3. La **solution de référence** correspond au cas où le pan de bois est sain et rempli par un hourdis en torchis en bon état. Dans ce cas on ne prévoit pas de travaux lourds mais **une isolation en filière humide par 15 cm de mortier isolant terre-chènevotte**. Le temps de séchage du mortier ne permet pas d'aller au-delà de 15 cm d'épaisseur. La performance thermique de la solution est modérée et l'ajout d'une isolation complémentaire reste souhaitable (réalisable en filière sèche par l'extérieur).

Si nécessaire, une variante consiste à mettre en place un hérisson ventilé visant à assainir le sol introduite la nécessité d'isoler thermiquement le plancher bas.

Tableau 12 : Variantes de solutions pour la typologie C4

Déclinaison	Type	Plancher bas	Isolation mur	Menuiseries	Plancher intermédiaire	Descriptif de la variante	Impact sur la performance ?
Combinaison 1		x	x				
Combinaison 2			x		x		
1	1	Hérisson ventilé					Oui
2	1		Pan de bois dégradé			30 cm de terre-chènevotte	Oui
3						Cumul de variantes 1 et 2	Oui

Le tableau ci-après donne une vue croisée des 3 types de contraintes et de solutions d'isolation des murs à retenir en conséquence. La contrainte de taille des pièces amène à une solution FH15 en isolation thermique par l'intérieur sauf sur le pignon ouest pour lequel la mise en place d'un bardage permet d'isoler dans toute l'épaisseur de l'entre-colombage. Sans contrainte de SHAB, une isolation de 30 cm d'épaisseur peut s'envisager :

soit en filière humide en cas de rénovation lourde ;

soit en filière mixte (humide à l'intérieur + sèche à l'extérieur).

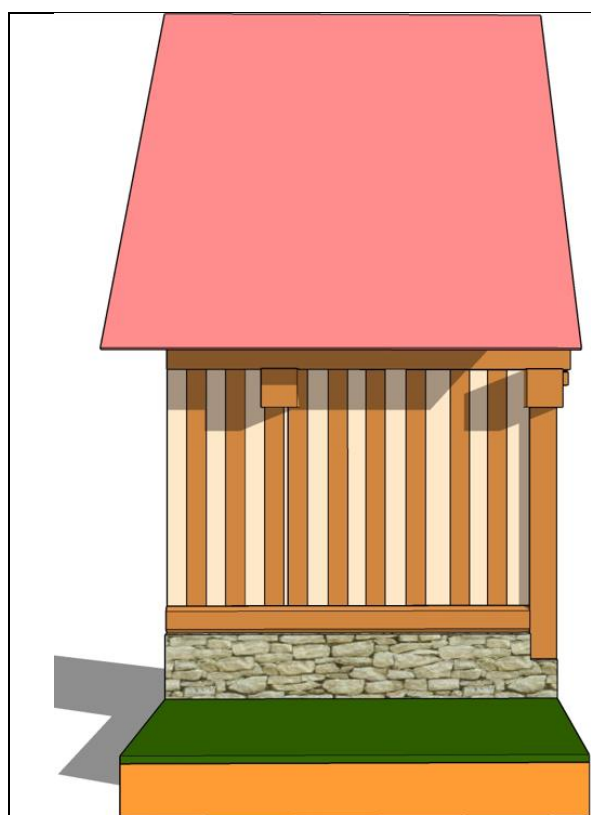
Tableau 13 : Variantes de solution en mur en fonction des contraintes (C4)

	Pan de bois ou hourdis <u>dégradé</u>		Pan de bois et hourdis torchis en <u>bon état</u>	
Contrainte SHAB	Oui	Non	Oui	Non
Nord, Est et Sud	FH15 ITI	FH30 ITI	FH15 ITI	FH15 ITI

Ouest	FH30 + bardage extérieur	FH30 ITR bardé où FH30 ITI bardé	FH30 ITR bardé où FH15 ITI bardé	FH30 ITR bardé
-------	--------------------------	--	--	----------------

Point important non décrit dans ce tableau : la longueur des débords de toiture comme illustré par la Figure 10 ci-après.

Protéger un pied de mur consiste à préconiser un débord de toit plus important (50cm est usuellement considéré comme insuffisant) à moins que la situation soit très abritée (exemple : devant une haie à 2/3m ou un mur de clôture) ou de revêtir la façade d'une protection (par un coyau, un essentage d'ardoise ou de bardeau de châtaignier, etc.).



A gauche, la longueur des chevrons est trop courte ici. Le toit devrait descendre beaucoup plus bas pour protéger l'enveloppe du bâtiment de l'humidité. Un **débord insuffisant** se traduit fréquemment par un pied de mur humide à cause du phénomène de rejaillissement ou de la pluie battante. Voir Diagnostic.



A droite, le **débord de toiture est suffisamment important** pour protéger le mur (au premier plan).

Figure 10 : Comparaison de l'efficacité d'un débord de toit sur un cas schématique (à gauche) et un cas réel (à droite)

5 ELEMENTS DE DIAGNOSTIC

5.1 Diagnostic structurel

Tableau 14 : Diagnostic structurel

Éléments à vérifier	Points de vérification
Structure globale	<ul style="list-style-type: none"> État des lieux complet intérieur/extérieur, avec relevé photographique et, si possible, relevé de plans. Comprendre la logique constructive initiale. Identifier les interventions postérieures à la construction initiale. Comprendre la raison de ces modifications : modification de la fonction/destination du bâti, extension, ajout d'éléments de confort, réparation d'un désordre.
Étanchéité à l'eau	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier l'absence d'entrée d'eau dans le bâtiment. Vérifier en particulier la couverture et les descentes de gouttières. Aucune entrée d'eau ne doit être tolérée dans le bâtiment hormis le sous-sol ou des entrées d'eaux sont parfois impossible à éviter. Mais dans ce cas il faut vérifier qu'elles sont maîtrisées (pompes de relevage si besoin, vérifier qu'aucune pièce de bois n'est susceptible d'être mouillée).
Murs et planchers	<ul style="list-style-type: none"> Identifier les murs porteurs. Vérifier le non-déchaussement des fondations et mesurer la profondeur des fondations. Vérifier tous les murs : <ul style="list-style-type: none"> Vérifier attentivement l'intégrité physique des murs. Relever éventuels des fruits. En cas de doute, consulter un spécialiste. Si présence de fissures sur les murs porteurs, rechercher les causes exactes de l'origine des fissures (ce travail doit être effectué par un spécialiste). Vérifier que les fissures soient non pathologiques avant de poursuivre le projet. Faire procéder à leur rebouchage afin

	<p>d'assurer une étanchéité à l'eau et à l'air.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier les planchers : <ul style="list-style-type: none"> ○ Si présence de fissures ou d'affaissement, rechercher les causes exactes (ce travail doit être effectué par un spécialiste). ○ Vérifier si la structure porteuse est adaptée à la charge ○ Effectuer un relevé de planéité des planchers. ○ Examiner tous les bois. Identifier les éventuelles pathologies.
Charpente et boiseries	<ul style="list-style-type: none"> • Examiner et vérifier l'absence de pathologie (moisissures, odeur, pourriture, champignons, trous d'insectes, tâches d'humidité, etc.) dans les principaux éléments en bois de la maison : charpente, poutres, poteaux, planchers, plinthes, escalier. En cas de désordre, bûcher les bois afin de vérifier l'étendue des dégâts sous les surfaces visibles.
Têtes de solive	<ul style="list-style-type: none"> • Sonder les têtes de solives ancrées dans les murs : vérifier leur intégrité. • Dans le cas où les têtes de solives paraissent dégradées (si l'outil de sondage pénètre de plusieurs centimètres dans la tête de solive), bûcher complètement la tête de solive afin de dégager la partie saine. Si la partie paraît insuffisante, prévoir le remplacement des solives.

5.2 Diagnostic de la toiture

En général et particulièrement sur les maisons à pan de bois, l'exécution se conçoit par un diagnostic de haut en bas. En effet, le maître d'œuvre doit anticiper toutes les interfaces entre corps de métiers (charpentier / couvreur / maçon), tous les passages de fluides (ventilation, électricité, sanitaire, chauffage, etc.) et tous les détails d'exécution. Chaque percement de l'espace chauffé est à éviter. Il faut commencer par vérifier l'état de la charpente et de la couverture.

Tableau 15 : Diagnostic de la toiture

Eléments à vérifier	Points de vérification
---------------------	------------------------

<p>Étanchéité à l'eau (rappel)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier l'absence d'entrée d'eau dans le bâtiment. Vérifier en particulier la couverture et les descentes de gouttières. • Aucune entrée d'eau ne doit être tolérée dans le bâtiment hormis le sous-sol ou des entrées d'eaux sont parfois impossible à éviter. Mais dans ce cas il faut vérifier qu'elles sont maîtrisées (pompes de relevage si besoin, vérifier qu'aucune pièce de bois n'est susceptible d'être mouillée).
<p>Couverture</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nature et état du matériau de couverture et de ses points particuliers (faîtages, noues, solins, crochets de fixation des ardoises, ...). • Présence et nature de la membrane sous-toiture. • Présence ou non d'une lame d'air ventilée d'au moins 2cm entre membrane et couverture, épaisseur de cette lame d'air, section des événements. • En cas de feutre bitumeux sous couverture, vérifier si une lame d'air ventilée d'au moins 2 cm est bien présente entre membrane et couverture. • Vérifier si les débords de toitures sont suffisants pour protéger les façades sensibles à l'humidité. • Identifier les débords de toiture qui seraient suffisamment épais pour abriter le haut d'une isolation thermique par l'extérieur des murs.
<p>Matériaux spécifiques</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Repérer les éléments de couverture contenant de l'amiante et leur état de conservation. Faire appel à un diagnostiqueur en cas de doute. • Repérer les éléments de toitures susceptibles de poser des soucis d'enfermement de l'humidité (bardages métalliques par exemple).
<p>Combles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier l'état sanitaire de la charpente. • Vérifier la présence d'un ou plusieurs dispositifs de ventilation permanente des combles (chatières, grilles, etc.). Vérification de la section de ces dispositifs. • Vérifier l'isolation et l'étanchéité à l'air de la trappe d'accès le cas échéant. • Identifier le matériau du plancher. Essayer de conserver les

	<p>planchers en terre battue (en les isolant par le dessus) afin de conserver l'inertie thermique et donc le confort de l'étage de la maison.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si besoin vérifier si les combles sont aménageables (taille du volume, présence de pièces de charpente (entrais), présence d'éventuels freins. • Repérer toutes les sorties en toiture (cheminées, ventilation de chute, câbles...) et les fenêtres de toit.
--	---

5.3 Diagnostic fonctionnel

Tableau 16 : Diagnostic fonctionnel

Eléments à vérifier	Points de vérification
Distribution des pièces	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier que la distribution actuelle des pièces correspond à l'usage souhaité par le propriétaire et ne pose pas de problème fonctionnel majeur : éclairage et ventilation naturels, positionnement des sanitaires, dessertes indépendantes des pièces.... • Vérifier en particulier que la position de l'escalier permet une desserte efficace de l'étage et évite autant que possible les pièces en enfilade.
Taille des pièces	<ul style="list-style-type: none"> • Veiller à ce que les tailles des pièces soient suffisantes (au minimum 9m² pour une chambre, au minimum 16 à 19 m² pour un séjour). Envisager la suppression des certaines cloisons intérieures pour agrandir des pièces trop exiguës en réinvestissant des pièces de dégagement comme extension de pièces de vie par exemple. • Privilégier les isolations par l'extérieur des façades sans intérêt architectural OU adopter des épaisseurs plus faibles pour les doublages intérieurs des murs lorsque le logement est particulièrement exigu.
Mitoyenneté	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Si le mur mitoyen donne sur un volume non chauffé</u> : prévoir une ITI + traitement de l'étanchéité à l'air.

	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Si mur mitoyen donne sur un volume chauffé</u> : prévoir seulement un traitement de l'étanchéité à l'air (y compris dans l'épaisseur des planchers) OU prévoir une ITI (qui permettra de renforcer le traitement de l'isolement acoustique).
Niveaux du plancher bas en terre-plein	<ul style="list-style-type: none"> • Relever la présence de différences de niveaux au RDC. Comprendre la raison de ces différences de niveaux : travaux d'aménagement faits à moindre coût, passage d'un conduit enterré, adaptation à la pente du terrain... • Vérifier la faisabilité d'une reprise totale ou partielle du niveau du plancher : niveau des sols extérieurs, niveau du seuil des portes, des aménagements de pièces d'eau, des marches de l'escalier. Nota : les différences de hauteur de plancher ne sont pas nécessairement à supprimer.

5.4 Diagnostic architectural et contextuel

Tableau 17 : Diagnostic architectural et contextuel

Eléments à vérifier	Points de vérification
Eléments architectoniques	<ul style="list-style-type: none"> • Repérer les éléments architectoniques principaux : enduit extérieur ; débords de toiture ; modénatures ; positions des ouvertures en tableau ; menuiseries extérieures ; cheminée ; menuiseries intérieures ; revêtements muraux : enduits, faïence, peinture murale ; revêtement de sol : tomettes, pavés parquet massif. • Il conviendra de définir avec le Maître d'Ouvrage les éléments à conserver en priorité et de réaliser un premier arbitrage sur les parties à conserver, préserver et à mettre en valeur
Zone ABF	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier si le projet de rénovation se situe dans un périmètre protégé au titre des Monuments Historiques. Si tel est le cas, il convient d'attendre l'accord de l'ABF (Architecte des Bâtiments de France) afin de connaître son Avis et ses prescriptions avant travaux ; • Il est conseillé de prendre rendez-vous avec l'Architecte des

	bâtiments de France et prendre le temps d'échanger sur le projet (en se basant par exemple sur des croquis ou des simulations visuelles ou des échantillons des finitions).
Zones tendues	<ul style="list-style-type: none"> • Privilégier les isolations par l'extérieur des façades sans intérêt architectural OU adopter des épaisseurs plus faibles pour les doublages intérieurs des murs lorsque le logement est particulièrement exigü. • Envisager l'aménagement des combles.
Zones urbaines sensibles aux émissions de particules	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier si la maison se trouve dans une zone urbaine sensible aux émissions de particules. Si oui proscrire le poêle à bûches. • Vérifier si la maison se trouve dans une zone urbaine très sensible aux émissions de particules. Si oui proscrire le poêle à granulés.

5.5 Diagnostic sanitaire

Les points listés ci-dessous complètent ceux déjà abordés dans la partie « diagnostic structurel ».

Tableau 18 : Diagnostic sanitaire

Éléments à vérifier	Points de vérification
Humidité	<ul style="list-style-type: none"> • Observation si infiltrations, moisissures, remontées par capillarités, odeurs... Traiter et faire sécher (minimum 6 mois à 1 an) avant tous travaux. • Il est nécessaire de comprendre la cause et la solutionner avant tous travaux de rénovation, sinon risque de pathologie accrue.
Réseaux des pluviales	<ul style="list-style-type: none"> • La bonne évacuation des eaux pluviales doit être vérifiée. Il faut éviter que l'eau des gouttières s'infilte en pied de mur : l'étanchéité des receveurs de gouttière est à vérifier. Si les eaux pluviales sont infiltrées dans le sol, il convient que les puits d'infiltrations soient à plusieurs mètres de la maison.
Remontées capillaires	<ul style="list-style-type: none"> • Si la maison est totalement sur sous-sol, on s'assurera que la ventilation du sous-sol est suffisante pour limiter les remontées

	<p>capillaires au sous-sol et empêcher ces remontées d'atteindre le niveau du plancher bas de la maison.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si ce n'est pas le cas (absence de sous-sol complet, ou incapacité à ce dernier d'empêcher les remontées capillaires d'atteindre le plancher bas de la maison et les murs du RDC, alors il conviendra de prévoir des matériaux imputrescibles sur toute ou partie de la hauteur des murs.
--	--

5.6 Diagnostic technique

Tableau 19 : Diagnostic technique

Éléments à vérifier	Points de vérification
Murs déjà isolés	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier si l'isolant existant est en bon état, bien posé, sans tassement ni présence d'insectes ou de rongeurs, et est non pathogène au regard de la migration de vapeur d'eau. • ITI en terre-chènevotte : <u>mise en œuvre possible seulement sur isolants de même nature ou de nature proche</u> : terre-chènevotte, chaux-chènevotte. De façon générale, les isolations existantes pourront être conservées uniquement si les parois impliquées ne se retrouvent pas dans une situation de pathologie (à vérifier à minima par un diagnostic visuel) ou de risque pathologique (à vérifier par simulation hygrothermique). Aucune sur-isolation par l'intérieur ne pourra être réalisée sur des parois isolées à l'air d'isolants synthétiques ou d'isolant sous forme de laines ou des fibres. • ITE en fibre de chanvre en vrac : mise en œuvre possible dans la plupart des cas rencontrés.
Menuiseries extérieures déjà remplacées	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier si le traitement faiblement émissif du vitrage est présent et s'il est du bon côté (à vérifier par réflectométrie au vitromètre laser ou à l'aide d'un briquet). • Si les fenêtres sont performantes, leur remplacement n'est pas obligatoire cependant il convient d'améliorer l'étanchéité à l'air des menuiseries autant que possible et de recouvrir le dormant de la menuiserie conservée par un retour d'isolant.

	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôler la conformité de la pose des menuiseries : aplomb, niveau, réglage des ouvrants qui doivent bien comprimer les joints. • S'assurer que les menuiseries ont ou non des mortaisages suffisants pour assurer les entrées d'air correspondantes au projet de rénovation. • Si le projet s'oriente vers la pose d'ITE, vérifier que les dimensions des cochonnets sont suffisantes pour accueillir l'isolant en retour de tableau (minimum 30mm) et vérifier qu'il y a la place nécessaire pour isoler la pièce d'appui maçonnée existante sans obturer les trous d'évacuation de la pièce d'appui existante. • Si le projet s'oriente vers de l'ITI, vérifier la place disponible pour l'isolation des ébrasements (distance entre paumelles et ébrasement).
Cheminées et foyers à bois	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier l'état structurel des souches de cheminées, leur étanchéité à l'eau. Dans le cas où une souche de cheminée poserait des risques techniques ou de sécurité, évaluer son intérêt architectural. La suppression peut être une option qui simplifiera la rénovation et réduira les risques. • Si la cheminée est conservée, vérifier si son diamètre est suffisant pour être tubée en vue de la pose d'un nouvel appareil (insert ou poêle). Dans ce cas vérifier ou modifier l'écart au feu des éléments de la construction. En cas du moindre doute, prévoir un minima la pose d'un tubage isolé. • Si un foyer ouvert est conservé (seulement possible pour un usage très occasionnel en habitat isolé en campagne), prévoir la mise en place d'un système de trappe ou d'isolation afin de limiter les déperditions par tirage naturel hors fonctionnement. Prévoir une amenée d'air comburant. • Seuls les appareils à foyer fermé permettant une combustion peu émettrice de particules sont tolérés. Le Référentiel est Flamme Verte, 7 étoiles. Prévoir une amenée d'air comburant. Vérifier et valider le dimensionnement de l'appareil existant (risque de surchauffe), son rendement de combustion ; son niveau d'étanchéité à l'air.

Réseaux	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier leur état, surtout si le réseau court dans les combles. • Vérifier leur emplacement (pas de gêne pour la pose des isolants notamment). • Valider les nouveaux cheminements si travaux modificatifs (SDB, cuisine). • Veiller à ne pas laisser le réseau existant de chauffage dans l'isolant intérieur pour des raisons d'accessibilité et de risque de condensation (les tuyaux se retrouveront au contact du mur froid).
Support ITI	<ul style="list-style-type: none"> • Relever l'état intérieur des murs à isoler en ITI : planéité, présence de boiseries ou de papiers peints à retirer (pour réduire les risques pathologiques). • Sondage (et si nécessaire rebouchage) des plâtres pour vérifier leur tenue mécanique. • Présence de fissures ou d'orifices à reboucher • Identifications des travaux de préparation les mieux adaptés : gobetis, enduit, • Vérifier l'état des arrières-linteaux. • Vérifier le bon jointoiement.
Support ITE	<ul style="list-style-type: none"> • Qualification de la composition du mur (nature des matériaux). • Caractériser l'état du support existant : cohésion, planéité, remontées capillaires. • Caractérisation de l'environnement (présence de végétation ou d'aménagement à retirer pour permettre l'intervention des artisans sur les murs). • Identifier les pénétrations de réseaux (Electricité, gaz, eau, chaudière ventouse), compteurs, descentes de gouttières. • Localiser les conduits de cheminées et vérifier qu'ils sont bien équipés d'un tubage isolé (sinon l'ITE ne sera pas possible pour des raisons de garde au feu). • Vérifier l'espace disponible pour l'isolation des tableaux et appui de fenêtres.

A partir de ce diagnostic et de cette analyse architecturale et technique, un ou plusieurs scénarios seront définis permettant d'atteindre les objectifs fixés en matière de performance

thermiques sans s'interdire des modifications de façades ou de volume préservant la qualité architecturale du bâti.

6 DESCRIPTION DETAILLEE DES LOTS PRIORITAIRES

6.1 Lots prioritaires

6.1.1 Isolation des murs en filière humide par l'intérieur

Cas du mur en pierres

Parmi les avantages de l'isolant type terre allégée, dans notre cas d'étude le mortier isolant terre-chènevotte :

- Un seul corps de métier (maçon) à l'œuvre pour réparer et isoler thermiquement les murs
- La plage d'épaisseurs possibles, avec possibilité de rattraper les défauts de planéités.
- Isolant dense présentant une certaine inertie thermique appréciable pour le confort d'été
- Capacité de régulation hygrothermique de l'ambiance

Le mortier isolant outre une performance thermique présente l'avantage de sécher plus rapidement qu'un mortier plus lourd.

Les solutions décrites dans ce présent Guide technique abordent certains points de vigilance lors de la mise en œuvre (cf. [Guide de Mise en Œuvre](#)) et : des combinaisons particulières d'éléments d'architecture. La figure ci-dessous montre une vue courante de l'isolation thermique d'un mur en filière humide. D'autres informations sur les parties courantes pourront être trouvées dans le Guide cité au préalable.

La mise en œuvre du mortier isolant pourra être effectuée, soit par projection, soit par banchage. Les avantages et inconvénients des deux procédés sont détaillés dans le tableau ci-après.

Procédé	Avantages	Inconvénients
Banchage	Accessible à tous avec peu de moyens Possibilité de faire des finitions propres	Mise en œuvre plus longue

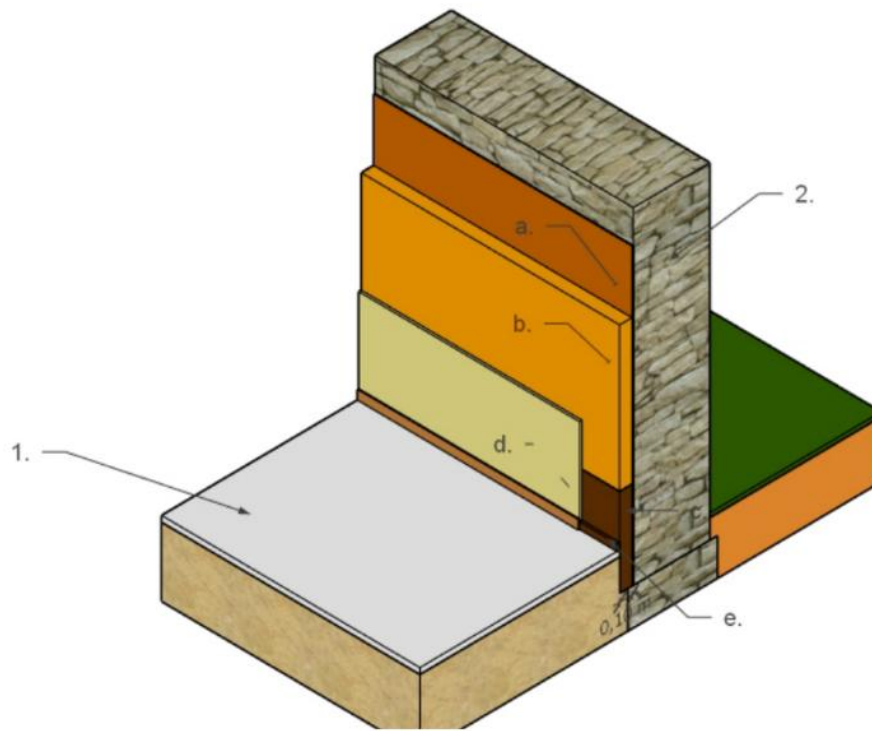
	Épaisseur et coût de l'enduit de finition plus faible	
Projection	Mise en œuvre rapide, nécessite peu de préparation.	Nécessite une machine à projeter, qui a un coût significatif (tous les artisans maçons n'en sont pas équipés). Davantage de nuisances sonores, encombrement et salissures à nettoyer

Isolation en faible épaisseur sans ossature

La Figure 11 montre l'application en projection ou banchée de l'isolant terre-chènevotte sur 6 à 8 cm d'épaisseur sans ossature de support. Une épaisseur plus importante est possible avec une ossature de support en bois. La résistance thermique atteinte par cette terre allégée est de 0,6 à 0,8 m².K/W. Cette résistance thermique est faible et mais elle reste plus élevée que celle que l'on obtiendrait par un simple enduit « gras » de correction thermique.

En partie basse de mur, des plaques de liège expansée collées à la chaux au mur ou un mortier imputrescible de chaux-liège remplacent le mortier isolant dans une zone où le mur est susceptible d'être humide du fait de remontées capillaires ou d'un rejaillissement des eaux de pluies sur la façade extérieur. La hauteur minimale de ce mortier imputrescible est d'environ 30 cm à 40 cm par rapport au niveau du sol extérieur. Cette hauteur est à déterminer en fonction de la hauteur maximale potentiellement sujette à ces problématiques d'humidité (parfois jusqu'à plus d'un mètre). Par ailleurs cette plaque de liège ou ce mortier chaux-liège est engravé dans le sol intérieur sur une profondeur de 20 à 40 cm de façon à réaliser la rupture du pont thermique périphérique du plancher bas (b).

Enfin la surface intérieure de la paroi est revêtue d'un enduit de finition en terre fibrée sur toile type fissnet (c). Cet enduit ne repose pas au sol mais sur carrelé liège de hauteur 5cm de façon à assurer une rupture de capillarité au niveau de l'enduit et à se prémunir de désordres par un éventuel dégât des eaux ponctuel. Une plinthe est posée en recouvrement sur une hauteur de 7 cm.



1) Carrelage sur chape fine de 4cm en terre-plein

2) Mur en moellons de pierres calcaires monté à la terre et jointoyé à la chaux-liège

Solution :

a) Gobetis sur la face intérieure du mur

b) Mortier isolant terre-chènevotte d'épaisseur 6 à 8cm mis en œuvre en technique banchée ou projetée, sans support bois

c) Mortier de chaux-liège, hauteur selon les prévisions de remontées capillaires et de rejaillissement de la pluie sur la face extérieure du mur

d) Enduit de finition en terre fibrée sur toile type Fissnet démarrant à 5cm du niveau du sol intérieur. Entre le sol et l'enduit un carrelet de liège de hauteur 5 cm assure la rupture de capillarité

e) Plinthe finition en recouvrement de hauteur 7 cm

Figure 11 : Vue d'une partie courante de mur isolée en filière humide sans ossature

Isolation à $R=1,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ avec ossature

La mise en place d'une ossature permettra d'augmenter l'épaisseur de l'isolant terre-chènevotte à 15 cm pour atteindre une résistance thermique R de $1,5 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. La limitation à 15 cm est liée à la capacité de séchage de la paroi sans risque de développement fongique.

La pose d'une ossature est obligatoire à partir de 8 à 10 cm d'épaisseur. L'ossature sera réalisée avec du bois de classe 3 (par exemple en sapin Douglas ou chêne) et de section 45 mm typiquement. Sa mise en œuvre se fera par fixation au sol et au plafond. L'ossature doit être noyée au milieu du mortier isolant, à 5 cm sous la surface intérieure de ce dernier (pour éviter de provoquer des fissurations de l'enduit). Il faut également prendre garde à ne jamais mettre le bois à moins de 5 cm du mur en pierre (pour éviter les pathologies). Les éventuelles cales séparant le mur de l'ossature bois devront avoir une épaisseur d'environ 5 cm et être en un matériau thermiquement isolant, non capillaire, imputrescible et inoxydable : le liège expansé est

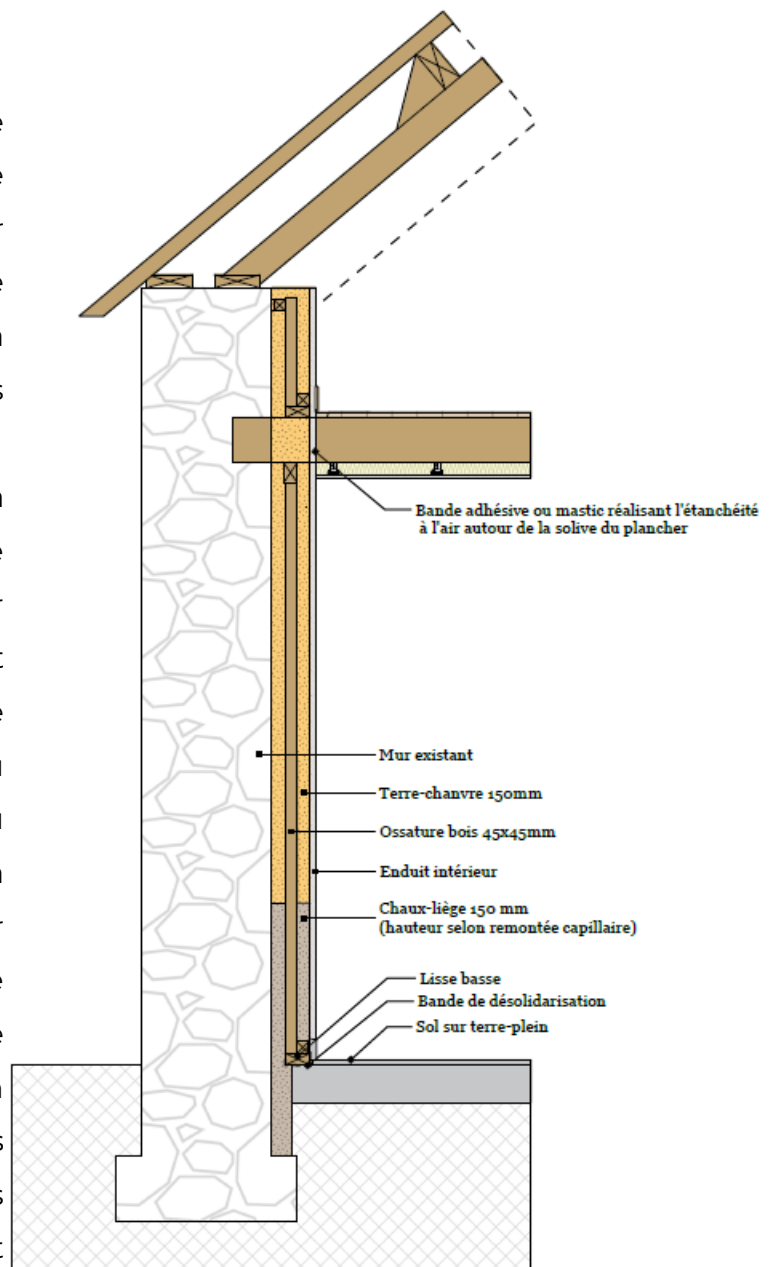


Figure 12: Coupe d'un mur isolé en filière humide avec ossature, avec vue des détails de jonctions avec le plancher bas et avec le plancher intermédiaire

logiquement le matériau qui répond à ces critères. Le choix de tout autre matériau devra être validé par une étude hygrothermique visant à vérifier la pérennité de la solution.

L'ossature doit être noyée dans l'isolation en entourée de plusieurs centimètres de mortier terre-chènevotte. Elle ne doit donc ni s'approcher à moins de 5 cm du mur ni être à moins de 5 cm de la surface intérieure du mur (afin d'éviter les risques de fissuration de l'enduit).

La mise en œuvre doit être suivie de la mise en place de moyens de séchage importants laissés en fonctionnement continu pendant plusieurs semaines : locaux très aérés,

mais aussi mise en place de ventilateurs voire de déshumidificateurs, de façon à faire sécher le mortier partout y compris dans les coins.

Note importante : les scellements de solives et de poutres dans les murs sont des points critiques qui méritent une étude hygrothermique à part entière, à réaliser idéalement avec une approche dynamique à 2 dimensions. Un détail de ce type est représenté sur la Figure 12. Il sera à étudier dans une éventuelle étude ultérieure. La Figure 12 montre un scellement de solive conservé à l'identique de l'existant. Au cas où l'étude hygrothermique de ce détail révélerait un risque pathologique, il conviendra de proposer une solution adéquate (utilisant par exemple des sabots en métal inoxydable sur cale de liège, ou des poteaux de reprise de charge, ou une solive muraille, etc.)

Cas du mur en pan de bois

Cas où le pan de bois et/ou son hourdis d'entre-colombage sont dégradés ou en matériaux inappropriés (gravats) ⇒ Une réhabilitation lourde des murs est à entreprendre, les entre-colombages sont à refaire.

Dans les cas particuliers où les colombages des façades exposées doivent rester apparents (en conformité avec le respect de prescriptions de PLU, qui parfois méconnaissent la diversité des protections et revêtements des façades exposées).

La solution consistera à :

- Remettre les pans de bois à nu
- Mettre en place au printemps un isolant terre-chènevotte en épaisseur 30 cm derrière le colombage et jusqu'à environ mi-colombage en fonction de l'épaisseur de l'enduit prévu
- Prévoir des ventilateurs du côté intérieur voire des déshumidificateurs, de façon à faire sécher le mortier partout y compris dans les recoins. Laisser sécher jusqu'à deux ou trois mois en belle saison.
- Appliquer le torchis dans l'entre-colombage
- Laisser sécher le torchis d'environ 6 à 8 cm plusieurs semaines
- Accompagner le séchage en resserrant peu à peu la surface suivant les *Règles professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue*.
- mettre en place la couche de finition extérieure ainsi que l'enduit intérieur.

Composition de l'enduit d'entre-colombage

L'enduit d'entre-colombage doit avant tout respecter les *Règles professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue*. Le complexe d'enduit peut comprendre plusieurs couches. Il doit être constitué d'un ensemble de matériaux optimisés pour stopper les pénétrations d'eau lors d'épisodes de pluies battantes. Il devra être suffisamment épais, perméable à la vapeur (faible valeur de S_d) et avoir une capillarité maîtrisée.

A l'état existant, lorsque l'enduit d'entre-colombage est en bon état, le mur est constitué d'un torchis remplissant la totalité de l'entre-colombage surmonté d'un enduit affleurant à fleur des colombes et de nature variable : terre, plâtre... (sable fin et chaux sont plus rares), cet enduit pouvant être réalisé en plusieurs couches de nature différente (typiquement deux).

Lors l'entre-colombage est en mauvais état (pan de bois ou/et hourdis dégradé), l'enduit sera à refaire sur le mortier terre-chènevotte (qui sera mis en œuvre en premier). Pour cet enduit, sur la base de simulations réalisées sous le logiciel Wufi pour le climat de Brest orientation nord, la solution de référence établie est constituée d'un **corps d'enduit épais argileux** (terre crue de 6cm, légèrement fibré - pour empêcher toute fissuration profonde -, surmonté d'un enduit extérieur de 2 cm de type chaux-sable présentant un S_d de 0,2 et un coefficient de capillarité relativement élevé $A=3$).

En pratique, **il est de la responsabilité de l'entreprise** réalisant la mise en œuvre de proposer un complexe d'enduit :

répondant aux *Règles professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue*

permettant de stopper les pluies battantes de façon efficace dans les orientations non protégées par des protections ou insuffisamment protégées par les débords de toit et autre protections partielles.

Les orientations à risques devront être identifiées et il faudra (si nécessaire) évaluer le risque avec une étude hygrothermique réalisée par un bureau d'étude spécialisé. Pour les orientations partiellement protégées, il devra fournir au bureau d'étude la valeur du facteur de réduction des pluies battantes atteint par les protections partielles mises en œuvre.

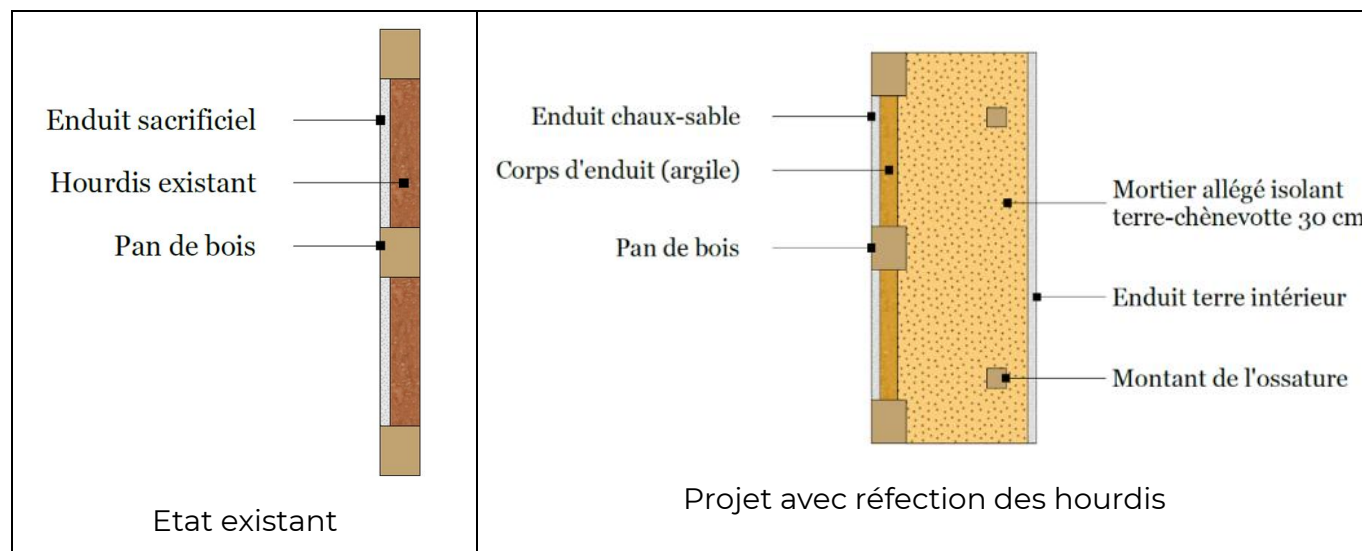


Figure 13 : *Schéma simplifié*. A gauche l'état existant, à droite la paroi rénovée.

Les données hygrothermiques pour le torchis (hourdis existant) sont mal documentées actuellement. L'enduit chaux sable est requis uniquement dans les cas particuliers des façades surexposées du climat de Brest. Le diagnostic architectural et l'étude préalable du patrimoine local sera nécessaire avant toute décision sur la préconisation de l'enduit adéquat. Un mélange terre chaux se pratique également combinant les avantages de l'un et de l'autre. Voir §5. ELEMENTS DE DIAGNOSTIC.

Sur les façades dédiées à être entièrement enduites

La solution est identique à celle pour les façades partiellement enduites. Il faudra s'inscrire dans le cadre des règles professionnelles pour la mise en œuvre des enduits sur supports composés de terre crue, et faire réaliser une étude hygrothermique dynamique par un bureau d'étude spécialisé. Une solution commune consiste en un badigeon de chaux sur un enduit terre à l'aspect minéral.

Ci-après un guide d'entretien du pan de bois et du torchis :

[Guide technique – L'essentiel pour entretenir le bâti à pans de bois torchis \(2016\)](#)

Sur les façades dédiées à recevoir un revêtement ou protection :

La solution consistera à :

- remettre les pans de bois à nu
- mettre en place en dehors de l'hiver, un isolant terre-chênevotte en épaisseur 30 cm derrière le colombage et dans l'entre-colombage.
- laisser sécher deux ou trois mois en belle saison, laisser le local très ventilé
- mettre en place l'enduit de finition intérieur.
- Poser le revêtement ou protection.

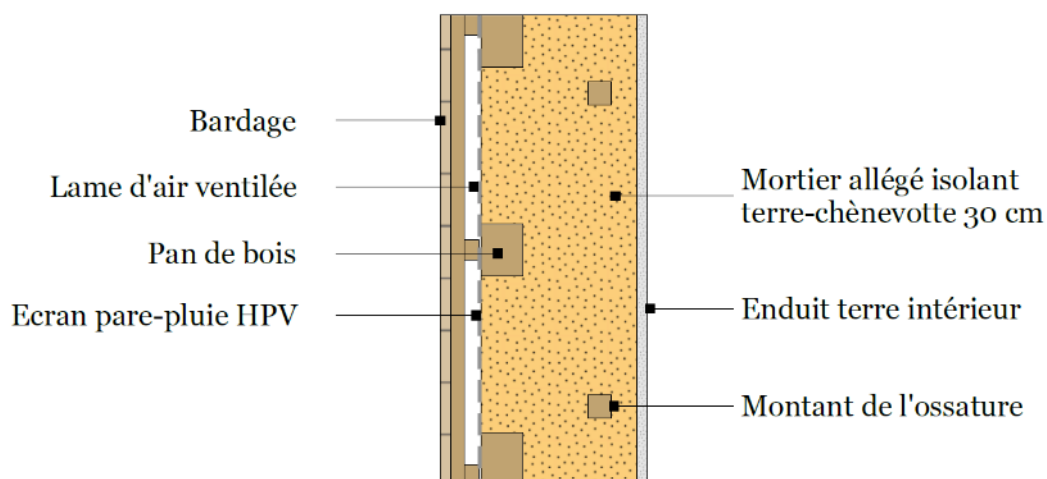


Figure 14 : Hypothèse d'étude avec revêtement ou protection extérieure

Cas où le hourdis d'entre-colombage sont en torchis en bon état

Les entre-colombages sont à conserver. La solution consistera à :

- Réparer les torchis des entre-colombages là où ils sont dégradés.
- Mettre en place au printemps un mortier isolant terre-chènevotte en épaisseur 15cm derrière le colombage
- Laisser sécher deux ou trois mois en belle saison. Prévoir des ventilateurs du côté intérieur voire des déshumidificateurs, de façon à faire sécher le mortier partout y compris dans les recoins.
- Mettre en place l'enduit de finition intérieur.
- Poser le bardage extérieur dans l'orientation la plus exposée au vent et les enduits de finition dans les autres expositions
- Prévoir les protections anti-rongeur en pied et haut de bardage

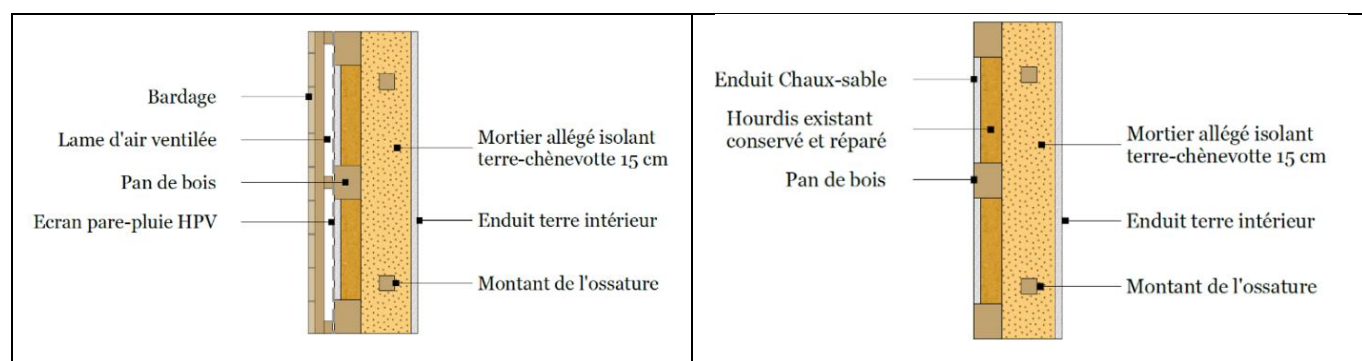


Figure 15 : A gauche solution protégée par un bardage (pour les orientations liées aux vents dominants). A droite, la solution avec enduit.

Cas du mur en briques

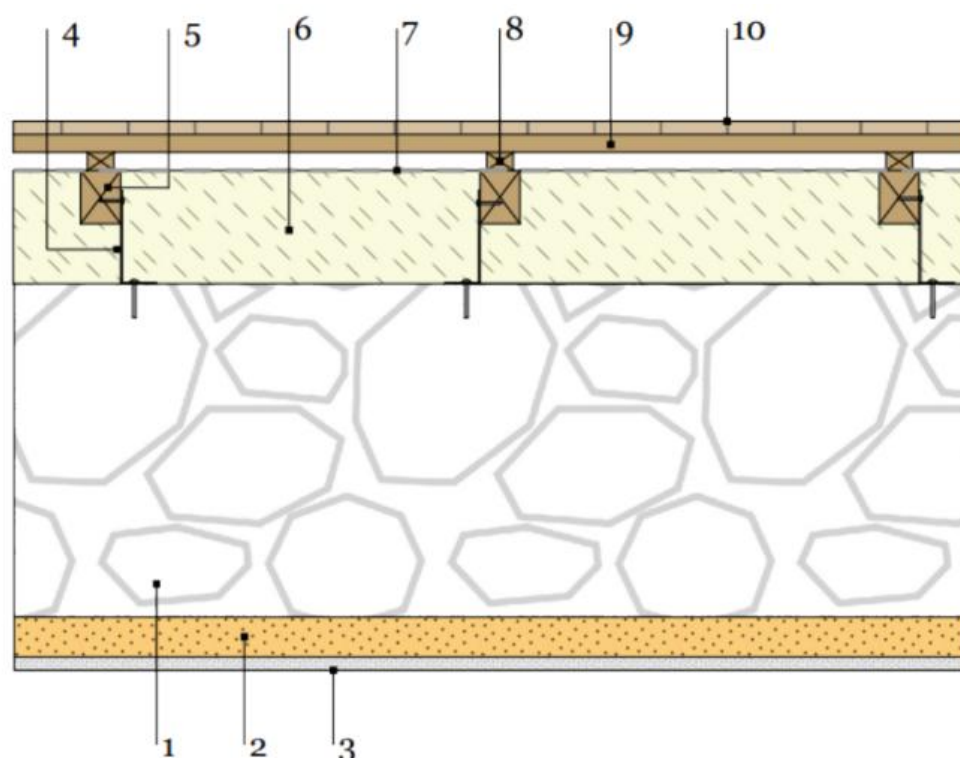
L'isolation par l'intérieur **ne pourra pas dépasser une épaisseur de 15 cm** pour éviter les pathologies en phase de séchage. La mise en œuvre doit être suivie de la mise en place de moyens de séchage importants : locaux très aérés, mais aussi mise en place de ventilateurs voire de déshumidificateurs, de façon à faire sécher le mortier partout y compris dans les recoins.

6.1.2 Isolation des murs en filière sèche par l'extérieur

Réalisation d'une **isolation par l'extérieur** en **fibres de chanvre en vrac sous bardage ventilé**. La technique de mise en œuvre s'inspire en partie des prescriptions des DTU 41.2 et 45.4 et des recommandations du programme PACTE (2019).

Les étapes sont les suivantes :

- Un calepinage des points de fixation (localisation des pierres supports de fixation) de l'ossature est réalisé, l'intervention d'un maçon peut être nécessaire (remplacements de pierres et/ou création d'ancrage si la taille des pierres est insuffisante (<10cm) pour les fixations de l'ossature d'ITE).
- Une ossature 80*50 mm est réalisée en bois local de classe 3 déportée de 95cm.
- Le remplissage de l'ossature se fera avec de la fibre de chanvre locale en vrac avec une densité de 60 kg/m³ maintenue par des dispositifs de maintien type griffes métalliques ou techniques équivalentes.
- Un pare pluie HPV vient recouvrir le complexe isolant afin de préserver les qualités isolantes et prémunir l'isolant des mouvements de convection qui seraient sans cela créés par la lame d'air ventilée.
- Une contre latte en bois local de classe 3 30x45 mm crée une lame d'air ventilée.
- Recouvrir avec un bardage en bois local classe 3.



- 1) Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
- 2) Mortier isolant chanvre-chènevotte en épaisseur 60 à 80 mm
- 3) Enduit de finition à la terre fibrée
- 4) Équerre acier cf DTU NF DTU 45.4
- 5) Ossature de l'ITE : Montants : bois C18 classe III, Douglas, 80mmx50mm, brut de sciage.
- 6) Fibres de chanvre en vrac 170mm R=3,7 m².K/W - 60 kg/m³
- 7) Pare pluie Hautement Perméable à la Vapeur d'eau (HPV).*
- 8) Lattage créant la lame d'air ventilée
- 9) contre lattage 22mmx48mm, bois classe III, brut de sciage
- 10) Bardage bois local, bois classe III

Figure 16 : Coupe horizontale d'une partie courante de mur isolée par l'extérieur en filière sèche et par l'intérieur en filière humide (composition FHE définie au §4.1)

6.1.3 Lot 2 – Isolation des planchers bas

Lorsque la maison est construite sur terre-plein (majorité des cas), les pertes thermiques par le plancher bas dépendent de la nature du sol et du niveau d'humidité présent dans ce dernier. Il n'est pas toujours facile de connaître la nature du sol avec précision.

Le niveau d'humidité pourra transparaître par des auréoles sur les tomettes ou sur les pieds de murs. L'humidité dans le sol pourra être réduite idéalement par des moyens extérieurs (modification des pentes du terrain, caniveaux, réparations des receveurs de gouttière fuyards, drainage extérieur). Dans le cas de sol argileux, il conviendra néanmoins de ne pas intervenir trop près de fondations et de choisir une technique d'assèchement compatible avec la nature du mur afin d'éviter un tassement non maîtrisé du sol et la création de désordre (fissuration des murs). Dans beaucoup de cas un drain placé à un mètre (voire davantage).

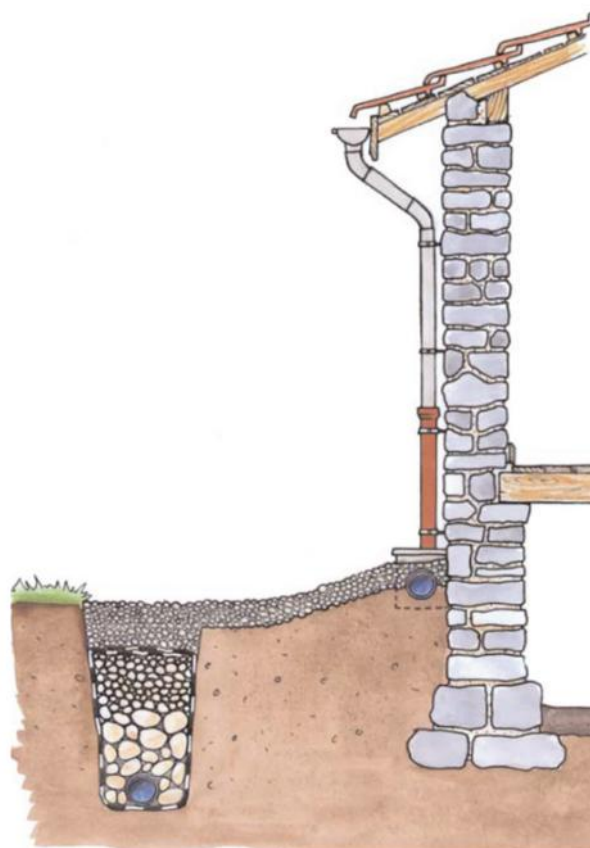


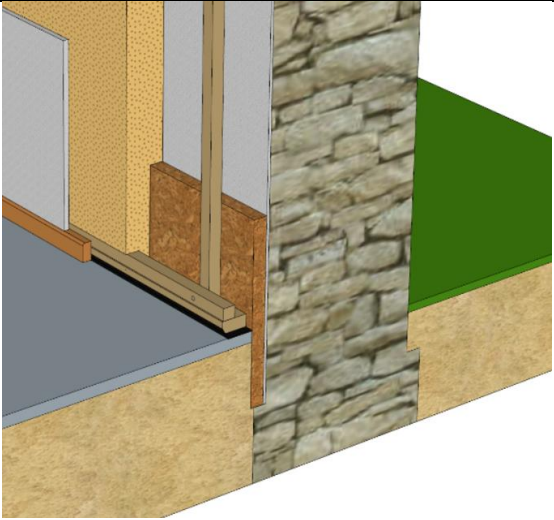
Figure 17 : Drain (source : JP Oliva)

Il convient avant tout d'effectuer un choix éclairé sur le traitement du plancher bas. Pour cela : d'abord faire un diagnostic humidité (par un artisan, un architecte ou un thermicien compétent sur le sujet), puis privilégier un travail sur la jonction pont thermique mur plancher bas sur terre-plein et n'envisager l'isolation de toute la surface du plancher bas sur terre-plein que si la mise en place d'un hérisson de cailloux paraît nécessaire.

Nous rappelons que conserver un plancher bas lourd :

- Permet de garder la très forte inertie thermique du sol, particulièrement bénéfique pour le confort d'été lors d'épisode caniculaires.
- Réduit les coûts et la durée du chantier de rénovation. Permet de limiter l'impact environnemental (génération de gravas, apport en matériaux neufs)
- Reste compatible avec certains travaux de réduction des remontées capillaires (drainage extérieur, ventilation du pied de mur, etc.).

Les pertes latérales représentent une part significative des pertes du sol. Elles peuvent être fortement réduites par la mise en œuvre d'une rupture thermique en périphérie de la liaison sol/mur. Ce sera notre solution de référence.

Illustration	Description de principe de la solution (famille + modifications de l'état existant à prévoir)
 <p><i>Figure 18 : Vue écorchée d'une jonction plancher bas / mur</i></p>	<p>Cette vue montre l'isolation en partie courante par l'intérieur d'un mur en pierre et la pénétration dans le sol d'un isolant (panneau de liège expansé) assurant une rupture du pont thermique sol/mur</p>

Dans les cas où le sol est trop humide et que cette humidité ne peut être résolue par un des moyens au pourtour extérieur à la maison (drainages, caniveaux, revêtement de sol en périphérie extérieure à la maison, etc.). Si un drain périphérique ne suffit pas, le décaissement du sol pourra se justifier afin de réduire les remontées capillaires dans les murs. On réalisera alors un hérisson de graves qui pourra être ventilé ou non. La mise en place de ce hérisson sera l'occasion d'isoler la totalité de la surface du sol.

6.1.4 Lot 3 – Isolation des rampants de combles aménagés

Note importante : les solutions d'isolation pour les rampants de toit présentées dans ce Livrable n'ont pas fait l'objet d'une validation notamment en termes de risques de migration de vapeur. Elles doivent donc faire l'objet d'analyse de risque au cas par cas conformément au Guide [SimHuBat](#).

	<p><u>Description de principe de la solution</u> (famille + modifications de l'état existant à prévoir)</p> <p>L'isolation thermique des rampants ne fait pas l'objet de poste spécifiquement étudiés dans ce livrable.</p> <p>Cette isolation est réalisée en filière sèche à base de fibres de chanvre en vrac. La mise en œuvre est proche de celle des murs mais peut être réalisés par soufflage/insufflation.</p> <p>Un membrane pare-vapeur hygrovARIABLE sera disposée devant l'isolant (côté intérieur).</p>
<p><i>Figure 19 : Isolation d'un rampant en fibres longues de chanvre</i></p>	

6.1.5 Lot 4 – Isolation des planchers hauts de combles perdus

L'isolation thermique des combles perdus ne fait pas l'objet des postes spécifiquement étudiés dans ce livrable. Nous préconisons la pose d'un isolant en vrac présentant une bonne durabilité et une masse volumique supérieure à 25kg/m³

6.1.6 Lot 5 – Menuiserie

Le choix et la pose de la menuiserie sont importants dans la rénovation des bâtiments anciens en pierre pour plusieurs raisons :

- la taille des ouvertures est souvent faible et, à l'état existant, l'éclairage naturel est souvent insuffisant au regard des critères d'aujourd'hui ;
- du fait de l'épaisseur des murs, les fenêtres sont posées dans des éveils, dont les

ébrasements nécessitent la pose d'une isolation thermique, dont l'épaisseur est soumise à un compromis délicat à arbitrer entre :

- une isolation thermique suffisamment épaisse des ébrasements pour réduire le pont thermique associé ;
- le choix d'une menuiserie permettant de profiter au maximum du clair de jour du tableau.



Nous recommandons dans la plupart des cas la pose de menuiseries grand jour en un seul vantail pour des largeurs d'ouverture ne dépassant pas 90cm (et en deux vantaux au-delà) et sans petits bois.

Menuiseries en bois léger pour de meilleures performances thermiques. Châssis de 68 mm équipe de double-vitrage voire de triple-vitrage (si la transmission lumineuse est suffisante).

La pose d'élargisseurs de dormants est par principe conseillée pour faciliter la pose d'une isolation performante des ébrasements. Mais si l'éclairement est insuffisant, il reste intéressant d'étudier une pose des fenêtres sans élargisseurs en profitant de la taille de la feuillure et en jouant sur plusieurs paramètres : reculement de la tapée, épaisseur du dormant de la fenêtre, angle de l'éveil de la maçonnerie.

Dispositifs de protections solaires : volets battants. Les volets roulants sont à éviter, à la fois pour des raisons architecturales mais parce qu'il est difficile, voire impossible de trouver un endroit pour placer le coffre sans qu'il ne réduise le clair de jour de la fenêtre.

6.1.7 Lot 6 – Réseau de ventilation (intégrant le traitement des traversées de parois)

Illustration	Description de principe de la solution (famille + modifications de l'état existant à prévoir)
	<p>L'emplacement du réseau de ventilation est à anticiper en amont du projet. Il conviendra de rechercher des cheminements dans l'épaisseur des planchers ou en plafond des pièces de dégagement et pièces humides. On pourra dans certains cas utiliser des bouches à effet Coanda ou à longue portée.</p>
	<p>Les réseaux seront conçus pour présenter un minimum de pertes de charge, tant par le tracé que par les accidents de parcours (dérivations, changements de section).</p> <p>Les réseaux aérauliques intérieurs seront réalisés en gaine semi-rigide :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Réseau en étoile : Permet d'équilibrer naturellement le réseau 2. Installation facile sans raccords 3. Réseau étanche à l'air 4. Facilement nettoyables.

L'approche VMC Double Flux peut se faire différemment que de mettre les bouches de soufflage systématiquement à l'opposé des portes de transfert.

En effet, on peut aussi utiliser des terminaux longue portée pour les pièces jusqu'à 6m de long qui permettent un bon brassage d'air mais qui permettent aussi de limiter les linéaires de gaines, et de s'affranchir de certaines problématiques esthétiques qui nécessiteraient de faire des coffrages (tout en gardant les hauteurs sous-plafond).


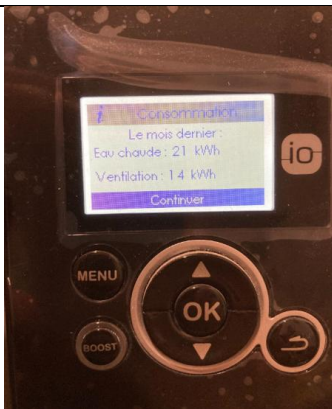
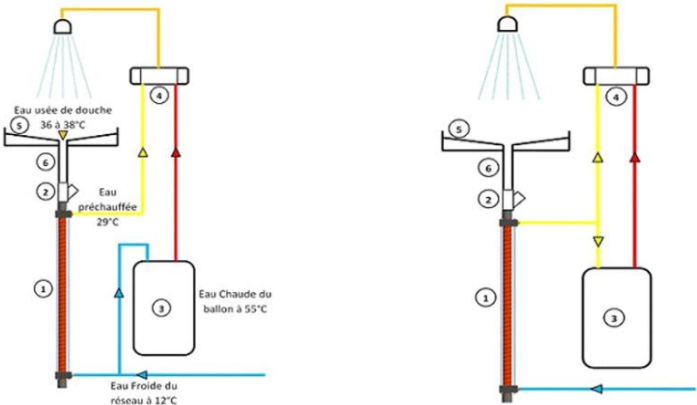
Cela permet aussi de réaliser la distribution d'air via un faux plafond dans les parties communes (couloir desservant les chambres par exemple), sans toucher à la décoration dans les chambres.

Intérêts :

- Permet l'installation même quand on ne veut pas toucher à l'esthétique ;
- Frugalité dans les longueurs de gaines ;
- Optimisation du budget alloué au réseau de gaines ;
- Optimisation du budget lié aux travaux indirects (décoration, coffrages, etc.).

6.1.8 Lot 8 – Système de chauffage et/ou refroidissement



	Description de principe de la solution
A1	Poêle à granulés rendement >94 %
C2	Poêle à bûche rendement >80 %
C4	PAC au R290

Illustration	Description
 	ECS par ballon thermodynamique sur air extrait.
 <p><i>Schéma le plus simple : 30 à + de 55% de récupération de chaleur</i></p> <p><i>Schéma le plus performant : 40 à + de 65% de récupération de chaleur</i></p> <p><i>Deux exemples de schéma de montage du récupérateur de chaleur (Source : notre confrère Samuel Champouillon)</i></p>	Récupérateur de chaleur sur eau grise (de douche). Modèle libre.


6.1.9 Lot 9 – Système de ventilation

Illustration	Description de principe de la solution (famille + modifications de l'état existant à prévoir)
	<p>L'emplacement du réseau de ventilation est à anticiper en amont du projet. Il conviendra de rechercher des cheminements dans l'épaisseur des planchers ou en plafond des pièces de dégagement et pièces humides. On pourra dans certains cas utiliser des bouches à effet Coanda.</p> <p>Les réseaux seront conçus pour présenter un minimum de pertes de charge, tant par le tracé que par les accidents de parcours (dérivations, changements de section).</p> <p>Les réseaux aérauliques intérieurs seront réalisés en gaine semi-rigide</p> <p>Test de la ventilation avant pose des parements</p>
	<p>VMC en attente de pose de la sortie de toiture aéraulique (en cours de réalisation)</p>

6.1.10 Lot 10 – Réseau électrique (intégrant le traitement des traversées de parois)

Illustration	Description de principe de la solution (famille + modifications de l'état existant à prévoir)
	<p>Passage des réseaux électriques en volume chauffé sans percer la membrane pare-vapeur.</p>
	<p>Passage des réseaux électriques avant pose du mortier isolant terre-chènevotte en filière humide contre un mur en pierres calcaires moyennes</p>

6.1.11 Lot 11 – Réseau de plomberie (intégrant le traitement des traversées de parois)

Illustration	Description de principe de la solution (famille + modifications de l'état existant à prévoir)
	<p>Passage des réseaux en volume chauffé en perçant le moins possible la membrane pare-vapeur.</p>

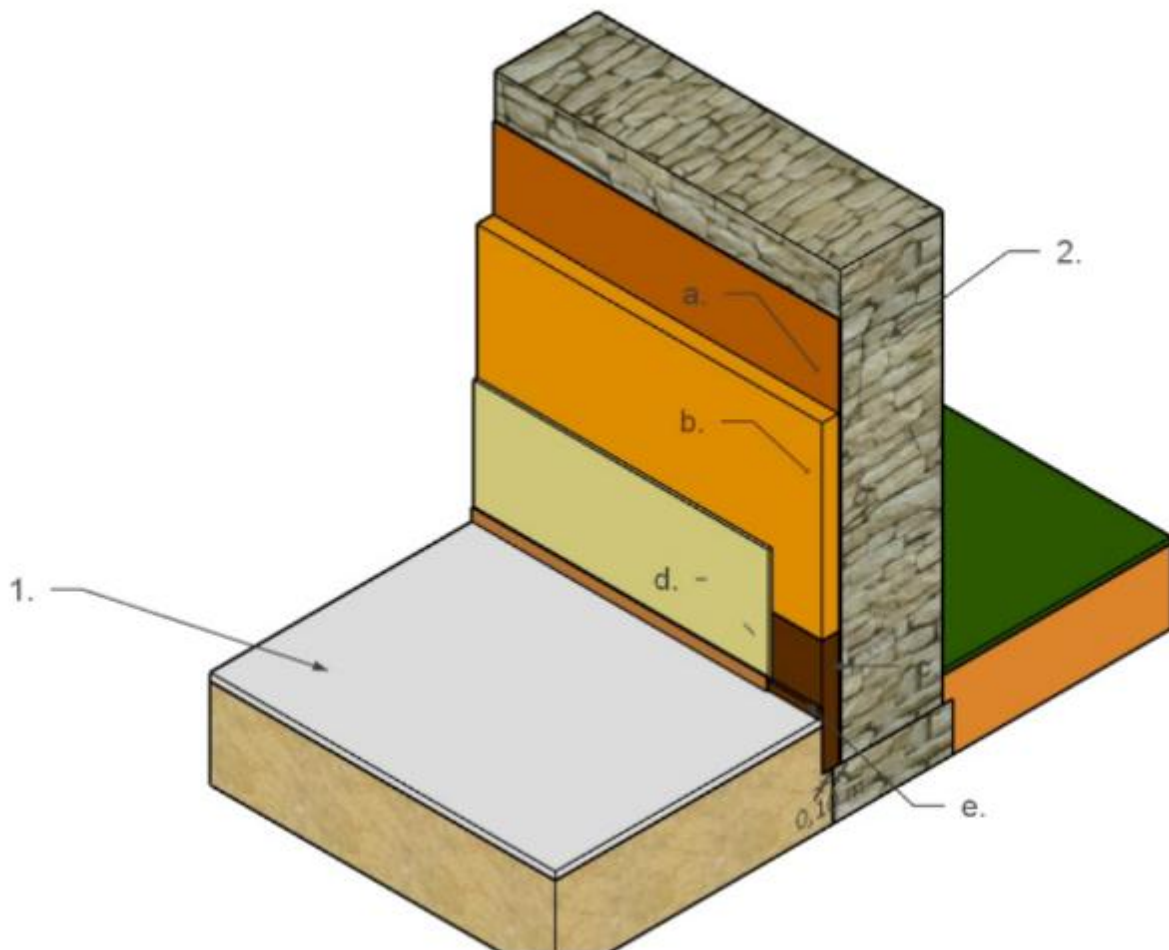
Une description plus détaillée des lots principaux est donnée au § 6. Des règles de dimensionnement ainsi qu'un ensemble de recommandations pour la faciliter l'adaptation de la solution aux variantes architecturales et aux différentes contraintes liées à la localisation ou aux diagnostics sont détaillés pour les lots principaux aux §4, 5 et 7.

6.2 Interactions entre lots - Solution de référence

6.2.1 Description détaillée – première combinaison (Lot Plancher bas/Lot murs extérieurs)

Interface Lot Plancher bas/ Lot murs extérieurs

MUR PIERRE



Mur partie courante en filière humide

- 1) Carrelage sur chape fine 4cm sur terre-plein
- 2) Mur moellons pierre calcaire monté à la terre et jointoyé à la chaux ou mur en pan de bois voir C4.

Solution :

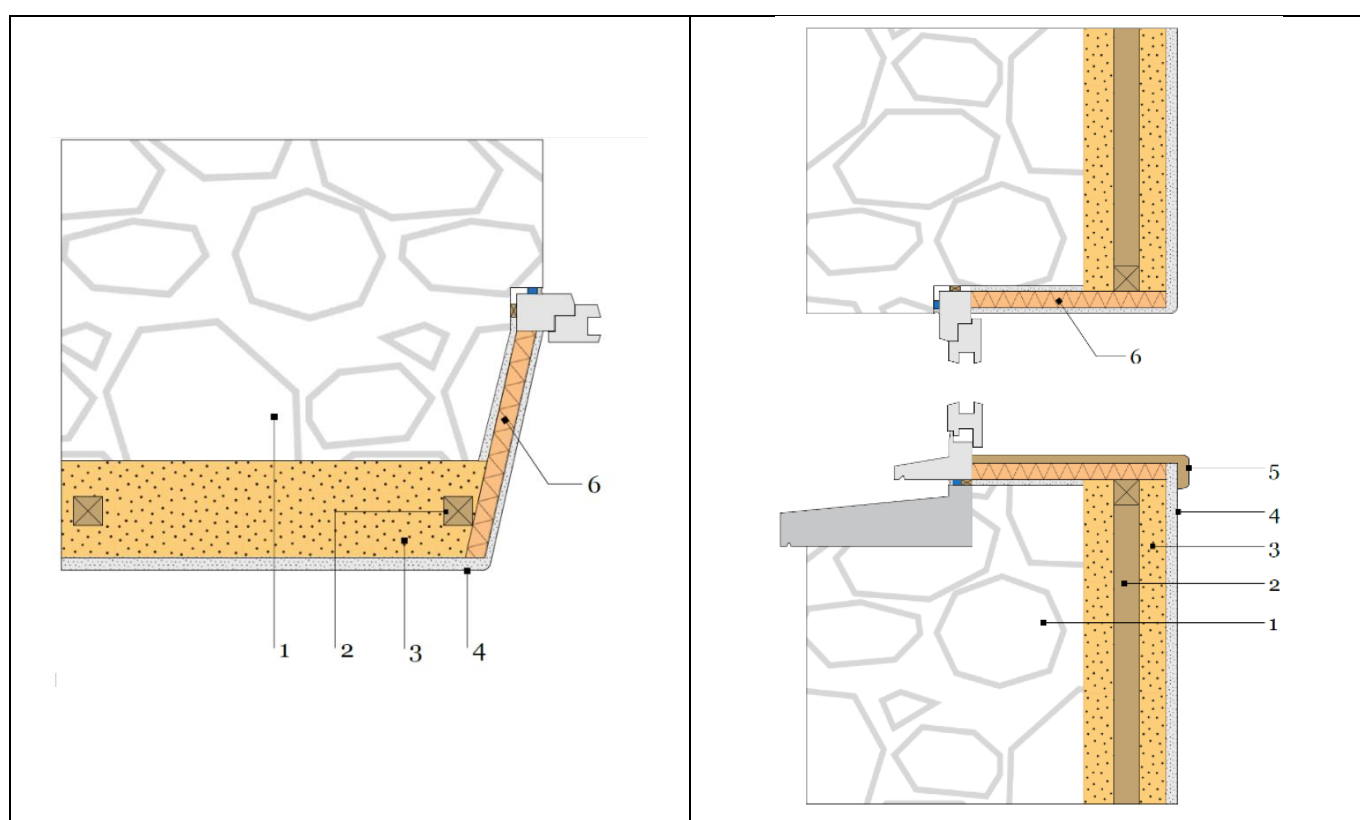
- a) Si nécessaire, préparation et gobetis sur la face intérieure
- b) Mortier isolant terre-chènevotte sur 6 à 8 cm sans support bois
- c) Rupture du pont thermique avec le plancher bas : on engrave le long du soubassement une plaque de liège expansé. Détail des ruptures de capillarité illustrés après.

- d) Enduit finition terre fibrée sur toile type Fissnet. Un carrelet de liège de hauteur 5 cm sépare cet enduit du sol de façon à se prémunir de désordres par un éventuel dégât des eaux ponctuel
- e) Plinthe finition en recouvrement $h=7\text{cm}$

Figure 20 : Vue écorchée en 3D d'une jonction de plancher bas avec un mur isolé par l'intermédiaire en filière humide (compositions FH06 et FH08 définies au §4.1)

6.2.2 Description détaillée – deuxième combinaison (Lot Menuiseries/Lot murs extérieurs)

Variante menuiserie au milieu du mur avec ébrasements évasés isolés

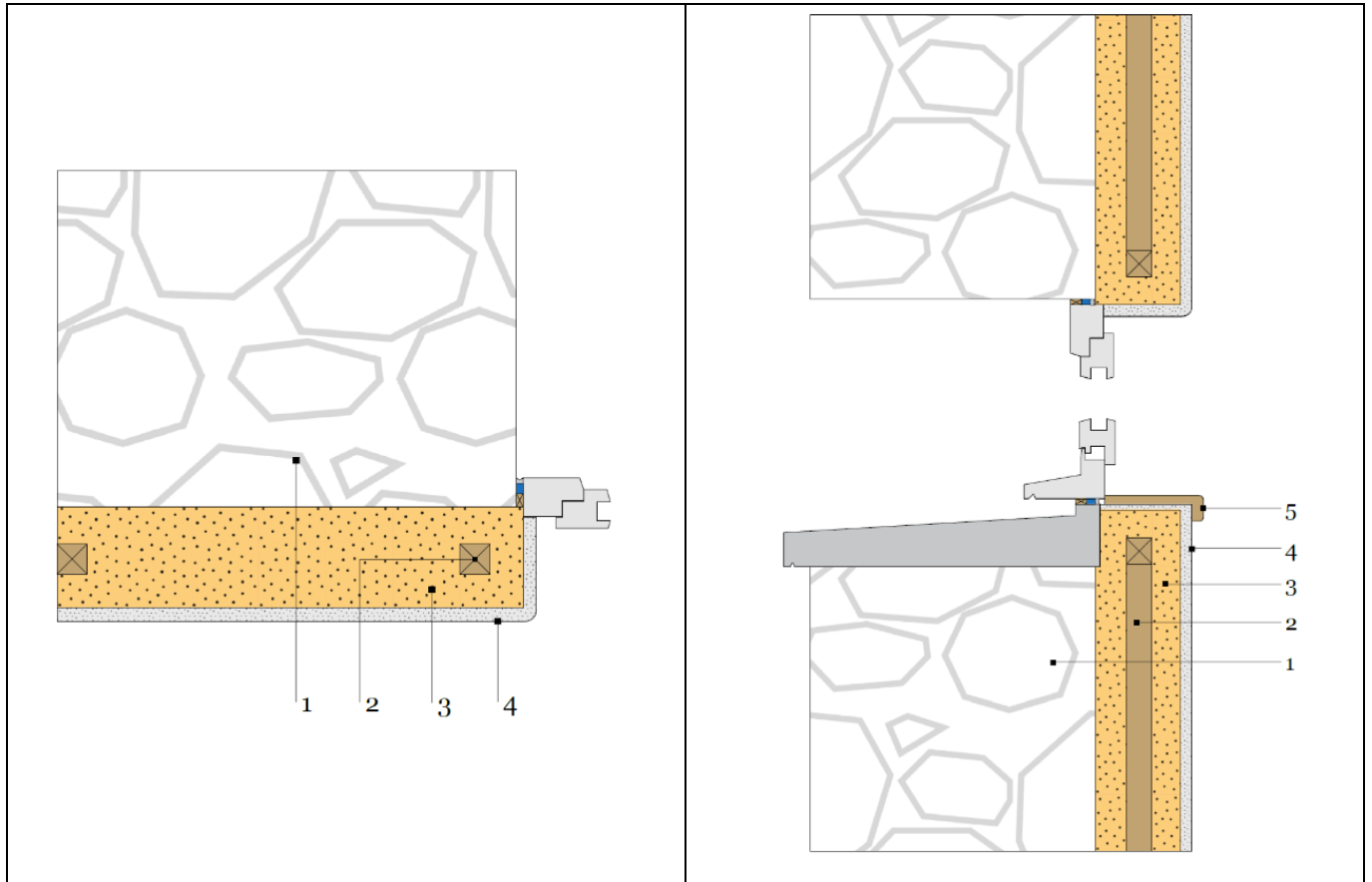


1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Ossature de l'ITI :
 - Lisse basse : bois classe III, 50mm x 75mm posée sur bande de désolidarisation et fixée mécaniquement au sol
 - Montants : bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$
 - Lisse haute : bois classe III, 50mm x 75mm fixée mécaniquement au plafond
3. Mortier isolant terre-chènevotte.
4. Enduit de finition à la terre fibrée
5. Tablette

6. Plaque de liège expansé collée à la chaux pour réduire les pertes thermiques au niveau des ébrasements. Épaisseur de la plaque : 30 à 40 mm. Elle sera recouverte par l'enduit de finition.

Figure 21: Coupe horizontale et coupe verticale de la jonction ITI de mur FH15 / menuiserie avec isolation thermique des ébrasements

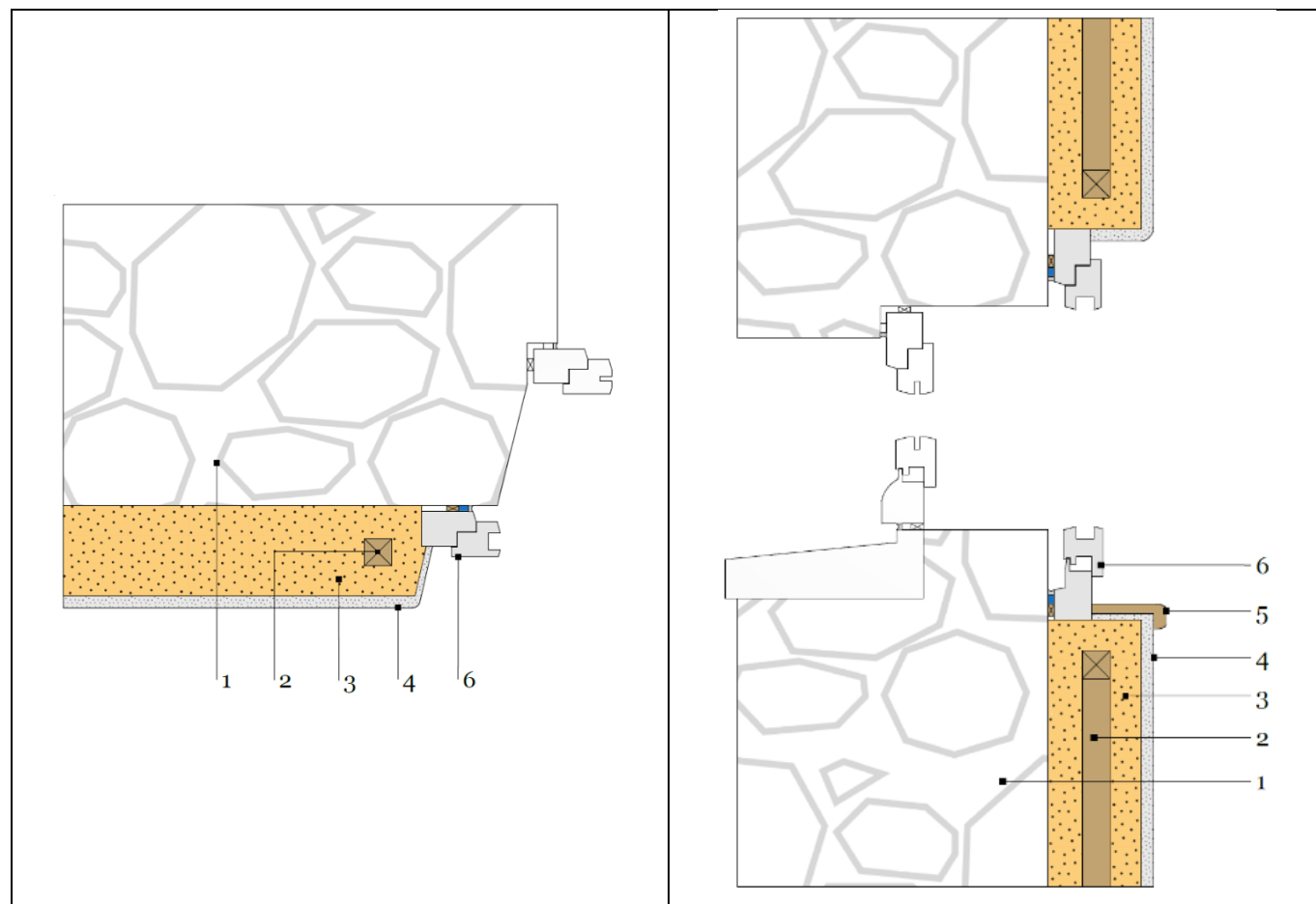
Variante menuiserie au nu intérieur du mur avec ébrasements droits



1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Ossature de l'ITI :
 - Lisse basse : bois classe III, 50mm x 75mm posée sur bande de désolidarisation et fixée mécaniquement au sol
 - Montants : bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$
 - Lisse haute : bois classe III, 50mm x 75mm fixée mécaniquement au plafond
3. Mortier isolant terre-chènevotte.
4. Enduit de finition à la terre fibrée
5. Tablette

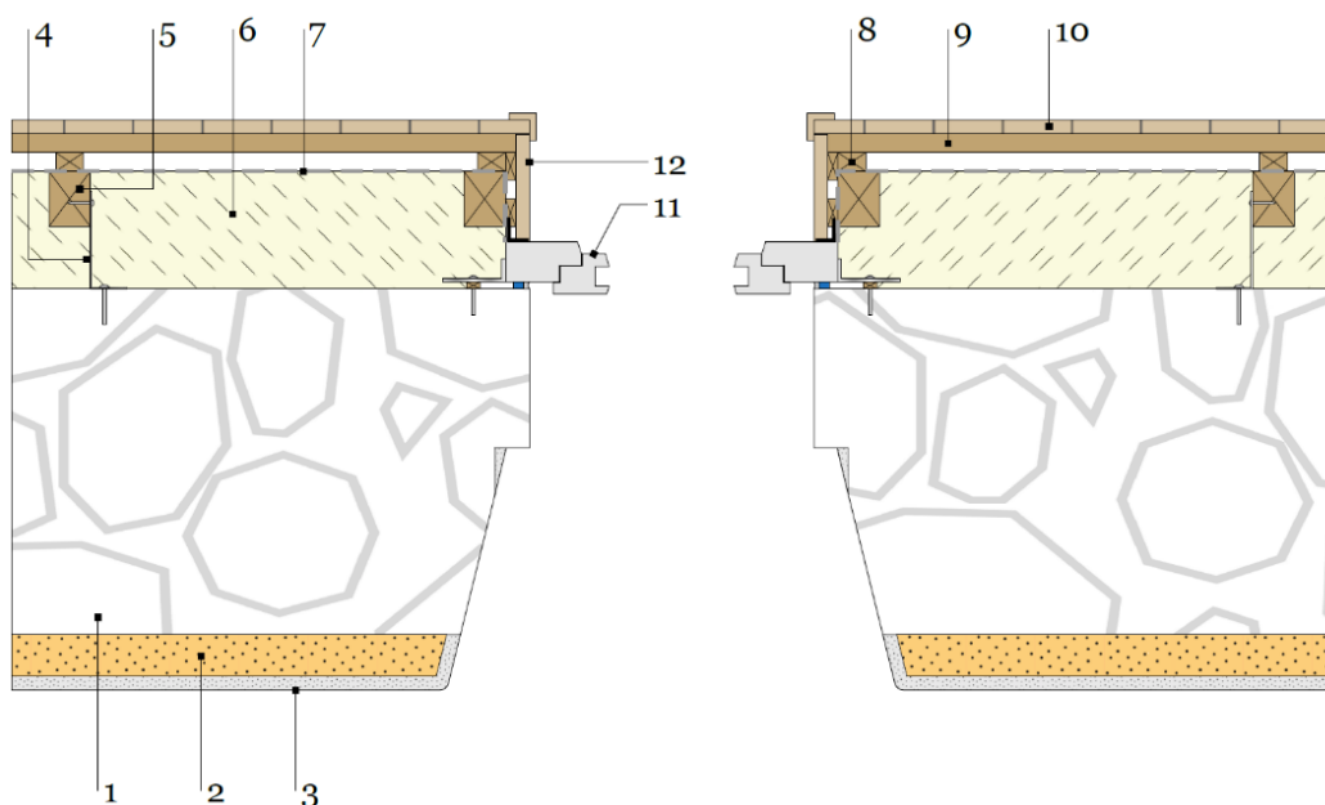
Figure 22: Coupe horizontale et coupe verticale de la jonction ITI de mur FH15 / menuiserie avec la pose de la menuiserie en tunnel du côté intérieur

Variante menuiserie en double fenêtres



1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Ossature de l'ITI :
 - Lisse basse : bois classe III, 50mm x 75mm posée sur bande de désolidarisation et fixée mécaniquement au sol
 - Montants : bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$
 - Lisse haute : bois classe III, 50mm x 75mm fixée mécaniquement au plafond
3. Mortier isolant terre-chènevotte.
4. Enduit de finition à la terre fibrée
5. Tablette
6. Nouvelle menuiserie posée en applique intérieure

Figure 23: Coupe horizontale et coupe verticale de la jonction ITI de mur FH15 / menuiserie avec la pose d'une double fenêtre

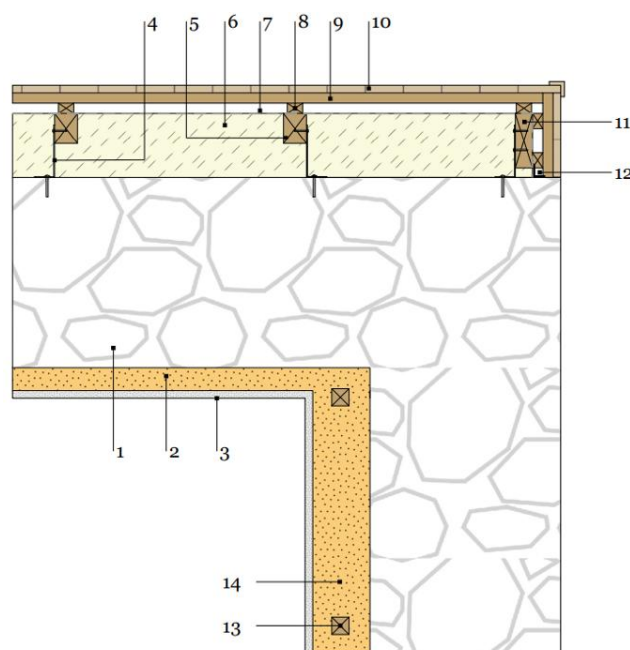
Variante menuiserie en applique extérieure avec ITE des murs

1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Mortier isolant terre-chènevotte.
3. Enduit de finition à la terre fibrée
4. Équerre acier cf NF DTU 45.4, pose suivant calepinage réalisé sur place (déterminé suivant la taille des pierres ou de la création d'ancrage)
5. Ossature de l'ITE : Montants : bois C18 classe III, Douglas, 80mmx50mm, brut de sciage.
6. Fibres de chanvre en vrac 170mm R=3,7 m².K/W - 60 kg/m³
7. Pare pluie Hautement Perméable à la Vapeur d'eau (HPV).
8. Lattage créant la lame d'air ventilée
9. contre lattage 22mmx48mm, bois classe III, brut de sciage
10. Bardage bois local, bois classe III
11. Nouvelle menuiserie posée en applique extérieure
12. Habillage des ébrasements en bardage

Figure 24 : Coupe horizontale de la jonction ITE de mur (Composition FHE définie au § 4.1) / menuiserie

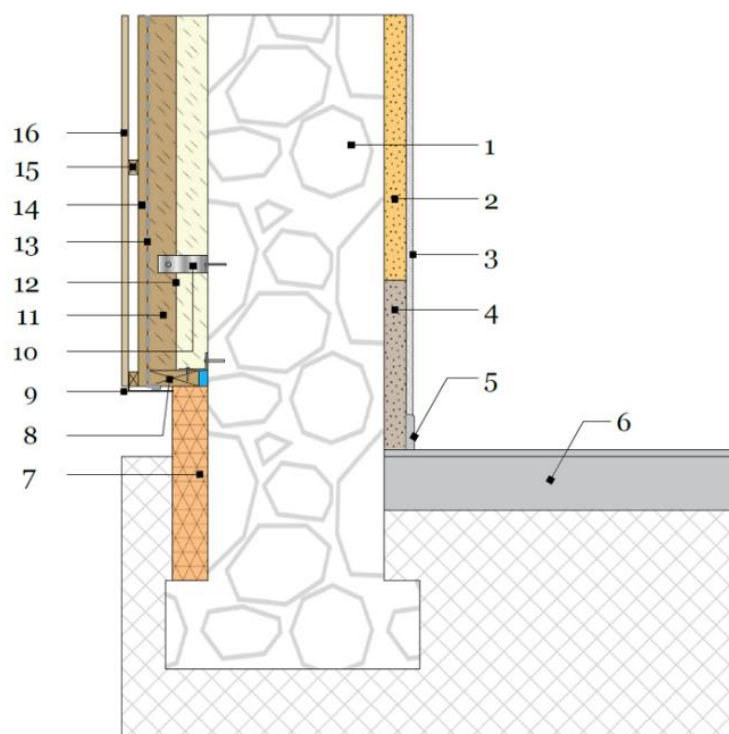
6.2.3 Description détaillée – troisième combinaison (Lot murs ITI / Lot murs ITE)

Interface Lot murs ITI/ Lot murs ITE (détail latéral)



- 1) Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
- 2) Mortier isolant chanvre-chènevotte en épaisseur 60 à 80 mm
- 3) Enduit de finition à la terre fibrée
- 4) Équerre acier cf NF DTU 45.4, pose suivant calepinage réalisé sur place (déterminé suivant la taille des pierres ou de la création d'ancrage)
- 5) Ossature de l'ITE : Montants : bois C18 classe III, Douglas, 80mmx50mm, brut de sciage.
- 6) Fibres de chanvre en vrac 170mm R=3,7 m².K/W - 60 kg/m³
- 7) Pare pluie Hautement Perméable à la Vapeur d'eau (HPV).
- 8) Lattage créant la lame d'air ventilée
- 9) Contre lattage 22mmx48mm, bois classe III, brut de sciage
- 10) Bardage bois local, bois classe III
- 11) Montant de rive 45 x 145 mm, bois classe III., Douglas
- 12) Joint d'étanchéité entre membrane HPV et maçonnerie
- 13) Ossature primaire de l'ITI :
 - a) Lisse basse et haute : bois classe III, 50mm x 75mm, application d'une bande de désolidarisation pour la lisse basse en contact avec le sol.
 - b) Montants : bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : ≤ 60cm.
- 14) Mortier isolant terre-chènevotte 150 mm

Figure 25: Coupe horizontale d'une interface entre isolation par l'intérieur (composition FH15, mur de droite) et isolation par l'extérieur de murs (composition FHE en haut)

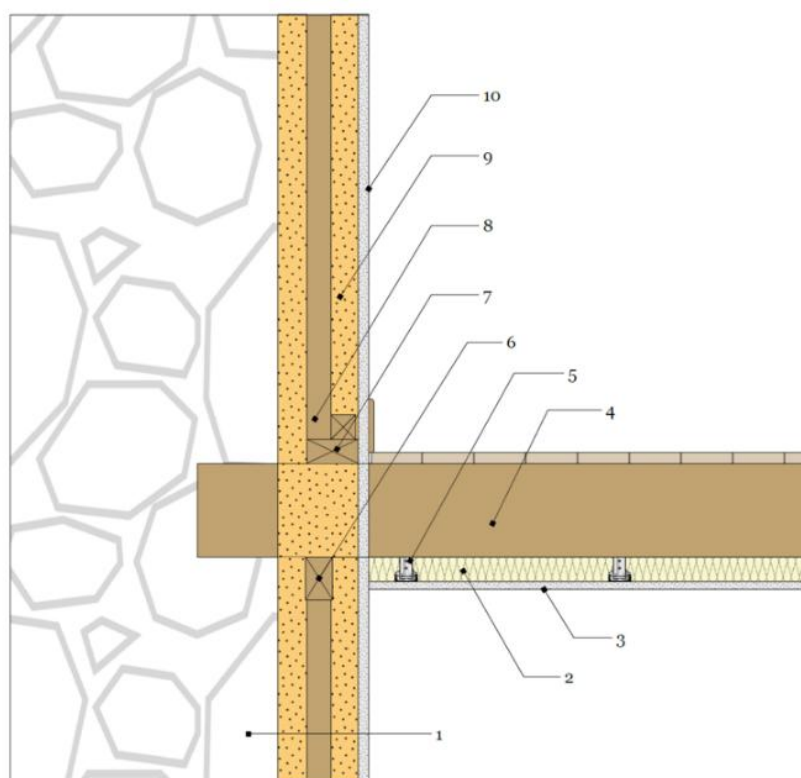
Interface Lot murs ITI/ Lot murs ITE (détail en pied de mur)

1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourde à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Mortier isolant terre-chènevotte en épaisseur 60 à 80 mm
3. Enduit intérieur
4. Mortier isolant chaux-liège en épaisseur 60 à 80 mm
5. Plinthe
6. Sol sur terre-plein
7. Panneaux de liège expansé 80 mm $R = 2 \text{ m}^2\text{K/W}$
8. Lisse basse, bois classe 3, C18, Douglas, 145mm x 45mm, brut de sciage.
9. Grille anti rongeur
10. Patte équerre acier cf NF DTU 45.4, pose suivant calepinage réalisé sur place (déterminé suivant la taille des pierres ou de la création d'ancrage)
11. Ossature de l'ITE : Montants : bois classe 3, C18, Douglas, 75mm x 50mm, brut de sciage.
12. Fibres de chanvre en vrac 170mm $R=3,7 \text{ m}^2\text{K/W}$ - 60 kg/m³
13. Pare pluie Hautement Perméable à la Vapeur d'eau (HPV).*
14. Lattage et lame d'air ventilée
15. Contre lattage 22mmx48mm, bois classe III, brut de sciage.
16. Bardage bois local, bois classe III.

Figure 26 : Coupe verticale d'une interface entre isolation par l'intérieur et isolation par l'extérieur de murs

6.2.4 Description détaillée – quatrième combinaison (Lot murs / Lot planchers intermédiaire)

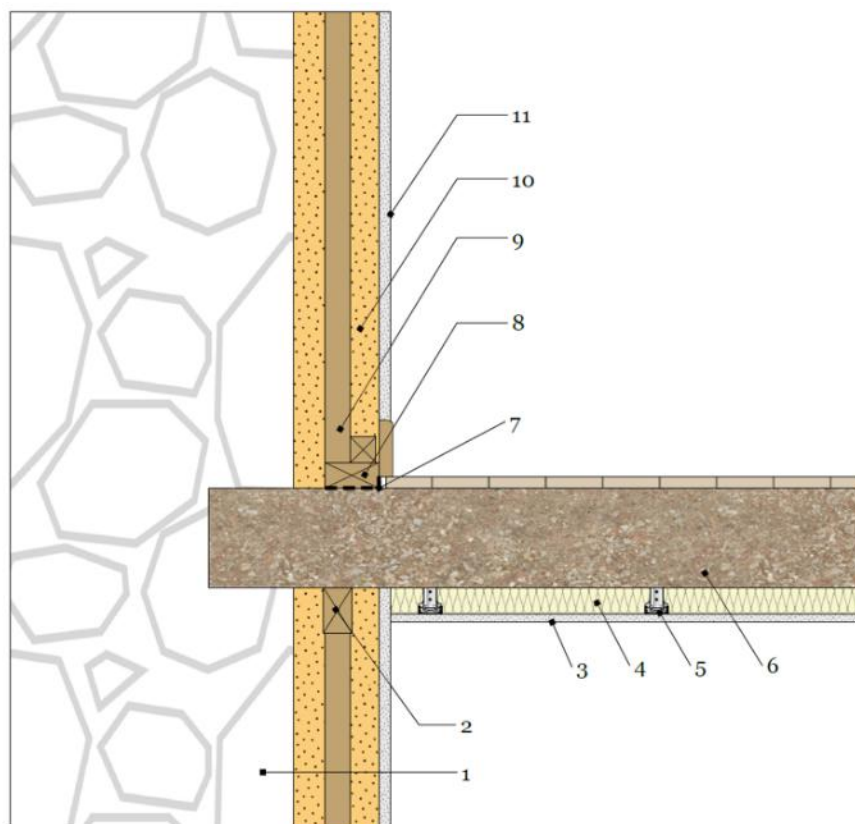
Plancher creux à solivage bois



1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourde à la terre, jointoyé a la chaux.
2. Isolation acoustique de plafond (optionnel)
3. Plaque de parement type BA13 (optionnel)
4. Solive de plancher
5. Suspente de plafond (optionnel)
6. Lisse haute de l'ossature d'ITI : bois classe III, 50mm x 75mm ou 45 x 45 mm
7. Lisse basse : bois classe III, 95mm x 45mm
8. Ossature de l'ITI : Montants : bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$.
9. Mortier isolant terre-chènevotte
10. Enduit de finition a la terre fibrée

Figure 27 : Coupe verticale d'une interface entre isolation par l'intérieur du mur et un plancher intermédiaire à structure bois

Plancher terre ou mortier sur structure bois



1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourde à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Lisse haute de l'ossature d'ITI : bois classe III, 50mm x 75mm ou 45 x 45
3. Plaque de parement type BA13 (optionnel)
4. Isolation acoustique de plafond (optionnel)
5. Suspente de plafond (optionnel)
6. Terre battue entre solives du plancher.
7. Bande de désolidarisation
8. Lisse basse : bois classe III, 95mm x 45mm
9. Ossature de l'ITI : Montants : bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$.
10. Mortier isolant terre-chènevotte
11. Enduit de finition à la terre fibrée

Figure 28 : Coupe verticale d'une interface entre isolation par l'intérieur du mur et un plancher intermédiaire lourd

6.2.5 Description détaillée – cinquième combinaison (Lot murs pans de bois / Lot plancher bas)

Remarque : Les schémas suivants ne représentent pas les fruits et / ou surplombs des structures. Cette situation sera pourtant prise en compte au diagnostic et à l'exécution. Les pièces de bois souvent courbes répartissent les charges habilement à la manière de poutres précontraintes. Ici, pour simplifier l'illustration, les structures sont à nu, propres et réparées, l'enduit ou le doublage recouvrant l'intérieur n'est pas représenté, ni les écharpes qui assurent le contreventement (voir Figure 4 : Glossaire « La construction en pan de bois au Moyen-âge et à la Renaissance » sous la direction de Clément Alix et Frédéric Epaud, 2013)

A chaque niveau, le travail se réalise de bas en haut et se fait en connaissance de cause des positions en 3 dimensions de tous les éléments constituant le pan de bois.

Interface Lot murs pans de bois / Lot plancher bas

La Figure 29 montre une coupe verticale de l'interface plancher bas / mur en pan de bois, avec une isolation réalisée suivant notre solution.

Il est tout d'abord nécessaire de s'assurer que la nature du terrain extérieur n'entraîne pas une accumulation d'eau en pied de mur. Le diagnostic initial doit le déterminer et aboutir si besoin à des préconisations (drainage, mise en place d'un caniveau, etc.). Le diagnostic est à réaliser de haut en bas, y compris le débord de toiture.

Le mur bahut présente une hauteur généralement comprise entre 30cm et 1m. Il peut suivant le cas être construit en silex, calcaire, brique. Notre hypothèse de référence est un mur bahut de 50cm de hauteur réalisée en moellon de pierre calcaire hourdé à la terre, joints chaux.

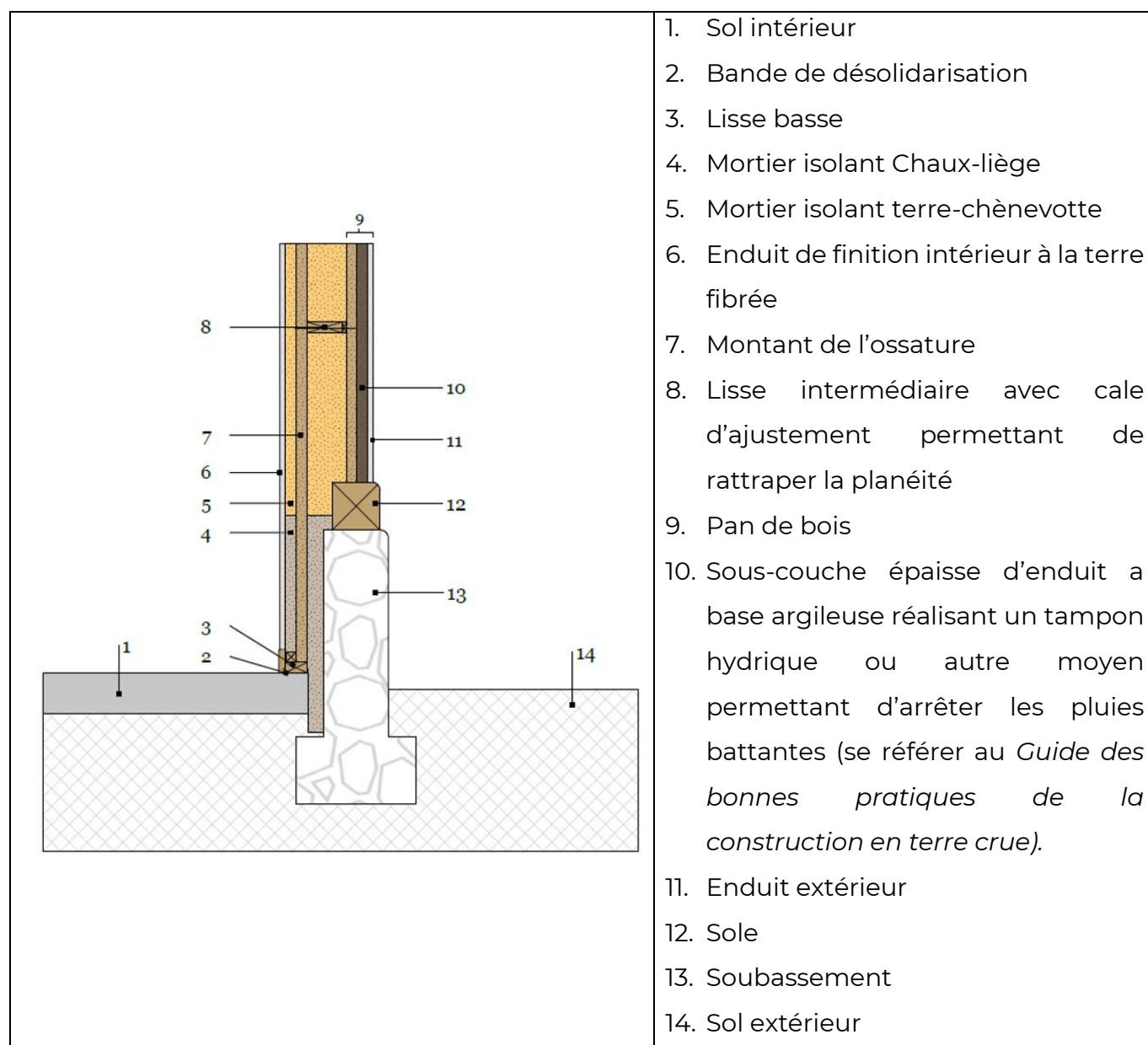
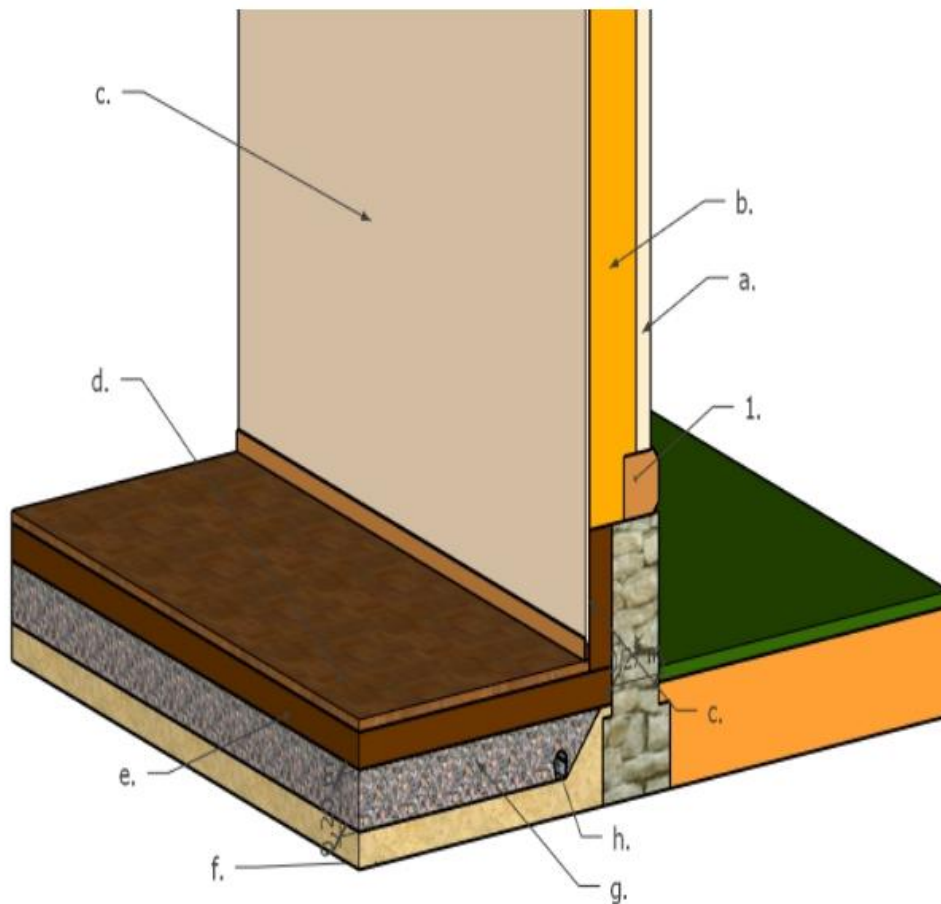


Figure 29 : Coupe verticale montrant la gestion de l'interface entre plancher bas et l'isolation répartie en filière humide d'un mur à pans de bois

L'étude porte sur les variations du matériau de remplissage du pan de bois sur un mur bahut en moellons de pierre calcaire.

Priorité 1 : si présence de torchis, conservation de celui-ci et ragréage

Dans cette variante, on étudie l'hypothèse d'un mur en pan de bois rempli d'un torchis de terre en bon état. L'isolation en terre allégée type terre-chènevotte vient en doublage intérieur.



Cas d'une façade exposée et d'importants travaux en pied de mur / rénovation de collecteurs fuyards, décaissement pour fouille et rénovation des réseaux, traitement de l'humidité

1. Sole chêne CI 3b.

a. Torchis extérieur de l'épaisseur des colombes

b. Isolant réparti de type terre allégée ou terre chènevotte ep max 30 cm

c (bas). Mortier chaux-liège hauteur du solin Protection aux remontées capillaires. voir détail L2c.

c (haut). Enduit intérieur terre fibrée ou suivant configuration (e : douche / cuisine)

Préalable : Traitement du plancher bas

d. Revêtement sol ou parquet au-dessus de 2 couches de panneaux sol type OSB3 croisés

e. Chape chaux liège ou panneaux liège croisé 8 à 10cm

f. Terre-plein en glacis

g. Sous couche hérisson graves lavées ou schiste expansé min 12cm max 50cm sur géotextile

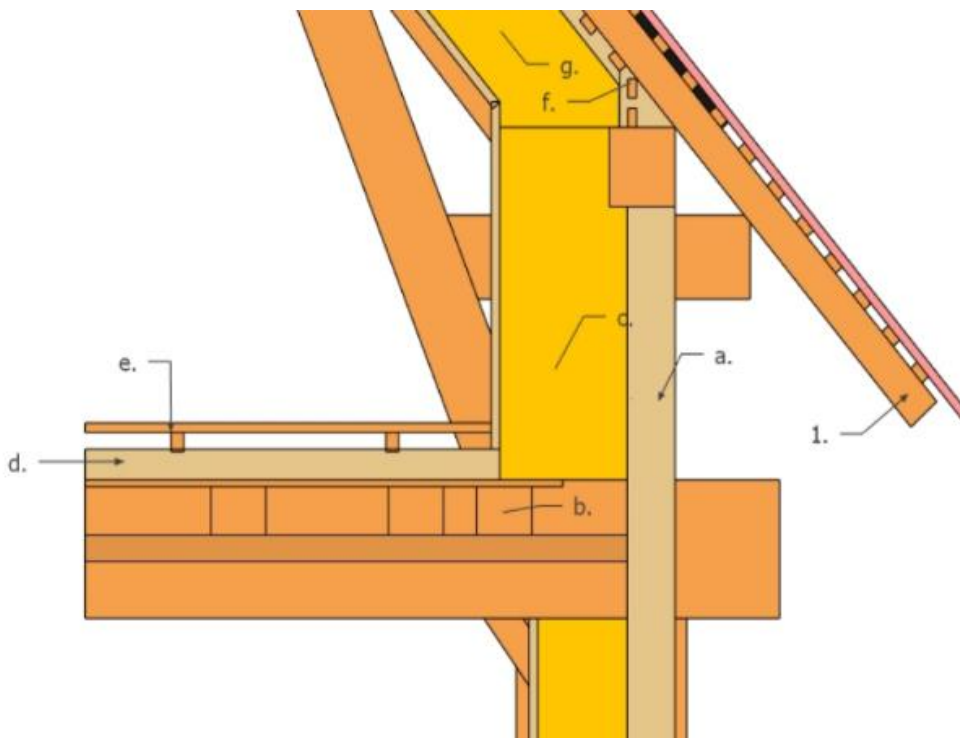
h. Drain routier + ventilation en toiture

Figure 30 : Pan de bois - VARIANTE CHAPE SECHE ISOLEE

6.2.6 Description détaillée – sixième combinaison (Lot plancher intermédiaire / Lot murs)

Note importante : les solutions d'isolation pour les rampants de toit présentées dans ce Livrable n'ont pas fait l'objet d'une validation notamment en termes de risques de migration de vapeur. Elles doivent donc faire l'objet d'analyse de risque au cas par cas conformément au Guide [SimHuBat](#).

Le plancher haut est déjà isolé par un terri d'environ 4cm d'épaisseur. Il est troué par endroit mais garde une bonne cohérence d'ensemble



Complexe de toiture. Débord de toiture limité

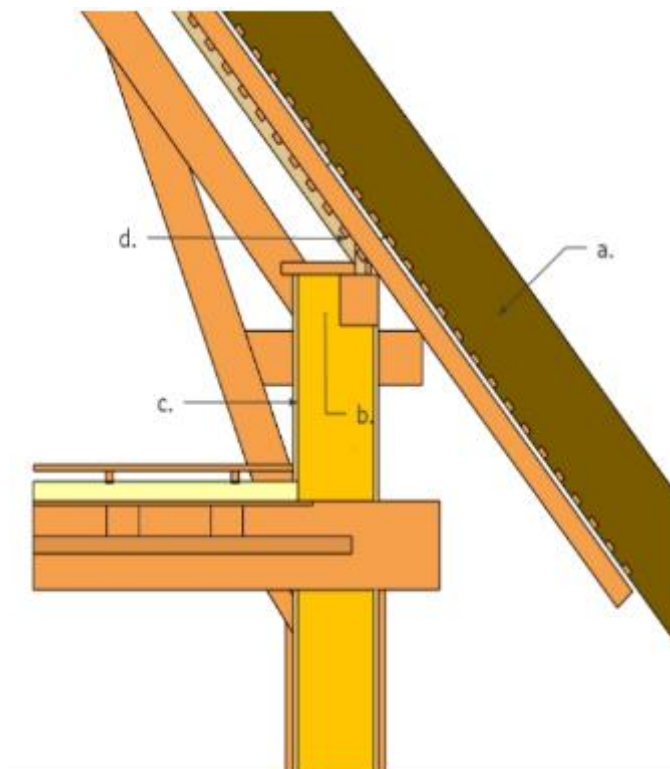
- a. à l'extérieur, l'espace entre la colombe est rempli d'un torchis de terre sur lattis (non représenté) fixé sur la face interne du colombage
- b. une solive sur linçoir est déplacée pour assurer la continuité verticale de l'isolant
- c. Isolant Terre chènevotte. Débord par l'intérieur d'une épaisseur jusqu'à 30 cm

Rq : Enduit intérieur de finition en terre fibrée et continu

- d. le Terri (chape de terre sur lattis) est maintenu ou restauré. Ici 4 à 6 cm d'épaisseur.
- e. parquet sur lambourde et espace technique pour réseaux électriques
- f. détail du pan de moineaux rempli de Torchis, lattis continu intérieur des chevrons en torchis peu épais (4 cm)
- g. Isolant sous rampant (Voir filière sèche avec contre ossature)

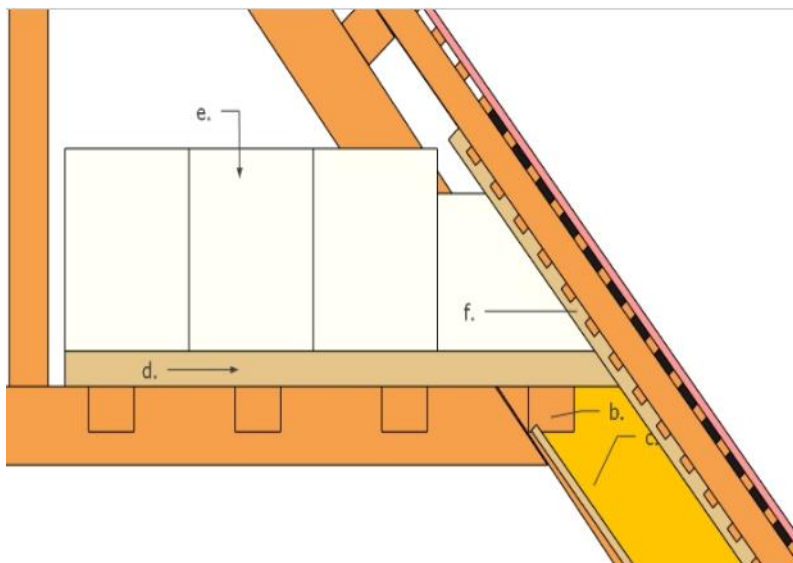
Figure 31 : Coupe sur le plancher intermédiaire

Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, se pose la question de la liaison avec l'isolation sous toiture. Un aspect peu abordé concerne le choix des matériaux de couverture. Les matériaux de couverture en ardoise ont remplacé ceux en chaume. Pourtant à l'heure de l'adaptation à la réglementation thermique, le retour à la couverture en chaume se pose. Les prochaines règles pros de mise en œuvre du chaume en court de rédaction chez les chaumiers ANCC (Association Nationale des Couvreurs Chaumiers) : <https://chaumiers.com/batiroseau>



6.2.7 Description détaillée – septième combinaison (Lot plancher haut / Lot murs)

Note importante : les solutions d'isolation pour les rampants de toit présentées dans ce Livrable n'ont pas fait l'objet d'une validation notamment en termes de risques de migration de vapeur. Elles doivent donc faire l'objet d'analyse de risque au cas par cas conformément au Guide [SimHuBat](#).



b. Solive à déplacer de manière à maintenir les supports de l'isolant en filière sèche.

c. Etoupe de chanvre en vrac maintenu entre montants d'environ 40 cm entre axe (bois brut de sciage)

d. Si le Terri existe, il est restauré et maintenu en ayant soin de parfaire l'étanchéité continue

e. Dessus : pose de petites bottes de paille compressée et maintien d'une botte pour remplissage vrac aux angles sous toiture

f. Sur lattis, enduit épais type torchis continuité de l'étanchéité

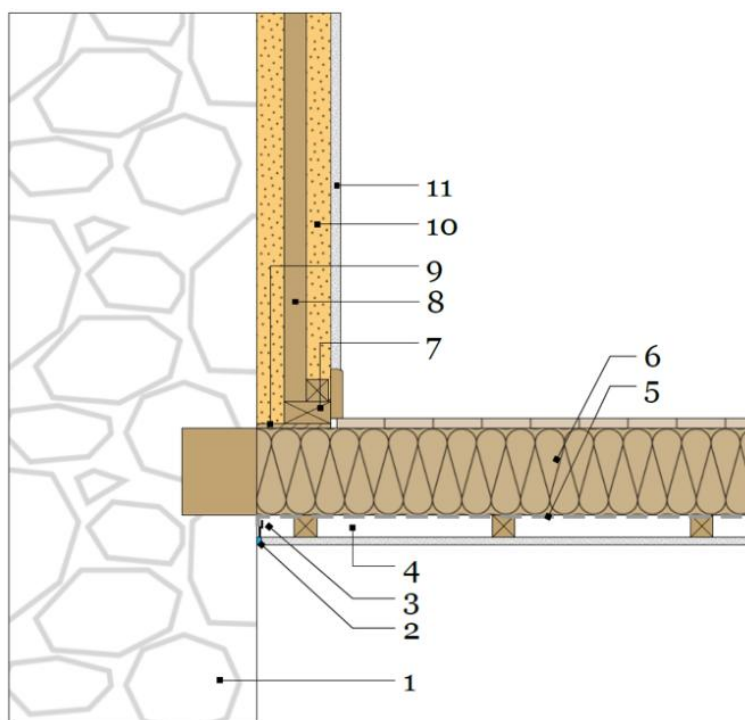
Figure 32 : Plancher haut des combles aménagés

6.3 Déclinaisons

6.3.1 Déclinaisons de la typologie A1

La typologie A1 est susceptible d'être construite sur sous-sol. Nous décrivons ci-après des déclinaisons du plancher bas et de la gestion de l'interface plancher bas / mur

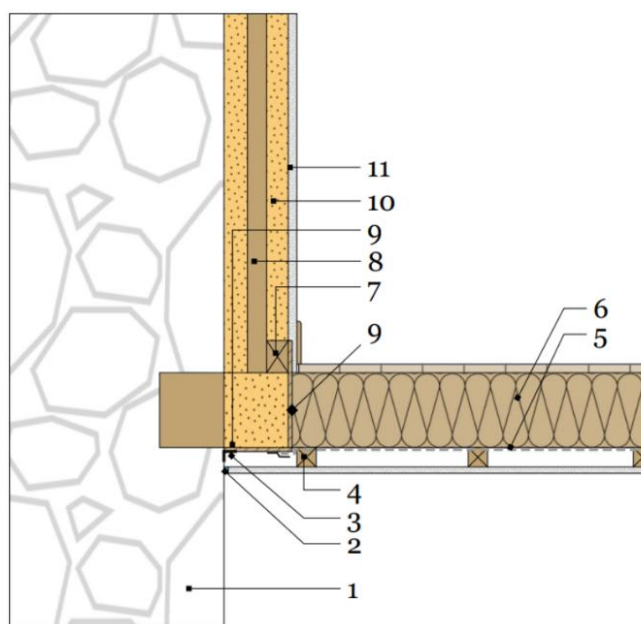
Détail isolation de plancher bois sur local non chauffé (sous-variante 1 : plancher bas isolé en premier)



1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Joint réalisant l'étanchéité à l'air entre le mur et le parement de sous-face
3. Adhésif qui fait la jonction membrane HPV / mur
4. Vide technique pour le passage des réseaux
5. Membrane d'étanchéité à l'air hautement perméable à la vapeur
6. Isolant thermique : Fibre de chanvre en vrac 60kg/m³
7. Lisse basse : bois classe III, 45mm x 95mm
8. Ossature primaire de l'ITI : Montants bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : ≤ 60cm.
9. Panneau OSB de coffrage (perdu) inférieur du mortier isolant
10. Mortier isolant terre-chènevotte
11. Enduit de finition à la terre fibrée

Figure 33 : Coupe verticale montrant la gestion de l'interface entre plancher bas sur sous-sol et l'isolation par l'intérieur d'un mur en filière humide FH15

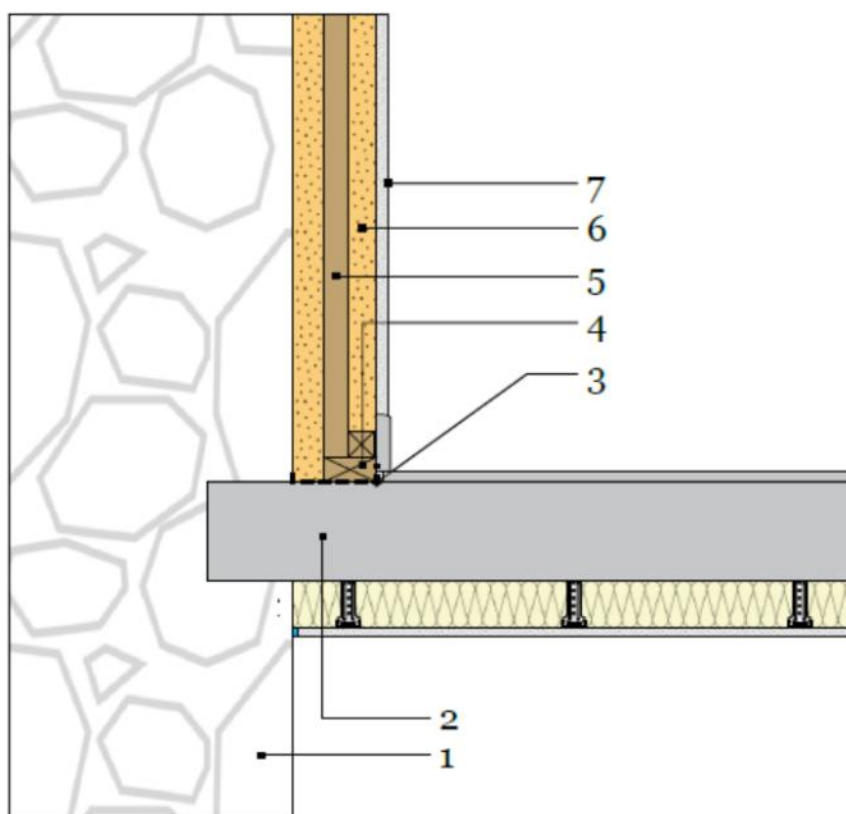
Détail isolation de plancher bois sur local non chauffé (sous-variante 2 : mur isolé en premier)



1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Joint réalisant l'étanchéité à l'air entre le mur et le parement de sous-face
3. Adhésif qui fait la jonction membrane HPV / mur
4. Tasseau (suspente possible) créant vide technique pour le passage des réseaux
5. Membrane d'étanchéité à l'air hautement perméable à la vapeur
6. Isolant thermique : Fibre de chanvre en vrac 60kg/m^3
7. Lisse basse : bois classe III, $45\text{mm} \times 95\text{mm}$
8. Ossature de l'ITI : montants bois classe III, $45\text{mm} \times 45\text{mm}$, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$.
9. Panneau OSB réalisant un coffrage (perdu) inférieur et latéral
10. Mortier isolant terre-chènevotte
11. Enduit de finition à la terre fibrée

Figure 34 : Coupe verticale montrant la gestion de l'interface entre plancher bas sur sous-sol et l'isolation par l'intérieur d'un mur en filière humide FH15

Détail isolation de plancher lourd sur local non chauffé

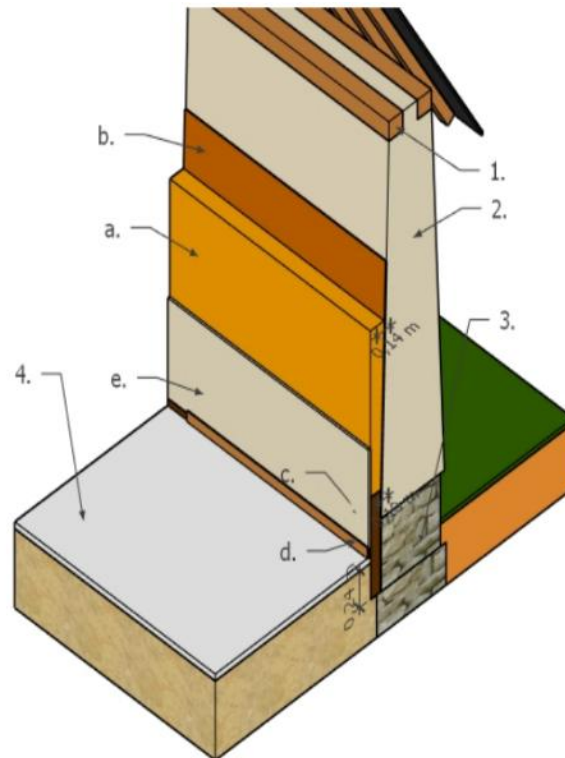


1. Mur porteur en moellons de pierres calcaire, hourdé à la terre, jointoyé à la chaux.
2. Plancher bas lourd
3. Bande de désolidarisation
4. Lisse basse : bois classe III, 45mm x 95mm
5. Ossature de l'ITI : montants bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$.
6. Mortier isolant terre-chènevotte
7. Enduit de finition à la terre fibrée

Figure 35 : Coupe verticale montrant la gestion de l'interface entre l'isolation en sous-face d'un plancher bas en béton sur sous-sol et l'isolation par l'intérieur d'un mur en filière humide FH15

6.3.2 Déclinaison, mur en bauge

L'objectif est de conserver le plancher du RdC sur terre-plein, et de prévoir une rupture du pont thermique en pied de mur par l'isolation thermique intérieure. (renvoi à combinaison 1)



Etat initial

1. Panné sablière double en couronnement du mur sur laquelle repose la charpente
2. Mur en bauge 60 cm avec un fruit sur 2 faces
3. Solin ou soubassement en moellons hourdés à la terre et jointoyés à la chaux
4. Sol intérieur conservé en bon état / Chape chaux / carrelage ancien 4cm sur terre-plein

Solution - Isolation Terre-chènevotte. Nous préconisons la mise en place d'une ossature secondaire (non représentée). Il conviendra de tenir compte et de gérer le fruit du mur lors de la réalisation de l'ossature.

- a) Isolant projeté ou banché
- b) Gobetis terre si la paroi le nécessite
- c) Soubassement engravé de l'isolant avec un support composé de Chaux Liège voir détail rupture capillaire en L2 par apposition de liège rigide mince
- d) Prévoir une Garde au sol par un carrelet de liège de hauteur 5cm + une plinthe finition en recouvrement de hauteur 7cm
- e) Enduit de finition à la terre fibrée

Figure 36 : Vue axonométrique écorchée de l'isolation thermique par l'intérieur en filière humide d'un mur en bauge

6.3.3 Déclinaison, mur en brique

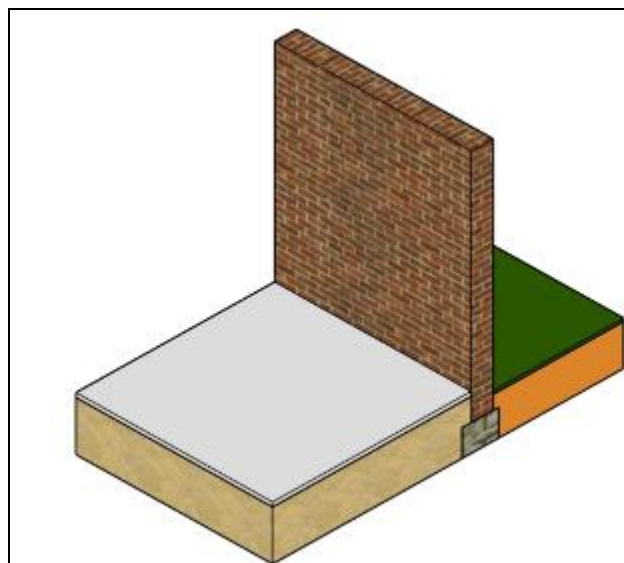


Figure 37 : Etat initial - mur brique / terre-plein

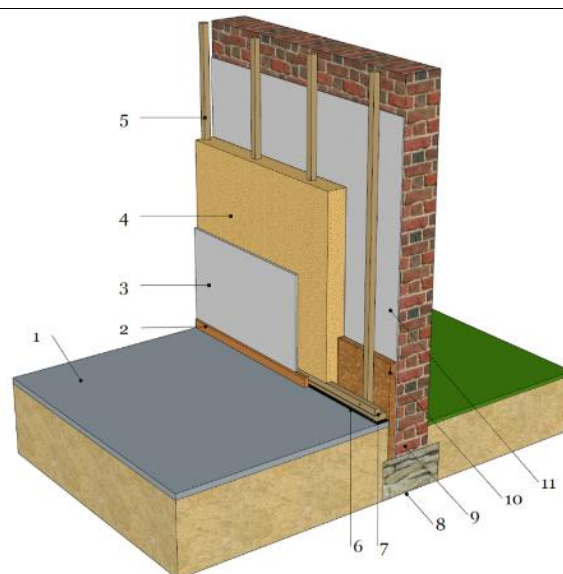
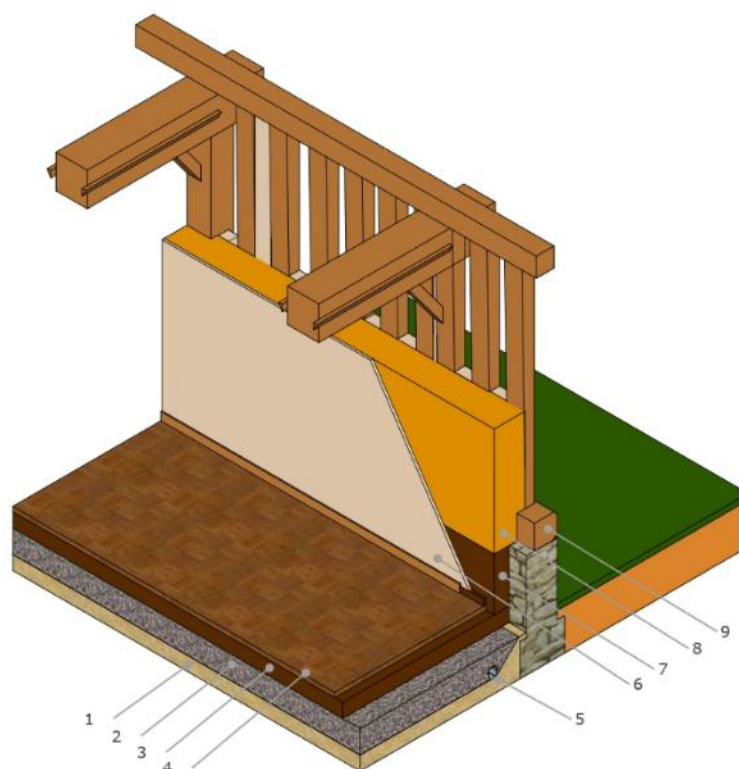


Figure 38 : Vue écorchée de l'isolation par l'intérieur d'un mur en filière humide en partie verticale, et de la rupture de pont thermique d'un plancher bas

1. Sol intérieur
2. Plinthe
3. Enduit intérieur de finition à la terre fibrée
4. Mortier isolant terre-chènevotte
5. Ossature de l'ITI : Montants bois classe III, 45mm x 45mm, espacement entre montants : $\leq 60\text{cm}$
6. Bande de désolidarisation
7. Lisse basse bois classe III, 45mm x 95mm
8. Fondation
9. Mur brique
10. Panneaux de liège expansé 50 mm $R = 1,25 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$
11. Gobetis chaux-sable

6.3.4 Déclinaison de C4, Isolation de plancher bas sur hérisson ventilé

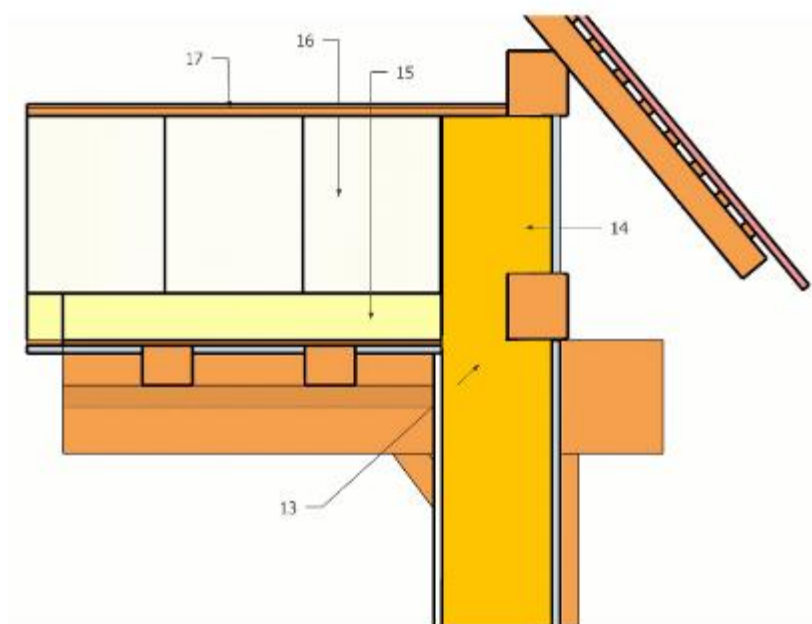


1. Terre-plein en glacis
2. Sous-couche hérisson graves lavées ou schiste expansé. min 12cm / max 50cm sur géotextile
3. Panneaux liège en 2 couches croisés
4. Panneaux de sol type OSB3 en 2 couches croisés puis revêtement sol : parquet, carrelage, etc.
5. Drain routier + ventilation en toiture
6. Enduit intérieur terre fibrée ou panneau doublage suivant configuration (salle d'eau, etc.) pied de mur en liège
7. Remontée chaux liège
8. Terre allégée, type terre-chènevotte
9. Sole chène

Figure 39 : Vue écorchée de l'isolation par l'intérieur d'un mur et d'un plancher bas mis en œuvre en filière humide en partie verticale et sèche en plancher bas (hérissonnage de différents granulats)

6.3.5 Déclinaison n°6 (concerne C4) : Plancher haut / mur

Note importante : les solutions d'isolation pour les rampants de toit présentées dans ce Livrable n'ont pas fait l'objet d'une validation notamment en termes de risques de migration de vapeur. Elles doivent donc faire l'objet d'analyse de risque au cas par cas conformément au Guide [SimHuBat](#).

Cas combles non aménagés

- 13. Dépose ou glissement de la solive pour assurer la continuité de l'isolant
- 14. Isolant terre allégée en terre-chènevotte. A l'extérieur Enduit terre possible si façade abritée
- 15. Le terri (torchis sur plancher) est égalisé et renforcé pour assurer une bonne continuité –
- 16. Fibres en vrac type étoupe ou petites bottes de paille
- 17. Par-dessus, éventuellement un plancher pour conserver l'usage du grenier (attention à l'étanchéité à l'air de la trappe d'accès)

Figure 40 : Coupe verticale montrant la gestion de l'interface entre le plancher intermédiaire et l'isolation répartie en filière humide



Figure 41 : Extrait du « Guide des chanvriers en circuit court », p35

Une réhausse de trappe est conçue pour contenir l'isolant autour de la trémie. Un piètement est également prévu pour accueillir des planches horizontales qui serviront de chemin d'accès aux combles.

7 REGLES DE CONCEPTION DES LOTS ET INTERFACES

7.1 Adaptations de type 2 lié à la localisation géographique

7.1.1 Zone sismique

Pas de règle spécifique pour le moment

7.1.2 Prescription PLU / zone classée (patrimoine)

Il est important d'observer les caractéristiques architecturales locales pour effectuer des propositions adaptées pouvant embarquer par exemple une isolation par l'extérieur. On privilégiera de façon générale l'isolation par l'extérieur des façades comportant peu d'ouvertures, idéalement les murs arrière lorsqu'ils sont aveugles ou quasi aveugles, et encore davantage quand ils sont orientés au Nord ou au Nord-Nord-Ouest.

7.1.3 Gel/hors gel

Les échangeurs de VMC à double flux devront être protégés contre le gel

7.1.4 RGA

Pas de règle spécifique.

7.1.5 Zone inondable

Pas de règle spécifique. Il est fréquent que les maisons anciennes aient été détruites quand elles sont placées sur des zones à risque. En conséquence, elles se situent souvent sur des zones protégées de risques majeurs.

7.1.6 Zone urbaine avec pollution automobile et bruit

Le niveau d'isolement acoustique devra être amélioré par rapport à la rue. Il conviendra également d'éviter de positionner des prises d'air neuf vers la rue au RDC et au premier étage. Une ventilation à double flux avec prise d'air en façade arrière ou sur le toit est privilégiée.

7.1.7 Zone urbaine ou hameau sensibles aux émissions de particules

Depuis le 1er janvier 2021, les critères de la classe la plus élevée du label Flamme Verte ont évolué, passant de critères à puissance nominale vers des critères saisonniers qui tiennent en compte la puissance à charge partielle, telle que définie dans le règlement européen sur l'écoconception.

- Appareil à bûches : rendement $\geq 75 \%$; émissions de monoxyde de carbone $\leq 0,12 \%$ / 500 mg/Nm³ ; émissions de particules fines ≤ 40 mg/Nm³ ; émissions d'oxyde d'azote ≤ 200 mg/Nm³
- Appareil à granulés : rendement $\geq 87 \%$; émissions de CO $\leq 0,024 \%$ / 300 mg/Nm³ ; émissions de particules fines ≤ 30 mg/Nm³ ; émissions de NOx ≤ 200 mg/Nm³.

La réglementation prévoit qu'à partir du 1er janvier 2027, les Émissions de particules soient ≤ 40 mg/m³ pour les appareils indépendants.

La loi ne considère pas les spécificités géographiques. Nous recommandons d'aller plus loin en contexte urbain. Le poêle devra être à très faible rejet de particules : taux < 10 mg/Nm³ à 13% d'O₂ (Contexte urbain).

7.1.8 Zone tendue

Nous recommandons l'aménagement des combles sauf pour les zones géographiques où le confort d'été pourrait être difficile à atteindre dans les années à venir.

La rénovation de bâtiments anciens construits le plus souvent dans des centres bourgs permet de redynamiser ces derniers, de lutter contre la vacance du logement et de réduire le déplacement des occupants. Cela répond de manière adaptée à la crise du logement actuelle.

7.1.9 Milieu salin

Pas de règle spécifique.

7.1.10 Nappe phréatique affleurante

Appliquer les règles propres aux zones à fortes remontées capillaires (voir §7.2.4) ET prendre en compte le risque d'inondation en évaluant la hauteur concernée par ce risque dans la phase conception.

7.1.11 Zone climatique humide

Les solutions présentées ici ont été soumises à des simulations hygrothermiques dynamiques sous climat de Brest orientation Nord. En cas de zones soumises à des contraintes hygrothermique plus sévères, il sera nécessaire d'effectuer des simulations hygrothermiques complémentaires.

7.1.12 Arrachement/vent

Pas de règle spécifique.

7.1.13 Accessibilité

Pas de règle spécifique.

7.1.14 Albedo élevé

Pas de règle spécifique. Renforcer les dispositifs de protection contre la surchauffe estivale si pertinent.

7.1.15 Albedo faible

Pas de règle spécifique.

7.1.16 Environnement bruyant

Le niveau d'isolement acoustique devra être amélioré par rapport à la rue en zone BR2 et BR3. On privilégiera donc une ventilation à double flux avec prise d'air en façade arrière ou sur le toit, ou sinon la mise en place d'un atténuateur acoustique.

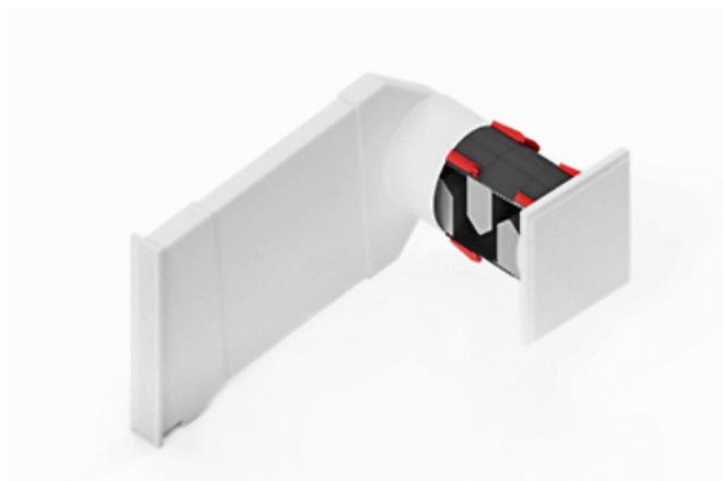


Figure 42 : Entrée d'air murale avec atténuateur acoustique

7.2 Adaptations de type 3 lié à l'état initial

7.2.1 Paroi déjà isolée mur

- Pour un mur destiné à être isolé par l'intérieur (en terre-chènevotte), mise en œuvre possible seulement sur isolants de même nature ou de nature proche : terre-chènevotte, chaux-chènevotte. De façon générale, les isolations existantes pourront être conservées uniquement si les parois impliquées ne se retrouvent pas dans une situation de pathologie (vérifier à minima par un diagnostic visuel) ou de risque pathologique (à vérifier par simulation hygrothermique). Aucune sur-isolation par l'intérieur ne pourra être réalisée sur des parois isolées avec des isolants synthétiques ou des isolants sous forme de laines ou des fibres. Envisager des travaux d'amélioration de l'étanchéité à l'air.
- Pour un mur destiné à être isolé par l'extérieur (en fibre de chanvre en vrac), mise en œuvre possible dans la plupart des cas rencontrés. Envisager des travaux d'amélioration de l'étanchéité à l'air.

7.2.2 Paroi déjà isolée comble

Effectuer un audit énergétique avec relevé infra-rouge pour vérifier la performance thermique. Envisager des travaux d'amélioration de l'étanchéité à l'air.

7.2.3 Menuiseries déjà remplacées

Cas traité dans la solution de base.

7.2.4 Remontées capillaires

Cas traité dans la solution de base.

Avant d'engager des travaux de renforcement des structures, d'isolation ou de complément d'isolation, les traces d'humidité visibles doivent alerter et être prises en compte dans le choix de la solution / filière à adopter. L'isolation thermique d'une maison engorgée d'humidité est à proscrire pour éviter de générer des pathologies.

Dans le doute, il faut être vigilant et privilégier les solutions qui n'occasionnent pas de désordres ou dont le comportement saura traiter cette problématique par la connaissance des transferts de vapeurs d'eau dans les parois. (Voir diagnostic au §5).

7.2.5 Descentes d'eaux pluviales dégradées

Réparer sans attendre, faire sécher le bâtiment, programmer les travaux nécessaires en incluant une rénovation énergétique.

Outre les travaux d'isolation thermique, des **réparations sont à envisager**. Le projet de travaux va alors inclure la réparation de murs, fondations, pans de bois, toiture, etc. avant de concevoir d'autres travaux. **Ces réparations nécessaires ne sont pas détaillées dans ce projet**, elles sont pourtant à prendre en compte dans tous travaux d'isolation thermique. Ces travaux de réparation des structures peuvent orienter le choix de la solution proposée. Par exemple, il est assez fréquent d'intervenir sur une maison mal entretenue, aux gouttières engorgées ou trouées. L'eau s'en échappant occasionne des désordres en pied de mur, abîmant le jointoiement et l'ossature d'un pan de bois. Il y a un double phénomène : réparation de ce qui est abîmé et traitement de l'humidité. Le bouquet de travaux va donc inclure la réparation d'un pied de mur en maçonnerie de bauge, de pierre, le rejointoiement etc. Ce qui peut inciter à orienter une solution en filière humide pour faciliter le travail par un même corps de métier ou pour s'assurer que le séchage des structures ne va pas obérer la performance future de l'isolation thermique et va se dérouler dans de bonnes conditions. De surcroît, une solution en filière humide offre un nouveau débouché de marché du travail aux maçons détenant un savoir-faire sur les parois en bauge ou pierres tendres ou toutes pierres hourdées à la terre.

7.2.6 Hors d'eau pluviales

Colmater sans attendre, faire sécher le bâtiment, programmer les travaux nécessaires en incluant une rénovation énergétique.

7.2.7 Problème d'infiltration d'eau

Colmater sans attendre, faire sécher le bâtiment, programmer les travaux nécessaires en incluant une rénovation énergétique.

7.2.8 Pourriture du bois

Rechercher l'origine du désordre. Mettre en place les remédiations aux causes, remplacer les bois abîmés.

7.2.9 Insectes, champignons

Rechercher l'origine du désordre. Mettre en place les remédiations aux causes, remplacer les bois abimés.

7.2.10 Fissures et affaissement des parois

Mettre en sécurité, chercher la cause sans attendre, envisager des mesures de sauvegarde au plus tôt.

7.2.11 Risque de pertes d'usage (perte de surface)

Travail de conception à réaliser pour adapter les solutions standards au cas spécifique rencontré.

7.2.12 Risque de pertes d'usage (autres)

Cas traité dans la solution de base.

8 CONDITIONS DE FABRICATION

Concernant la filière humide :

L'essentiel des matériaux (terre, bois, paille chanvre, etc.) sont locaux et s'appuient donc sur des simples unités de manutention ou sur des unités industrielles relativement rustiques telle que des unités de défibrage de l'étoile de chanvre. En général, on privilégie des approvisionnements en vrac où le diagnostic visuel suffit à l'évaluation. (voir règles pro isolation en paille).

Les gammes dépendront de la nature du liant, de l'agrégat ou de la fibre. Elles pourront aussi dépendre de la mise en œuvre puisque les avantages et inconvénients sont à prendre en compte dans les deux grandes voies de mise en œuvre : projection ou banchage.

Concernant la filière sèche :

La gamme de solutions s'appuie d'une part sur des matériaux locaux peu transformés (de même type que ceux utilisés en filière humide) et d'autre part sur des matériaux plus élaborés tels que membranes, produits d'étanchéité, etc. Pour cette deuxième catégorie, notre réseau collaboratif nous donne l'opportunité d'accéder à des ressources partagées (plateformes ou coopératives d'achat).

Les gammes seront liées aux choix de techniques de mise en œuvre et aux matériaux. On aura par exemple une gamme insensible à l'humidité à base de granulats de liège expansé.

9 MISE EN ŒUVRE

9.1 Contexte et règles de l'art

Les travaux d'isolation en terre allégée et spécifiquement en **terre-chènevotte** sont couverts depuis 2018 par le [Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue](#) de la Confédération de la construction en terre crue. Par rapport aux différentes possibilités de terres allégées décrites dans ce guide nous choisissons de ne retenir que les plus légères : masse volumique de matière sèche comprise entre 200 et 300 kg/m³, de manière à pouvoir justifier d'une conductivité thermique suffisamment basse.



Guide des bonnes pratiques de la construction en terre crue

Approbation du 15 octobre 2020

Sous la direction de la Confédération de la construction en terre crue.



Confédération terre crue



Depuis 2022, l'association des Chanvriers en circuit court a édité un guide de mise en œuvre : [Guide des bonnes pratiques du chanvre fermier dans l'habitat : les chanvriers en circuits courts mutualisent leurs savoir-faire](#). Ce dernier guide aborde la plupart des parties courantes : le mur, le comble, l'isolation répartie etc. Ce guide concerne **tous les emplois de la filière chanvre : en filière sèche : chènevotte et étoupe, filière humide avec le béton de chanvre, allégé ou terre-chènevotte**. (En fonction des contraintes de mise en œuvre, il est généralement employé deux masses volumiques de référence proche de 250 kg/m³ et vers 300 kg/m³.)

9.2 Modalités générales et particulières de mise en œuvre

Voir le [Guide de Mise en Œuvre](#).

10 COMPETENCES REQUISES

Au-delà de la typologie, les personnes ayant à programmer une intervention sur le bâti ancien doivent porter un regard critique et analytique sur la construction à étudier. En effet, le comportement de ces structures va différer en fonction de la nature des matériaux mis en œuvre, du climat, des orientations des parois, des ressources locales et des savoirs faire à préserver et du soin à porter aux ouvrages afin d'atteindre les performances attendues.

Pour chaque chantier, un coordinateur est défini. Il est nécessairement rénovateur BBC. Il peut s'agir d'un artisan, d'un architecte ou d'un maître d'œuvre. Il est le principal interlocuteur du particulier mais aussi du bureau d'étude auditeur qui suit le projet de l'audit initial au test final d'étanchéité à l'air. En outre, une grande partie des membres de notre équipe sont membres de coopératives d'artisans ou d'associations professionnelles. Cela renforce la confiance et permet d'augmenter l'efficacité des interactions opérationnelles.

Concernant la filière humide :

Le professionnel est généralement **le maçon**, plus familiarisé des techniques employant des liants en phase aqueuse (terre, chaux) et de granulats ou fibres diverses. Cependant, les maisons de pays comprennent charpente, planchers intermédiaires, plancher haut de comble, pans de bois, cloisons, sommiers, etc. (couverts par le NF DTU 31,1 Charpente et pans de bois).

La présence d'un charpentier est donc indispensable. Il est fréquent d'attribuer au charpentier les lots de filière sèche ou des complémentarités filière sèche et humide. Par exemple, dans l'Aube, le torchis (terres & fibres sur support bois) est réalisé par le charpentier.

Concernant la filière sèche :

Le professionnel est généralement un **menuisier-charpentier** puisqu'il met essentiellement en œuvre des isolants de différentes nature derrière des membrane et de parement en plâtre, gypse ou bois en ITI ou des bardages en ITE.

