

Référence : 26087856-26087858

APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL22-333/A_v3

JUSTIFICATION AU SENS DE L'ARTICLE 2.4.3 DE L'I.T. N°249 DU 24 MAI 2010 ET AU SENS DE L'ANNEXE 3 DE L'ARRÊTÉ DU 31 JANVIER 1986 MODIFIÉ

Systemes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE) appliqués sur façade en bois

Demandeurs :
CODIFAB, AFIPEB, SIPEV, SNMI

Rédacteur(s)	Vérificateur	Approbateur	Version	Date
Olivier CHEZE	Martial BONHOMME	Philippe LEBLOND	Pro	06/04/2022
Benoit-Louis MARIE-JEANNE	Seddik SAKJI	Seddik SAKJI	1.	15/12/2023
Maria BLASONE	Seddik SAKJI	Seddik SAKJI	2.	19/01/2024
Maria BLASONE	Seddik SAKJI	Seddik SAKJI	3.	27/03/2024

DURÉE DE VALIDITÉ : jusqu'au 30/03/2029

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral, sauf accord particulier du CSTB.

Ce document comporte 33 pages.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 83 28/33 – ea2r@cstb.fr – www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N°AL22-333/A_v3

Systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE) appliqués sur façade en bois

Version	Date	Principales modifications effectuées	Partie modifiée
Projet	06/04/2022	- Création	-
1.	15/12/2023	- Mise à jour suite publication rapport essai et prise en compte des remarques CODIFAB, AFIPEB, SIPEV, SNMI	Tout le document
2.	19/01/2024	- Mise à jour selon commentaires CODIFAB, AFIPEB, SIPEV, SNMI	Tout le document
3.	27/03/2024	- Mise à jour du carnet de détails	Annexe 3

SOMMAIRE

1. OBJET	4
2. DESCRIPTION ET DOMAINE D'EMPLOI DU PROCÉDÉ	4
2.1. PROCÉDÉS VISÉS	4
2.2. DOMAINE D'EMPLOI	5
2.3. CONSTITUTION DU REVÊTEMENT EXTÉRIEUR DE TYPE ETICS	5
2.3.1. Prérequis	5
2.3.2. Systèmes d'enduits pour ETICS	6
2.3.3. Revêtements décoratifs	6
2.3.4. Solutions de protection par bandes filantes incombustibles	7
2.3.5. Fixations mécaniques	7
3. MISE EN ŒUVRE VISÉE	8
3.1. PAROIS SUPPORTS	8
3.2. DOUBLAGE INTÉRIEUR	8
3.3. PANNEAUX DE CONTREVENTEMENT OU DE STABILITÉ	9
3.4. ECRANS THERMIQUES DE FAÇADE	9
3.5. MEMBRANE PARE-PLUIE	10
3.6. PANNEAUX ISOLANTS	10
3.7. MENUISERIE ET TRAITEMENT D'EMBRASURES	11
3.8. COFFRE DE VOLET-ROULANT	12
3.9. RECOUPEMENT HORIZONTAL DE L'ISOLANT PSE	12
3.10. TRAITEMENT DES JOINTS	14
3.10.1. Traitement des joints de construction dans la paroi support	14
3.10.2. Traitement des joints de dilatation dans l'ETICS	15
3.10.3. Traitement des joints de fractionnement de l'enduit	16
4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX	16
4.1. ESSAIS SUR FOUR	16
4.2. ESSAIS DE FAÇADE À ÉCHELLE INTERMÉDIAIRE	17
4.3. ESSAIS LEPIR2	18
5. ANALYSES ET JUSTIFICATIONS	18
6. CONCLUSION	19
7. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	20
ANNEXE 1: TERMINOLOGIE	22
ANNEXE 2: DÉTERMINATION DE LA FRACTION MASSIQUE ORGANIQUE DU SYSTÈME D'ENDUIT (CF. ANNEXE 2 DU CAHIER CSTB 3714_V2)	24
ANNEXE 3: CARNET DE DÉTAILS	26

1. OBJET

L'objet de cette Appréciation de laboratoire, au sens de l'article 2.4.3 de l'Instruction Technique n°249 relative aux façades annexée à l'arrêté du 24 mai 2010 et au sens de l'annexe 3 de l'arrêté du 31 janvier 1986 modifié, est l'étude de la conformité des solutions de protection applicables aux systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE) dans le cadre d'une pose sur façade en ossature bois ou en panneaux bois massifs contrecollés et contrecloués.

Cette appréciation de laboratoire est la propriété des demandeurs : CODIFAB, AFIPEB, SIPEV et SNMI.

La présente appréciation de laboratoire ne concerne que les couples produits/domaine d'emploi décrits dans le présent document. Elle présente une solution applicable aux cas courants de pose d'ETICS sur façade bois. La déclinaison de cette solution à une gamme de produits spécifiques peut ainsi faire l'objet d'adaptations complémentaires non visées par le présent document.

2. DESCRIPTION ET DOMAINE D'EMPLOI DU PROCÉDÉ

2.1. Procédés visés

Les Systèmes d'Isolation Thermique Extérieure, visés dans le présent document, sont constitués d'un système d'enduit appliqué directement sur des panneaux isolants en polystyrène expansé (ETICS-PSE). La pose visée est celle sur une façade à ossature bois (COB¹ ou FOB²) ou sur des panneaux bois massifs contrecollés (CLT³) ou contrecloués avec écran thermique, et par extension, les supports maçonnés incombustibles et les supports béton.

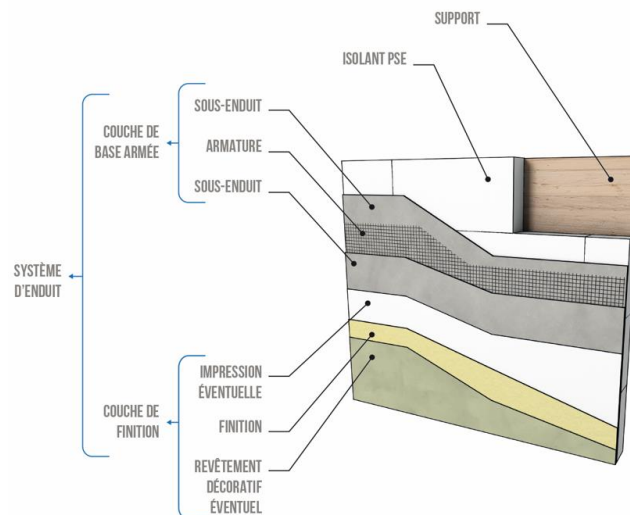


Figure 1 : Système isolation par l'extérieur par enduit sur PSE (fixation de l'isolant non représentée)

¹ COB : Construction à Ossature Bois porteuse, conforme au DTU 31.2

² FOB : Façade à Ossature Bois non porteuse, conforme au DTU 31.4

³ CLT : Cross Laminated Timber, structure porteuse en bois lamellé collé sous Avis Technique

Les panneaux isolants peuvent être collés sur un panneau support en bois ou fixés mécaniquement, au droit des montants du mur support (COB ou FOB), sur les panneaux bois massifs contrecollés (CLT) et contrecollés. Par extension toutes les solutions proposées dans le cadre de cette appréciation sont valables pour supports en béton ou en maçonnerie.

La paroi support est une façade plane, verticale, porteuse ou non porteuse, aveugle ou comportant des baies, dont les dimensions s'inscrivent dans les pratiques usuelles en fonction du type d'établissement recevant du public (ERP) ou de la famille du bâtiment d'habitation (voir §2.2).

2.2. Domaine d'emploi

Le domaine d'emploi de la présente appréciation vise, dans la limite des prescriptions relatives aux réglementations propres à chaque type de bâtiment :

- les établissements recevant du public du 1^{er} groupe à partir de R+2, et dont la hauteur du plancher bas du dernier niveau se situe entre 8 à 28 m de hauteur ;
- les bâtiments d'habitation de la 3^{ème} famille A et B.

2.3. Constitution du revêtement extérieur de type ETICS

2.3.1. Prérequis

Les ETICS-PSE visés par cette appréciation présentent un classement de réaction au feu au moins **B-s3, d0**. Ils font l'objet :

- soit d'une Évaluation Technique Européenne (ÉTE) éventuellement complétée par un Document Technique d'Application (DTA) en cours de validité ;
- soit d'un Avis Technique (ATec) en cours de validité ;
- soit d'une Appréciation Technique d'Expérimentation (ATEX) avec avis favorable ;
- soit d'un Avis de Chantier délivré par un laboratoire agréé en matière de résistance au feu.

Les matériaux isolants en PSE sont manufacturés en panneaux rigides et présentent les caractéristiques suivantes :

- ils sont en PSE blanc ou gris selon la norme NF EN 13163 ;
- ils ont une masse volumique nominale $\leq 20 \text{ kg/m}^3$;
- leur épaisseur nominale est comprise entre 20 mm et 200 mm en partie courante ;
- ils sont ignifugés et présentent une Euroclasse E ;
- ils sont fabriqués à partir d'une matière première certifiée par tierce partie (suivi de l'ignifugation lors de la production de la matière première, avec un niveau de performance équivalent à l'Euroclasse D pour l'épaisseur conventionnelle de 60 mm) ;
- les chants des panneaux peuvent être feuillurés, à rainure et languettes ou droits ;
- ils sont certifiés ACERMI ou équivalent.

Nota bene : les parois à ossature bois revêtues d'un ETICS avec isolant PSE requièrent la mise en place d'un écran thermique tel que décrit au §3.4.

La colle ou le produit de calage comprend une fraction massique organique < 30 %, le reste étant composé d'eau et de charges minérales inertes.

2.3.2. Systèmes d'enduits pour ETICS

La définition du système d'enduit, selon les caractéristiques listées ci-dessous, doit faire l'objet d'une attestation de conformité délivrée par un laboratoire agréé ou un groupe de laboratoires agréés ayant des compétences en réaction et résistance au feu, ou doit être mentionnée dans le DTA ou l'ATec de l'ETICS concerné.

❖ Système d'enduit épais

L'enduit de base et l'enduit de finition sont hydrauliques.

L'épaisseur du système d'enduit est > 10 mm et sa fraction massique organique est ≤ 5 %.

❖ Système d'enduit minéral mince

L'enduit de base est hydraulique, l'enduit de finition est minéral.

L'épaisseur de la couche de base armée est ≥ 3 mm, l'épaisseur du système d'enduit est ≥ 4 mm.

❖ Système d'enduit mixte mince

L'enduit de base est hydraulique, l'enduit de finition est organique.

L'épaisseur de la couche de base armée est ≥ 3 mm, l'épaisseur du système d'enduit est ≥ 4 mm.

❖ Système d'enduit organique mince

L'enduit de base est organique. Il se présente sous la forme d'une pâte ignifugée prête à l'emploi. Le rapport du taux d'ignifugation sur le taux de matière organique est > 1.

L'enduit de finition est organique, en pâte prête à l'emploi ignifugée. Le rapport du taux d'ignifugation sur le taux de matière organique est > 0,9.

L'épaisseur de la couche de base armée est ≥ 3 mm. L'épaisseur du système d'enduit est ≥ 4 mm et sa fraction massique organique est < 10 %.

2.3.3. Revêtements décoratifs

Lorsque les systèmes d'enduits décrits au §2.3.2 sont complétés par un revêtement décoratif, l'une des deux conditions suivantes doit être respectée :

- soit l'ETICS incluant le revêtement décoratif présente une Euroclasse au moins B-s3, d0 ;
- soit le revêtement décoratif est tel que :
 - sa fraction massique organique est < 45 %,
 - et la quantité de matière organique dans le revêtement appliqué sur l'enduit de finition est < 0,51 kg/m².

En outre, les revêtements décoratifs doivent être pris en compte dans l'attestation de conformité citée au §2.3.2 ou doivent être mentionnés dans le DTA ou l'ATec de l'ETICS concerné.

2.3.4. Solutions de protection par bandes filantes incombustibles

Des bandes de protection horizontales et continues, sont mises en œuvre sur toute la façade en recouvrement du PSE. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- laine minérale de roche selon la norme NF EN 13162 ;
- masse volumique nominale $\geq 75 \text{ kg/m}^3$;
- Euroclasse A1 ;
- certification ACERMI ou équivalent.

Ces bandes, de largeur $\geq 200 \text{ mm}$ et sans discontinuité, ont la même épaisseur que le PSE en partie courante. Elles sont collées en plein par une colle minérale compatible avec les supports bois (ou avec le support d'ETICS) et obligatoirement chevillées.

Pour des raisons architecturales, ces bandes peuvent présenter des décrochés verticaux dès lors que la continuité du recouvrement incendie est assurée.

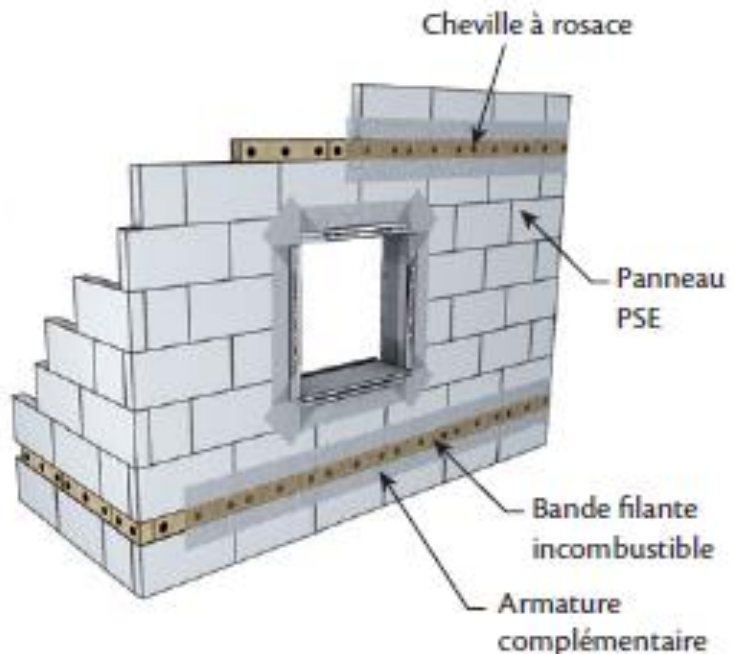


Figure 2 : protection incendie par bandes filantes incombustibles (crédit : [5])

2.3.5. Fixations mécaniques

Lorsqu'une fixation mécanique des panneaux PSE est nécessaire selon les dispositions de l'un ou l'autre des documents listés au §2.3.1, les fixations utilisées pour la mise en place des panneaux PSE de l'ETICS sur une construction bois doivent être des vis à rosace. Elles doivent alors faire l'objet d'un marquage CE selon la norme NF EN 14592+A1 ou sur la base d'une Évaluation Technique Européenne.

Ces fixations sont constituées d'une rosace ajourée en plastique et d'une vis à bois aggloméré en acier électrozingué ou en inox de diamètre 6 mm, et d'une profondeur d'ancrage $\geq 30 \text{ mm}$. Les rosaces sont montées à fleur d'isolant, ou éventuellement à cœur.

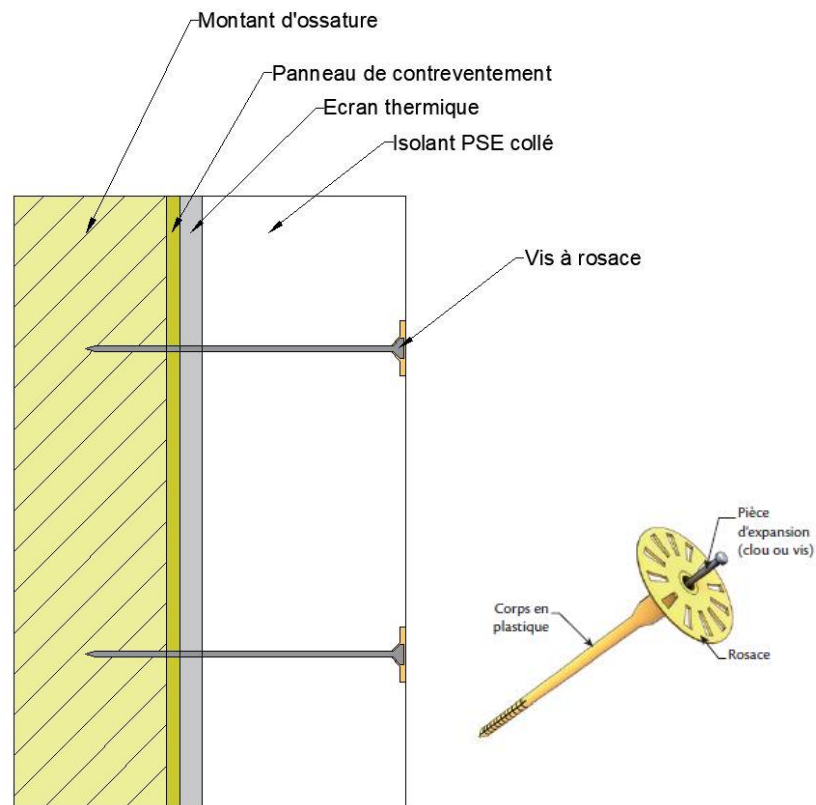


Figure 3 : Fixation de l'ETICS sur support bois avec vis à rosace

Ces fixations sont optionnelles dans le cas d'un collage en plein.

Sur support maçonnerie/béton, les fixations mécaniques sont des chevilles composées d'un corps d'expansion en plastique munie d'une rosace et d'un élément d'expansion (clou ou vis) plastique ou métallique. Les chevilles doivent faire l'objet d'un marquage CE sur la base d'une Évaluation Technique Européenne.

3. MISE EN ŒUVRE VISÉE

3.1. Parois supports

Les parois supports visées par la présente appréciation de laboratoire sont les façades constituées d'une construction à ossature bois conforme aux prescriptions du NF DTU 31.2 (COB) ou du NF DTU 31.4 (FOB), ou de panneaux bois massifs contrecollés (CLT) ou contre-cloués validé par un avis technique (ATec) **dans les limites d'application de ce dernier.**

La façade peut être mise en œuvre en jonction avec un nez de dalle béton, un nez de plancher à ossature bois ou un nez de plancher constitué de panneaux bois massifs contrecollés ou contre-cloués.

3.2. Doublage intérieur

Les solutions de murs validées dans le présent document sont toutes justifiées avec la contre-cloison et/ou le plafond intérieur jouant à lui seul le rôle de résistance au feu, sans participation de la structure bois.

Les autres prescriptions du guide Bois Construction [4] concernant les performances de résistance au feu du plancher et la protection par plafond suspendu en plaques de plâtre s'appliquent.

3.3. Panneaux de contreventement ou de stabilité

Les panneaux de contreventement des COB assurent la fonction de contreventement de l'ossature bois, qui joue un rôle dans la stabilité du bâtiment. Les spécifications sont indiquées dans le NF DTU 31.2 - Partie 1-2 (CGM). Les panneaux de contreventement peuvent être disposés côté intérieur et/ou côté extérieur aux ossatures.

Les panneaux de stabilité des FOB assurent la résistance aux efforts dans le plan du panneau de façade à ossature bois. Ces panneaux n'assurent pas le rôle de contreventement du bâtiment. Ils assurent la stabilité de l'élément de façade seul. Les spécifications sont indiquées dans le NF DTU 31.4 - Partie 1-2 (CGM).

Les panneaux à base de bois conformes à la norme NF EN 13986 peuvent être utilisés en tant que panneaux supports d'ETICS (dès lors que la fonction d'écran thermique est assurée par ailleurs) et/ou comme panneau de contreventement ou panneaux de stabilité. Ils peuvent être des :

- panneaux de contreplaqué ;
- panneaux Lamibois (LVL) ;
- panneaux de lamelles minces, longues et orientés (OSB) ;
- panneaux de particules.

Les panneaux extérieurs, validés dans le cadre d'Avis technique pour un usage en contreventement ou stabilité, sont également autorisés en tant que support d'ETICS. Dans le cas où le panneau support d'ETICS ne remplit pas le rôle de panneau de contreventement ou panneau de stabilité extérieur, il conviendra de superposer les 2 panneaux.

NOTE 1 : un panneau de contreventement ne peut pas jouer le rôle d'écran thermique de façade au sens du §3.4 et inversement, sauf s'il dispose d'une APL visant ces deux fonctions.

3.4. Ecrans thermiques de façade

Un écran thermique extérieur est nécessaire pour protéger les éléments combustibles de l'ossature bois en cas de feu en façade. Cet écran peut être de différentes natures.

Les préconisations spécifiques à ces écrans sont définies dans le chapitre 1.3 du guide [4]. Parmi ceux-ci, on retrouve les :

- panneaux en bois validés pour cette application présentant une Euroclasse au moins B-s3, d0 d'épaisseur nominale minimale 22 mm, utilisables pour les ETICS-PSE dont les panneaux sont collés en plein ;
- plaques rigides d'Euroclasse A2-s3, d0 *a minima*, d'épaisseur nominale minimale 12,5 mm, pour les autres procédés d'ETICS-PSE visés par la présente appréciation, avec un classement de résistance au feu minimal EI30.

Les écrans sont interposés entre l'isolant PSE de l'ETICS et les panneaux de contreventement ou de stabilité décrits au §3.3. Ils sont fixés aux montants de l'ossature à travers le panneau de contreventement ou le panneau de stabilité de la COB/FOB ou directement sur la paroi en bois massif de type contre-cloués ou contrecollés, par l'intermédiaire de vis de diamètre 3,5 mm minimum, tous les 200 mm en périphérie de l'écran et tous les 600 mm sur les montants d'ossature intermédiaire. La longueur d'ancrage de la vis correspond à 1,5 fois l'épaisseur de l'écran rigide à fixer. La longueur minimale de la vis est donc de 2,5 fois l'épaisseur de l'écran rigide.

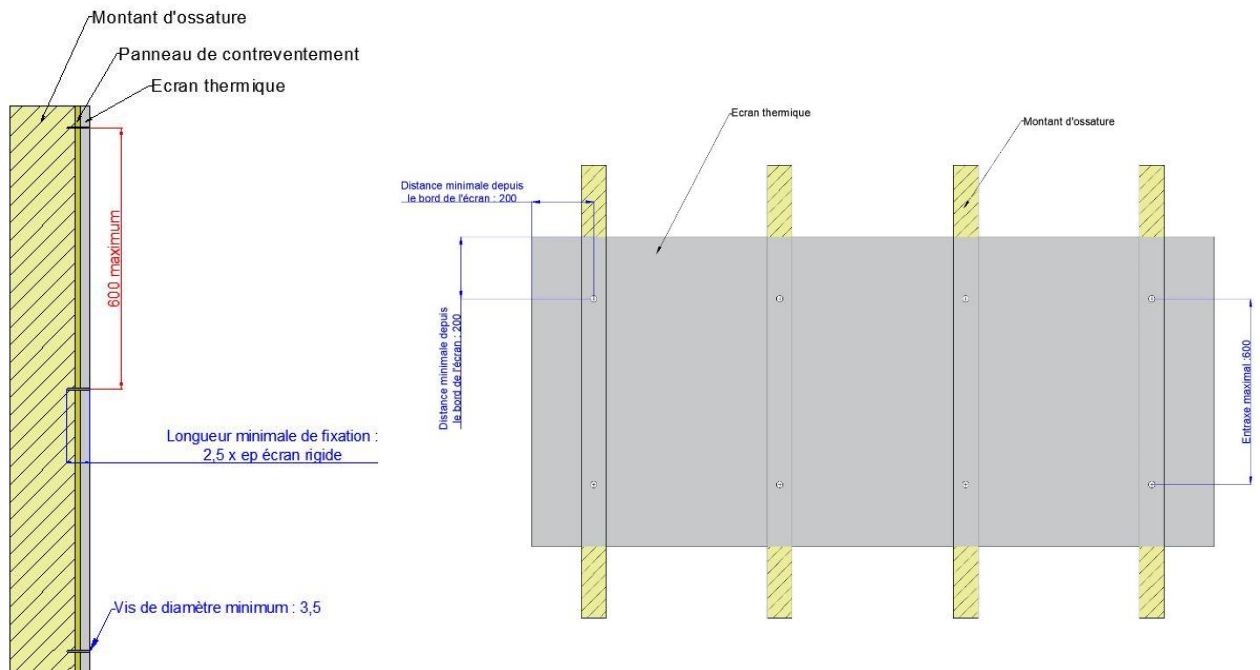


Figure 4 : Dispositions pour la fixation de l'écran thermique

3.5. Membrane pare-pluie

Si la conception de la façade prévoit la mise en œuvre d'un film pare-pluie, il devra être conforme aux prescriptions des NF DTU 31.2 et NF DTU 31.4 et de niveau de performance en réaction au feu d'Euroclasse E a minima.

La membrane souple peut être adhésive ou non. Elle est mise en œuvre entre les panneaux isolants et l'écran thermique de façade.

Toutefois, le collage en plein des panneaux isolants en PSE ne permettant pas à ce jour l'utilisation de pare-pluies souples autoadhésifs ou agrafés sur l'écran thermique, ce dernier doit avoir des propriétés de pare-pluie sans altérer la performance feu, validées par un avis technique, et compatibles avec les colles pour ETICS (à dispersion ou ciment).

3.6. Panneaux isolants

Les panneaux isolants en PSE peuvent être : collés en plein sur le support jouant le rôle de pare-pluie, avec des fixations mécaniques optionnelles. Les caractéristiques de la colle sont indiquées au §2.3.1.

Les fixations sont mises en œuvre à fleur ou à cœur d'isolant et avec une densité moyenne déterminée par la charge de vent du projet. Sur support bois, elles sont disposées au droit des montants de l'ossature en bois (pour rappel, l'écran thermique est alors obligatoirement composé de plaques rigides d'Euroclasse A2-s3, d0 a minima). Les caractéristiques des vis à rosace sont données au §2.3.5.

NOTE 2 : pour un support en béton ou maçonnerie, les panneaux sont calés et chevillés suivant le CPT 3035 en vigueur.

3.7. Menuiserie et traitement d'embrasures

Les baies reçoivent des menuiseries extérieures de tout type, natures et dimensions, positionnées :

- en tunnel, dans toutes les positions du nu intérieur ou nu extérieur du gros-œuvre ;
- en applique intérieure, le dormant étant installé au droit de la contre-cloison de doublage ;
- en applique extérieure, jusqu'au nu extérieur de l'ETICS, le dormant étant installé sur pattes-équerrés ou sur précadre continu.

Des bandes de protection sont mises en œuvre sans discontinuité entre les baies et sur toute la périphérie des baies (y compris en appui de baie). Ces bandes ont la même épaisseur que l'isolant PSE en partie courante.

Les caractéristiques de l'isolant laine de roche sont indiquées au §2.3.4.

Autour des baies, en applique extérieure, les bandes de protection sont découpées en « L » afin d'éviter les joints filants, en respectant une distance minimale de 200 mm. Elles sont positionnées horizontalement et verticalement (en appui et en voussure), ainsi qu'à gauche et à droite (en retour de tableaux).

Les bandes sont collées en plein avec un mortier hydraulique en poudre à gâcher avec de l'eau, ou un mortier organique en pâte à mélanger avec au moins 30% en poids de ciment, puis fixées avec des chevilles à rosace comportant des vis ou clous métalliques d'entraxe ≤ 500 mm.

Une armature supplémentaire en fibres de verre (identique à celle de la couche de base armée en partie courante) est mise en œuvre au droit de la jonction entre l'isolant PSE en partie courante et la laine de roche, de sorte qu'elle déborde d'au moins 150 mm de part et d'autre de cette jonction. Cette armature est marouflée dans l'enduit de base.

Pour les baies en applique intérieure ou en tunnel, des panneaux de laine de roche de densité minimale 120 kg/m^3 et 30 mm d'épaisseur, sont collés en plein et vissés en tableaux et en linteau, en dépassant suffisamment pour couvrir la tranche du PSE en partie courante (ex. ossature de 145 mm, fenêtre en applique intérieure, PSE de 140 mm donne des panneaux de laine de roche dense de $145+140 = 285$ mm) comme montré en Figure 5.

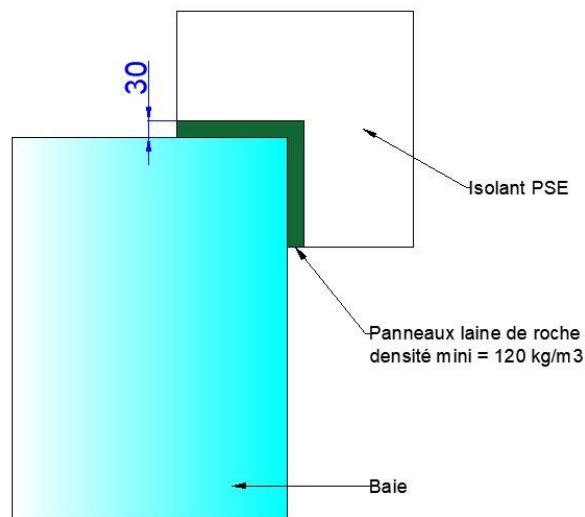


Figure 5 : Dispositions pour l'encadrement des baies, découpe en L d'un panneau PSE autour d'une baie

A noter que ce panneau de laine de roche de densité minimale 120 kg/m^3 et 30 mm d'épaisseur, peut être remplacé par un autre de densité 90 kg/m^3 , dès lors que son épaisseur atteint au moins 40 mm.

3.8. Coffre de volet-roulant

L'intégration des coffres de volet roulant peut s'appuyer sur les principes de mise en œuvre présentés dans le guide «Bois construction et propagation du feu par les façades » [4] avec pour principe la restitution de la continuité de la protection de la paroi support de l'intérieur vers l'extérieur.

3.9. Recouvrement horizontal de l'isolant PSE

Des bandes de protection horizontales et continues sur toute la façade sont mises en œuvre en recouvrement du PSE à chaque niveau.

Les caractéristiques de ces bandes en laine de roche sont indiquées au §2.3.4.

Ces bandes, de largeur ≥ 200 mm et sans discontinuité, ont la même épaisseur que le PSE en partie courante. Pour des raisons architecturales, ces bandes peuvent présenter des décrochés verticaux, dès lors que la continuité du recouvrement incendie est assurée.

Les bandes sont collées en plein avec un mortier hydraulique en poudre à gâcher avec de l'eau, ou un mortier organique en pâte à mélanger avec au moins 30% en poids de ciment, puis fixées avec des vis ou des chevilles à rosace comportant des vis métalliques d'entraxe ≤ 500 mm.

Une armature supplémentaire en fibres de verre est mise en œuvre sur la bande, de sorte qu'elle déborde d'au moins 150 mm de part et d'autre sur le PSE. Cette armature est marouflée dans l'enduit de base.

Une bande de recouvrement est posée en départ bas de l'ETICS, à une distance maximale de 600 mm du profilé de départ (jusqu'au niveau bas de la bande).

Lorsque la façade comporte des baies, les bandes de recouvrement sont posées à chaque niveau de la façade ; la distance entre la sous-face des linteaux (par rapport au support bois) et la face inférieure des bandes doit être comprise entre 200 et 500 mm.

Lorsque la façade est aveugle, deux situations sont à considérer, suivant la valeur de l'angle rentrant formé avec une façade comportant des baies (voir Figure 6) :

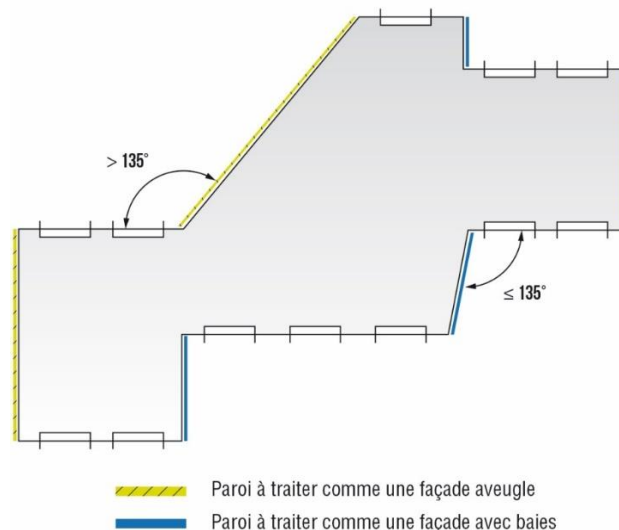


Figure 6 : Pose de bandes filantes sur des façades aveugles en fonction de géométrie du bâtiment (crédit [3])

- L'angle rentrant est $\leq 135^\circ$: la façade aveugle doit être traitée comme une façade avec baies,
- L'angle rentrant est $> 135^\circ$: la façade aveugle doit être traitée comme décrit ci-dessous.

Pour les systèmes avec enduit hydraulique épais, une seule bande de recouvrement est mise en œuvre en départ bas de l'ETICS comme montré sur la Figure 7. La bande de recouvrement est disposée à une distance maximale de 600 mm du profilé de départ.

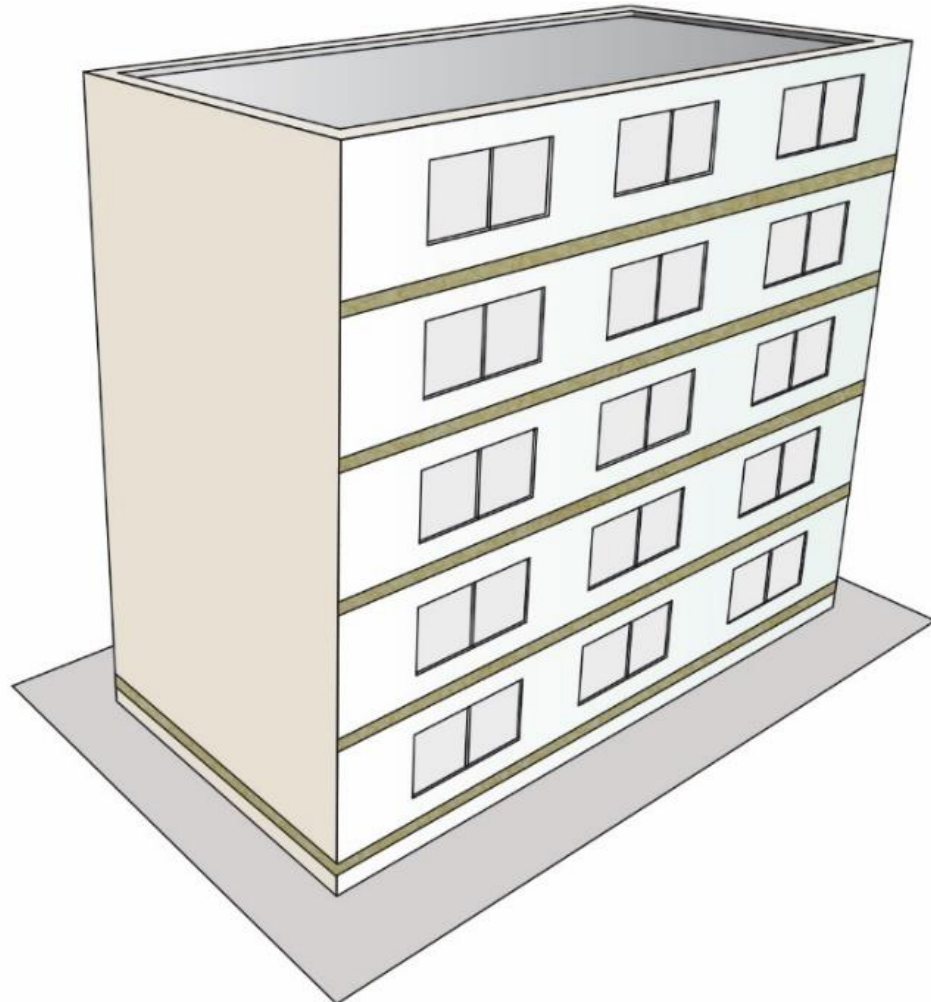


Figure 7 : Disposition des bandes filantes sur des façades aveugles : cas d'un système avec enduit hydraulique épais
(crédit [3])

Pour les systèmes avec enduit mince, les bandes de recouvrement sont posées comme montré sur la Figure 8 :

- Au départ de l'ETICS (niveau bas de bande à une distance maximale de 600 mm au-dessus du profilé de départ) ;
- Au 1^{er} et au 2^{ème} niveaux (entre le RDC et le 1^{er} étage d'une part et entre le 1^{er} et le 2^{ème} étages (revêtus de l'ETICS), d'autre part)

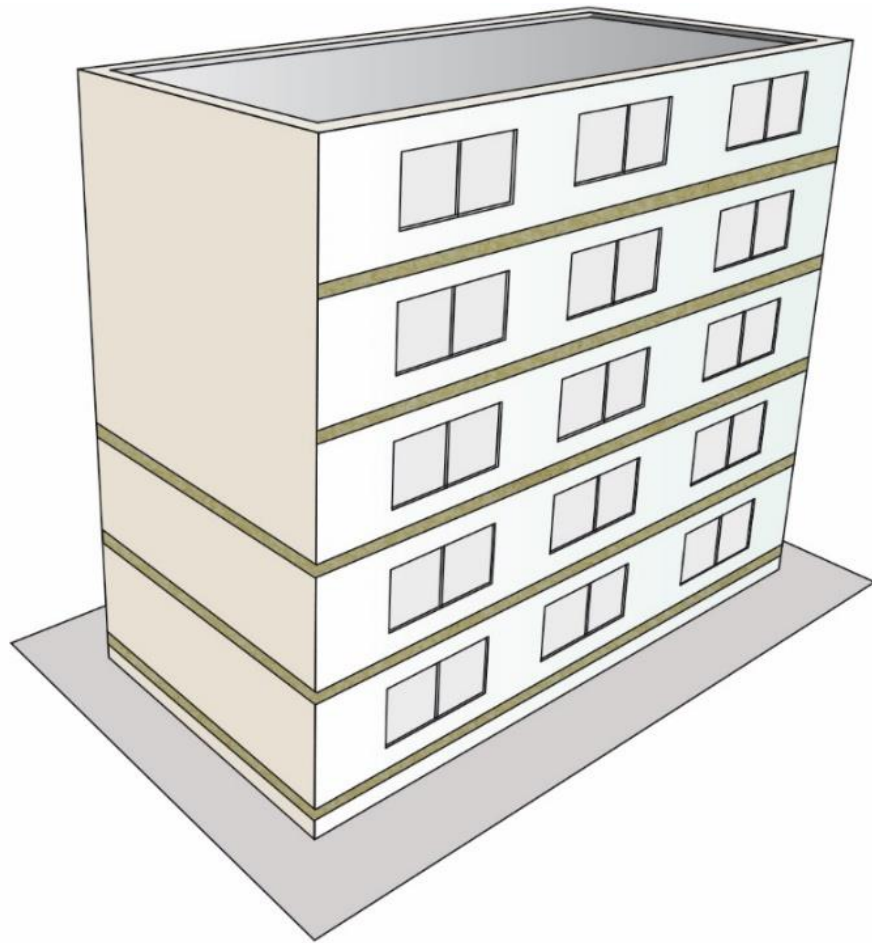


Figure 8 : Disposition des bandes filantes sur des façades aveugles : cas d'un système avec enduit mince (crédit [3])

3.10. Traitement des joints

3.10.1. Traitement des joints de construction dans la paroi support

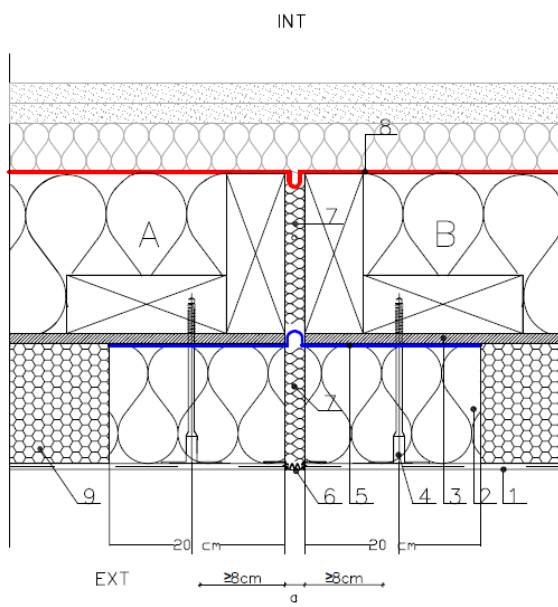
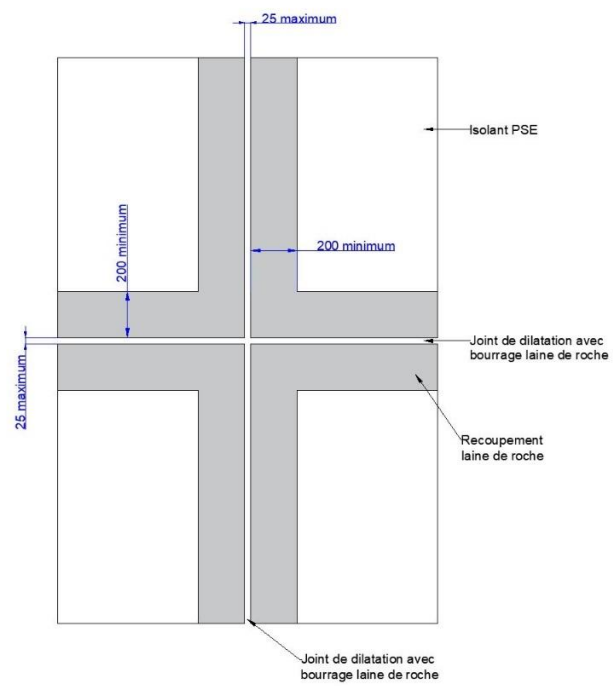
La mise en œuvre des ETICS sur FOB nécessite de supporter des dilatations entre panneaux, aussi bien à l'horizontal qu'à la verticale. On distingue les joints de dilatation permettant un mouvement entre supports et séparant totalement les FOB, isolants et enduits, et les joints de fractionnement ne permettant des dilatations qu'au niveau des enduits, en conservant une continuité de l'ossature et de l'isolant.

Le pontage d'un joint de fractionnement ou de dilatation par l'écran thermique en façade est proscrit. La continuité de la fonction d'écran thermique en façade au droit des joints peut être restituée par un bourrage en laine de roche de masse volumique déclarée supérieure ou égale à 35 kg/m^3 mise en œuvre dans l'épaisseur du mur de façade incluant l'écran thermique. Cette laine doit être compressée à 66 % de son épaisseur nominale au minimum (exemple : épaisseur nominale de 23 mm et compressée pour obtenir une épaisseur efficace de 15 mm au maximum en tout point de la jonction).

Lorsqu'un joint d'étanchéité est inséré dans la jonction entre deux panneaux, l'écran thermique en façade est prolongé de chaque côté de la jonction dans l'épaisseur de l'ossature en bois. Un bourrage en laine de roche de masse volumique déclarée supérieure ou égale à 35 kg/m^3 est également mis en œuvre dans l'épaisseur du mur de façade derrière le joint d'étanchéité (côté intérieur).

3.10.2. Traitement des joints de dilatation dans l'ETICS

Le principe de traitement de ces joints, et leurs éventuels croisements, consiste en la mise en œuvre de bandes en laine de roche continues, de part et d'autre de la singularité. Chacun des recouvrements de l'isolant PSE a une hauteur minimale de 200 mm. Ces dispositions, illustrées dans la Figure 9, viennent en complément de celles prévues par le cahier du CSTB n°3035_V3 [5]. L'ouverture des joints est limitée à 25 mm.



- Légende**
- A ou B : COB ou FOB
 - 1- Système d'enduit
 - 2- Isolant en laine de roche rigide $\geq 75 \text{ kg/m}^3$
 - 3- Panneau de contreventement ou panneau de stabilité
 - 4- Vis à rosace
 - 5- Pare-pluie
 - 6- Profil de dilatation
 - 7- Laine de roche compressible de densité $\geq 35 \text{ kg/m}^3$ comprimée à au moins 66 % de son épaisseur nominale
 - 8- Pare-vapeur
 - 9- Isolant PSE
- Dimension a : entre 10 mm et 25 mm

Figure 9 : Dispositions générales pour les joints de dilatation

Les caractéristiques des bandes de laine de roche sont indiquées au §2.3.4.

Ces bandes sont collées en plein avec un mortier hydraulique en poudre à gâcher avec de l'eau, ou un mortier organique en pâte à mélanger avec au moins 30% en poids de ciment, puis fixées avec des vis ou des chevilles à rosace avec vis métalliques d'entraxe ≤ 500 mm.

Une armature supplémentaire en fibres de verre (identique à celle de la couche de base armée en partie courante) est mise en œuvre au droit de la jonction entre l'isolant PSE en partie courante et la laine de roche, de sorte qu'elle déborde d'au moins 150 mm de part et d'autre de cette jonction. Cette armature est marouflée dans l'enduit de base.

3.10.3. Traitement des joints de fractionnement de l'enduit

Les joints de fractionnement ont pour rôle d'éviter la création d'une microfissuration de l'enduit. Leurs caractéristiques sont celles décrites dans le cahier du CSTB n°3035_V3 [5]. Ces joints de fractionnement n'intéressent que l'épaisseur de l'enduit : l'isolant PSE n'est donc pas interrompu au droit de cette singularité.

L'ouverture des joints est limitée à une largeur de 6 mm.

Aucun traitement particulier vis-à-vis du comportement au feu n'est estimé nécessaire pour les joints de fractionnement verticaux.

4. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

4.1. Essais sur four

Les durées de résistance au feu des écrans cités ci-dessous ont été validées par des essais de résistance au feu réalisés au CSTB en 2020 sous la sollicitation thermique d'un feu ISO 834-1 exposant la façade de l'extérieur vers l'intérieur. Des essais dans les fours de résistance au feu ont ainsi été réalisés, afin de définir la configuration la plus défavorable, mais susceptible d'atteindre les objectifs de limitation de la propagation du feu par les façades. Pour chacun des essais, la maquette testée comportait trois châssis indépendants composés de bois d'ossature de 2 500 x 600 mm. Une sélection de trois systèmes d'enduit représentatifs du marché a été retenue sur la base des considérations suivantes :

- nature des enduits ;
- épaisseur du système d'enduit ;
- taux de matière organique.

Le rapport d'essai [7] valide une performance au feu EI 30 pour des configurations d'ETICS comportant un isolant en PSE d'épaisseur comprise entre 30 et 200 mm, collé en plein sur un écran thermique composé de panneaux en bois ignifugés classés B-s3, d0 et d'épaisseur nominale 22 mm. Un seul système d'enduit organique a été retenu pour les 3 châssis.

Un essai complémentaire a été réalisé suivant le même mode opératoire décrit ci-avant. L'objectif était d'étudier le comportement au feu d'ETICS-PSE, dont les panneaux sont fixés mécaniquement sur l'écran thermique par des vis à rosace, en présence d'un pare-pluie adhésivé ou agrafé.

L'écran thermique était composé de panneaux en bois ignifugés classés B-s3, d0 et d'épaisseur nominale 22 mm. Au cours de cet essai, et bien que cette disposition ne soit pas appliquée aujourd'hui sur chantier, la performance au feu d'un recouvrement de l'isolant PSE par des bandes de laine de roche mises en œuvre directement sur le pare-pluie, sans le collage en plein, a également pu être évaluée avec succès. Les pare-pluies adhésivés ou agrafés n'ont pas d'incidence sur le comportement au feu de la paroi sur COB/FOB/CLT pour le domaine d'emploi visé dans le cadre de la présente appréciation de laboratoire.

4.2. Essais de façade à échelle intermédiaire

Une campagne d'essais de façade à échelle intermédiaire a été menée au cours de cette étude. Elle a consisté en la réalisation de quatre essais comparatifs, le premier essai servant de référence. L'objectif a été d'évaluer expérimentalement l'influence de la présence d'un joint de fractionnement ou d'un joint de construction du gros-œuvre sur la performance au feu de l'ETICS-PSE visé.

Les dimensions des maquettes étaient de 2 500 × 3 700 mm (hauteur au-dessus du bûcher). Le banc d'essai comprend à sa base une chambre à feu avec un bûcher de 80 kg de bois.

Les paramètres étudiés lors de cette campagne comprenaient l'orientation du joint (horizontal ou vertical), la nature des profilés (PVC, alu ou acier) et la présence d'un croisement de joints sur le système, ainsi que leur implantation à des niveaux plus ou moins défavorables par rapport au bûcher. La maquette du premier essai de la campagne (ou essai de référence) ne comprenait pas de singularités, mais incluait la présence de bandes de recouvrement en laine de roche ensuite reprises pour les trois autres essais. Ces bandes ont été implantées sur la façade à tester de façon à simuler des hauteurs d'étage.

L'ETICS-PSE retenu pour la campagne est celui ayant montré les moins bonnes performances lors des essais décrits au §4.1. L'épaisseur des panneaux de PSE était de 120 mm.

Les constatations après essais ont permis de conclure que les dispositions prévues pour le traitement des joints, décrites au chapitre 3.10 étaient suffisantes pour que ces derniers ne constituent pas un risque d'aggravation de la propagation des flammes en façade.

Les données des essais sont résumées dans le Tableau 4.1 ci-dessous :

Tableau 4.1 : Campagne d'essais à échelle intermédiaire ETICS (épaisseur de 120 mm)

Essai	Ecran thermique	Enduit	Hauteur au-dessus du foyer des bandes	Joints
1	Panneau bois B-s3, d0 Ep : 22 mm	Organique Ep : 3,5 mm	Z = 100 mm Z = 800 mm Z = 2 500 mm	Aucun
2				Fractionnement vertical Matière : inox Référence : -
3				Joint de construction du gros-œuvre horizontal Matière : PVC Référence : 3342
4				Croisement d'un joint de construction du gros-œuvre horizontal et vertical Matière : PVC Référence : 6302 (horizontal), 6327 (vertical)

4.3. Essais LEPIR2

Un essai LEPIR2, sous référence DSSF21-06388C [8] a été réalisé dans le cadre de présentation de moyen de preuve à la présente appréciation. La configuration testée consiste en un ETICS-PSE installé sur une FOB composée de trois modules superposés verticalement et solidarités par des vis à bois. Les panneaux isolants en PSE sont mis en œuvre sur le support d'ETICS, faisant office d'écran thermique, par collage en plein. Un profil de départ d'épaisseur 160 mm constitue le support à la première bande de recouvrement en laine de roche disposée également au niveau de l'encadrement des baies et entre les niveaux. Des renforts d'armature (de 500 mm de large chacun) sont mis en œuvre aux jonctions entre les bandes de recouvrement et les panneaux PSE⁴. La maquette a été testée le 9 juin 2022 après un temps de séchage de 28 jours. L'essai a duré 60 minutes sans interruption ni propagation du feu vers le niveau R+2 ce qui valide l'adéquation avec l'exigence des prescriptions de l'essai.

La configuration testée comprenant notamment le recouvrement au niveau des baies et le compartimentage à chaque niveau montre son efficacité pour la maîtrise du risque de propagation du feu par effet cheminée à la suite de la fonte du PSE.

5. ANALYSES ET JUSTIFICATIONS

La présente appréciation de laboratoire est basée sur les résultats de l'essai décrit dans le rapport d'essai [8]. Cet essai a été réalisé dans les conditions particulières suivantes :

- paroi support de type FOB filante devant les nez-de-plancher ;
- panneaux isolants en PSE d'épaisseur 200 mm collés en plein ;
- écran thermique en panneaux de bois B-s3, d0, de 22 mm, support des panneaux isolants ;
- bandes de recouvrement en laine de roche à chaque niveau ;
- présence d'un joint de fractionnement en inox de part et d'autre des baies, filant sur la hauteur de la façade.

Dans le cadre de cet essai :

- l'épaisseur retenue pour les panneaux isolants PSE est l'épaisseur maximale visée par la présente appréciation : ce choix permet de valider des épaisseurs inférieures ; il en est de même pour sa densité testée de 20 kg/m³, validant des densités inférieures ;
- le choix de l'enduit mince organique permet de valider les systèmes d'enduits d'épaisseur supérieure, minéraux ou organiques ;
- la présence du joint de fractionnement a permis de valider les dispositions constructives énoncées au chapitre 3.10.

Les essais [7] et [8] ont pleinement satisfait à toutes les exigences de l'arrêté du 10 septembre 1970 [1].

Par ailleurs, les dispositions prévues dans le cadre de la présente appréciation ont montré satisfaction à la maîtrise du risque de la propagation latérale du feu (cf. résultats de l'essai LEPIR 2 [8]).

⁴ Voir rapport d'essai DSSF21-06388C pour une description plus détaillée du montage et des éléments constitutifs de la maquette

Aussi, les observations réalisées lors de l'essai évoqué ont permis de constater :

- durant les 10 premières minutes d'essai, l'absence de chutes de particules enflammées ;
- après les 10 premières minutes, la chute de débris occasionnels dont la masse n'excédait pas quelques centaines de gramme, principalement localisées dans l'empreinte du panache de flamme,
- la présence de la bande filante en départ bas de l'ETICS limite significativement le risque de déversement d'isolant en fusion lors d'un essai LEPiR2. Le risque de feu de nappe et de foyer secondaire en pied de façade est ainsi maîtrisé.

Ainsi, les dispositions décrites dans cette appréciation de laboratoire répondent aux exigences de l'arrêté du 31 janvier 1986 modifié concernant les prescriptions relatives à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation.

6. CONCLUSION

La présente appréciation est rédigée en application de l'article 5.3 de l'Instruction Technique 249 version 2010 pour une pose d'isolation thermique par l'extérieur ETICS-PSE sur façade à ossature bois (COB ou FOB) ou sur des panneaux bois massifs contrecollés (CLT) ou contrecloués avec écran thermique et, par extension, les supports maçonnés incombustibles et les supports béton.

Elle vient en préciser et compléter les dispositions constructives définies en particulier dans le paragraphe 2.4.3 de l'IT 249 et valide la conformité des solutions constructives proposées dans ce document pour les Etablissements Recevant du Public (ERP).

Elle valide également la conformité aux dispositions de l'annexe 3 de l'arrêté du 31 janvier 1986 modifié par l'arrêté du 13 août 2021. En ce sens, elle est une justification compatible avec la solution 2 de l'article 13 pour les bâtiments d'habitation de 3^{ème} famille.

Les ETICS-PSE décrits au chapitre 2 et mis en œuvre conformément au chapitre 3, permettent de satisfaire les objectifs réglementaires décrits ci-dessus. Le cas échéant, ces préconisations minimales peuvent être complétées par les dispositions de montage prescrites dans les AT, DTA, ATE_x, Avis de Chantier, ATE ou ETE concernés. Un carnet de détails indicatif est donné en annexe 3.

Les solutions validées sont valables quelle que soit la valeur du « C+D » requise pour le bâtiment dès lors que les façades répondent aux exigences minimales du « C+D » imposées par la réglementation en vigueur applicable à l'ouvrage concerné. Un memo pour le calcul de la fraction massique organique du système d'enduit est donné en annexe 2.

Cette appréciation de laboratoire ne couvre ni les bâtiments d'habitation de la 4^{ème} famille ni les immeubles de grande hauteur (IGH).

Sa durée de validité est limitée par :

- la fin de validité de l'un des documents techniques et réglementaires qui s'appliqueraient ;
- toute modification dans les produits et matériaux indiqués.

7. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- [1] **Instruction Technique n°249** relative aux façades annexée à l'arrêté du 24 mai 2010
- [2] **Arrêté du 31 janvier 1986** modifié relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation
- [3] **AFIPEB, SIPEV & SNMI** – Guide de Préconisations « Protection contre l'incendie des façades béton ou maçonnerie revêtues de systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé « ETICS-PSE ») », version 2.0, septembre 2020
- [4] **CODIFAB** – Appréciation de laboratoire : Guide « Bois construction et propagation du feu par les façades », version 3.1, 07/12/2020
- [5] **Cahier du CSTB N°3035_V3** « Systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé »
- [6] **Cahier du CSTB n°3729_V2** « Systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant appliqués sur parois de constructions à ossature en bois »
- [7] **Rapport d'essai n° DSSF 21-06388/B, concernant des maquettes de façade de type ETICS PSE à échelle intermédiaire (3 essais)**
- [8] **Rapport d'essai LEPIR2 n°DSSF21-06388C, ETICS-PSE, CSTB**

Annexes

Annexe 1: Terminologie

Pour les besoins de la présente appréciation, les termes et définitions suivants s'appliquent :

❖ **Système d'isolation thermique extérieure par enduit sur isolant ou ETICS (External Thermal Insulation Composite System with rendering)**

Ensemble composé de panneaux isolants manufacturés, collés ou fixés mécaniquement au support et recouverts d'un système d'enduit dont la première couche comporte au moins une armature. L'ensemble constitue le revêtement extérieur de façade.

❖ **Colle, produit de calage**

Mortier destiné à coller l'isolant au support ou à le maintenir provisoirement avant fixation mécanique.

❖ **Fixations mécaniques**

Dispositifs destinés à fixer mécaniquement l'isolant au support.

❖ **Système d'enduit**

Ensemble constitué de la couche de base armée et de la couche de finition (vis à rosace, chevilles).

❖ **Enduit de base (ou sous-enduit)**

Enduit appliqué directement sur l'isolant, après collage ou fixation mécanique de ce dernier.

❖ **Couche de base armée**

Couche d'enduit de base appliquée en une ou en plusieurs passe(s) et comportant la ou les armature(s). Cette couche contribue à la protection de l'isolant ainsi qu'à la performance mécanique du système.

❖ **Couche de finition**

Enduit de finition avec ou sans produit d'impression, avec ou sans revêtement décoratif.

❖ **Ecran thermique**

Ecran visant à limiter la propagation des flammes par la façade, de l'extérieur vers l'intérieur d'un local.

❖ **Enduit de finition**

Enduit appliqué sur la couche de base armée, avec ou sans l'application préalable d'un produit d'impression. L'enduit de finition participe à la protection et contribue à l'esthétique.

❖ **Panneau de contreventement**

Panneau ayant pour fonction de stabiliser le bâtiment soumis aux sollicitations horizontales au sens du NF DTU 31.2.

❖ **Panneau de stabilité**

Panneau fixé sur une ossature de manière à lui conférer une résistance aux efforts dans son plan et n'assurant pas le rôle de contreventement au sens du NF DTU 31.4.

❖ **Produit d'impression**

Produit appliqué sur la couche de base armée, en vue de préparer l'application de l'enduit de finition.

❖ **Revêtement décoratif**

Produit appliqué sur l'enduit de finition et contribuant majoritairement à l'esthétique.

❖ **Taux de matière organique**

Proportion en masse de toutes les substances organiques contenues dans un produit (composant individuel) à l'état sec et durci.

❖ Quantité de matière organique

Quantité totale de matière organique contenue dans un système en œuvre, à l'état sec et durci (grandeur « $m_1.X_1 + m_2.X_2 + \dots$ » telle que définie dans l'Annexe 2 du présent document).

❖ Fraction massique organique

Moyenne pondérée des taux de matière organique des composants d'un système (grandeur « x » telle que définie dans l'Annexe 2 du présent document). La fraction massique organique d'un produit (composant individuel) est égale à son taux de matière organique.

❖ Mortier ou enduit hydraulique

Mortier ou enduit dont le liant principal est hydraulique ; un tel mortier ou enduit présente un taux de matière organique $\leq 7\%$. Il se présente généralement sous la forme d'une poudre à gâcher avec de l'eau ou à mélanger avec une résine.

❖ Mortier ou enduit minéral

Mortier ou enduit dont le liant principal est inorganique ; un tel mortier ou enduit présente un taux de matière organique $\leq 7\%$. Les mortiers ou enduits hydrauliques, les enduits à base de chaux aérienne et les enduits à base de liant silicate sont des produits minéraux.

❖ Mortier ou enduit organique

Mortier ou enduit dont le liant principal est organique ; un tel mortier ou enduit présente un taux de matière organique $\leq 12\%$. Il se présente généralement sous la forme d'une pâte prête à l'emploi ou à mélanger avec du ciment.

❖ Ignifugation

Opération qui consiste à intégrer un adjuvant retardateur de flamme (agent ignifugeant) dans un produit organique, lors de la fabrication industrielle de ce dernier.

❖ Taux d'ignifugation

Proportion en masse d'agent ignifugeant contenu dans un produit organique à l'état sec et durci.

❖ Euroclasse

Classe de réaction au feu d'un produit ou d'un système, établie selon la norme NF EN 13501-1.

❖ C + D

Somme des distances verticale (indice C) et horizontale (indice D) formant un obstacle résistant au feu entre deux baies superposées, telle que définie dans l'IT 249.

❖ Masse combustible mobilisable

Quantité de chaleur susceptible d'être dégagée par la totalité des matériaux combustibles situés dans une surface de référence de la façade, telle que définie dans l'IT 249, dans la limite de la définition propre à chaque réglementation.

❖ Façade aveugle

Paroi comprise entre deux arêtes verticales ne comportant pas de baie, vitrée ou non (les orifices d'entrée d'air de ventilation dont la section est $< 200 \text{ cm}^2$ ne sont pas considérés comme des baies). Les façades sont considérées aveugles lorsqu'elles forment avec des parois non aveugles un dièdre d'angle rentrant $> 135^\circ$, en considérant les plans tangents pour les façades courbes.

Annexe 2: Détermination de la fraction massique organique du système d'enduit (cf. annexe 2 du cahier CSTB 3714_V2)

- Principe

La fraction massique organique x du système d'enduit est donnée par la relation :

$$x(\%) = 100 \cdot \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + m_4 \cdot x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

- m_i : masse surfacique du composant « i » en œuvre, à l'état sec et durci (kg/m^2)
- x_i : taux de matière organique du composant « i » à l'état sec et durci : proportion en masse de toutes les substances organiques contenues dans le composant
- 1 : enduit de base
- 2 : armature
- 3 : impression
- 4 : finition

La masse surfacique m_1 de l'enduit de base est celle d'une configuration en simple armature normale.

Lorsque le Document Technique d'Application ou l'Avis Technique du système mentionne plusieurs armatures, la fraction massique organique est déterminée en tenant compte de l'armature donnant la valeur maximale du produit $m_2 \cdot x_2$.

Il est nécessaire de tenir compte du produit d'impression, même si ce dernier est optionnel.

- Détermination des grandeurs m_2 et x_2 pour les armatures

Armature métallique

- La valeur m_2 correspond à la masse surfacique de l'armature.
- La valeur x_2 est prise égale à 0,0.

Treillis en fibres de verre

- La valeur m_2 correspond à la masse surfacique du treillis.
- La valeur x_2 doit être déclarée par le fabricant.
- **Détermination des grandeurs m_i et x_i pour les enduits**

Les grandeurs m_i et x_i sont déterminées à partir des caractéristiques et des consommations des produits bruts, avant mélange ou préparation :

- ES : extrait sec du produit brut
- MOsec : taux de matière organique du produit brut par rapport au poids sec
- C : consommation moyenne de produit brut (kg/m^2)

Les valeurs ES et MOsec doivent être celles déclarées par le fabricant, sur la base de la formulation du produit. Ces valeurs ne doivent pas être obtenues par essais⁵.

⁵ Les essais sont des actes ponctuels et ne tiennent pas compte des variations pouvant intervenir lors de la fabrication. De plus, lorsqu'un produit contient un agent ignifugeant (retardateur de flamme), la décomposition de ce dernier par action de la chaleur peut entraîner le dégagement de molécules d'eau et de ce fait une perte de masse supplémentaire du produit. Le taux de matière organique déterminé par perte de masse est alors surestimé.

Le mode de détermination de m_i et x_i dépend de la nature du produit brut.

- **Pâte ou liquide prêt(e) à l'emploi**

Cet état du produit brut correspond généralement à un enduit de base, à une impression ou à une finition ($i = 1, 3$ ou 4).

- Masse surfacique : $m_i = C \cdot ES$
- Taux de matière organique : $x_i = MO_{sec}$
- **Pâte ou liquide à diluer avec de l'eau**

Cet état du produit brut correspond généralement à une impression ou à une finition ($i = 3$ ou 4). Il ne concerne que les produits dont la dilution avec de l'eau est systématique. On note TD le taux moyen de dilution, en masse.

- Masse surfacique : $m_i = C \cdot ES \cdot (1 - TD)$
- Taux de matière organique : $x_i = MO_{sec}$
- **Poudre à mélanger avec de l'eau**

Cet état du produit brut correspond généralement à un enduit de base ou à une finition ($i = 1$ ou 4). Pour tous les produits en poudre, la valeur ES est prise égale à 1,0.

- Masse surfacique : $m_i = C$
- Taux de matière organique : $x_i = MO_{sec}$

Remarque : une partie de l'eau de gâchage sert à l'hydratation des liants hydrauliques contenus dans la poudre. De ce fait, la masse surfacique réelle du produit à l'état sec et durci est légèrement supérieure à la masse surfacique définie ci-dessus.

- **Pâte à mélanger avec du ciment**

Cet état du produit brut correspond généralement à un enduit de base ($i = 1$). On note TC la proportion moyenne de ciment à ajouter à la pâte, en masse. L'extrait sec du ciment est pris égal à 1,0 ; son taux de matière organique est égal à 0,0.

- Masse surfacique : $m_i = C \cdot (ES + TC)$
- Taux de matière organique : $x_i = \frac{MO_{sec}}{1 + TC}$

Remarque : une partie de l'eau contenue dans la pâte sert à l'hydratation du ciment ajouté. De ce fait, la masse surfacique réelle du produit à l'état sec et durci est légèrement supérieure à la masse surfacique définie ci-dessus.

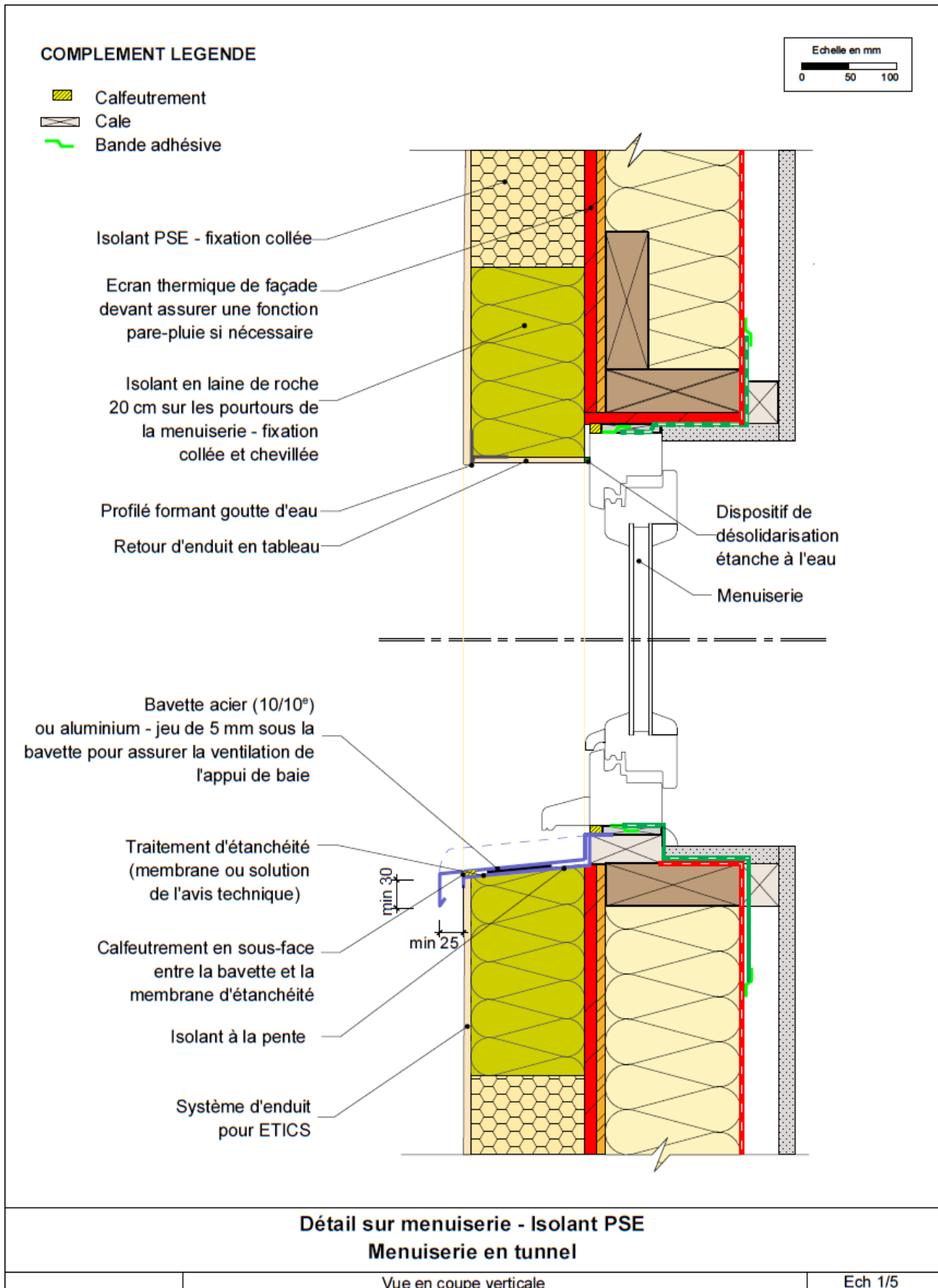
- Poudre à mélanger avec une résine

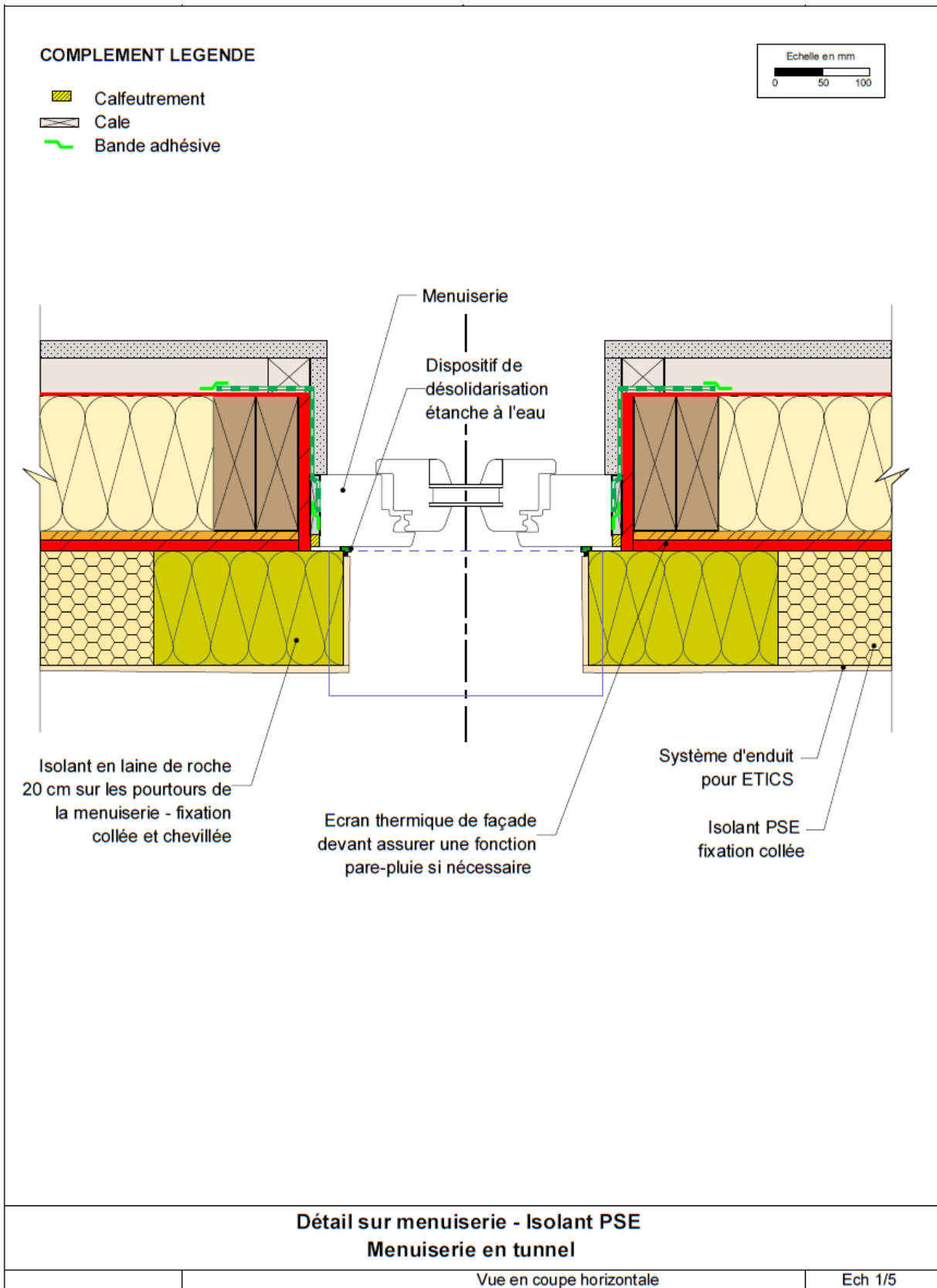
Cet état du produit brut correspond généralement à un enduit de base ($i = 1$). On note TR la proportion moyenne de résine à ajouter à la poudre, en masse.

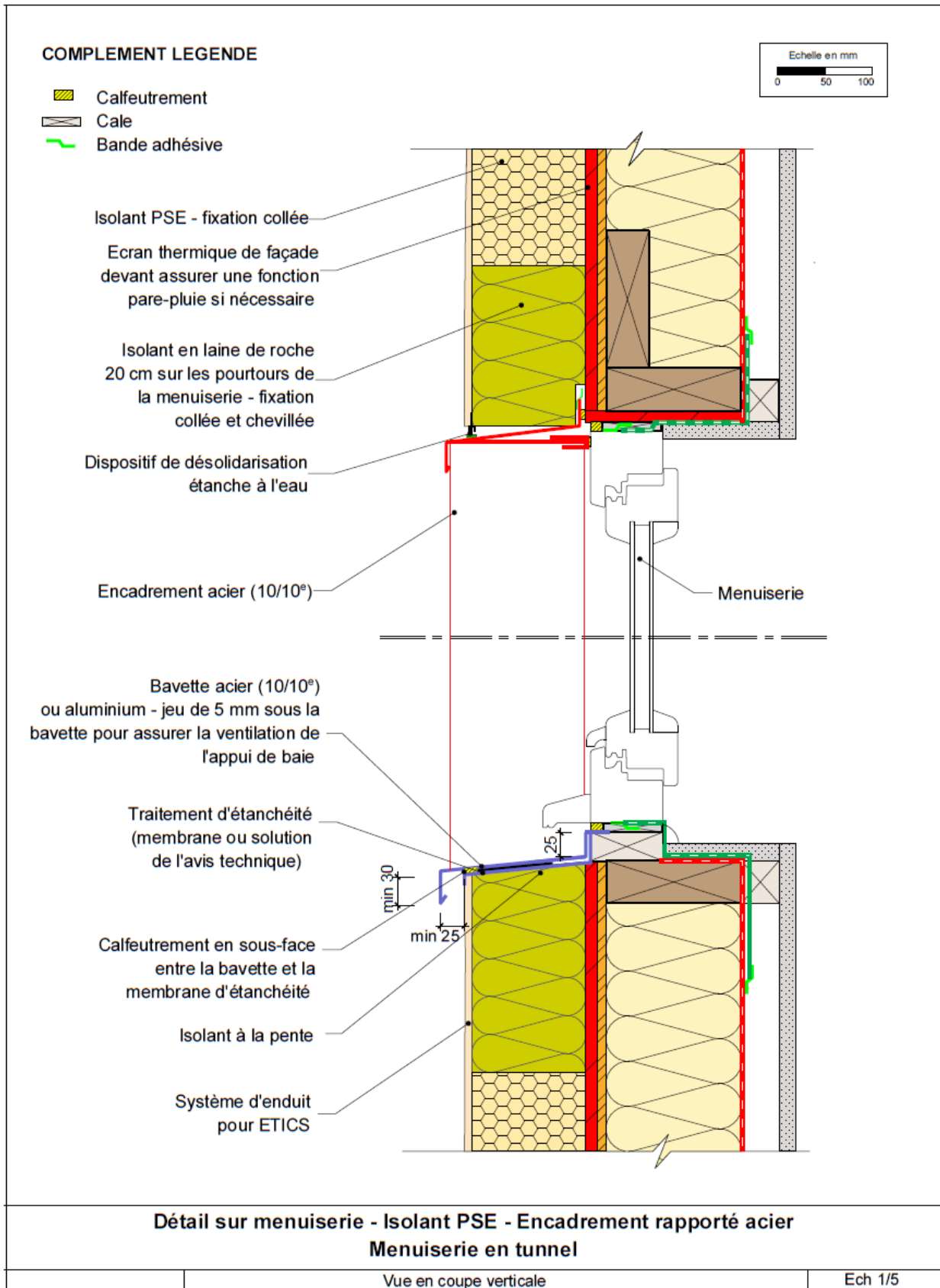
- Masse surfacique :
 $m_i = C_{poudre} \cdot (1 + ES_{résine} \cdot TR)$
- Taux de matière organique :
 $x_i = \frac{MO_{sec, poudre} + TR \cdot MO_{sec, résine}}{1 + TR}$

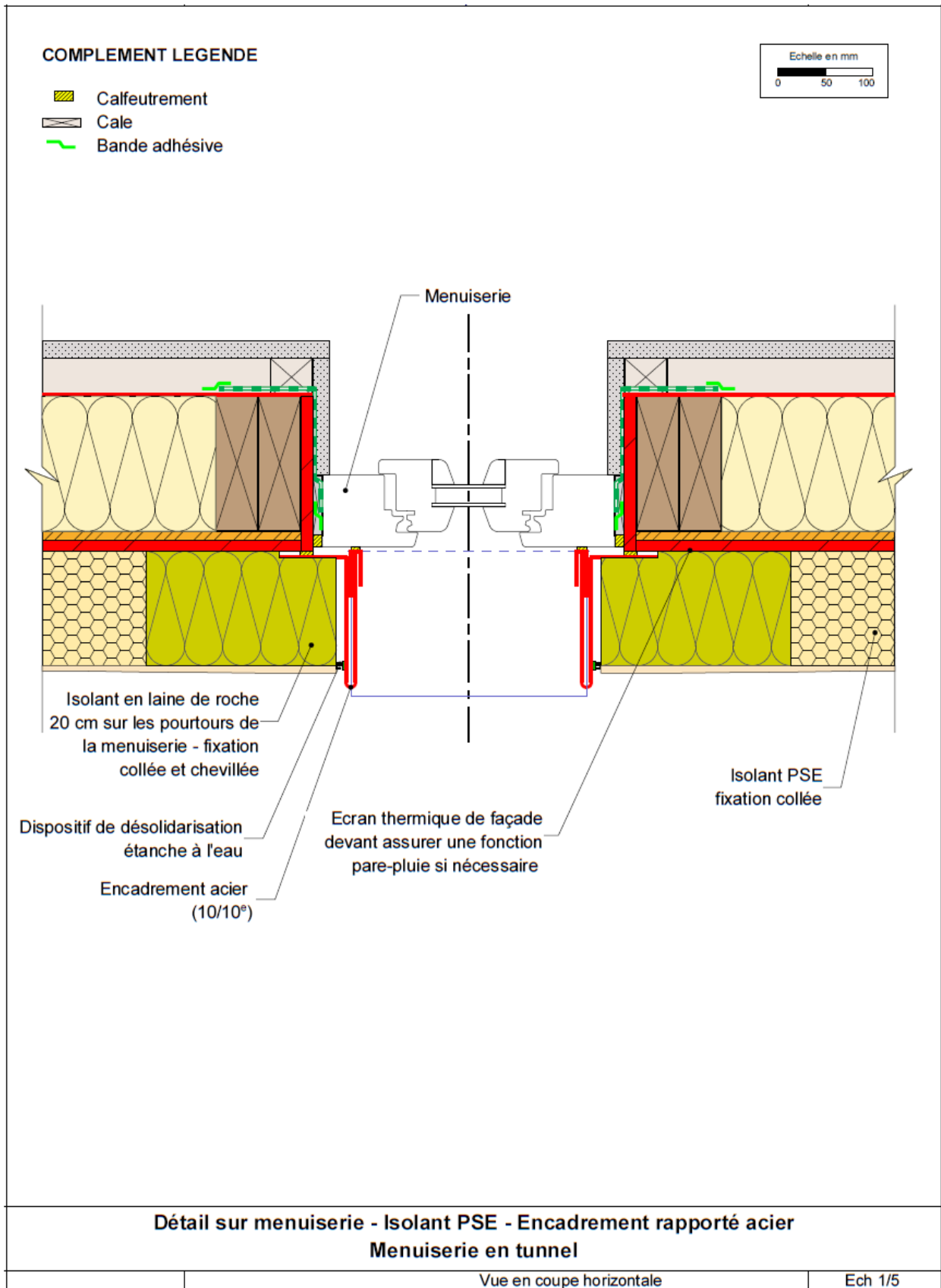
Remarque : une partie de l'eau contenue dans la résine sert à l'hydratation des liants hydrauliques contenus dans la poudre. De ce fait, la masse surfacique réelle du produit à l'état sec et durci est légèrement supérieure à la masse surfacique définie ci-dessus.

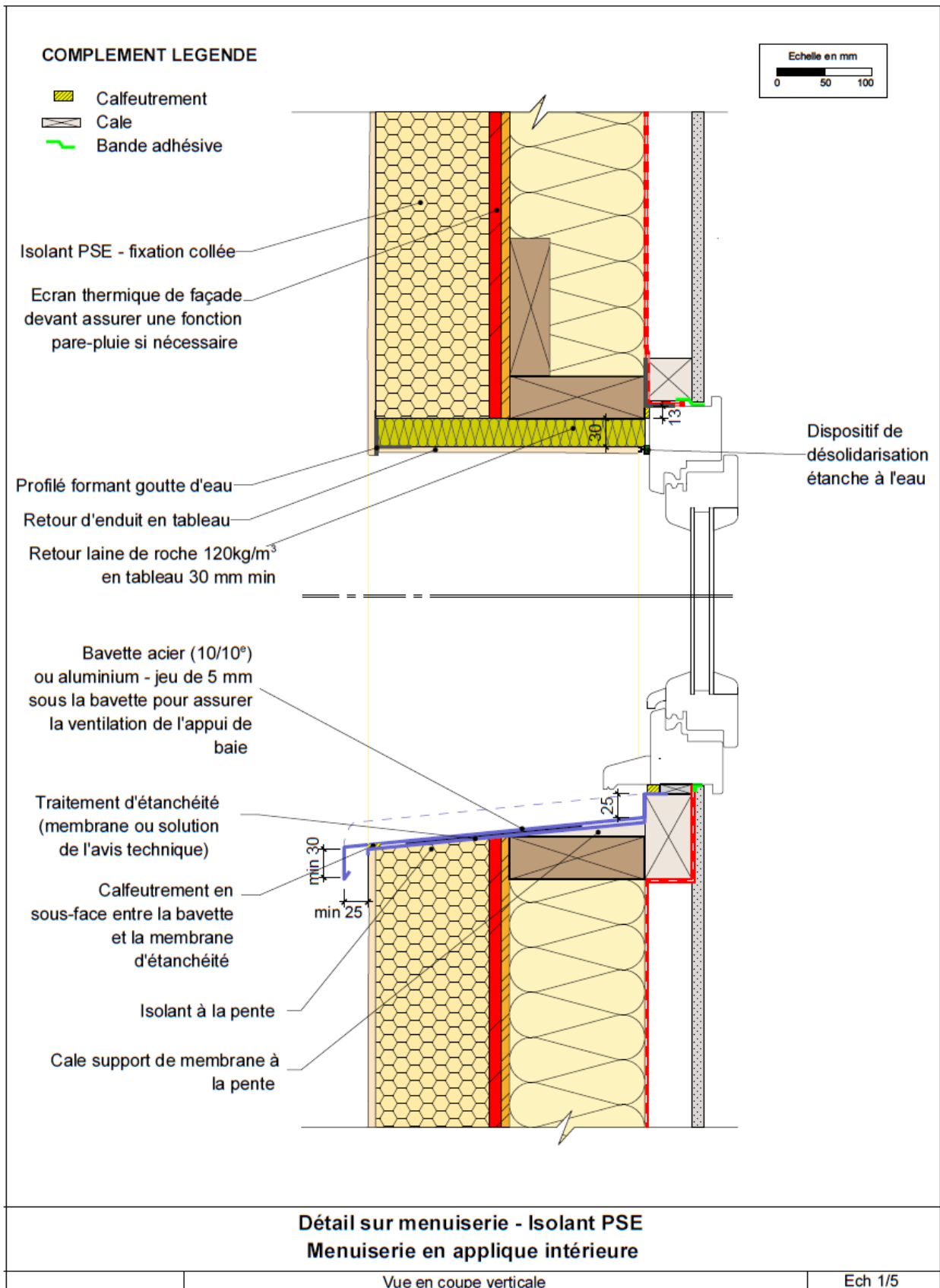
Annexe 3: Carnet de détails











Rq : Laine de roche collée en plein sur l'ossature bois + vis

