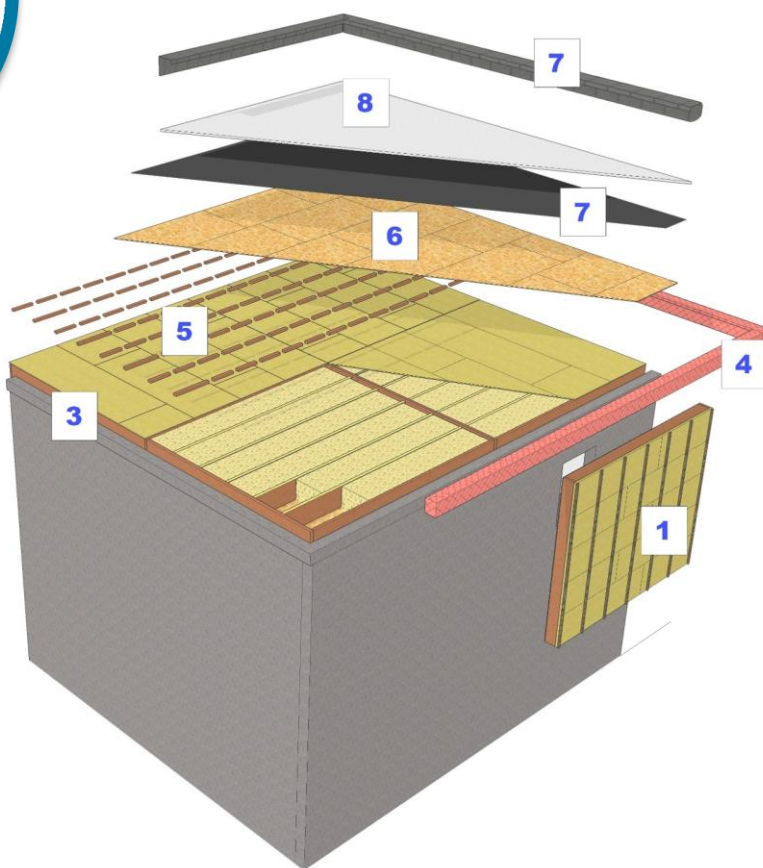


GUIDE TECHNIQUE

Crealead

Décembre 2025



RAPPORT RESTORE



RÉDACTION

Equipe CREALEAD

COORDINATION

Hafiane CHERKAOUI (CSTB)

Billy RAKOTOMALALA (CSTB)

RELECTURE

Franck LEGUILLON (CSTB)

Rémi BOUCHIE (CSTB)



1. OBJECTIF DE CE GUIDE	8
2. DOMAINE D'APPLICATION.....	9
2.1. Maisons visées	9
2.2. Domaine d'emploi	9
2.3. Introduction à la déclinaison en gamme	10
3. PRINCIPE GÉNÉRAL DE LA SOLUTION GLOBALE	12
3.1. Description générale de la solution	14
3.2. Description de principe de l'ensemble des lots	14
4. DÉCLINAISON EN GAMME	18
5. ÉLÉMENTS DE DIAGNOSTIC.....	19
5.1. Diagnostic technique global du bâtiment.....	19
5.2. Diagnostic des besoins et contraintes des habitants.....	20
5.3. Adaptations relatives aux diagnostics.....	21
6. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES LOTS ITE MUR ET ITE TOITURE ET DE L'INTERFACE	22
6.1. Solution de référence	22
6.1.1. Description détaillée – Partie courante.....	24
6.1.2. Interfaces	26
6.2. Adaptation de type 1 - Architecturale.....	28
6.2.1. Déclinaison sous-type 1.1 – Mur béton plein.....	28
6.2.2. Déclinaison sous-type 1.2 – Toiture-terrasse.....	28
6.2.3. Déclinaison sous-type 1.3 – Débord pignon étroit.....	31
6.2.4. Déclinaison sous-type 1.4 – Combles perdus.....	32
6.2.5. Déclinaison sous-type 1.5 – Escalier extérieur.....	32
6.2.6. Déclinaison sous-type 1.6 – Traversées de paroi (ventilation).....	33
6.2.7. Déclinaison sous-type 1.7 – Cheminée.....	35
6.2.8. Déclinaison sous-type 1.8 – Fenêtre de toit.....	37
6.2.9. Déclinaison sous-type 1.9 – Mitoyenneté.....	37
6.3. Adaptation de type 3 - Diagnostic.....	38
6.3.1. Déclinaison sous-type 3.1 – Murs déjà isolés.....	38
6.3.2. Déclinaison sous-type 3.2 – Rampants déjà isolés.....	38
6.3.3. Déclinaison sous-type 3.3 – Menuiseries récentes.....	38
6.3.4. Déclinaison sous-type 3.4 – Couverture de toiture en pente rénovée.....	39

6.3.5. Déclinaison sous-type 3.5 – Habitats de faune sauvage à préserver ou recréer	39
7. RÈGLES DE CONCEPTION DES LOTS ITE MUR, ITE TOITURE ET INTERFACES	42
7.1. Adaptations de type 2 liées à la localisation géographique	42
7.1.1. Zone sismique.....	42
7.1.2. Prescription PLU/zone classée (patrimoine).....	42
7.1.3. Retrait gonflement des argiles (RGA).....	42
7.1.4. Zone inondable.....	42
7.1.5. Zone tendue	43
7.1.6. Milieu salin.....	43
7.1.7. Nappe phréatique affleurante	43
7.1.8. Arrachement/vent.....	43
7.1.9. Accessibilité	43
7.1.10. Environnement bruyant.....	43
7.1.11. Zone littorale	44
7.1.12. Zone de montagne	44
7.2. Adaptations de type 3 liées à l'état initial.....	44
7.2.1. Remontées capillaires	44
7.2.2. Perte d'usage.....	45
7.2.3. Capacité porteuse du bâti existant	45
7.2.4. Biodiversité	45
7.3. Règles de conception	46
7.3.1. Règles liées aux risques hygrothermiques.....	46
7.3.2. Vide technique et isolation complémentaire sous rampants.....	46
7.3.3. Ventilation en sous-face de la toiture-terrasse	47
7.3.4. Fixation des modules au support	49
7.3.5. Dimensions des modules.....	49
7.3.6. Menuiseries.....	50
8. CONDITIONS DE FABRICATION	50
9. MISE EN ŒUVRE.....	51
9.1. Acceptation du gros œuvre.....	51
9.1.1. Vérification état du support et remise en état.....	51
9.1.2. Tests préalables	51

9.1.3. Étude structure	52
9.2. Conditions de transport et de stockage sur site.....	52
9.2.1. Préparation et conditionnement	52
9.2.2. Transport	52
9.2.3. Logistique et délais.....	53
9.2.4. Méthode de stockage sur chantier des matériaux biosourcés.....	53
9.2.5. Protection des matériaux biosourcés en cours de pose	54
9.2.6. Bonnes pratiques générales	55
9.3. Points d'attention.....	55
9.3.1. Protection contre l'humidité	55
9.3.2. Lame d'air parasite	55
9.3.3. Continuité des CTB-H.....	56
9.3.4. Insufflation de l'isolant.....	56
10. COMPÉTENCES REQUISES	57
11. PARCOURS PROJET	58
ANNEXES	59

INTRODUCTION

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

Les projets RENOSTANDARD et RESTORE s'appuient sur l'analyse architecturale du parc de maisons en France qui permet de ressortir des typologies de bâtiments aux caractéristiques constructives proches. Ces similarités permettent de concevoir des solutions de rénovation globales et performantes adaptées à toute une typologie de maisons qui pourront ensuite être ajustées en fonction du cas particulier de chaque maison (besoin du ménage, particularité du bâti, ...).

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

Pour concevoir des solutions innovantes, ont été lancés plusieurs appels à manifestation d'intérêt (AMI) à destination de groupements d'entreprises puis la sélection d'une combinaison d'offres adaptées à des modèles de bâtiments très courants. Les critères de choix des solutions ont tenu compte entre autres du potentiel des solutions pour répondre à la massification, de la complétude des groupements portant la solution, du potentiel de la solution à accéder rapidement au marché et bien sûr de 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 scientifiques ou techniques 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.

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

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 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 avoir le statut d'un guide de recommandation professionnelle, le présent document en reprend la philosophie et les éléments de langage.



1. OBJECTIF DE CE GUIDE

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 destinée à être mise en œuvre en maisons individuelles. Il fournit en particulier des éléments de descriptions détaillées concernant les lots ITE mur, ITE toit plat et ITE toit en pente ainsi que leurs interfaces. Il fournit également des éléments plus généraux pour la conception d'une rénovation globale en une étape adaptée à certains types de maisons courantes en vue de faciliter son déploiement territorial. La solution étudiée dans le présent guide cible des types de maisons individuelles très courantes telles que décrites ci-après (des éléments de description plus détaillés sont donnés en annexe) :

- Les maisons individuelles construites entre 1969 et 1989 en milieu urbain et suburbain autonome ou mitoyenne du corpus typologique B selon la classification RESTORE dont le nombre est estimé à 5 250 000 unités.

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 suivants :

- Le domaine d'emploi de la solution ;
- Le principe général de la solution ;
- La déclinaison en gamme de la solution ;
- Les éléments de diagnostic ;
- La description détaillée des lots prioritaires ;
- Les règles de conception ;
- Les conditions de fabrication ;
- La mise en œuvre (détaillée dans le [Guide de mise en œuvre](#)) ;
- Les compétences requises.

Remarque 1:

Bien que prenant la forme d'un guide technique, le présent guide n'a pas le statut d'une recommandation professionnelle.

Remarque 2:

Les termes techniques utilisés dans ce document peuvent dans certains cas ne pas correspondre aux termes exacts définis dans les textes réglementaires. Cette

vulgarisation a pour but de faciliter la lecture et la compréhension du document par le plus grand nombre.

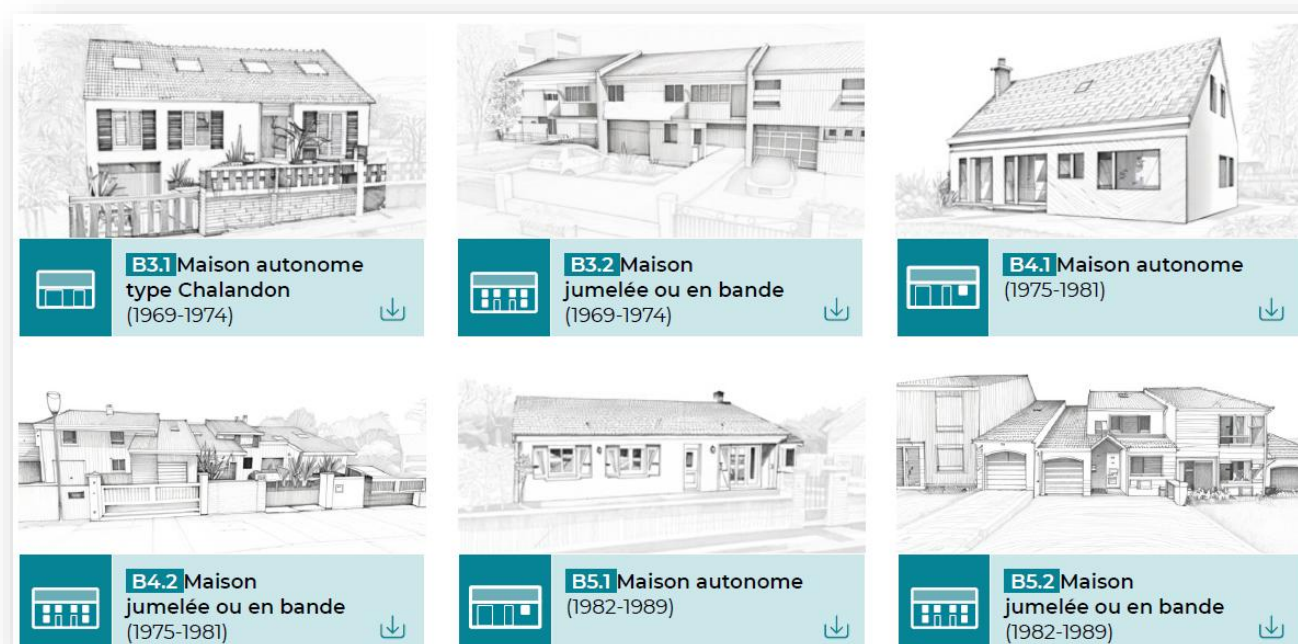
Aussi, pour désigner :

- Toiture-terrasse : peuvent aussi être utilisés dans ce document les termes « toit-terrasse » et « toit plat » ;
- Couverture : peuvent aussi être utilisés dans ce document les termes « toiture en pente » et « toit en pente ».

2. DOMAINE D'APPLICATION

2.1. Maisons visées

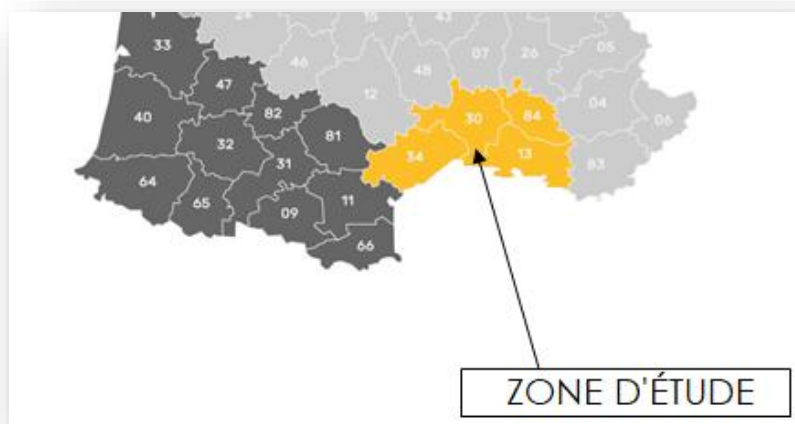
Les solutions détaillées dans le présent guide visent les maisons individuelles référencées [B3.1](#), [B3.2](#), [B4.1](#), [B4.2](#), [B5.1](#) et [B5.2](#) selon la nomenclature du projet RESTORE (typologies constructives prioritaires RESTORE) et dont quelques exemples représentatifs sont décrits en annexe.



2.2. Domaine d'emploi

Les solutions détaillées ont pour ambition de favoriser les filières locales, en restant dans un rayon de 250 km autour des lieux de production des matériaux utilisés. C'est pourquoi la zone d'étude est localisée sur 4 départements (Bouches-du-Rhône, Gard, Hérault et Vaucluse), où les principaux isolants disponibles sont la ouate de cellulose et la paille de

riz. Le bois massif pourra provenir des départements limitrophes, mais les matériaux plus industrialisés comme les panneaux de fibre de bois ou les poutres en I viendront de plus loin.



Cependant, la méthodologie est facilement répliquable dans d'autres régions autour de producteurs d'isolants biosourcés ou de filières en développement. La solution technique est adaptée aux conditions suivantes :

- Zone 1 à 3 au sens de la NF EN 1991-P1-4 par rapport à l'exposition au vent ;
- Zone sismique 1 et 2 définie par la norme NF EN 1998-1 (Eurocode 8) ;
- Climat de plaine (altitude < 900 m) et hors zone très froide ;
- Logements individuels de 1^{re} famille au sens de la réglementation incendie ;
- Hors zones humides type 4 selon le Fascicule de Documentation FD P20-651.
- Façade ne présentant pas une exposition extrême à la pluie battante. En cas d'exposition sévère (Ee2 – NF DTU 31.2 et 31.4), une analyse hygrothermique spécifique et une protection renforcée (pare-pluie Ee2, bardage peu ajouré, ventilation maîtrisée) sont obligatoires.

2.3. Introduction à la déclinaison en gamme

Les adaptations de la solution se déclinent en trois natures :

- Les adaptations architecturales concernent les points d'attention à avoir pour que la solution s'adapte harmonieusement au bâtiment et à son contexte, mais surtout les points singuliers qui nécessitent des adaptations, notamment pour éviter tout pont thermique.

- Les adaptations relatives à la localisation géographique jouent un rôle crucial dans le choix des matériaux, leurs contraintes de mise en œuvre et de dimensionnement, les performances associées, leur exposition aux intempéries et au vent.
- Les adaptations liées à l'état initial.

Elles se déclinent en gammes visant les situations courantes listées dans le tableau ci-après :

Type d'adaptation	Solution de référence	Adaptations (Numéro dans la gamme)	§ dans le présent guide
Type 1 - architecturale	Mur en parpaing ou en béton	1.1 - Nature du mur	§ 6.2.1
	Toiture inclinée	1.2 - Toiture-terrasse	§ 6.2.2
	Débord de toit large	1.3 - Débord de toit étroit	§ 6.2.3
	Comble aménagé	1.4 - Comble perdus	§ 6.2.4
	Sans escalier	1.5 – Avec escalier	§ 6.2.5
	Sans traversée	1.6 – Traversées	§ 6.2.6
	Sans cheminée	1.7 - Cheminée	§ 6.2.7
	Sans fenêtre de toit	1.8 – Fenêtre de toit	§ 6.2.8
	Non mitoyen	1.9 - Mitoyen	§ 6.2.9
Type 2 - localisation	Zone d'étude	Selon situation	§ 7.1
Type 3 – lié à l'état initial	Murs non isolés	3.1 – Murs déjà isolés	§ 6.3.1
	Rampants non isolés	3.2 – Rampants déjà isolés	§ 6.3.2
	Menuiseries remplacées	3.3 - Menuiseries conservées	§ 6.3.3
	Réfection de toiture	3.4 – Conservation de la couverture	§ 6.3.4

	Sans habitat pour la faune sauvage	3.5 – Création d'habitats pour la faune	§ 6.3.5
--	------------------------------------	---	---------

3. PRINCIPE GÉNÉRAL DE LA SOLUTION GLOBALE

Selon le Ministère de la transition écologique, les consommations d'énergie les plus importantes en France sont dues en premier lieu à l'utilisation des bâtiments, puis au transport des marchandises et des personnes. Réduire les consommations d'énergie dans ces domaines permet donc de limiter significativement l'impact de l'activité humaine sur le changement climatique.

Dans le cadre de notre travail sur le projet Restore, nous souhaitons proposer des solutions permettant de réduire les consommations énergétiques et donc les émissions de GES dans trois domaines :

- Les besoins en chauffage et climatisation des logements ;
- Le transport de matériaux de construction du bâtiment ;
- La production de matériaux de construction neufs.

Ainsi, notre approche consiste à travailler principalement sur l'enveloppe des maisons individuelles : concevoir une solution d'isolation thermique performante des murs et des toitures, en utilisant des matériaux les plus vertueux possibles : isolants biosourcés, coproduits agricoles, matériaux de réemploi, mais surtout matériaux locaux !

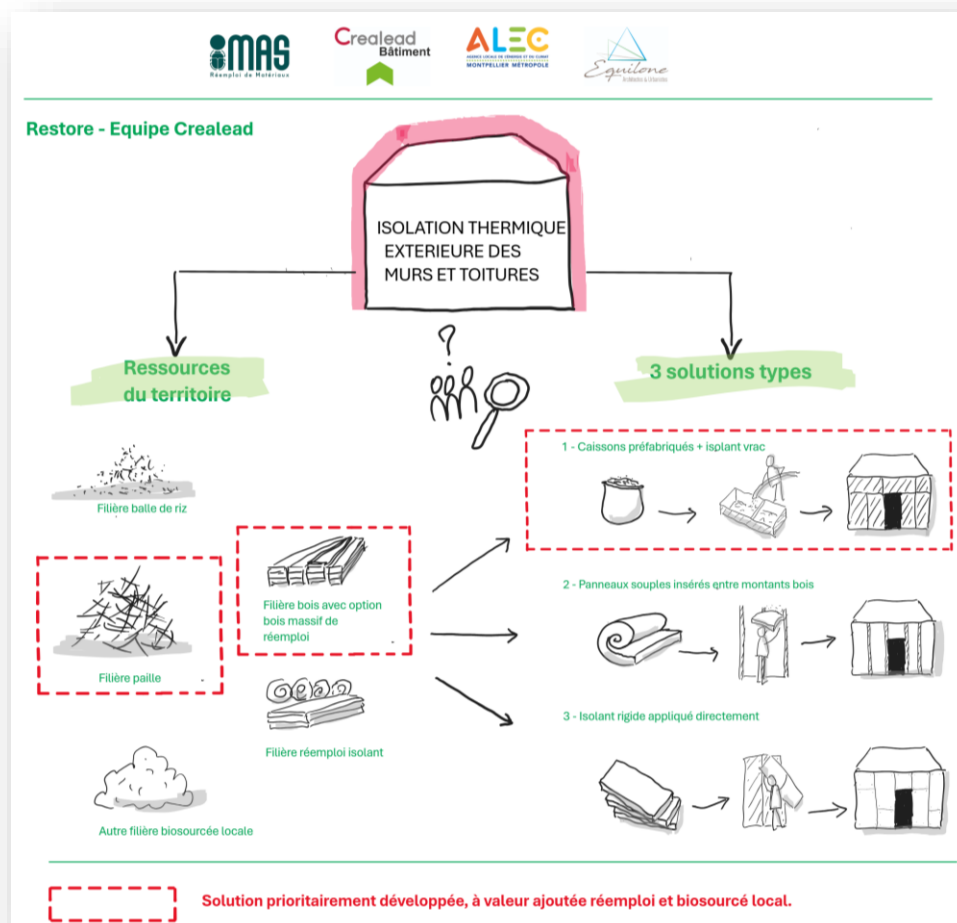
Pour cela, nous souhaitons nous appuyer sur une grande quantité de ressources trop peu exploitées en France, comme les coproduits agricoles ou les matériaux de réemploi. Les coproduits agricoles, encore parfois appelés déchets agricoles, sont nombreux et peuvent être utilisés comme isolant sous différentes formes : en bottes et panneaux pour la paille de céréales ; en vrac pour la paille hachée, les balles de céréales, la chènevotte de chanvre, la cosse de sarrasin, la coque de tournesol, l'anas de lin, la rafle de maïs, etc. Dans le domaine du réemploi, différents matériaux pourraient être utilisés en rénovation de maisons individuelles, mais pour cette étude nous nous limiterons à l'utilisation du bois de réemploi, dont de nombreux gisements peuvent être exploités partout en France.

La mise en œuvre de ces matériaux se fera de préférence par l'extérieur des murs et toitures, permettant ainsi de meilleures performances et un meilleur confort qu'en isolant

par l'intérieur. Pour l'isolation thermique par l'extérieur, on distingue trois principaux types de mise en œuvre :

- Les isolants en panneaux rigides sont généralement collés et/ou chevillés directement sur les parois, ce sont généralement des panneaux de polystyrène, de laine minérale ou de fibre de bois, mais parfois aussi des bottes de paille.
- Les isolants souples ou en vrac sont généralement insérés entre montants, dans une ossature bois fixée aux murs puis recouverte d'un film ou d'un panneau rigide, c'est le cas des fibres minérales et végétales, mais aussi de certains coproduits agricoles comme la paille et la balle de riz par exemple.
- Les isolants en vrac peuvent être déversés ou insufflés dans des caissons en bois fixés mécaniquement sur les façades externes. La préfabrication de ces façades à ossature bois offre de nombreux avantages, elle permet notamment d'obtenir une densité d'isolant précise et de limiter son tassement, tout en limitant les transports dans sa phase de fabrication.

C'est cette troisième possibilité que nous souhaitons étudier ici. Notre équipe étant basée autour de Montpellier, nous disposons localement de ressources telles que des gisements locaux de bois de réemploi, des coproduits liés à la culture du riz de Camargue (paille et balle de riz) et une usine de fabrication de ouate de cellulose.



3.1. Description générale de la solution

La solution décrite ici est donc une solution de rénovation globale, permettant d'améliorer la performance de l'enveloppe des maisons individuelles : c'est une solution d'Isolation Thermique par l'Extérieur (ITE) des murs et toitures.

Dans un objectif de massification de la rénovation de maisons individuelles, mais aussi pour limiter certains impacts environnementaux, cette solution permet une préfabrication en atelier, mais peut cependant être fabriquée entièrement sur site si besoin.

Concrètement, il s'agit d'une solution faite de caissons en bois dans lesquels est insufflé un isolant vrac biosourcé et local. Par exemple, pour l'isolation des murs par l'extérieur, on aura des modules de type Façade à Ossature Bois (FOB), dans lesquels un isolant biosourcé local est insufflé, l'ensemble étant préfabriqués en atelier. Ces modules seront ensuite fixés sur les murs existants. Lorsque cela sera possible, une partie du bois utilisé dans la fabrication des caissons sera issu du réemploi (voir annexe 2 – Fiche réemploi).

3.2. Description de principe de l'ensemble des lots

La solution globale présentée dans ce guide vise la rénovation globale de maisons telles que décrites dans le § 2.1. Un ensemble de gestes pour une rénovation globale est proposé dans ce chapitre.

Les gestes proposés sont hiérarchisés en deux catégories :

- Lots prioritaires (identifiés en vert dans le tableau) : font l'objet d'une description détaillée et d'analyses performanciennes approfondies, car ils contribuent de façon significative aux performances globales (par ex. isolation des murs et des toitures).
- Lots complémentaires : présentés de manière indicative, ils participent à la rénovation globale mais ne font pas encore l'objet d'une analyse approfondie dans le cadre du programme RESTORE (par ex. isolation des planchers bas).

Cette hiérarchisation permet de concentrer l'effort d'analyse sur les gestes les plus impactant tout en donnant une vision d'ensemble cohérente pour atteindre les objectifs du programme.

Les gestes proposés dans ce chapitre sont donnés à titre indicatif dans un objectif d'atteindre une performance globale et de réalisation des analyses performanciennes.

(Cf. [Guide de performances énergétiques](#)). Ils n'ont cependant pas fait l'objet d'une analyse technique approfondie dans le cadre du programme RESTORE.

Lots	Type de solution
<p>Lot 1</p> <p>Isolation des murs</p>	<p>Isolation par l'extérieur par caissons bois préfabriqués et insufflation d'isolant biosourcé local, parement extérieur derrière une lame d'air ventilée. Les analyses performanciennes se basent sur une résistance thermique cible de $R = 5,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.</p> <p>Lot prioritaire, description détaillée au § 6.1.</p>
<p>Lot 2</p> <p>Isolation des planchers bas</p>	<p>Lorsque possible, isolation des planchers bas en sous-face avec matériaux de réemploi de préférence. Traitement des ponts thermiques avec les soubassements. Les analyses performanciennes se basent sur une résistance thermique cible de $R = 5,6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ pour la maison BV_5 et $R = 3,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ pour la maison BV_2.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>
<p>Lot 3</p> <p>Isolation des rampants de combles aménagés</p>	<p>Isolation par l'extérieur par caissons bois préfabriqués et insufflation d'isolant biosourcé local, couverture en tuile mécanique. Les analyses performanciennes se basent sur une résistance thermique cible de $R = 7,55 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.</p> <p>En sous-face, vide technique rempli d'un isolant biosourcé local après pose des réseaux.</p> <p>Lot prioritaire, description détaillée au § 6.1.2.</p>
<p>Lot 4</p> <p>Isolation des planchers hauts de combles perdus</p>	<p>Isolation des planchers de combles perdus par soufflage de ouate de cellulose par exemple (ou autres matériaux biosourcés produits localement), selon les caractéristiques du plancher de combles et les matériaux disponibles localement. Les analyses</p>

	<p>performanciennes se basent sur une résistance thermique cible de $R = 7,9 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>
<p>Lot 5</p> <p>Menuiserie (incluant les dispositifs de protections solaires)</p>	<p>Menuiseries performantes aux caractéristiques adaptées à leur orientation, notamment pour limiter les apports solaires sur les façades ouest.</p> <p>Si besoin, ajout de fenêtres de toiture sur combles aménagés pour faciliter la dissipation de la chaleur estivale.</p> <p>Intégration de casquettes et/ou BSO lorsque c'est possible. L'ensemble des fenêtres (dont fenêtres de toit) doit être équipé de protections solaires extérieures.</p> <p>Les analyses performanciennes se basent sur des données $U_w/S_w/T_{lw}$ de 1,5/0,46/0,56 pour les fenêtres en parois verticales et 1,3/0,25/0,42 pour les fenêtres de toit.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>
<p>Lot 6</p> <p>Réseau de ventilation (incluant les traversées de parois)</p>	<p>Les réseaux VMC simple flux doivent être isolés et doivent être passés avant isolation du plancher de combles (avec chemin d'accès).</p> <p>Pour les VMC double flux, les réseaux doivent être optimisés et situés dans le volume chauffé du logement.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p> <p>Les traversées de ventilations sont décrites au § 6.2.6.</p>
<p>Lot 7</p> <p>Réseau de chauffage et/ou refroidissement et émetteurs</p>	<p>Entretien des réseaux et émetteurs existants qui sont conservés si possible.</p>

	Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.
Lot 8 Système de chauffage et/ou refroidissement	<p>Solaire thermique (CESI ou SSC), chauffage bois, pompe à chaleur, gaz de ville... Une solution unique ne peut pas être adaptée à l'ensemble d'un parc de logements, il y a une nécessité d'étudier au cas par cas pour définir la solution adaptée. Dans le guide de performances énergétiques, une PAC air/eau a été retenue pour réaliser les analyses sur les modèles de maisons détaillés en annexe.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>
Lot 9 Système de ventilation	<p>Systèmes de ventilation mécanique simple ou double flux, selon la configuration des bâtiments, leur situation géographique...</p> <p>Régulation hygrométrique de la ventilation.</p> <p>Brasseurs d'air pour éviter l'installation d'une climatisation.</p> <p>Les analyses performanciennes se basent sur une VMC hygro-réglable simple flux.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>
Lot 10 Réseau électrique (intégrant des traversées de parois)	<p>Les traversées de parois doivent être traitées avec des solutions étanches à l'air, ainsi que le fourreau principal venant du compteur extérieur.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>
Lot 11 Réseau de plomberie (intégrant le traitement des traversées de parois)	<p>Les traversées de parois doivent être traitées avec des solutions étanches à l'air.</p> <p>Lot complémentaire, préconisations données à titre indicatif.</p>

Une description plus détaillée des lots principaux 1 et 3 est donnée au § 6. Des règles de dimensionnement ainsi qu'un ensemble de recommandations pour 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.

4. DÉCLINAISON EN GAMME

Tableau 1 : Liste des déclinaisons traités

Type d'adaptation	N°	Lot ITE mur	Lot ITE toit plat	Lot ITE toit en pente
Adaptation type 1 Adaptations architecturales	1.1	Béton plein § 6.2.1		
	1.2		Toiture terrasse § 6.2.2	
	1.3	Débord large § 6.2.3		Débord large § 6.2.3
	1.4			Combles perdus
	1.5	Escalier extérieur § 6.2.5		
	1.6	Traversées de paroi (ventilation) § 6.2.6		
	1.7		Cheminée § 6.2.7	Cheminée § 6.2.7
	1.8			Fenêtre de toit (velux) § 6.2.8
	1.9	Mitoyenneté § 6.2.9		Mitoyenneté § 6.2.9
Adaptation type 3 Adaptations liées à l'état initial	3.1	Murs déjà isolés § 6.3.1		
	3.2			Rampants déjà isolés § 6.3.2
	3.3	Menuiseries récentes		

		§ 6.3.3		
	3.4			Couverture rénovée § 6.3.4
	3.5	Habitats faune sauvage § 6.3.5		

5. ÉLÉMENTS DE DIAGNOSTIC

Afin de déterminer la ou les solutions adaptées au bâtiment et aux occupants, il est nécessaire d'établir un diagnostic complet de l'état initial : diagnostic technique global du bâtiment et diagnostic des besoins et contraintes des habitants du logement.

5.1. Diagnostic technique global du bâtiment

Les principaux éléments de diagnostic technique pour adapter les solutions de rénovation sont :

- Nature et portance du sol : nécessaire à l'étude structurelle ;
- Étude structurelle pour vérifier que la nature et l'état du bâtiment permettent la mise en œuvre d'une ITE (mur et toiture) :
 - o Nature et qualité des fondations : doivent permettre de supporter la charge rapportée par l'ensemble des solutions techniques,
 - o Nature et qualité de la structure du bâtiment : doivent permettre la bonne fixation des éléments d'ITE (mur et toiture).
- Remontées capillaires ;
- Fissures, dégradations, défauts... ;
- Contraintes du site : exposition au soleil, au vent, mitoyenneté...

Par ailleurs, il faudra aussi analyser les paramètres suivants :

- La toiture : le diagnostic doit identifier si l'étanchéité de la toiture est ancienne ou dysfonctionnelle, ou si des travaux de charpente sont nécessaires.
- Le niveau d'isolation : si les parois à isoler comprennent déjà de l'isolant, il faudra déterminer son état, sa quantité, son âge et le type d'isolant.

- Les menuiseries : leur âge et leur performance doivent être déterminés, avec a minima la nature du vitrage (simple ou double), de son châssis (bois, aluminium, PVC) et de son étanchéité à l'air (état et présence de joints d'étanchéité).

5.2. Diagnostic des besoins et contraintes des habitants

Ce modèle répond à de nombreux besoins des habitants et des propriétaires. Les besoins principaux sont les charges, le confort et également les usages. La solution d'ITE permet :

- Améliorer le confort du logement en hiver comme en été ;
- Réduire les consommations d'énergie ;
- Entretien et embellir le bâtiment ;
- S'assurer une meilleure santé ;
- Préserver la biodiversité ;
- Mettre en œuvre un projet : agrandir le logement, faire des travaux intérieurs et adapter la maison aux usages du moment et à venir : départ ou arrivée d'un enfant, d'une personne âgée, changement de destination... ;

Une telle démarche de rénovation entraîne plusieurs contraintes avant et pendant les travaux :

- En amont le propriétaire doit étudier et se faire accompagner sur le montage financier : établir un budget, analyser ses capacités financières, rechercher les aides possibles ;
- Pendant les travaux, et surtout en site occupé, les nuisances (acoustiques, visuelles, olfactives, boues, végétation, stockage chantier, trafic des véhicules...) peuvent être importantes pour l'habitant et également pour ses voisins. Parfois le logement peut même devenir inhabitable le temps de certains travaux créant de grosses nuisances.

Il est donc absolument nécessaire d'établir un diagnostic complet avec les propriétaires et occupants du logement afin de leur permettre de préparer au mieux leur projet. Un document permettant d'établir ce diagnostic est donné en annexe à titre d'exemple (annexe 1).

5.3. Adaptations relatives aux diagnostics

La solution d'isolation devra donc s'adapter aux éléments relevés dans les diagnostics cités dans les paragraphes précédents.

- Si l'étude structure montre que la charge ajoutée par l'ITE dépasse la capacité des fondations ou du sol :

Possibilité de réduire la charge liée à l'ITE en remplaçant les montants massifs par des poutres en I, en remplaçant la paille de riz par de la ouate de cellulose. Les adaptations devront être validées par un BE structure (cf. § 7.2.3 et annexe 3 – Étude structure).

Si ces adaptations ne sont pas suffisantes, alors il faudra privilégier une autre solution d'isolation.

- Si le bâtiment à isoler présente des fissures, dégradations, défauts :

Faire intervenir un professionnel compétent (BE structure, maçon, expert bâtiment...) pour définir les travaux à effectuer avant de mettre en œuvre la solution d'ITE.

- Si le bâtiment à isoler présente des traces d'humidité (notamment de remontées capillaires) :

Il est nécessaire d'identifier l'origine de toute trace d'humidité sur les murs (remontées capillaires, défaut d'étanchéité, condensation...) afin de traiter la cause du désordre en faisant intervenir un professionnel spécialisé.

La solution d'isolation comprenant principalement des matériaux biosourcés sensibles à l'humidité, elle devra être mise en œuvre sur des murs ne présentant aucun excès d'humidité. Si cette problématique ne peut être réglée, il faudra alors s'orienter vers un dispositif d'isolation non sensible à l'eau.

- Si la couverture est récente :

Dans le cas d'une couverture ancienne ou dysfonctionnelle, ou si des travaux de charpente sont nécessaires, les solutions d'isolation de toiture par l'extérieur seront particulièrement pertinentes.

Cependant rien n'empêche de mettre en œuvre cette ITE en toiture si la couverture est récente et en bon état, mais il sera nécessaire de déposer la couverture existante pour mettre en œuvre l'ITE en toiture, ce qui représentera un coût en doublon de celui de la réfection de la couverture déjà effectuée.

Si toutefois cette option est choisie, il faudra alors réemployer autant que possible les matériaux déposés pour l'installation de l'ITE.

- Si la paroi à isoler comprend déjà un matériau isolant :

Le niveau d'isolation : si les parois à isoler comprennent déjà de l'isolant, il conviendra de déterminer selon l'état, la quantité, l'âge et le type d'isolant si les solutions d'ITE seront pertinentes ou non.

- Si les menuiseries sont récentes :

Dans le cas d'un remplacement de menuiseries, il sera possible d'intégrer les nouvelles menuiseries directement dans les modules d'ITE. Si elles sont conservées, alors il pourra être envisagé de les déplacer vers l'extérieur du logement afin de les placer dans l'épaisseur de l'isolant et ainsi limiter les ponts thermiques à cet endroit (cf. § 7.3.6).

- Si le bâtiment comprend des combles perdus :

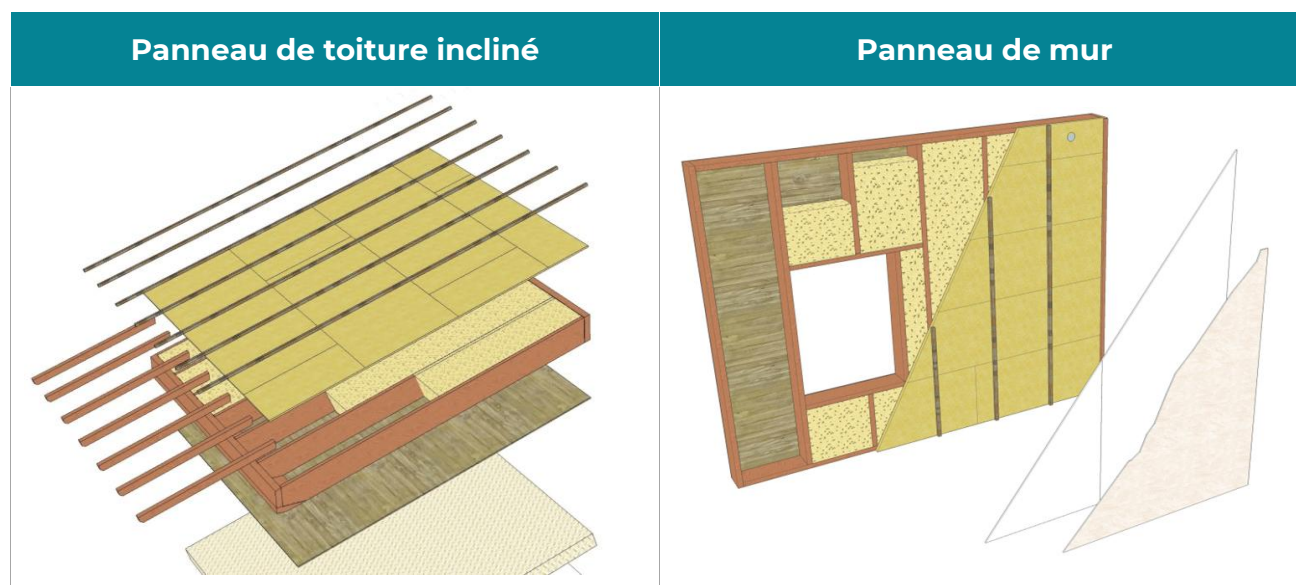
Les solutions d'ITE en toiture proposées ici ne sont pas compatibles avec des combles perdus car il sera toujours plus efficace et beaucoup moins cher d'isoler le plancher de combles perdus plutôt que les rampants de toiture (cf. § 6.2.5).

Ces paramètres font partie des adaptations principales liées au diagnostic initial qui sont développées au § 6.3.

6. DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES LOTS ITE MUR ET ITE TOITURE ET DE L'INTERFACE

6.1. Solution de référence

Panneaux de bois préfabriqués permettant de recouvrir des pans de murs ou de toitures entiers intégrant un isolant biosourcé local, issu de coproduits agricoles, insufflé en atelier directement dans la structure, favorisant la valorisation des ressources locales et le réemploi des matériaux.



Les modules de mur et de toiture sont prévus pour être préfabriqués de façon à minimiser le temps de mise en œuvre, limitant ainsi les contraintes pour les habitants, les risques de dégradation des matériaux biosourcés liés aux intempéries et potentiellement, le coût des travaux d'isolation.

Ces modules sont constitués de montants et lisses en bois massif avec un panneau de particules côté intérieur du bâtiment et un panneau de fibre de bois côté extérieur. Les caissons ainsi formés sont remplis d'un isolant biosourcé local par insufflation.

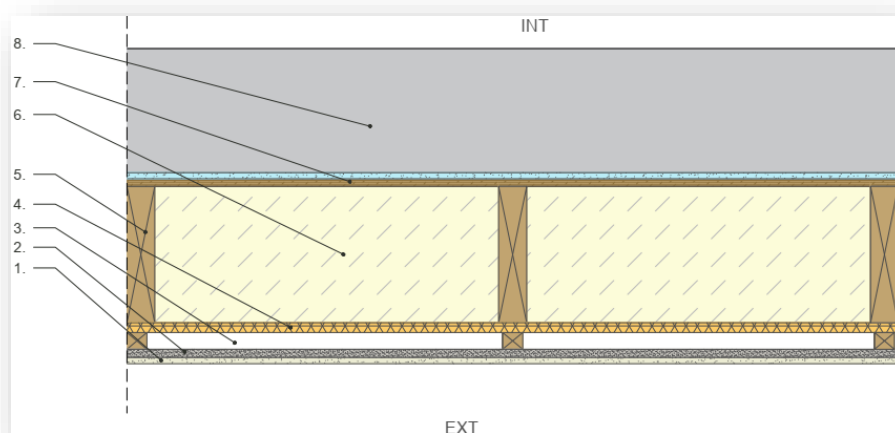
Une fois les modules de mur posés sur le bâtiment à isoler, ils sont couverts par un parement de type bardage bois ou panneaux à enduire, derrière une lame d'air ventilée. Pour les modules de toiture, ils seront recouverts d'une solution d'étanchéité au-dessus d'une lame d'air ventilée.

Les détails de la solution sont décrits dans les paragraphes ci-dessous et l'ensemble des préconisations de mise en œuvre sont décrits dans le [Guide de mise en œuvre](#).

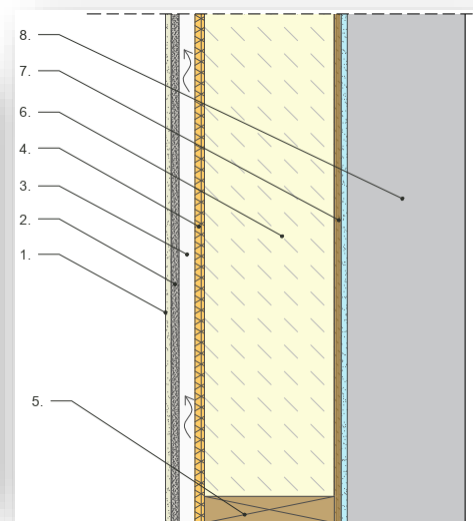
La conception et la mise en œuvre de cette solution étant complexes, elles sont réservées aux charpentiers et constructeurs bois. Par ailleurs, la conception doit être validée par un bureau d'étude structure notamment pour le dimensionnement des éléments et la justification de la résistance mécanique de l'ensemble.

6.1.1. Description détaillée – Partie courante

Coupes en partie courante ITE mur



Coupe verticale



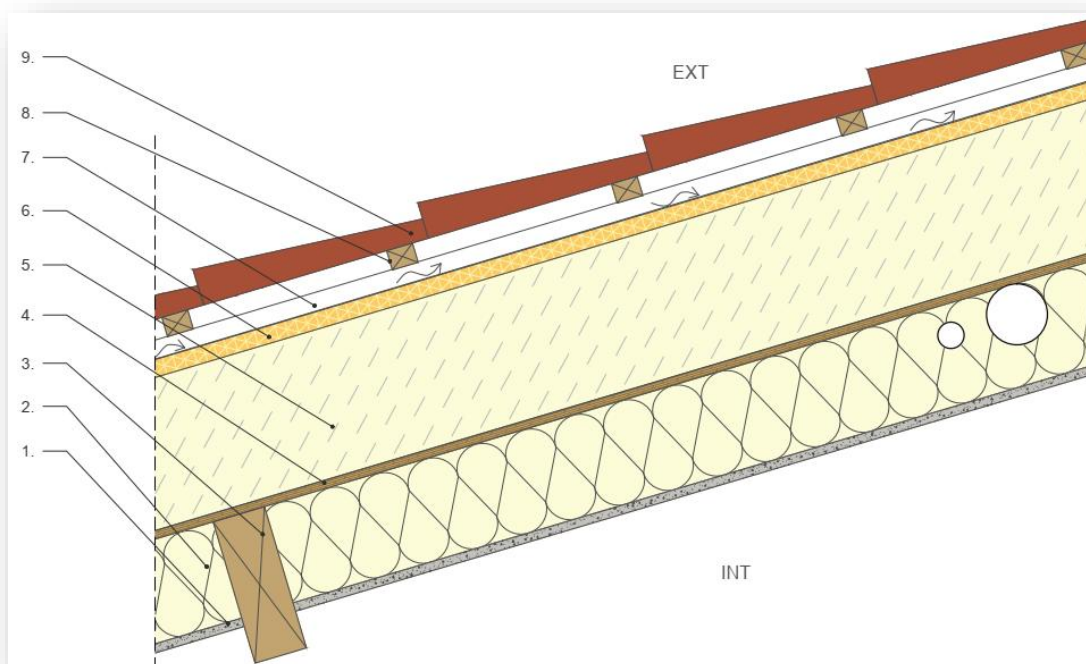
Coupe horizontale

1. Enduit extérieur (environ 15 mm)
2. Panneau à enduire (13 mm)
3. Lame d'air ventilée (20 mm)
4. Panneau pare-pluie en fibre de bois (16 mm)
5. Montant d'ossature en bois local ou réemploi (45 x 220 mm)
6. Isolant insufflé biosourcé local, ici paille de riz (220 mm)
7. Panneau de particules certifié CTB-H (12mm)
8. Mur existant couvert d'un enduit de façade (200 mm + 15 mm)

Point d'attention important :

Aucune lame d'air ventilée, même partielle ou accidentelle, ne doit être présente entre panneau rapporté et le mur existant. La création d'un vide non maîtrisé entre le support et les caissons est à proscrire, car elle peut devenir un espace propice aux circulations d'air parasites, à la condensation, à l'humidification des matériaux biosourcés et au développement fongique. Des dispositions particulières doivent être adoptées comme la mise en place d'un calfeutrement étanche en continu entre la pièce d'appui et le panneau et entre la pièce d'appui et le mur existant (pour plus de détail se référer au [Guide de mise en œuvre](#)).

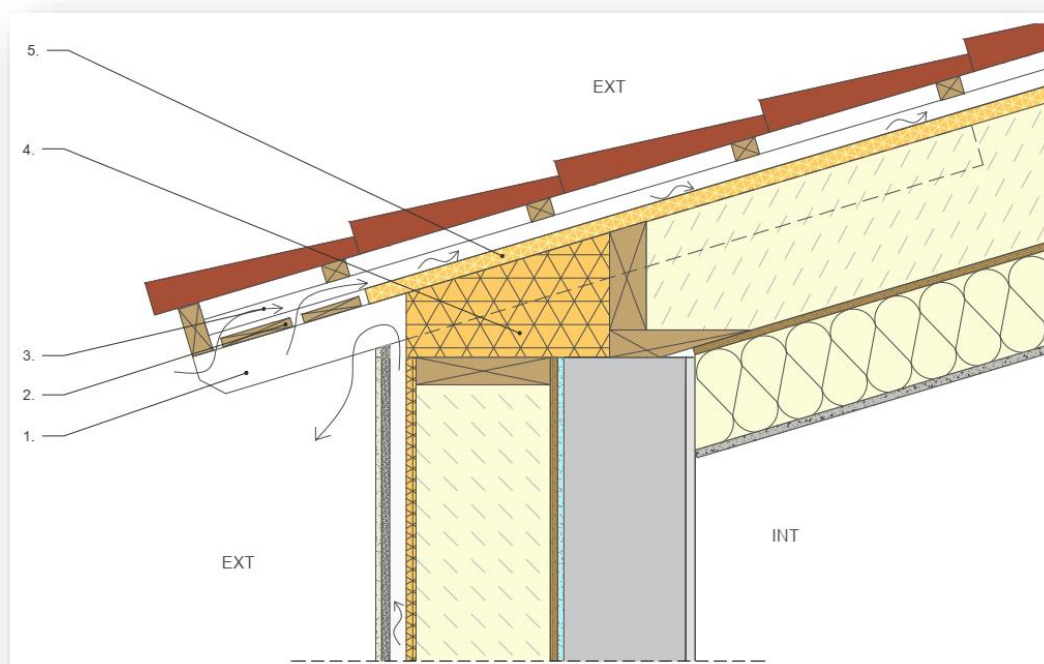
Coupes en partie courante ITE toit en pente



1. Parement intérieur, par exemple plaque de gypse ou de plâtre (13 mm)
2. Ouate de cellulose insufflée après mise en œuvre des réseaux dans le vide technique (150 mm)
3. Charpente existante
4. Panneau de particules certifié CTB-H et structurel selon DTU 31.2 (12 mm)
5. Isolant insufflé biosourcé local, ici paille de riz (220 mm)
6. Panneau de sous-toiture en fibre de bois (25 mm minimum)
7. Lamelle d'air ventilée (conforme au DTU de la couverture mise en œuvre avec un minimum de 20 mm)
8. Linteau de toiture (conforme au DTU de la couverture mise en œuvre)
9. Tuile mécanique (réemploi potentiel : conditions de réemploi définies en annexe 2)

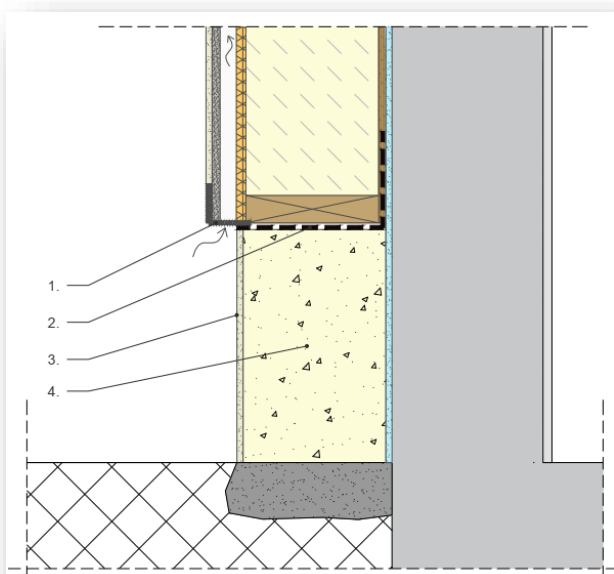
6.1.2. Interfaces

Interface ITE mur/ITE toit en pente



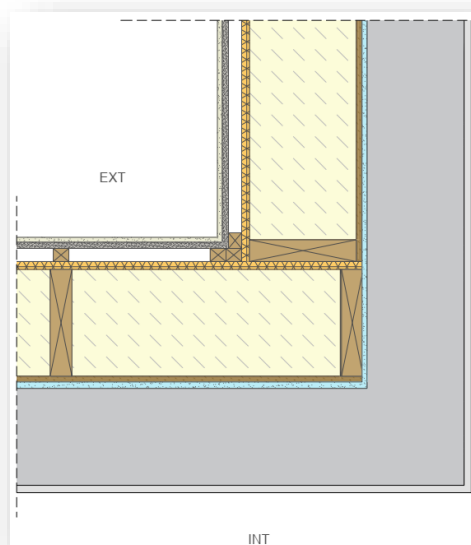
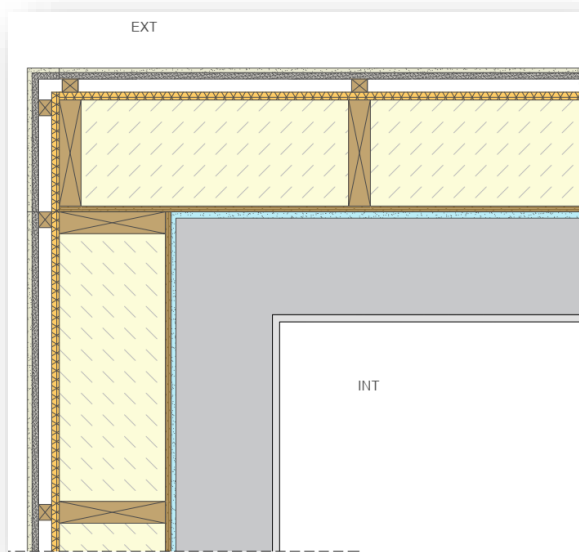
1. *Chevron rapporté en bas de pente permettant le débord de toiture en façade*
2. *Volige rabotée en pose ajourée permettant l'entrée d'air (25 mm)*
3. *Lame d'air ventilée (20 mm minimum)*
4. *Isolant complémentaire permettant de limiter le pont thermique à l'interface*
5. *Panneau de sous-toiture en fibre de bois débordant au-delà de l'ITE mur (25 mm minimum)*

Traitement des pieds de mur



1. Grille anti-rongeur
2. Rupture capillaire (bande d'arase : cf. NF DTU 31.2)
3. Enduit de façade compatible isol
4. Isolant complémentaire insensible à l'humidité, de type béton de pouzzolane, polystyrène ou polyuréthane issu du réemploi, hauteur 30 cm pour assurer la garde au sol des modules

Angle sortant et angle rentrant



6.2. Adaptation de type 1 - Architecturale

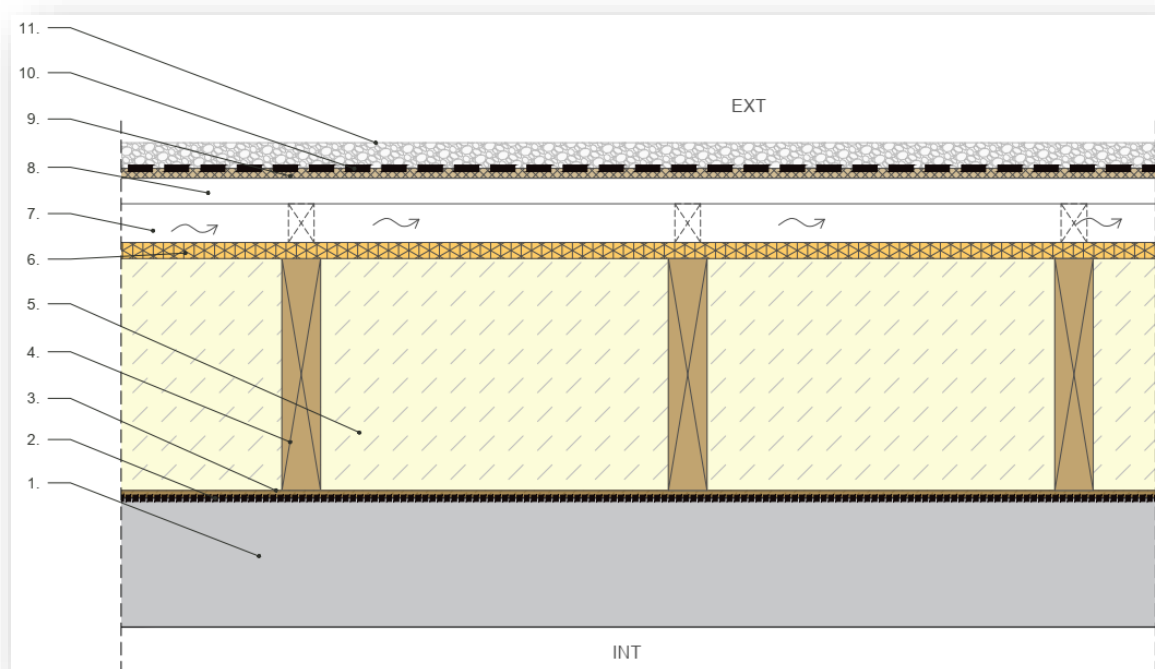
6.2.1. Déclinaison sous-type 1.1 – Mur béton plein

Le système de fixation des modules est à adapter selon la nature du mur, sauf s'il s'agit d'une fixation permettant une accroche suffisante tant dans le béton plein que dans la maçonnerie creuse.

Voir § 7.3.4 pour les détails du système de fixation et d'ancrage.

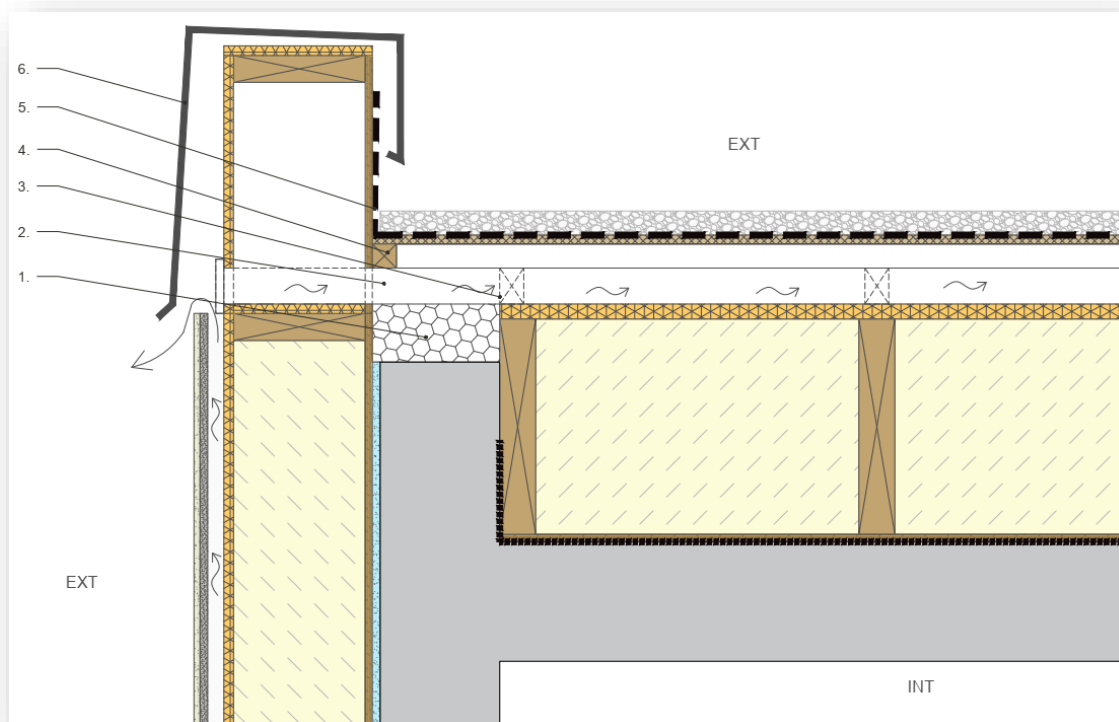
6.2.2. Déclinaison sous-type 1.2 – Toiture-terrasse

Coupes en partie courante ITE toit plat



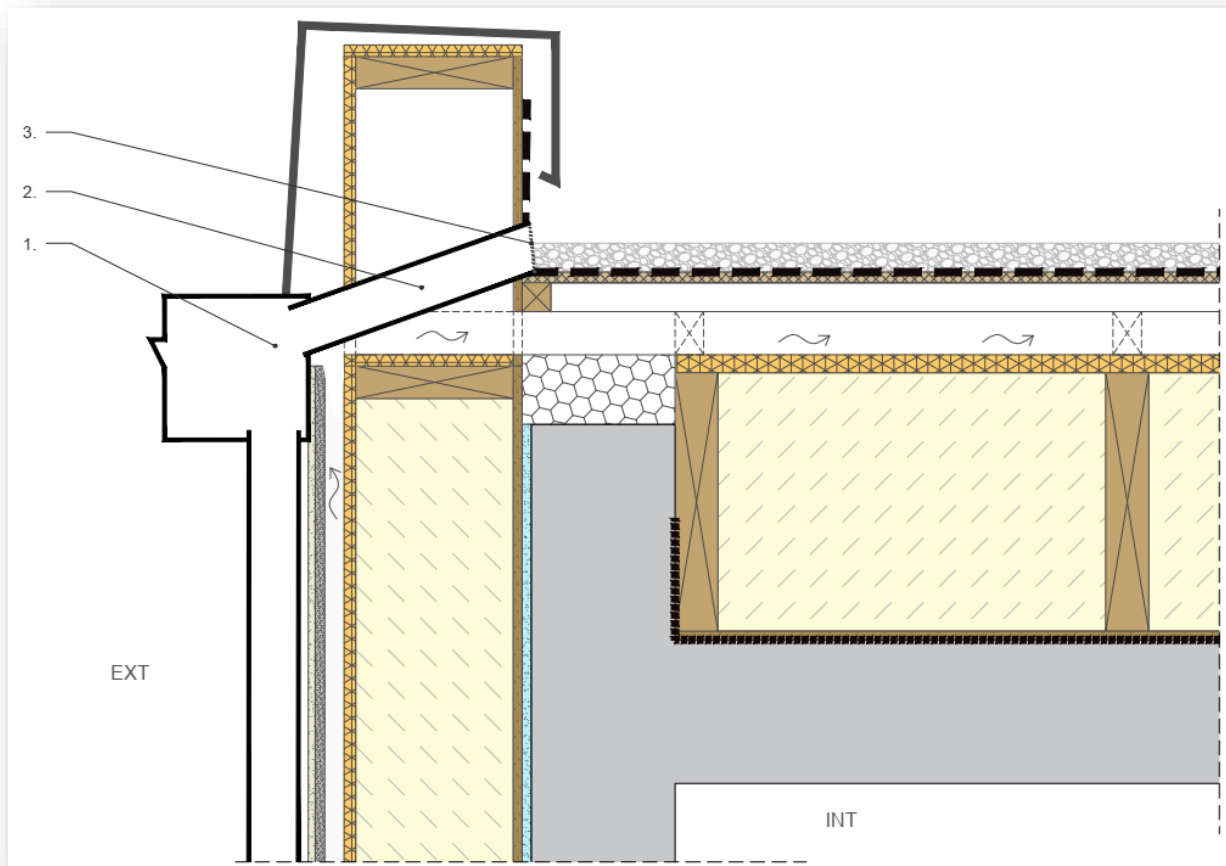
1. Toiture existante
2. Étanchéité existante
3. Panneau de particules certifié CTB-H (12 mm)
4. Montant d'ossature en bois local ou réemploi (60 x 360 mm)
5. Isolant insufflé biosourcé local, ici paille de riz (360 mm)
6. Panneau de sous-toiture en fibre de bois (25 mm minimum)
7. Lame d'air ventilée traversante sur 4 faces (60 mm minimum)
8. Tasseau support du platelage
9. Platelage OSB avec rainure-languettes (18 mm)
10. Revêtement d'étanchéité EPDM
11. Granulat de type gravier roulé (réemploi potentiel, 40 mm minimum selon DTU 43.1)

Interface ITE mur/ITE toit plat



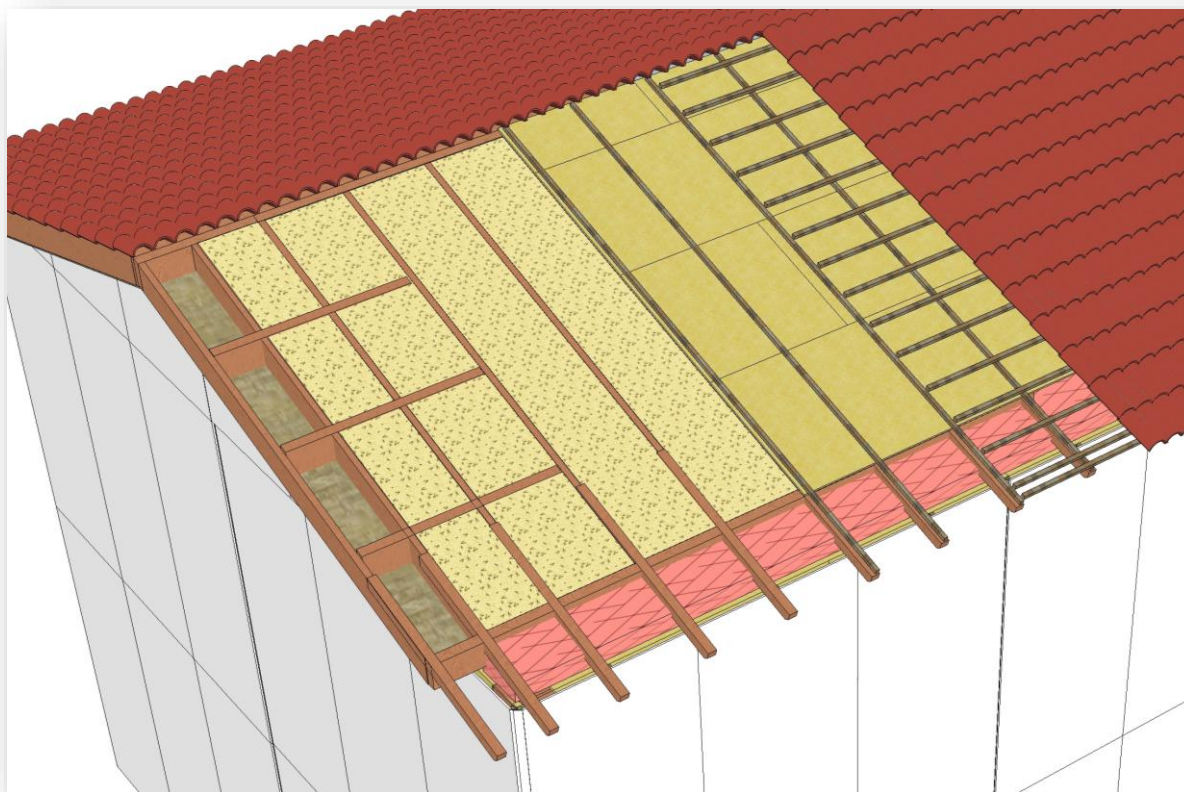
1. Isolant complémentaire insensible à l'humidité (privilégier le réemploi)
2. Lamé d'air ventilée traversante sur 4 faces (60 mm minimum)
3. Tasseau discontinu permettant la ventilation de la lame d'air
4. Tasseau permettant la liaison entre le platelage OSB et le module de mur (fixé dans les montants des modules de mur).
5. Remontée du revêtement d'étanchéité EPDM
6. Couvertine surmesure

Évacuation des eaux pluviales en toiture-terrasse



1. Boîte à eau
2. Conduit d'évacuation des EP
3. Grille type crapaudine

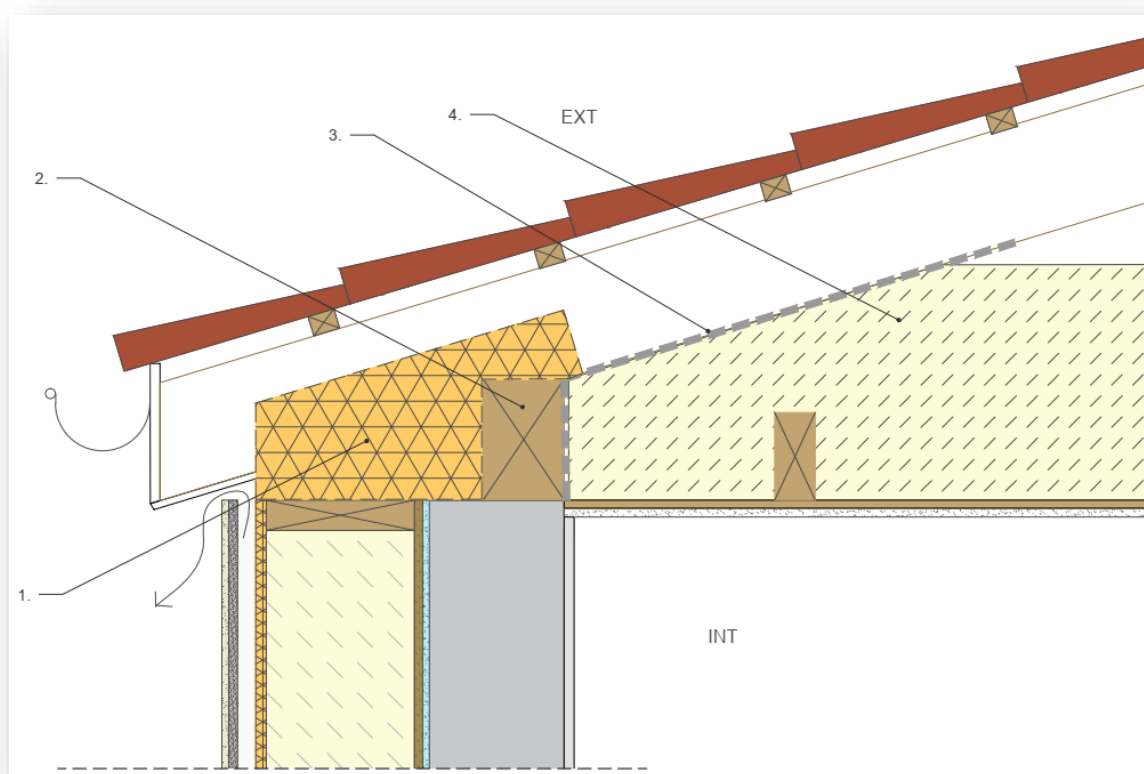
6.2.3. Déclinaison sous-type 1.3 – Débord pignon étroit



Les débords de pignon sont nécessaires pour couvrir l'ITE mur sur les pignons, plus un débord complémentaire non isolé assurant une bonne protection de l'ITE des murs de pignon contre les précipitations.

Ainsi, les modules des bords de toiture seront adaptés sous forme d'échelle de façon à permettre la reprise des efforts liés au porte-à-faux créé par le débord des pignons.

6.2.4. Déclinaison sous-type 1.4 – Combles perdus



1. Isolant complémentaire permettant de limiter le pont thermique à l'interface
2. Charpente existante
3. Déflecteur constitué de bandes d'écran de sous-toiture en pose tendue (voir § 6.1.4 du NF DTU 45.11 P1-1)
4. Isolant local biosourcé soufflé en plancher de combles, par exemple ouate de cellulose

6.2.5. Déclinaison sous-type 1.5 – Escalier extérieur

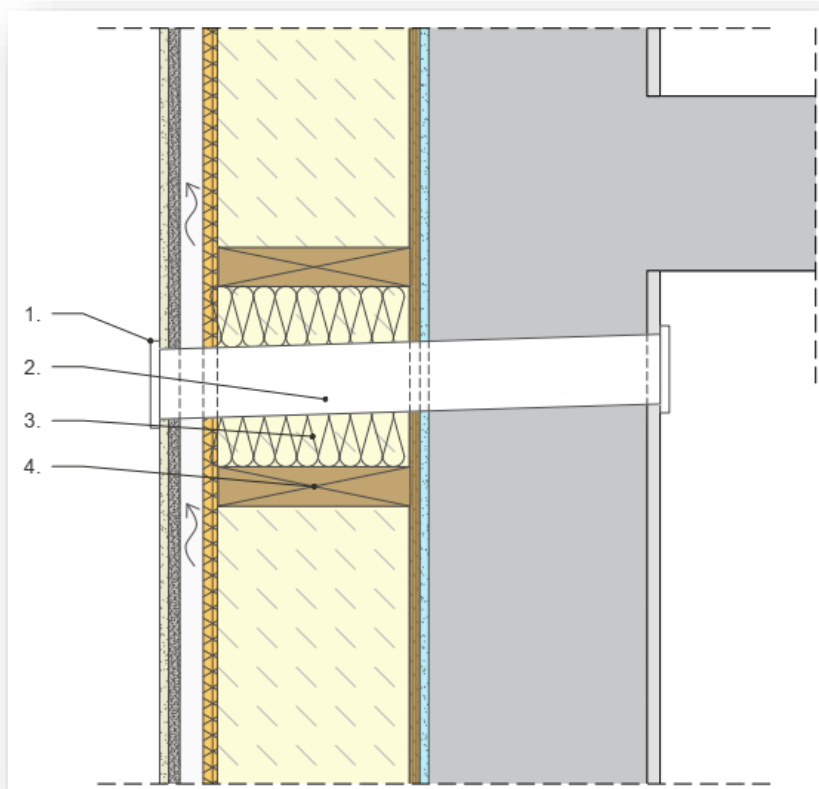
Il est nécessaire de désolidariser les escaliers extérieurs de la structure du bâtiment afin de limiter les ponts thermiques. De plus, l'ITE mur va amener à une perte importante de largeur pour l'escalier, c'est pourquoi nous préconisons qu'il soit déposé. D'autres alternatives envisageables selon les situations sont décrites dans [guide technique DOREMI](#).

Après travaux d'ITE, l'escalier peut être reconstruit en bois par exemple, sur une structure autoportante. Mais il arrive aussi fréquemment que ces travaux soient l'occasion de repenser la distribution du logement, et ainsi prévoir un escalier à l'intérieur du logement par exemple.

6.2.6. Déclinaison sous-type 1.6 – Traversées de paroi (ventilation)

Les traversées de paroi doivent obligatoirement être prévues à la conception du projet, elles ne peuvent en aucun cas être rajoutées une fois l'ITE posée.

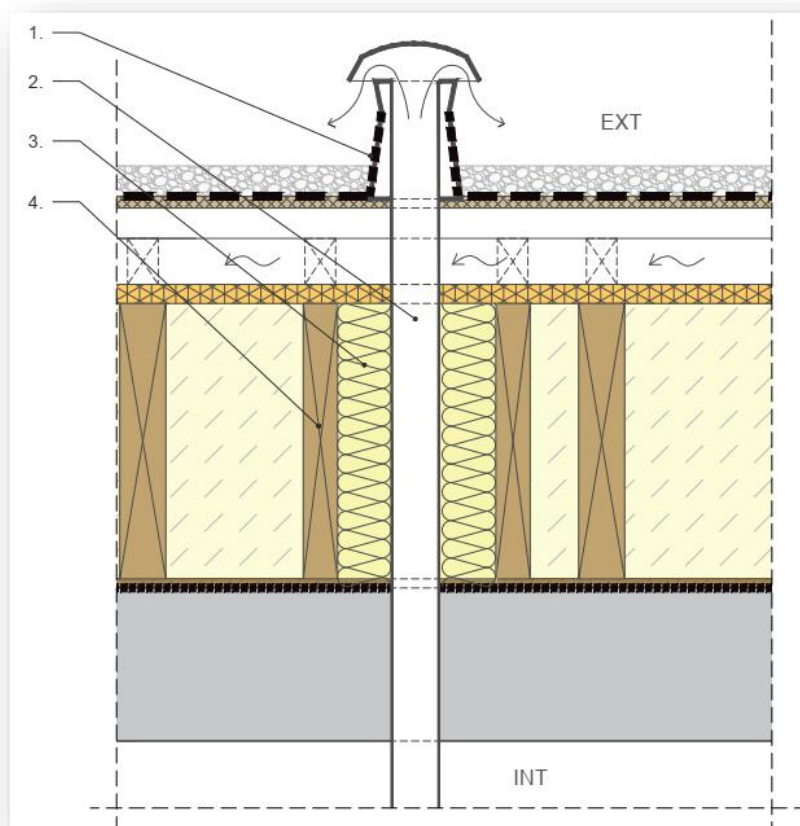
Traversée de mur



1. Grille d'entrée d'air
2. Conduit de ventilation
3. Isolant complémentaire insensible à l'humidité (privilégier le réemploi)
4. Chevêtre

Les fourreaux pour les traversées de paroi doivent avoir une pente vers l'extérieur supérieure ou égale à 3 % (voir DTU 31.4 P1-1 § 13.2).

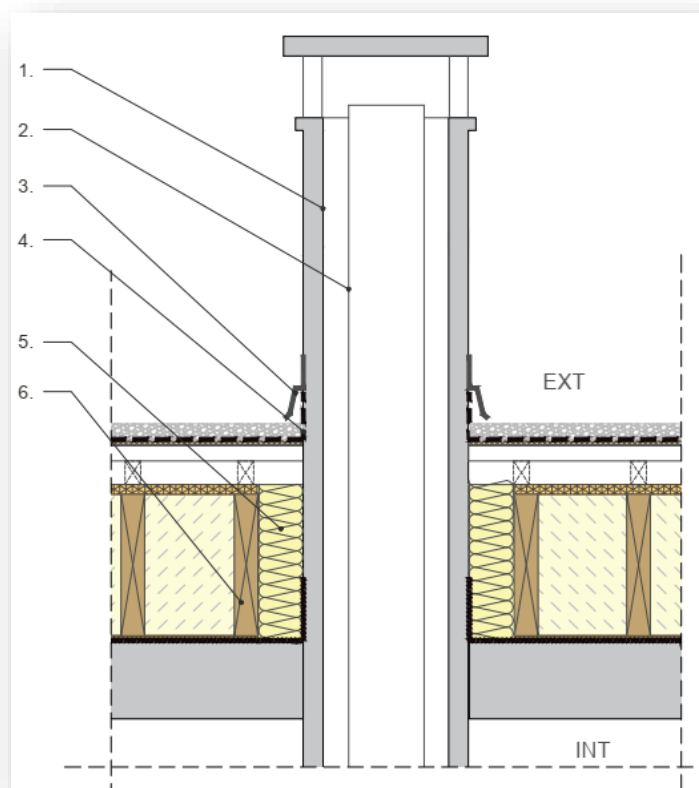
Traversée de toiture-terrasse



1. Cheminée de sortie de VMC
2. Conduit de ventilation
3. Isolant complémentaire insensible à l'humidité (privilégier le réemploi)
4. Chevêtre

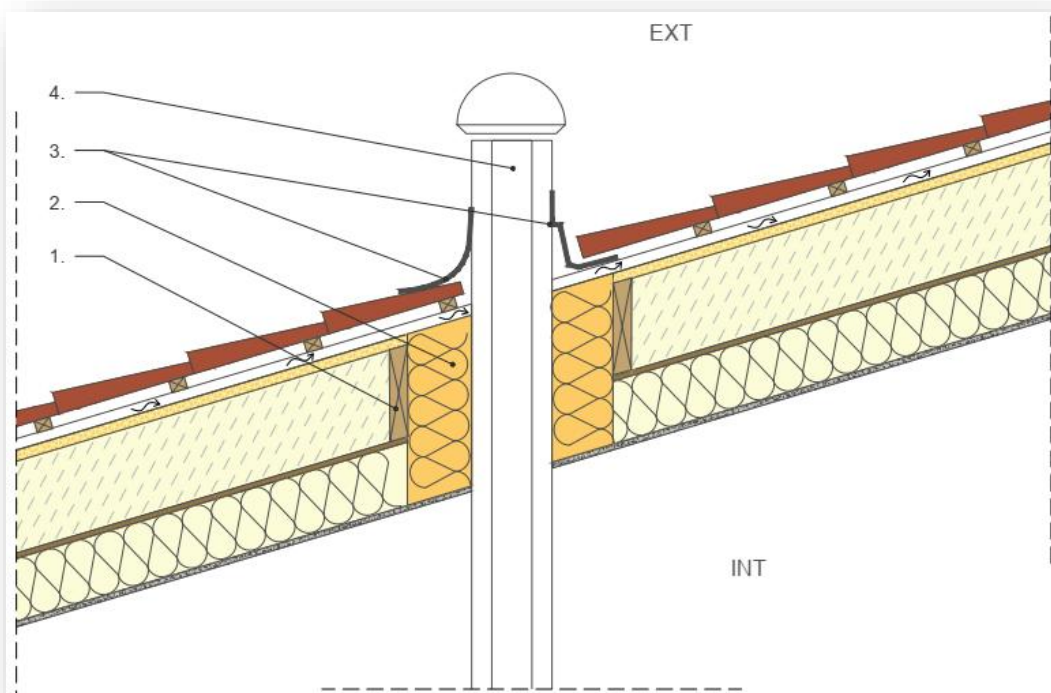
6.2.7. Déclinaison sous-type 1.7 – Cheminée

Interface ITE toit plat – cheminée



1. *Sortie de cheminée*
2. *Tubage de conduit*
3. *Profilé d'étanchéité permettant l'interface avec le revêtement d'étanchéité EPDM*
4. *Relevé d'étanchéité*
5. *Matériau incombustible selon NF DTU 24.1 (privilégier le réemploi)*
6. *Chevêtre*

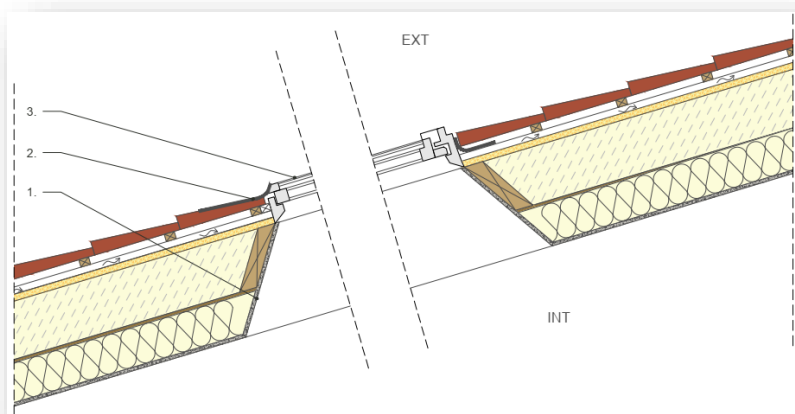
Interface ITE toit incliné – cheminée



1. *Chevêtre*
2. *Matériau incombustible selon NF DTU 24.1 (privilégier le réemploi)*
3. *Profilé d'étanchéité permettant l'interface avec la couverture*
4. *Sortie de cheminée*

Pour les travaux de fumisterie, se référer au NF DTU 24.1 et au Cahier CSTB 3816.

6.2.8. Déclinaison sous-type 1.8 – Fenêtre de toit

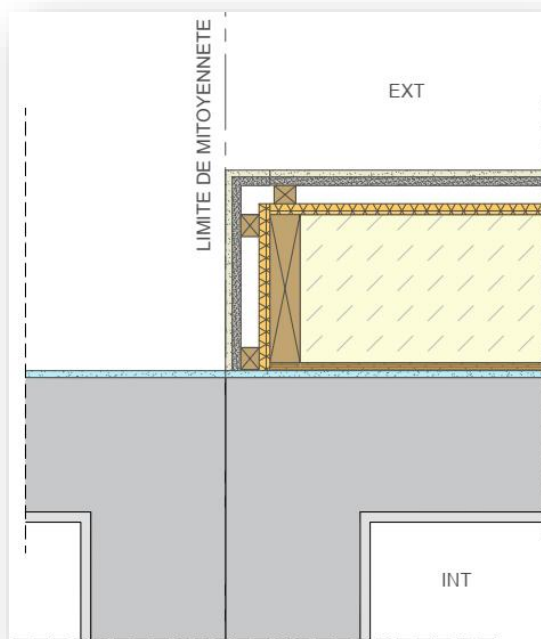


1. *Embrasure du chevêtre échancrée pour maximiser la luminosité apportée par la fenêtre de toit*
2. *Habillage d'étanchéité permettant l'interface avec la menuiserie*
3. *Fenêtre de toit*

Les fenêtres de toit peuvent être posées en préfabrication.

6.2.9. Déclinaison sous-type 1.9 – Mitoyenneté

Dans le cas de la mitoyenneté, la solution préconisée est de pouvoir traiter plusieurs maisons en même temps. Lorsque ce ne sera pas possible, il sera nécessaire de traiter les retours des surépaisseurs générées par l'ITE, en mur comme en toiture.



6.3. Adaptation de type 3 - Diagnostic

6.3.1. Déclinaison sous-type 3.1 – Murs déjà isolés

Si le bâtiment à rénover a déjà été isolé par l'extérieur, il sera alors très compliqué de venir rajouter la solution d'ITE par-dessus, sauf si l'isolant est très dégradé ou qu'il se décroche auquel cas il faudra de toute façon déposer l'ensemble de l'isolant existant.

Si le bâtiment à rénover a déjà été isolé par l'intérieur, alors tout dépendra de la nature de l'isolant posé, son état, son âge et son épaisseur pour déterminer s'il est pertinent de rajouter une ITE ou non. Si le bâtiment doit être isolé par l'intérieur et l'extérieur, l'épaisseur de l'isolant à l'intérieur ne doit pas dépasser le tiers de l'épaisseur totale d'isolant dans la paroi (isolant intérieur + isolant extérieur). Ces notions sont détaillées au § 7.3.1.

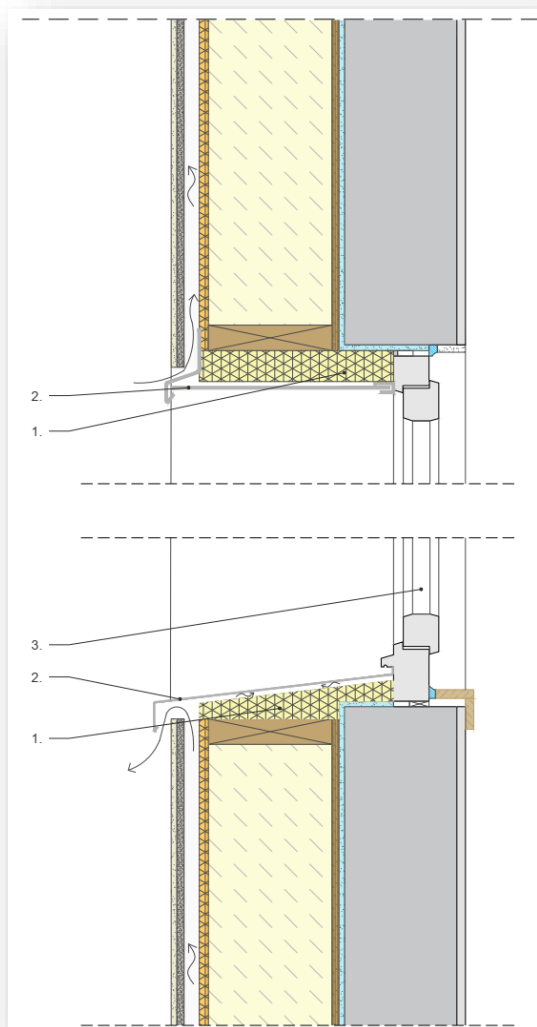
6.3.2. Déclinaison sous-type 3.2 – Rampants déjà isolés

Idem § 6.3.1.

6.3.3. Déclinaison sous-type 3.3 – Menuiseries récentes

Dans le cas où les menuiseries devraient être remplacées, alors elles pourront être intégrées directement dans la solution d'ITE mur dès la phase de préfabrication.

Si les menuiseries doivent être conservées, il faudra vérifier s'il est possible ou non de les déplacer pour les repositionner dans l'épaisseur de l'isolant et limiter ainsi les ponts thermiques à cette interface. S'il n'est pas possible de les déplacer, alors il sera nécessaire de mettre un isolant complémentaire sur les tableaux de menuiseries (voir § 7.3.6).



1. *Isolant complémentaire insensible à l'humidité (privilégier le réemploi)*
2. *Habillage métallique*
3. *Menuiserie*

6.3.4. Déclinaison sous-type 3.4 – Couverture de toiture en pente rénovée

Si l'étanchéité de toiture est récente ou au moins en bon état, réaliser des travaux d'ITE en toiture sera probablement un poste de travaux difficilement rentable, auquel cas il faudra peut-être envisager plutôt une isolation par l'intérieur.

Sans que cela soit une règle absolue, on pourra considérer que les travaux d'ITE en toiture seront pertinents si la durée de vie restante de la couverture existante est estimée à moins de 10 ans.

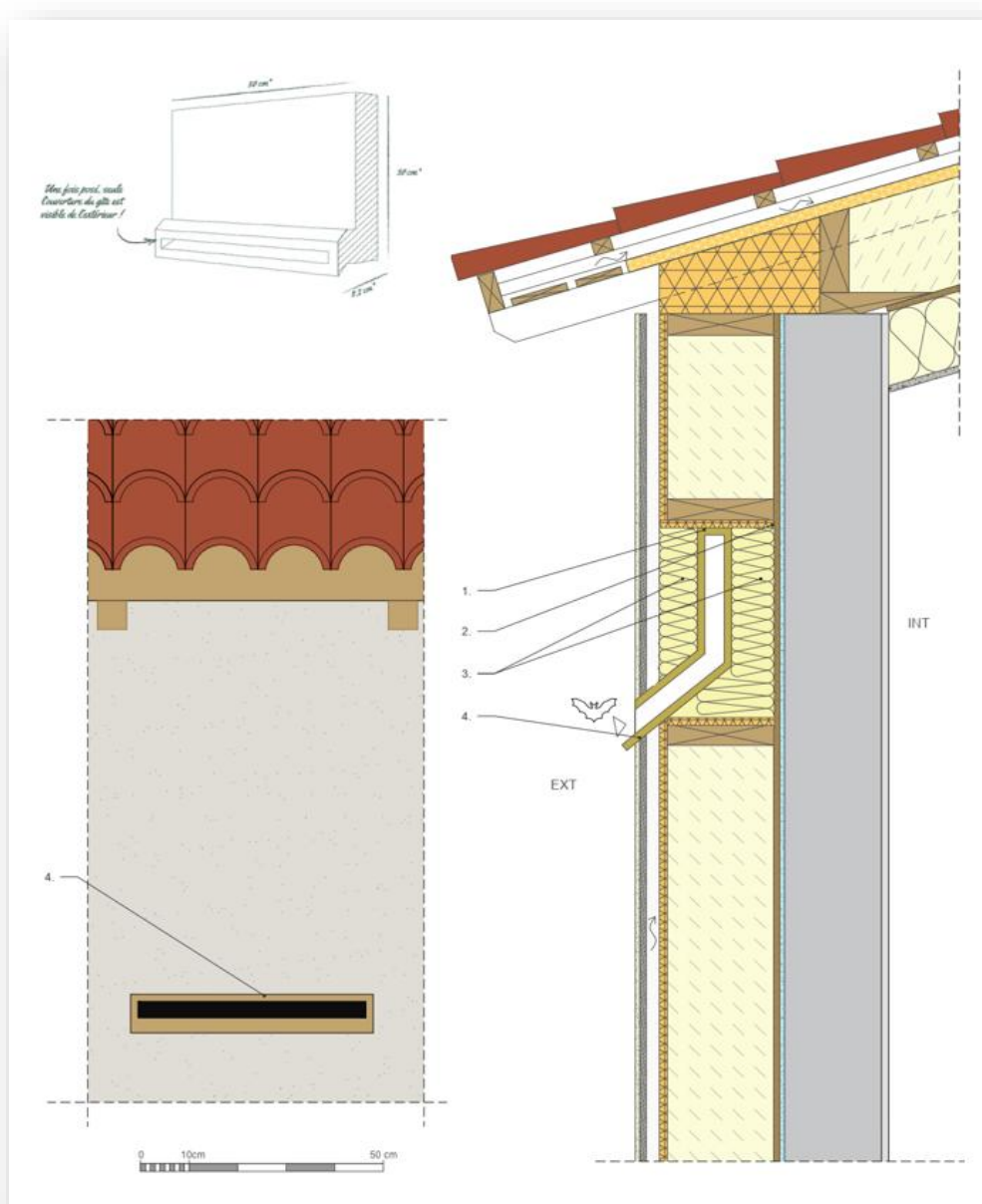
6.3.5. Déclinaison sous-type 3.5 – Habitats de faune sauvage à préserver ou recréer

Il est nécessaire de préserver les habitats de la faune sauvage présente dans le bâtiment. Si toutefois il n'est pas possible de les préserver, il sera alors possible de les recréer dans l'épaisseur de l'ITE.

Les solutions et leurs mises en œuvre doivent être adaptées en fonction des espèces identifiées localement, des situations géographiques et climatiques, de l'exposition au soleil et au vent, de la hauteur de la façade... C'est pourquoi il est nécessaire de se rapprocher du fabricant pour définir le dispositif le plus adapté et prendre connaissance des préconisations de mise en œuvre. Les dispositifs intégrés ici sont ceux réalisés par une SCOP locale.

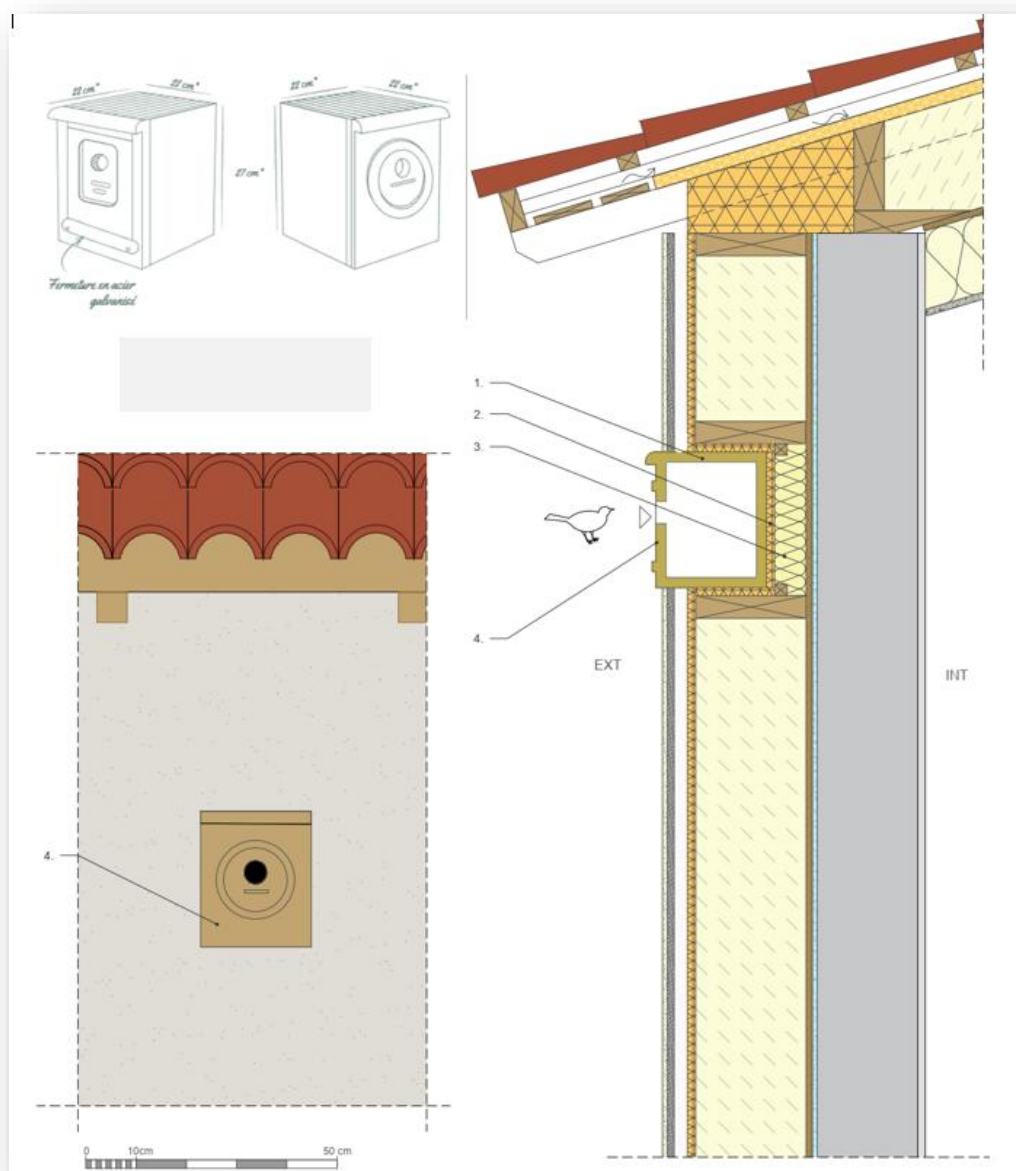
L'ensemble des dispositions relatives à la prise en compte de la faune sauvage sont décrits au § 7.2.4.

Gîte à chiroptères (chauve-souris)



1. *Abri à chauve-souris*
2. *Panneau pare-pluie en fibre de bois*
3. *Isolant complémentaire, par exemple polyuréthane issu du réemploi*
4. *Entrée de l'abri à chauve-souris, partie visible en façade*

Nichoir à passereaux



1. Nichoir adaptable à de nombreuses espèces d'oiseau
2. Panneau pare-pluie en fibre de bois
3. Isolant complémentaire, par exemple polyuréthane issu du réemploi
4. Nichoir, partie visible en façade

7. RÈGLES DE CONCEPTION DES LOTS ITE MUR, ITE TOITURE ET INTERFACES

7.1. Adaptations de type 2 liées à la localisation géographique

7.1.1. Zone sismique

Le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité, notre zone d'étude en comprend quatre. Les règles de construction spécifiques à ces zones sont :

- Zones de sismicité très faible et faible : pas de préconisation particulière ;
- Zones de sismicité modérée et moyenne : se référer au « [Guide de construction parasismique des maisons individuelles DHUP CPMI-EC8-zones 3-4](#) ».

La solution d'ITE ne sera pas adaptée aux zones de sismicité élevée.

7.1.2. Prescription PLU/zone classée (patrimoine)

Les contraintes urbanistiques doivent être étudiées en amont du projet :

- Les prescriptions définies par les PLU déterminent par exemple la nature des parements extérieurs autorisés, la possibilité de réaliser une surélévation... ;
- En zone classée le projet doit être soumis aux Architectes des Bâtiments de France (ABF), leur réponse donnera aussi des précisions sur les coloris et finitions autorisés.

Il est toujours préférable de présenter le projet en amont aux personnes compétentes, cela permet d'éviter des blocages administratifs.

7.1.3. Retrait gonflement des argiles (RGA)

Pour prévenir les risques liés au retrait-gonflement des sols argileux, il faut se référer aux préconisations faites par [la DRIEAT](#) et par le site georisques.gouv.fr, notamment concernant différents types de fondations ainsi que des actions de prévention de ces risques.

7.1.4. Zone inondable

Les zones inondables sont à exclure pour la solution technique décrite ici car les isolants biosourcés sont particulièrement sensibles à l'humidité.

7.1.5. Zone tendue

Les zones tendues peuvent parfois présenter des solutions d'aide à la rénovation, il revient au maître d'ouvrage de vérifier si ces aides spécifiques sont mobilisables.

7.1.6. Milieu salin

De façon générale, en milieu salin il est important de privilégier des matériaux résistants à la corrosion. Il sera donc préférable d'utiliser des produits en acier inoxydable, notamment pour la quincaillerie de fixation.

L'acier inoxydable, en particulier de grade 316, est connu pour sa résistance supérieure à la corrosion dans les environnements salins.

7.1.7. Nappe phréatique affleurante

Les zones avec nappe phréatique affleurante sont à exclure pour la solution technique décrite ici car les isolants biosourcés sont particulièrement sensibles à l'humidité.

7.1.8. Arrachement/vent

D'après la carte de zonage de l'annexe nationale de l'Eurocode 1 (EN 1991-1-4), la majeure partie de notre zone d'étude se situe en zone 3. Il sera donc nécessaire de prendre en compte les contraintes liées au vent et données par l'Eurocode 1 pour dimensionner le système de fixation des modules d'ITE.

D'autre part, des dispositions spécifiques aux zones de vent et aux hauteurs de bâtiment peuvent s'appliquer aux toitures-terrasses, elles sont définies dans le DTU 43.1.

7.1.9. Accessibilité

L'accès au chantier doit pouvoir permettre à un camion poids lourd de livrer les matériaux et à une grue de s'installer afin de déplacer les différents modules et permettre leur mise en œuvre.

7.1.10. Environnement bruyant

La solution permet une amélioration phonique du fait des caractéristiques des matériaux la composant, notamment les matériaux isolants.

Dans le cas d'un environnement extérieur bruyant, les bouches d'entrée d'air doivent être équipées de dispositifs réduisant les nuisances sonores extérieures.

7.1.11. Zone littorale

Notre zone d'étude étant en région de vents classe 3, sur les littoraux une membrane pare-pluie est préconisée en protection définitive pour les cas correspondant au niveau d'exigence de résistance à la pénétration de la pluie battante Ee2 du tableau 1 du NF DTU 31.2.

Les membranes doivent être conformes aux exigences des NF DTU 31.2 et 31.4 et disposer d'une performance de résistance aux UV de 1000 h (Ee1) ou 5000 h (Ee2).

7.1.12. Zone de montagne

La solution d'ITE décrite ici, pour l'ITE en mur comme en toiture, ne pourra être mise en œuvre qu'en climat de plaine, donc hors zone de climat de montagne et hors zones très froides.

7.2. Adaptations de type 3 liées à l'état initial

7.2.1. Remontées capillaires

Dès lors qu'il y a suspicion de remontées capillaires (traces d'humidité en pied de mur, décollement d'enduits, moisissures, etc.), un diagnostic approfondi devra être réalisé par un spécialiste (bureau d'études structure ou pathologie du bâti, expert humidité, hydrogéologue...).

Ce diagnostic visera à :

- Confirmer ou infirmer la présence de remontées capillaires ;
- Identifier leur origine et leur ampleur ;
- Proposer, le cas échéant, des solutions de traitement adaptées (injection de résine, drainage périphérique, barrière étanche...) ;
- Déterminer si une isolation thermique par l'extérieur est envisageable en l'état ou si un traitement préalable est impératif.

Si le problème ne peut être réglé, il sera alors nécessaire de mettre en œuvre une autre solution d'ITE, utilisant par exemple un isolant insensible à l'humidité.

7.2.2. Perte d'usage

Afin d'éviter les pertes d'usage pour des balcons, escaliers et accès extérieurs lors de la mise en œuvre d'une ITE, nous préconisons de déposer ces éléments qui constituent de grosses contraintes thermiques et des freins à la pose d'une ITE.

Ce peut être l'occasion pour les habitants de repenser la distribution du logement et d'envisager l'installation d'un escalier intérieur. Sinon, l'escalier extérieur pourra être par exemple un système autoportant venant juste en appui sur l'ITE.

7.2.3. Capacité porteuse du bâti existant

La capacité porteuse du bâti existant et du sol doit être évaluée par une étude de sol et un bureau d'étude structure afin de s'assurer que le bâti peut supporter la charge que représente le système d'ITE.

En cas de fissure ou d'affaissement, le bureau d'étude structure prendra en compte ces paramètres dans l'étude de la capacité porteuse du bâtiment. Voir § 9.1.3 et annexe 3 – Étude structure.

7.2.4. Biodiversité

Le diagnostic initial doit permettre d'identifier la présence de faune et de flore particulière au sein même du bâtiment.

La mise en œuvre d'une ITE en mur comme en toiture sur un bâtiment existant mène bien souvent à la destruction d'habitats pour la faune et la flore locale, que ce soit en milieu rural ou urbain. Il convient donc pour pallier ce problème d'intégrer à la solution d'ITE des abris et nichoirs adaptés aux espèces identifiées.

D'autre part, la temporalité du projet devra prendre en compte les périodes de nidification et de reproduction des espèces locales susceptibles d'être impactées par les travaux de rénovation.

Pour rappel : « *Entreprendre des travaux de rénovation du bâti durant la période de nidification ou de reproduction entraînant la destruction de sites de nidification, sans autorisation préfectorale, constitue un délit passible de 3 ans d'emprisonnement et 150.000 € d'amende (article L415-3 du Code de l'environnement). Pour les personnes morales, l'amende est de 750.000 €.* »

Le détail des démarches et obligations préalables à la rénovation d'un bâtiment est décrit dans le guide technique « [Rénovation du Bâti et biodiversité](#) ».

L'intégration d'abris et nichoirs est détaillée au § 6.2.16.

7.3. Règles de conception

7.3.1. Règles liées aux risques hygrothermiques

En toiture terrasse, en l'absence de membrane d'étanchéité existante ou si la membrane existante est fortement dégradée, il est impératif d'appliquer un pare vapeur bitumineux continu sur le support béton avant d'installer les panneaux préfabriqués.

Dans le cas où une isolation intérieure est présente ou ajoutée en complément de l'ITE, une vérification du fonctionnement de la paroi à l'aide d'une simulation de type Wufi est recommandée en faisant appel à un bureau d'étude spécialisé. A minima, il est nécessaire d'appliquer la règle dite « $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$ » détaillée dans les documents suivants :

- NF DTU 45.10 § 5.2.3.1 pour les rampants de toiture ;
- NF DTU 31.2 pour les murs.

De façon générale, les règles liées aux risques hygrothermiques sont décrites dans le document : « [*Maîtriser la migration de vapeur d'eau dans les parois*](#) ».

Les règles applicables à la mise en œuvre pour la continuité du pare-vapeur sont décrites au § 9.3.2.

7.3.2. Vide technique et isolation complémentaire sous rampants

Un vide technique d'environ 15 mm est systématiquement créé en sous-face des rampants. Ce vide est obligatoire selon le DTU 31.2 pour les murs à ossature bois. Bien que ce ne soit pas une obligation formelle pour les rampants en rénovation, on le considère comme une pratique essentielle pour ne pas percer l'étanchéité à l'air des caissons, permettant de passer l'ensemble des réseaux dans cet espace.

Afin de l'optimiser, il est conseillé de mettre en œuvre une isolation complémentaire dans ce « vide » technique une fois les réseaux en place.

Ainsi, le système de toiture étant composé de deux isolants, l'un insufflé en atelier dans les caissons et l'autre mis en œuvre sur chantier en sous-face des caissons (sans frein-vapeur), il est nécessaire de s'assurer du bon fonctionnement de la paroi au regard de la migration de la vapeur d'eau.

Pour cela, se référer au § 7.3.1.

7.3.3. Ventilation en sous-face de la toiture-terrasse

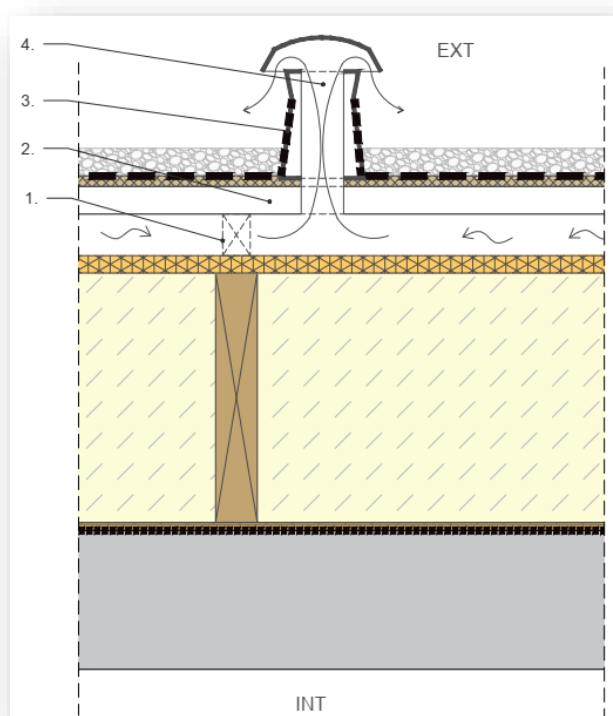
Une part importante de l'innovation de la solution technique décrite ici réside dans l'utilisation de matériaux biosourcés pour l'isolation des toitures-terrasses. En effet, la mise en œuvre de matériaux biosourcés sous un revêtement d'étanchéité très peu perméable à l'eau présente un risque important de sinistralité si la vapeur d'eau ne peut être évacuée d'autre part, c'est pourquoi la qualité de la ventilation en sous-face de l'étanchéité de toiture-terrasse est primordiale.

Cette ventilation est permise par une lame d'air ventilée (de hauteur minimale 6 cm), elle doit être traversante dans tous les sens, avec des ouvertures sous forme de fente de 1 cm d'épaisseur minimum entre chaque travée de tasseau (donc tous les 60 cm maximum) et sur toutes les faces du bâtiment. Chaque fente doit être munies de dispositifs anti-insecte et anti-rongeur.

Dans l'idéal, les taux de renouvellement d'air minimum de la lame d'air ventilée en sous-face de la toiture-terrasse doivent être définis via une étude hygrothermique. Dans tous les cas, ces taux de renouvellement d'air ne pourront être inférieurs à 1 volume/heure.

La circulation de l'air à l'horizontale étant nettement moins efficace qu'à la verticale, il est conseillé d'ajouter des cheminées de ventilation pour augmenter les débits dans la lame d'air et s'assurer d'une bonne homogénéité de la ventilation.

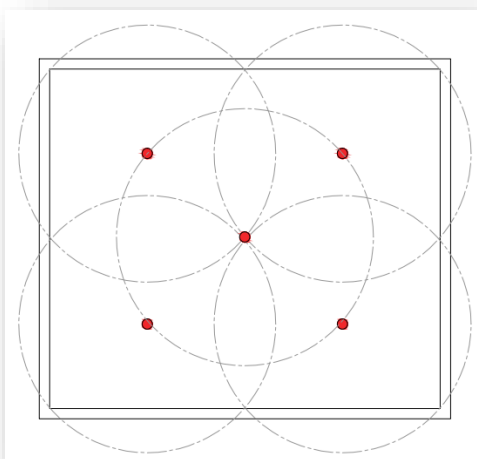
Cheminées de ventilation ponctuelles



1. Tasseaux ponctuels permettant l'aménagement d'une lame d'air ventilée (réemploi potentiel)
2. Tasseaux support du platelage OSB
3. Remontée d'étanchéité
4. Cheminée de ventilation

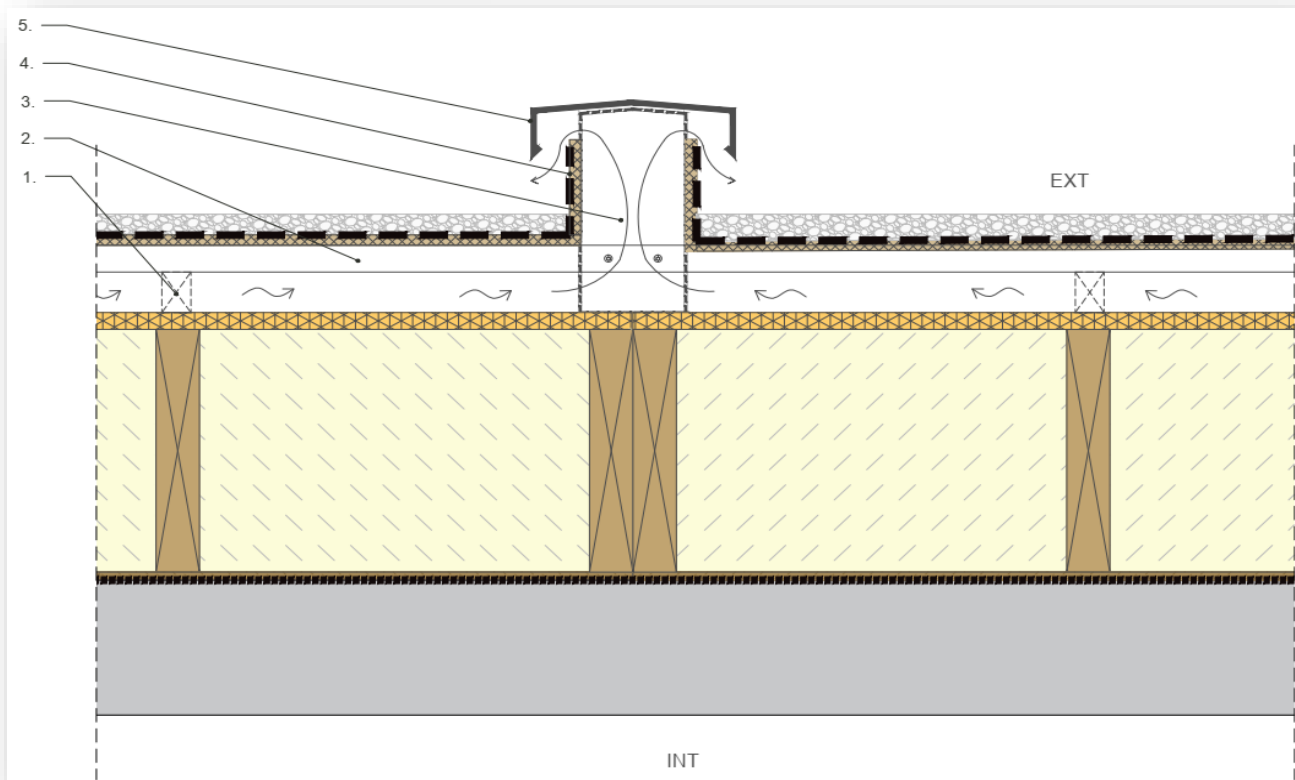
Ces cheminées de ventilation doivent être réparties de façon à couvrir l'intégralité de la surface de toiture, chacune couvrant une zone de 20 m² soit un cercle de 2,5 m de diamètre environ, selon le schéma donné en exemple ci-dessous :

Cheminées de ventilation filantes



Les points rouges représentent les cheminées ponctuelles réparties pour assurer la ventilation de l'ensemble de la toiture.

Les cercles autour des points rouges représentent le champ d'action des cheminées.



1. Tasseaux ponctuels permettant l'aménagement d'une lame d'air ventilée (réemploi potentiel)
2. Tasseaux support du platelage OSB
3. Pièces de bois ponctuelles fixées au tasseautage supérieur et support des pièces d'OSB permettant la remontée d'étanchéité
4. Remontée d'étanchéité
5. Couvertine

Remarque : devront être validés par un bureau d'étude compétent les sections minimales des ouvertures permettant le bon taux de renouvellement d'air, le positionnement des ouvertures et leur recouvrement par les couvertines, les grilles et accessoires de ces ouvertures, les exigences contre le ruissellement...

7.3.4. Fixation des modules au support

En pied de mur, les modules doivent reposer sur une lisse basse ou sur une équerre (ou cornière) métallique, permettant de reprendre les efforts verticaux liés à la masse du système d'ITE. Le dimensionnement des supports et leur méthode d'ancrage devront être justifiés par le calcul et conformes au DTU 31.4.

Ces éléments sont complétés par un système de fixation des modules sur les murs adaptés à la nature de ce mur et permettant de reprendre toutes les autres forces s'exerçant sur le système d'ITE, notamment les forces d'arrachement liées au vent. Ces éléments doivent eux aussi être justifiés par le calcul et conformes au DTU 31.4.

D'une façon générale, pour la fixation des façades à ossature bois, le DTU 31.4 précise que *« Les justifications mécaniques et les dimensionnements doivent être réalisés selon l'Eurocode 5 (NF EN 1995-1-1) pris dans le corpus général des Eurocodes. »*.

Quelle que soit la méthode d'ancrage des fixations dans le support, il est nécessaire de réaliser des tests de résistance à l'arrachement. Les protocoles de réalisation de ces tests sont décrits dans le Cahier CSTB 1661, l'annexe 2 du Cahier CSTB 3035 et les « Recommandations pour la réalisation d'essais de chevilles sur site (ou sur chantier) » du CISMA.

Pour la toiture-terrasse, se référer au DTU 43.1 ; pour la toiture en pente, se référer au NF DTU 31.1.

7.3.5. Dimensions des modules

Afin de faciliter la répliquabilité et d'optimiser la fabrication des modules, il est recommandé d'utiliser au maximum des dimensions de modules standards (par exemple 3 m x 3 m) couvrant ainsi la majorité de la surface de façade du bâtiment à isoler. Pour adapter les dimensions de l'ITE à celles du bâtiment, des petits modules de dimensions variables sont fabriqués pour couvrir les surfaces qui ne peuvent l'être par les modules de dimensions standards.

Cependant, il convient de noter que des limites dimensionnelles sont définies par les ATEx et les moyens de transport :

- L'ATEX n° 3219_V2 pour la paille insufflée et l'ATEX n° 20/19-441_V2 pour la ouate de cellulose précisent que la hauteur des caissons ne peut excéder 3 m ;
- Le transport des modules depuis leur site de fabrication jusqu'au chantier se faisant en camion, il est préférable d'éviter le transport de modules de plus de 4 m qui nécessite la qualification du transport en convoi exceptionnel, ce qui rajoute un coût et des contraintes importantes.

7.3.6. Menuiseries

Il existe plusieurs possibilités pour les menuiseries lors de la pose de l'ITE : soit elles doivent être remplacées, auquel cas elles peuvent être intégrées directement dans les modules d'ITE en phase de préfabrication, soit elles sont conservées. Dans ce dernier cas, il existe encore deux possibilités : soit il est possible de les déplacer pour les poser dans l'épaisseur de l'ITE, soit elles sont laissées en place et les ponts thermiques en périphérie doivent être traités comme décrit dans le § 6.2.14 et les règles de l'art citées ci-dessous.

Remarque : dans le cas du remplacement ou du déplacement des menuiseries, la pose de celles-ci vers l'extérieur du bâtiment permet d'une part d'éliminer certains ponts thermiques mais aussi de maximiser les apports solaires (chaleur + luminosité).

Les règles de l'art sont détaillées dans le guide RAGE « [Menuiseries extérieures avec une isolation thermique par l'extérieur](#) » et le calepin de chantier « [FENÊTRES AVEC ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR](#) ».

8. CONDITIONS DE FABRICATION

Les conditions de fabrication se basent sur les techniques courantes en vigueur, si celles-ci se trouvaient être hors du cadre réglementaire elles se raccrocheront aux règles des techniques les plus proches, par exemple les règles FOB pour l'ossature bois ou les caissons chevronnés isolants supports de couverture pour les modules des toitures, ou encore les règles de la construction paille et les ATEX en vigueur pour les isolants biosourcés.

La fabrication et la mise en œuvre de cette solution respecteront donc les bonnes conditions définies par les DTU, les ATEX et les règles professionnelles citées dans ce document, ainsi que les préconisations des fabricants des matériaux.

De façon générale, les règles applicables à la conception et à la réalisation de cette solution d'ITE devront se rapprocher au maximum de :

- Pour l'ITE mur : NF DTU 31.2 (construction de maisons et bâtiments à ossature bois), NF DTU 31.4 (façades à ossature bois) et NF DTU 45.4 (systèmes d'isolation thermique par l'extérieur en bardage rapporté avec lame d'air ventilée).
- Pour l'ITE toit plat : NF DTU 43.1 (étanchéité des toitures-terrasses et toitures inclinées avec éléments porteurs en maçonnerie en climat de plaine) et NF DTU 43.4 (Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtements d'étanchéité).
- Pour l'ITE toit en pente : NF DTU 31.1 (charpente en bois) et NF DTU série 40.2* (couvertures en tuiles).
- Pour l'utilisation de la paille : les règles professionnelles de la construction en paille ainsi que l'ATEX n° 3219_V2.
- Pour l'utilisation de la ouate de cellulose : ATEX n° 20/19-441_V2.
- Pour la fumisterie : NF DTU 24.1 (Travaux de fumisterie) et Cahier CSTB 3816.
- Pour le réemploi : fiche technique sur le réemploi (voir annexe 2).

9. MISE EN ŒUVRE

9.1. Acceptation du gros œuvre

9.1.1. Vérification état du support et remise en état

Le support doit être sain, propre, exempt de toute fissure, dégradation ou marque d'excès d'humidité, comme par exemple des remontées capillaires. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de faire intervenir un professionnel compétent avant de commencer tous travaux d'isolation (voir § 7.2.1).

Si une partie de la charpente bois existante est conservée, elle doit être traitée contre les champignons et les xylophages. Si ce n'est pas le cas, il sera nécessaire de faire intervenir un professionnel compétent avant de commencer tous travaux d'isolation.

Les tolérances dimensionnelles des supports admissibles sont décrites au § 5.2 du NF DTU 31.4 P1-1.

9.1.2. Tests préalables

Des tests permettant de vérifier la résistance des points d'accroche dans la paroi support devront être effectués avant travaux, selon les protocoles définis dans le Cahier du CSTB

166], l'annexe 2 du Cahier du CSTB 3035 et les « *Recommandations pour la réalisation d'essais de chevilles sur site (ou sur chantier)* » du CISMA.

9.1.3. Étude structure

Une étude structure doit être réalisée pour vérifier la capacité portante des structures porteuses (notamment des fondations) et la stabilité globale du bâtiment (voir annexe 3 donnée en exemple, étude structure établie suivant la typologie de maison et le type de fondations).

9.2. Conditions de transport et de stockage sur site

9.2.1. Préparation et conditionnement

- Emballage étanche

Utiliser des housses plastifiées, films PE ou bâches micro-perforées (selon la capacité de respiration nécessaire), pour protéger les panneaux/caissons contre les projections d'eau et la condensation.

- Palette filmée

Empiler les éléments sur palettes avec un film rétractable étanche, renforcé sur les arêtes pour éviter les déchirures.

- Séparateurs

Prévoir des intercalaires en carton hydrofuge ou en bois pour éviter l'écrasement et améliorer la ventilation.

9.2.2. Transport

- Camion bâché ou conteneur fermé

Transporter les matériaux dans un semi-remorque bâché ou un conteneur fermé afin d'éviter tout contact direct avec la pluie.

- Ventilation

Prévoir une légère circulation d'air pour limiter la condensation interne (surtout en cas de différences thermiques entre stockage et transport).

- Chargement soigné

Positionner les caissons/matériaux à plat et sangler sans excès pour ne pas les déformer.

9.2.3. Logistique et délais

- Réduction du temps d'exposition

Planifier un transport en flux tendu pour limiter la durée de stockage intermédiaire.

- Itinéraire adapté

Privilégier un trajet court et éviter les zones à forte hygrométrie prolongée (zones portuaires, trajets maritimes sans protection adaptée).

9.2.4. Méthode de stockage sur chantier des matériaux biosourcés

- Implantation de la zone de stockage
 - o Définir une zone sèche et plane, stabilisée et hors d'eau, de préférence proche de la zone de mise en œuvre pour limiter les manutentions,
 - o Éloigner la zone des points d'eau, zones boueuses et risques de ruissellement.
- Mise hors-sol
 - o Poser les palettes sur cales en bois, bastaings ou palettes secondaires pour éviter tout contact avec le sol,
 - o Laisser un espace de circulation pour l'aération et la manutention.
- Protection contre les intempéries
 - o Recouvrir les palettes d'une bâche respirante (type bâche micro-perforée ou textile non tissé),
 - o Protéger de la pluie directe.
 - o Éviter la condensation sous une bâche totalement étanche.
- Ventilation
 - o Ne pas bâcher hermétiquement : laisser des espaces de ventilation sur les côtés pour évacuer l'humidité,
 - o Éviter l'empilement excessif qui peut bloquer la circulation d'air,
 - o Éviter l'effet « condensation sous bâche ».
- Durée de stockage
 - o Limiter le stockage à quelques jours/semaines maximum avant pose,

- Prioriser un stockage en flux tendu, surtout en période humide.
- Manipulation
 - Déplacer les palettes avec soin (chariot élévateur, transpalette) pour éviter les chocs et déformations,
 - Vérifier l'intégrité des protections (films, housses) après chaque manutention.

9.2.5. Protection des matériaux biosourcés en cours de pose

Cette protection est cruciale car ces matériaux (fibres végétales, chanvre, ouate de cellulose, laine de bois, paille, etc.) sont très sensibles à l'humidité et aux UV.

Voici les principales recommandations de protection en phase chantier :

- Durée maximale admissible d'exposition à l'air libre des modules posés : < 48h ;
- Films pare-pluie provisoires : recouvrir les caissons isolants avec un pare-pluie HPV (hautement perméable à la vapeur) dès la pose ;
- Pose par étapes courtes : limiter le délai entre la pose des isolants et la mise en place de la protection extérieure (enduit ou bardage) ;
- Bâches respirantes temporaires : si arrêt de chantier, protéger les façades avec des bâches micro-perforées tendues, permettant à la vapeur de s'évacuer tout en empêchant l'eau de pénétrer ;
- Gestion des jonctions : scotcher les raccords de films provisoires pour éviter les infiltrations d'eau de pluie ;
- Mise hors d'eau rapide : prioriser la mise en œuvre de l'étanchéité provisoire dès que l'isolant biosourcé est posé ;
- Film étanche de chantier : recouvrir les zones isolées avec une bâche lourde lestée (sacs de sable, bastinges) en fin de journée ;
- Drainage provisoire : incliner légèrement la surface et prévoir des évacuations temporaires pour éviter toute stagnation d'eau sur les modules ;
- Filet + bâche de protection : en cas d'arrêt, poser un filet de sécurité sous charpente + bâche étanche extérieure pour éviter ruissellement et condensation ;
- Ventilation temporaire : prévoir un vide d'air sous bâche afin de limiter les phénomènes de condensation.

9.2.6. Bonnes pratiques générales

- Travailler en flux tendu : limiter le temps entre la pose de l'isolant et sa mise hors d'eau définitive ;
- Protéger en fin de journée : ne jamais laisser un isolant biosourcé exposé la nuit ou pendant un week-end ;
- Inspection quotidienne : vérifier chaque jour l'état des protections provisoires ;
- Formation des compagnons : sensibiliser les équipes à la fragilité de ces matériaux pour éviter les perforations accidentelles de films protecteurs.

9.3. Points d'attention

9.3.1. Protection contre l'humidité

Tous les produits biosourcés dans le bâtiment craignent l'humidité, il est donc impératif d'apporter un soin particulier aux éléments d'étanchéité ainsi qu'à la protection des matériaux pendant la phase de chantier.

L'objectif est d'éviter à la fois l'infiltration d'eau et la condensation interne, deux risques majeurs pour des isolants biosourcés (voir § 9.2).

Aussi, des valeurs limites d'humidité massique pour les matériaux biosourcés peuvent conduire à un refus de mise en œuvre, par exemple :

- Paille de riz insufflée : $\geq 15 \%$;
- Ouate de cellulose : $\geq 13 \%$;
- Panneaux en fibre de bois (pare-pluie) : $\geq 12 \%$;
- Bois massif (montants/lisses) : $\geq 18 \%$.

Toute mesure doit être réalisée à l'aide d'un humidimètre calibré ou par prélèvement/étuve conformément aux règles professionnelles de la construction en paille.

9.3.2. Lame d'air parasite

Aucune lame d'air, même partielle ou accidentelle, ne doit être présente entre la paroi support et les modules de mur ou de toiture.

La création d'un vide non maîtrisé entre le support et les panneaux est strictement interdite, car elle peut devenir un espace propice aux circulations d'air parasites, à la condensation, à l'humidification des matériaux biosourcés et au développement fongique.

C'est pourquoi une étanchéité à l'air doit être réalisée en pied de mur, telle que décrite dans le [Guide de mise en œuvre](#).

9.3.3. Continuité des CTB-H

Pour les modules de mur comme pour ceux de toiture, les panneaux de particules certifiés CTB-H participent à la résistance au transfert de vapeur d'eau avec une valeur S_d constante (2-6 m).

Un soin particulier doit être apporté à la continuité, aussi les jonctions de panneaux, les ouvertures et les traversées de paroi devront être traitées par un adhésif, un mastic ou une colle (se référer au DTU 31.2).

Aux jonctions de modules, cette fonction doit être assurée par une mousse ou un cordon de mastic-joint spécifiques (se référer au DTU 31.2).

9.3.4. Insufflation de l'isolant

Se fait en préfabrication en atelier, notamment pour la gestion précise de la densité de l'isolant insufflé, permettant ainsi d'éviter tout problème de tassement.

Dans le cadre de cette étude, les isolants visés sont la paille de riz et la ouate de cellulose produites localement. Les préconisations de mise en œuvre de ces matériaux sont décrites :

- Pour la paille de riz hachée, dans le dossier technique en annexe de l'ATEX n° 3219_V2 ;
- Pour la ouate de cellulose, dans le dossier technique en annexe de l'ATEX n° 20/19-441_V2.

Si un autre isolant biosourcé local est utilisé, les préconisations de mise en œuvre sont celles décrites dans l'ATEX du produit utilisé.

10. COMPÉTENCES REQUISES

La mise en œuvre de la solution technique pour les lots principaux nécessite de nombreuses compétences : construction bois, charpente, couverture, enduits de façade, insufflation d'isolants biosourcés...

Aussi, la conception et la mise en œuvre de cette solution étant complexes, elles sont réservées aux charpentiers et constructeurs bois. Par ailleurs, la conception doit être validée par un bureau d'étude structure notamment pour le dimensionnement des éléments et la justification de la résistance mécanique de l'ensemble.

La compétence liée à l'insufflation d'isolants biosourcés étant très spécifique et peu répandue à l'heure actuelle, il est recommandé de suivre les formations suivantes :

- Formation Pro-paille ([RFCP](#)) ;
- Formation mise en œuvre de paille hachée ([SCIC ielo](#)) ;
- Formation « TECHNIQUES ET PRATIQUES DE CONSTRUCTION EN PAILLE » (CAPEB 13).

11. PARCOURS PROJET

Chronologie de la solution

1. Le maître d'ouvrage (MO) contacte une entreprise (ou un Espace Conseil France Rénov', un maître d'œuvre, un architecte...).
2. L'entreprise effectue une première visite :
 - Définition du projet du MO (possibilité de projet collectif ? Voir démarche MORICE) ;
 - Définition des besoins et envies du MO ;
 - Diagnostic de l'état initial du bâtiment.
3. L'entreprise propose une solution technique adaptée et son chiffrage.
4. Le MO intègre le MAR ou se renseigne sur les aides financières.
5. Contractualisation entre l'entreprise et le MO (sous réserve de validation technique par le diagnostic spécifique et le BE structure).
6. Réalisation des diagnostics spécifiques (vérification d'absence de remontées capillaires, de la capacité porteuse de la structure et des fondations, tests de résistance à l'arrachement...) et prises de cotes ou scan 3D du bâtiment.
7. Recherche des matériaux disponibles localement (sourcing) : réemploi, isolant paille de riz (ressource saisonnière) ou ouate de cellulose, bois local...
8. Dimensionnement, calepinage, puis préfabrication de la solution.
9. Mise en œuvre de la solution (voir « [Guide de mise en œuvre](#) »).
10. Réception des travaux par le MO.
11. Suivi des consommations et du confort des occupants.

ANNEXES

ANNEXE_1-ENQUÊTE_PROPRIÉTAIRES

ANNEXE_2-FICHE_RÉEMPLOI_CREALEAD_MAS_ RÉEMPLOI

ANNEXE_3-NDC_ÉTUDE_STRUCTURE

ANNEXE 4 – DESCRIPTION DES MAISONS VISÉES