

# Enduits sur isolation extérieure (ETICS)

remplace partiellement la NIT 209

(corrigendum 18/05/2021)



n° 257

2016

Note d'information  
technique

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction fait désormais place à Buildwise.

Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée.

## Pourquoi cette transformation?

### **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

Fort des connaissances qu'il a acquises au fil des années, Buildwise s'est imposé comme le centre de référence et d'expertise du secteur de la construction. Buildwise se tient aux côtés de tous les acteurs impliqués dans l'acte de bâtir. Notre objectif ? Transmettre des connaissances qui améliorent réellement la qualité, la productivité et la durabilité, et ouvrir la voie à l'innovation sur chantier et dans l'entreprise.

### **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

Compte tenu de la grande complexité et de la forte fragmentation du processus de construction, Buildwise se doit de renforcer son rôle fédérateur. Nous ne pourrions relever les défis sectoriels et sociétaux qu'en mobilisant le secteur tout entier et en repensant nos modèles d'entreprise et notre façon de collaborer.

### **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

Notre spécificité tient à notre approche pragmatique et multidisciplinaire. Pour trouver des solutions solides, il faut une stratégie globale et intégrée. C'est pourquoi nos ambitions s'articulent autour de trois piliers : les technologies numériques, la durabilité et le métier (représenté par les entrepreneurs au sein des Comités techniques).



## Une stratégie ambitieuse pour l'avenir

Buildwise a pour mission d'aider les professionnels de la construction à améliorer la qualité, la productivité et la durabilité et d'ouvrir la voie à l'innovation sur les chantiers et dans les entreprises de construction. Pour ce faire, nous recourons à une approche globale et intégrée et prenons en compte les besoins de tous les corps de métier.

**Plus d'informations sur [buildwise.be](https://www.buildwise.be)**



# NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

N° 257

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

Août 2016



R²D² Architecture — [picture@georgesdekinder.com](mailto:picture@georgesdekinder.com)



## Enduits sur isolation extérieure (ETICS)

remplace partiellement la NIT 209

Corrigendum à la page  
suivante (18/05/2021)



## NIT 257

# ENDUITS SUR ISOLATION EXTÉRIEURE (ETICS)

## ERRATA

- **Correctif n° 1** (18/05/2021)

P. 35, le tableau 11 doit être remplacé par le tableau suivant :

Tableau 11 Limitation de la hauteur de référence  $z_e$  des façades exposées aux pluies battantes <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>.

Pression d'étanchéité à l'eau <sup>(1)</sup>	300 Pa				600 Pa			
	Vitesse de référence du vent $v_{b,o}$ [m/s]				Vitesse de référence du vent $v_{b,o}$ [m/s]			
	26	25	24	23	26	25	24	23
Catégories de rugosité	Hauteurs de référence $z_e$ jusqu'à				Hauteurs de référence $z_e$ jusqu'à			
<b>o Zone côtière</b>	–	–	–	–	17 m	–	–	–
<b>I Plaine</b>	–	–	–	–	23 m	34 m	52 m	85 m
<b>II Bocage</b>	3 m	3 m	4 m	6 m	38 m	55 m	81 m	125 m
<b>III Banlieue – forêt</b>	9 m	12 m	15 m	19 m	91 m	124 m	175 m	200 m <sup>(2)</sup>
<b>IV Ville</b>	25 m	31 m	35 m	48 m	200 m <sup>(2)</sup>	200 m <sup>(2)</sup>	200 m <sup>(2)</sup>	200 m <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Pression d'étanchéité à l'eau =  $\frac{1}{3} \times c_{p,e^*} \times q_p(z_e) \times c_{prob}^{-2}$  où :  
 –  $c_{p,e^*} = 1,3$   
 –  $c_{prob} = 1$  (période de retour de 50 ans)  
 –  $q_p(z_e)$  = pression dynamique de pointe.

<sup>(2)</sup> Limitation issue de la norme NBN EN 1991-1-4 ANB [B10].

<sup>(3)</sup> **900 Pa** constitue la limitation pour les ETICS sur supports en maçonnerie et en béton. Cette limitation correspond à des hauteurs supérieures à 200 m (hauteur limite issue de la norme NBN EN 1991-1-4 ANB [B10]).

<sup>(4)</sup> Dans des situations complexes, un projet peut nécessiter une étude spécialisée qui peut conduire à une minoration des hauteurs admissibles.

- **Correctif n° 2** (18/05/2021)

Le quatrième alinéa du § 3.3.1.3, page 35, doit être remplacé par le texte suivant :

À moins de disposer de données pertinentes concernant la résistance aux pluies battantes de l'ETICS (en partie courante, mais surtout au droit des détails), nous conseillons, dans l'état actuel des connaissances, de limiter la hauteur des façades exposées du bâtiment aux valeurs mentionnées dans le tableau 11 (pression d'étanchéité à l'eau <sup>(2)</sup> de l'ordre de 300 Pa selon la Procédure A de la norme NBN EN 12865 [B15]).

- **Correctif n° 3** (18/05/2021)

Le troisième alinéa du § 5, page 49, doit être remplacé par le texte suivant :

Les dispositions constructives proposées sont établies sur la base des connaissances et de l'expérience acquises à ce jour. Pour des bâtiments fortement exposés aux pluies battantes (pression d'étanchéité à l'eau > 600 Pa, voir § 3.3.1, p. 33), on se référera aux informations fournies par le fabricant au sujet d'éventuelles mesures complémentaires.

\*\*\*\*\*



# NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

N° 257

## Enduits sur isolation extérieure (ETICS) remplace partiellement la NIT 209

La présente Note d'information technique a été élaborée par le groupe de travail *NIT ETICS*, créé au sein du Comité technique *Travaux de plafonnage, de jointoyage et de façade*. Cette publication a bénéficié du soutien des Guidances technologiques 'GEVISOL-ETICS' (subsidée par Agentschap Innoveren en Ondernemen) et 'COM-MAT' (subsidée par la Région wallonne) ainsi que du projet 'INNOV-ETICS' (subsidé par InnovIRIS). Les Antennes Normes du CSTC sont, quant à elles, subsidiées par le Service public fédéral Économie, PME, classes moyennes et énergie.

### Composition du Comité technique *Travaux de plafonnage, de jointoyage et de façade*

#### Président

J. Van den Putte

#### Vice-président

J. Jacquemin

#### Membres

J. Aerts, F. Armand, P. Beaujean, J. Beke, B. Broekaert, P. Cherchye (Bouwunie ETICS), J.-P. Demuynck, I. Dirx, M. Dutry, E. Godderis, H. Hendriks, G. Mostenne, N. Naert, J. Peeters, S. Piedboeuf (FEDECOM), B. Rooze, D. Van Kerckhove (UNEP), D. Verhaegen

#### Ingénieurs-animateurs

Y. Grégoire et A. Smits (CSTC)

#### Ingénieur TAC

S. Eeckhout (CSTC)

### Composition du groupe de travail

#### Membres

P. Beaujean (Entr. Thermilux), J. Beke (Bureau d'expertise et d'architecture; vice-président NCDAB), H. Brocken (Association ETICS; Strikoherm), B. Broekaert (SECO/BCCA), P. Cherchye (Cherchye Aspect; président Bouwunie-ETICS), O. Cremer (Europrofiles-MDB), R. De Haes (Association ETICS; Knauf), G. Franssen (Soudal), E. Godderis (SECO/BCCA), M. Grommen (CoRI), M. Martin (SECO/BCCA), J. Peeters (Gebr Peeters), D. Reynders (Association ETICS; STO), L. Thijs (Association ETICS; Knauf), P. Timperman (Europrofiles), J. Van den Putte (président du CT; Pubro), D. Van Kerckhove (CNC; UNEP), W. Verbeeck (EJOT), D. Verhaegen (Entr. Verhaegen), M. Wagner (expert; ex-CSTC)

#### Ingénieurs-rapporteurs

Y. Grégoire, avec la collaboration d'I. Dirx et d'A. Smits (CSTC)

#### Ont également apporté leur collaboration à l'élaboration du document :

S. Eeckhout, L. Firket, E. Dupont, L. Wastiels, G. Flamant, L. De Geetere, S. Mertens et B. Michaux (CSTC)

Le CSTC tient par ailleurs à remercier EJOT, Knauf, MDB/APU, Plakabeton, Soudal et STO pour les illustrations.



#### CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

CSTC, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Siège social : Rue du Lombard 42 à 1000 Bruxelles

Publication à caractère scientifique visant à faire connaître les résultats des études et recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.

La reproduction ou la traduction, même partielles, du texte de la présente Note d'information technique n'est autorisée qu'avec le consentement de l'éditeur responsable.

# Sommaire

<b>1 INTRODUCTION</b> .....	5
1.1 Objectif et domaine d'application .....	5
1.2 Bref historique .....	6
1.3 Spécificités .....	6
1.4 Contexte normatif .....	7
1.5 Évolutions : un secteur innovant .....	8
1.6 Étendue des travaux .....	9
<b>2 SYSTÈME, COMPOSANTS ET ACCESSOIRES</b> .....	11
2.1 Les ETICS : systèmes 'fermés' .....	11
2.2 L'enduit .....	11
2.3 L'isolant .....	15
2.4 Les modes de fixation .....	18
2.5 Les profilés .....	26
2.6 Les accessoires .....	31
<b>3 SPÉCIFICATIONS</b> .....	33
3.1 Résistance mécanique et stabilité .....	33
3.2 Sécurité en cas d'incendie .....	33
3.3 Hygiène, santé et environnement .....	33
3.4 Sécurité d'utilisation et accessibilité .....	36
3.5 Protection contre le bruit .....	37
3.6 Économie d'énergie et isolation thermique .....	37
3.7 Utilisation durable des ressources naturelles .....	38
3.8 Durabilité et aptitude à l'emploi .....	39
3.9 Aspects environnementaux .....	40
<b>4 SUPPORT</b> .....	43
4.1 Introduction .....	43
4.2 Maçonneries et structures en béton .....	43
4.3 Constructions en bois .....	46
4.4 Applicabilité des techniques de pose en fonction des écarts dimensionnels du support .....	48
<b>5 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES</b> .....	49
5.1 Raccords en pied de mur .....	49
5.2 Raccords aux fenêtres et aux portes .....	54
5.3 Raccords aux rives de toitures plates .....	61
5.4 Raccords aux toitures à versants .....	66
5.5 Raccords aux balcons .....	69

5.6 Raccords aux murs coulisses.....	70
5.7 Joints de mouvement.....	71
5.8 Fixation ou traversée d'objets.....	72
5.9 Conduits de fumée.....	74
<b>6 MISE EN ŒUVRE.....</b>	<b>77</b>
6.1 Coordination avec les autres corps de métier.....	77
6.2 Sécurité pendant les travaux.....	77
6.3 Protection des ouvrages.....	77
6.4 Conditions climatiques lors de la mise en œuvre.....	78
6.5 Travaux préparatoires.....	78
6.6 Mise en œuvre de l'isolant.....	81
6.7 Mise en œuvre de l'enduit.....	94
<b>7 TOLÉRANCES ET ASPECT.....</b>	<b>103</b>
7.1 Tolérances d'exécution.....	103
7.2 Contrôle des tolérances.....	104
7.3 Aspect.....	108
<b>8 MAINTENANCE.....</b>	<b>111</b>
8.1 Entretien.....	111
8.2 Réparation.....	112
<b>9 PATHOLOGIES.....</b>	<b>113</b>
9.1 Pathologies les plus fréquentes.....	113
9.2 Synthèse des pathologies recensées et des risques encourus.....	113
<b>ANNEXE A</b>	
Calcul du coefficient de transmission thermique.....	121
<b>ANNEXE B</b>	
Nœuds constructifs conformes à la PEB.....	123
<b>ANNEXE C</b>	
Aide-mémoire : travaux d'enduits sur isolation extérieure (ETICS).....	135
<b>ANNEXE D</b>	
Principe du dimensionnement au vent (cas simples).....	141
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>155</b>



# 1

## INTRODUCTION

### 1.1 OBJECTIF ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Note d'information technique (NIT) est consacrée aux enduits sur isolation extérieure. Elle remplace partiellement la **NIT n° 209** qui traite notamment des enduits combinés à une isolation extérieure. Dans la présente NIT, ces systèmes sont désignés par l'acronyme 'ETICS' (abréviation de l'anglais '*External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering*', traduisez 'Systèmes composites d'isolation thermique par l'extérieur avec enduit').

Cette NIT constitue un code de bonne pratique de la mise en œuvre de ces systèmes. L'ensemble des spécifications en vigueur en Belgique les concernant est formulé dans les STS 71.2 [S6]. Elle vise uniquement les systèmes qui répondent à ces spécifications et qui sont mis en œuvre par des entreprises spécialisées et compétentes. Les solutions techniques proposées et les recommandations de mise œuvre établies en concertation avec le secteur n'excluent pas des variantes.

Les prescriptions de la présente NIT sont d'application pour les bâtiments exposés à une action du vent allant jusqu'à 2.000 Pa. Des exigences complémentaires peuvent être posées pour les bâtiments plus exposés (performances, dispositions constructives). Dans certains cas, la limite du domaine d'application est inférieure (ossature en bois, par exemple).

Les ETICS sont généralement considérés comme une solution adéquate pour l'isolation thermique des parois verticales extérieures, sous réserve que les conditions suivantes soient remplies :

- une conception adaptée (en particulier des détails) et des prescriptions claires (concepteur/architecte)
- un système éprouvé (titulaire de système, appelé fabricant dans la présente NIT), tel que les systèmes disposant d'un agrément technique belge (ATG, par exemple) figurant sur le site Internet de l'Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBAtc)
- une exécution correcte des travaux et en particulier des détails techniques, ce qui implique de faire appel à une



Fig. 1 Exemple de réalisation d'un ETICS.

entreprise spécialisée (entrepreneur, appelé façadier dans la présente NIT)

- un entretien adéquat après l'exécution des travaux (maître d'ouvrage et entrepreneur).

Afin d'aider les différents acteurs concernés à répondre à ces conditions, la présente NIT décrit les matériaux utilisés (voir chapitre 2, p. 11) et les supports admissibles (voir chapitre 4, p. 43). Par ailleurs, elle synthétise les sollicitations auxquelles les ETICS doivent résister et les exigences qui leur sont imposées à cet égard (voir chapitre 3, p. 33). Elle met également l'accent sur les recommandations constructives relatives aux détails techniques (conception et exécution) en tenant compte des nœuds constructifs 'conformes' au sens de la PEB (voir chapitre 5, p. 49). Elle expose en outre un ensemble de recommandations concernant la mise en œuvre des systèmes (voir chapitre 6, p. 77), qui vise à remplir les critères de réception des travaux (voir chapitre 7, p. 103), mais surtout à limiter les pathologies (voir chapitre 9, p. 113). Enfin, elle décrit la maintenance de ces systèmes (voir chapitre 8, p. 111).

## 1.2 BREF HISTORIQUE

L'isolation thermique des parois verticales extérieures des bâtiments peut être réalisée au moyen de trois grands types de techniques : l'isolation thermique répartie (ITR – maçonnerie isolante, par exemple), l'isolation thermique par l'intérieur (ITI) et l'isolation thermique par l'extérieur (ITE). Les ETICS appartiennent à la dernière catégorie, à l'instar des techniques mettant en œuvre des bardages, des pierres naturelles agrafées, des vêtements ou des maçonneries de parement.

Les techniques d'isolation ont connu un premier essor à la suite des chocs pétroliers des années 1970. En Belgique, la technique du 'mur coulisse' (non isolé) – qui avait déjà supplanté le mur massif traditionnel en maçonnerie quelques décennies plus tôt en augmentant la résistance à la pénétration d'eau de pluie par la création d'une double barrière – a été optimisée par l'insertion d'une couche de matériau isolant dans le creux. Certains pays ont connu l'émergence de l'isolation par l'intérieur (France, par exemple), tandis que d'autres ont vu les ETICS prendre de l'importance (Allemagne, par exemple). En Belgique, bien que les premières réalisations aient vu le jour dès les années 1970, l'utilisation des ETICS n'a pas évolué de manière significative à cette époque.

Les années 2000 ont été marquées par un nouvel essor des techniques d'isolation dû au renforcement des exigences

thermiques (réglementation relative à la performance énergétique des bâtiments ou PEB). À l'aube de 2020, les exigences connaissent toujours une sévérité croissante. Il en résulte une utilisation accrue des ETICS en Belgique tant en construction neuve qu'en rénovation, notamment grâce à une meilleure connaissance de la technique et à une plus grande confiance en celle-ci, mais aussi à la certification de systèmes éprouvés et à la spécialisation de diverses entreprises. L'emploi de ces systèmes se chiffre depuis peu à plus d'un million de mètres carrés de façade par an (pour environ 9 millions de m<sup>2</sup> de façades en brique de terre cuite). Même comparée proportionnellement (au nombre d'habitants, par exemple), cette quantité reste encore bien inférieure à celle de pays tels que l'Allemagne ou la Pologne (plus de 40 millions de m<sup>2</sup>/an). En Europe, le marché total des ETICS atteignait 200 millions de mètres carrés par an en 2011 selon les données disponibles.

## 1.3 SPÉCIFICITÉS

Les techniques d'isolation par l'extérieur peuvent être appliquées aussi bien en construction neuve qu'en rénovation. Elles favorisent en effet le comportement hygrothermique de la façade (continuité de l'isolation, risque limité de condensation interne, conservation de la masse thermique des murs extérieurs, absence de limitation de l'épaisseur d'isolant) et protègent la structure portante contre les influences du climat extérieur.

Dans le cadre de la rénovation thermique de bâtiments existants, défi majeur pour le secteur de la construction, ces techniques permettent en outre de ne pas réduire l'espace intérieur existant et de ne pas gêner l'occupation durant les travaux. On recommande dès lors d'y avoir recours lorsqu'elles sont applicables. Étant donné les modifications d'aspect esthétique apportées à la façade, un permis d'urbanisme est néanmoins requis et des contraintes urbanistiques ou architecturales peuvent faire obstacle à leur usage dans certains cas (façade revêtant un caractère architectural ou empiètement sur la voie publique, par exemple). En rénovation, il n'est pas toujours aisé de limiter les ponts thermiques, notamment au niveau des pieds de mur, des éléments en saillie par rapport à la façade (murs de refend extérieurs, balcons, etc.) ou au droit des baies (menuiseries et seuils existants, entre autres).

Parmi les techniques d'isolation par l'extérieur, les ETICS se distinguent par le fait que le parachèvement est solidaire du

Tableau 1 Classification des différents types d'isolation thermique des parois verticales extérieures.

Type d'isolation	Isolation thermique par l'extérieur (ITE)		Isolation thermique répartie (ITR)	Isolation thermique par l'intérieur (ITI)
Paroi verticale extérieure	ETICS, bardages, vêtements ou pierres agrafées	Mur à coulisse	Maçonnerie isolante ou ossature isolée	Parachèvement + isolant intérieur



Fig. 2 Mise en œuvre des panneaux d'un ETICS.

matériau isolant et que ces deux éléments constituent une simple barrière d'étanchéité. La compatibilité et la durabilité de la combinaison 'parachèvement-isolant' sont primordiales. De plus, en raison de la faible capillarité de certains enduits, l'eau de pluie s'abattant sur la façade ruisselle rapidement à la surface de cette dernière; c'est pourquoi tous les détails doivent favoriser le rejet d'eau et empêcher les infiltrations. Au droit des discontinuités du système, des concentrations de contraintes apparaissent sous l'effet des sollicitations hygrothermiques inévitables. Il est indispensable de traiter ces points de manière ciblée afin de limiter le risque de fissurations et/ou d'infiltrations d'eau dont les conséquences peuvent altérer l'aspect et les performances techniques du système. Enfin, le système étant caractérisé par sa classe de résistance aux chocs, il devra être choisi en fonction des impacts prévisibles.

## 1.4 CONTEXTE NORMATIF

Jusqu'en 2000, les ETICS qui bénéficient d'une évaluation positive pouvaient obtenir un agrément européen délivré par l'UEAtc (Union européenne pour l'agrément technique dans la construction).

Depuis lors, un marquage CE (par le biais d'un agrément technique européen (ATE) délivré par l'EOTA, *European Organization for Technical Approvals*) peut être obtenu sur la base des directives de l'ETAG 004 [E3]. En Belgique, ces directives

(UEAtc, puis ETAG 004) s'accompagnent d'exigences complémentaires tenant compte des spécificités du climat [G1, D1].

À l'heure actuelle, des normes européennes concernant les ETICS sont en cours de rédaction (par le CEN TC 88) en vue d'une harmonisation. Lorsque celles-ci entreront en vigueur, le marquage CE sera obligatoire.

L'harmonisation des normes est réalisée conformément à la Directive européenne sur les produits de construction (DPC, Directive 89/106/CEE de 1988 [U2]). Cette directive a été abrogée en 2011 en faveur d'un règlement (RPC, Règlement n° 305/2011 [U3]) entré en vigueur en 2011, mais dont la plupart des articles sont d'application à partir de 2013. Outre les six exigences essentielles définies dans la DPC (1), le RPC prévoit une septième exigence qui vise l'utilisation durable des ressources naturelles et qui prend en considération l'ensemble du cycle de vie des ouvrages.

Pour l'instant, seuls les supports en maçonnerie ou en béton sont visés par ces documents de référence. L'ensemble des spécifications relatives aux ETICS s'appliquant en Belgique est synthétisé dans les STS 71.2 [S6].

La norme relative à l'exécution des enduits extérieurs (NBN EN 13914-1 [B29]) exclut explicitement les enduits sur isolation extérieure de son domaine d'application. Notons que les producteurs ont publié un document concerté au niveau européen ('*European guideline for the application of ETICS*') [E1]

(1) 1. Résistance mécanique et stabilité. 2. Sécurité en cas d'incendie. 3. Hygiène, santé et environnement. 4. Sécurité d'utilisation et accessibilité. 5. Protection contre le bruit. 6. Économie d'énergie et isolation thermique. Ces exigences ont été modifiées pour tenir compte de l'accessibilité aux personnes handicapées (4. Sécurité d'utilisation et accessibilité) ainsi que de la présence et de l'émission de substances dangereuses et de leur impact sur la qualité de l'environnement et sur le climat (gaz à effet de serre) (3. Hygiène, santé et environnement).

par l'EAE, *European Association for External Thermal Insulation Composite Systems*) ainsi qu'au niveau belge ('Manuel ETICS. Système d'isolation thermique extérieure' [1] par l'Association IVP ETICS).

## 1.5 ÉVOLUTIONS : UN SECTEUR INNOVANT

Quels que soient leurs moteurs (amélioration des performances techniques et de l'aspect esthétique et leur maintien dans le temps, amélioration des conditions de travail, évolution des réglementations énergétiques ou de libre circulation des produits ou autres, coût, impact environnemental, etc.), les nombreuses évolutions qu'ont connues les ETICS en termes de matériaux, de processus de production, de performances, de techniques de mise en œuvre, d'aspect esthétique et autres illustrent le dynamisme d'un secteur souvent considéré à tort comme 'traditionnel'.

L'aspect esthétique des murs de façade constitue évidemment un premier moteur d'innovation. Ce souci est reflété par la multitude de teintes et de textures des enduits disponibles et par la volonté de favoriser la durabilité des ETICS.

Les exigences de plus en plus sévères de la réglementation relative à la performance énergétique des bâtiments (PEB) orientent le secteur vers des épaisseurs d'isolation plus importantes et/ou vers des isolants aux performances thermiques améliorées permettant de réduire les épaisseurs nécessaires et donc l'épaisseur de la paroi. Parmi ceux-ci, on compte déjà le polystyrène expansé graphité (EPS gris), par exemple, mais des systèmes utilisant d'autres isolants synthétiques, tels que le polystyrène extrudé (XPS), la mousse polyuréthane (PU) et la mousse phénolique (PF), commencent à voir le jour. L'intégration de 'superisolants' (isolants sous vide ou VIP, PU nanoporeux, panneaux de fibres contenant de l'aérogel) est également à l'étude. En plus de réduire l'épaisseur des parois, ces solutions peuvent s'avérer pertinentes en rénovation, lorsque la largeur visible du dormant des menuiseries existantes est faible. Leur mise en œuvre au sein des ETICS est néanmoins subordonnée à la maîtrise des coûts et à un bon comportement éprouvé. Notons encore le développement des mousses-colles isolantes (voir ci-après) grâce auxquelles on peut notamment encoller des panneaux de forte épaisseur dans les zones de harpage (angle de bâtiments, par exemple) sans pont thermique.

Fixé par la réglementation, le traitement complémentaire des nœuds constructifs visant à réduire les déperditions thermiques (ponts thermiques à proscrire) entraîne l'adaptation des concepts constructifs associés, et ce, pour tous les types de parois. Certaines habitudes constructives sont, à cet égard, en pleine évolution. Dans le domaine des ETICS, on a ainsi vu l'émergence des chevilles de fixation à rosace optimisées (vis ou clou soit non métallique, soit protégé par de l'air

immobile ou par un bouchon isolant) ou encore de la technique de pose 'au cœur' de l'isolant. D'autres exemples sont les profilés de départ à coupure thermique, les panneaux à raccord de soubassement sans pont thermique ou les systèmes de raccords aux menuiseries extérieures en fonction de leur position par rapport au gros œuvre, etc.

Les performances techniques des ETICS et de leurs composants font également l'objet d'optimisation et d'innovation.

Depuis plusieurs années déjà, on vise en effet à augmenter la déformabilité des enduits tout en maintenant une résistance à la traction suffisante. En plus de limiter le risque de fissuration, cette déformabilité accrue offre notamment la possibilité d'appliquer des enduits aux tonalités plus soutenues (teintes plus sombres), plus sollicitées thermiquement. La technique récemment mise au point qui consiste à employer un adjuvant (dans l'enduit ou dans une peinture) réfléchissant un spectre infrarouge plus large permet également d'avoir recours à ce type de tonalité, car elle limite la sollicitation thermique. L'accentuation du caractère hydrophobe ('effet lotus', par exemple) est un autre exemple d'innovation. Bien d'autres développements sont en cours d'étude (usage de matériaux à changement de phase (PCM) afin de réduire le surrefroidissement nocturne et la condensation de surface, développement du comportement autonettoyant ou dépollueur, etc.). L'usage de biocides adaptés respectueux de l'environnement a également donné lieu à une optimisation des formulations en vue de maintenir leur aspect.

Les propriétés telles que le comportement hydrophobe et le comportement à l'humidité, la résistance mécanique (isolant à base de fibres, par exemple) et la stabilité dimensionnelle (isolants synthétiques, par exemple) ainsi que leur maintien dans le temps constituent autant de pistes d'évolution pour les panneaux d'isolation. Les accessoires connaissent, eux aussi, leur lot d'innovations. L'assortiment des profilés a ainsi été élargi afin de faciliter les tâches de l'entrepreneur.

Les évolutions concernent non seulement les performances et les caractéristiques des produits ou leur aspect esthétique, mais aussi des aspects liés à la mise en œuvre, tout aussi importants pour l'entrepreneur. Des enduits prêts à l'emploi (facilité de mise en œuvre) et des formulations adaptées à certaines conditions climatiques ont ainsi vu le jour. Le développement de la technique de collage des panneaux isolants au moyen de mousses-colles polyuréthane et d'un pistolet est, quant à lui, plus récent pour cette application.

Enfin, les ETICS offrent une solution pour réduire l'impact environnemental des parois extérieures, puisque l'épaisseur consacrée à l'esthétique et à la protection du mur de façade (enduit) est relativement réduite. Cette optimisation passe par le choix judicieux des matériaux, en particulier de l'iso-

lant, et d'un système éprouvé. Elle nécessite en outre d'atteindre la durée de vie escomptée et, comme pour tous les matériaux et systèmes constructifs, de gérer leur traitement en fin de vie (recyclabilité, par exemple).

## 1.6 ÉTENDUE DES TRAVAUX

Les travaux comprennent généralement :

- l'installation et l'utilisation d'échafaudages (sauf indication contraire)
- la protection des ouvrages non concernés (menuiseries et vitres, par exemple) lors de l'application de l'enduit
- le dépoussiérage du support
- l'application d'un primaire sur le support lorsque cela s'avère nécessaire
- la fourniture et la mise en œuvre de l'isolation dans l'épaisseur prévue
- la fourniture et la pose des profilés et des treillis
- la mise en œuvre, toutes fournitures comprises, des différentes couches de l'enduit
- l'utilisation d'une protection contre les conditions climatiques défavorables lors de l'exécution
- le nettoyage et l'enlèvement des déchets après la mise en œuvre (retour à l'état de propreté initial).

Ne sont en principe pas compris dans les travaux (sauf spécifications contraires dans les documents contractuels) :

- le sablage ou l'augmentation de la rugosité du support
- l'élimination des inégalités importantes du support
- l'enlèvement ou la neutralisation des produits de décoffrage
- l'application d'une couche d'égalisation visant à corriger les surfaces qui dépassent les tolérances
- la protection contre la corrosion des parties métalliques existantes
- la dépose et la pose des tuyaux de descente, des colonnes d'évacuation, etc.
- la réparation des bétons
- les travaux d'adaptation liés à la présence de câbles sur le support
- la pose des joints souples (à signaler au donneur d'ordre)
- le dimensionnement au vent (calcul du nombre de fixations mécaniques, etc.).

Il incombe au donneur d'ordre de fournir, avant le commencement des travaux, toutes les indications utiles concernant les niveaux à respecter (niveau du sol extérieur fini, par exemple), les surfaces à traiter, les détails de finition à réaliser au droit des raccords avec les autres parties du bâtiment, etc. Par ailleurs, on s'assurera que la construction en question est apte à être pourvue d'un ETICS.

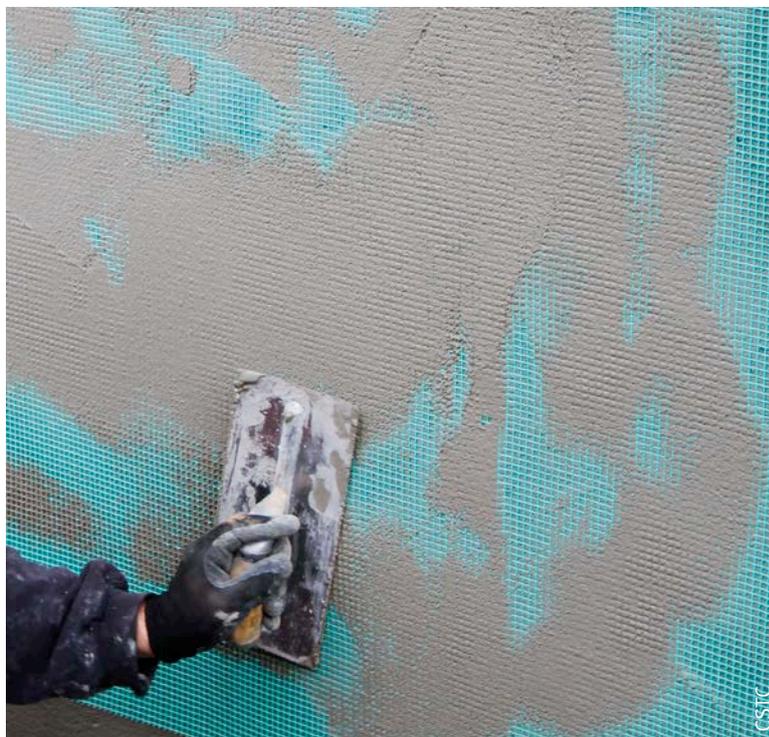


Fig. 3 Mise en œuvre de l'enduit de base renforcé d'un ETICS.



# 2

## SYSTÈME, COMPOSANTS ET ACCESSOIRES

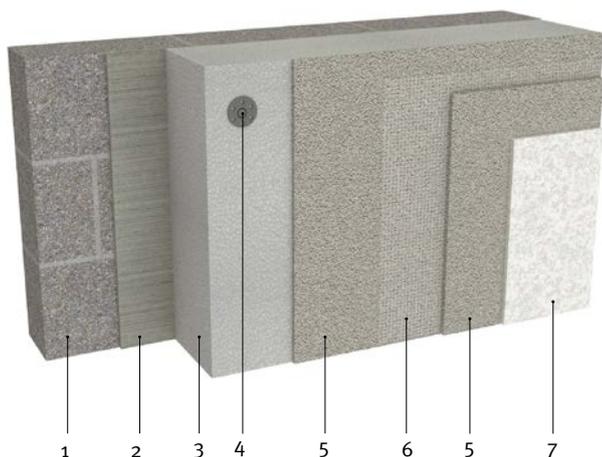
### 2.1 LES ETICS : SYSTÈMES 'FERMÉS'

Un système d'enduit sur isolation extérieure ou ETICS est constitué, de l'intérieur vers l'extérieur (voir figure 4) :

- de moyens de fixation (colle, fixations mécaniques)
- d'un isolant thermique
- et de l'enduit proprement dit (enduit de base armé et enduit de finition).

Divers accessoires (profilés en PVC, en acier inoxydable ou en aluminium, par exemple) forment le complément indispensable de ce procédé d'exécution.

Les ETICS sont des systèmes 'fermés', ce qui signifie que le fabricant (titulaire du système) est responsable de la déclaration de l'attestation de conformité du système et des produits qui le constituent. Toute combinaison de matériaux appartenant à des systèmes issus de fabricants différents est dès lors à proscrire.



1. Support
2. Colle
3. Isolation thermique
4. Fixation mécanique (éventuelle)
5. Enduit de base
6. Treillis d'armature
7. Enduit de finition

Fig. 4 Composition d'un ETICS.



Fig. 5 Bâtiments revêtus d'un ETICS.

### 2.2 L'ENDUIT

#### 2.2.1 FONCTIONS

Tout au long de sa durée de vie, l'enduit doit assurer la protection de la paroi contre les actions du climat (barrière contre la pluie, le gel et les variations de température) et être suffisamment perméable à la vapeur d'eau. Il doit être reconnu insensible à la fissuration (fissures admissibles  $\leq 0,2$  mm d'épaisseur), mais aussi adhérent et résistant aux chocs susceptibles d'affecter la zone d'exposition. L'enduit, tout comme l'ETICS, n'a pas pour fonction de garantir l'étanchéité à l'air, mais contribue à cette propriété. Enfin, outre ses fonctions techniques, il remplit un rôle esthétique évident.

#### 2.2.2 NATURE

Le système d'enduit se compose d'un enduit de base doté d'un treillis de renforcement, généralement en fibres de verre, et d'un enduit de finition (voir tableau 2, p. 13). Il existe différents modes de mélange et de mise en œuvre : poudres à base de ciment ou de chaux hydraulique (et de résine organique) à laquelle on ajoute une quantité d'eau déterminée sur chantier, pâtes prêtes à l'emploi et pâtes à base d'un liant organique à laquelle on ajoute une certaine quantité de ciment sur chantier.

À cela s'ajoutent d'éventuels produits de prétraitement ou de finition qui déterminent l'absorption du support et qui peuvent contribuer à l'adhérence entre les couches ainsi qu'à l'homogénéisation de leur couleur. Le système peut en outre être parachevé au moyen d'une peinture appropriée.

On parle d'enduit de base 'mince' lorsque l'épaisseur nominale est inférieure à 5 mm et d'enduit de base 'épais' lorsque celle-ci est supérieure ou égale à 5 mm. On parle d'un système d'enduit (enduit de base et enduit de finition) 'mince' lorsque l'épaisseur totale est de l'ordre de 3 à 10 mm et de système 'épais' lorsque celle-ci est supérieure à 10 mm.

### 2.2.2.1 Enduit de base

L'enduit de base peut contenir un liant organique (acrylique, par exemple) ou un liant minéral (ciment, par exemple) éventuellement modifié par un liant organique. La nature du liant joue un rôle important dans la reprise des inévitables tensions hygrothermiques et dans le comportement à la fissuration (résistance en traction et module d'élasticité).

Les enduits de base organiques sont réputés plus élastiques (plus déformables ou au module d'élasticité plus faible) que les enduits minéraux. À titre indicatif, le module d'élasticité s'élève à 1.000 N/mm<sup>2</sup> pour un enduit de base organique, à 2.000 N/mm<sup>2</sup> pour un enduit minéral à base de chaux hydraulique et à 8.000 N/mm<sup>2</sup> pour un enduit minéral à base de ciment.

### 2.2.2.2 Treillis de renforcement

Les treillis de renforcement sont habituellement constitués de fibres de verre (les treillis métalliques ne sont pas exclus) et sont délivrés sous forme de rouleaux de longueurs variées et, en général, d'une largeur de 1 m. Aussi appelés armatures, treillis ou tissus, ils ont une haute résistance en traction,

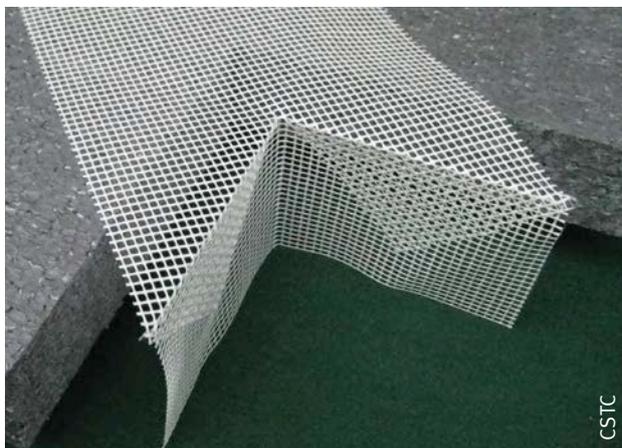


Fig. 6 Treillis de renforcement préformé.

sont résistants aux alcalis et sont incorporés dans l'enduit de base frais.

Dans certains cas, on utilise un treillis supplémentaire en vue de prévenir au mieux les dégâts mécaniques. Ils sont également utilisés comme renforts de surface ponctuels, sous forme de bandes (de 30 × 30 cm dans les angles de baie, par exemple), auquel cas on les appelle parfois 'mouchoirs'. Ces treillis peuvent être préformés (voir figure 6).

### 2.2.2.3 Enduit de finition

Les **enduits organiques** se composent d'un liant principal sous forme de résine organique (acrylique ou autre) en dispersion, de charges et d'additifs. Étant donné qu'ils ne contiennent aucun liant inorganique (minéral), ils ne sont pas alcalins. Vu leur pH neutre, l'addition d'un biocide leur conférant une résistance à la prolifération d'algues et de mousses est généralement requise. S'ils sont appliqués sur un enduit de base minéral alcalin (contenant du ciment), ils doivent être résistants aux alcalis. Ils se présentent sous forme de pâtes prêtes à l'emploi.

Les **enduits organiques siliconés** sont constitués d'un liant principal sous forme de résine acrylique siliconée en émulsion, de polymères en dispersion, de pigments, de charges et d'additifs. Ils offrent une répulsion à l'eau accrue sans amoindrir la perméabilité à la vapeur d'eau. Ils se trouvent sous forme de pâtes prêtes à l'emploi.

Les **enduits silicatés** sont composés d'un liant principal minéral silicaté (verre de potassium), d'une quantité limitée de polymères en dispersion et éventuellement d'additifs organiques (pour augmenter le comportement répulsif à l'eau) résistant aux alcalis (généralement des styrènes acryliques), les pigments et les charges inorganiques ne réagissant pas avec le verre de potassium. Cette contrainte limite le nombre de pigments colorés disponibles. L'adjonction du liant organique en quantité restreinte permet de réduire l'absorption d'eau tout en maintenant une bonne perméabilité à la vapeur d'eau. Ces produits présentent à l'origine une forte alcalinité due au liant principal. Ils sont délivrés sous forme de pâtes prêtes à l'emploi.

Les **enduits minéraux** comprennent, quant à eux, un liant principal minéral (ciment et/ou chaux), un éventuel composant organique (ciment modifié) et des charges. Ils nécessitent l'ajout d'eau de gâchage sur chantier. Leur pH initialement alcalin diminue au cours du temps par carbonatation à partir de la surface apparente.

Chaque type d'enduit peut être issu de plusieurs formulations et procédés de production. On ne peut déduire les propriétés d'un enduit uniquement sur la base de son appartenance à un type. Il convient dès lors d'adopter une approche basée sur des exigences performantielles (voir chapitre 3, p. 33, et STS 71.2 [S6]).

Tableau 2 Types d'enduits de finition, composition et caractéristiques.

Type d'enduit	Liant principal	Durcissement	Conditions climatiques lors de la mise en œuvre (*)	Teintes disponibles
Enduits organiques	Résine organique (acrylique ou autre)	Séchage physique/ coalescence	Sec, de 5 à 30 °C	Très nombreuses
Enduits siliconés	Résine siliconée (acryl-siloxane)			Nombreuses
Enduits silicatés	Silicate de potassium (verre de potassium)	Réaction chimique/ séchage physique	Sec à légèrement humide, de 8 à 25 °C	Limitées
Enduits minéraux	Ciment ou chaux hydraulique (éventuellement modifiés)		Sec à légèrement humide, de 5 à 30 °C	

(\*) Ces conditions s'appliquent pendant la durée des travaux et pendant au moins 24 heures consécutives. Dans tous les cas, les surfaces doivent être protégées contre l'ensoleillement direct et les grands vents. Les températures indiquées sont valables pour l'air ambiant et pour le support.

Étant donné les différents modes de durcissement des enduits, il est indispensable de respecter les exigences concernant les conditions climatiques lors de l'application. Les produits doivent en outre être mis en œuvre selon les prescriptions du fabricant (combinaisons d'enduits de base et d'enduits de finition, nécessité d'une couche d'apprêt, modes de mélange et de mise en œuvre, proportions, épaisseur de l'enduit, conditions climatiques pendant et après les travaux, etc.).

#### 2.2.2.4 Peinture

Les peintures pour ETICS sont composées d'un liant, de pigments, de charges, d'adjuvants et de solvant. Les liants sont le plus souvent des résines acryliques ou siloxanes. Ces dernières contiennent, dans la majorité des cas, des ajouts de résines acryliques et sont couramment appelées résines siliconées. Il existe également des peintures minérales à base de silicate qui peuvent renfermer des éléments organiques (au maximum 5 %).

L'application d'une peinture sur un système d'enduit sur isolation extérieure peut avoir lieu dans différents cas de figure. Certains ETICS intègrent directement un parachèvement optionnel du système d'enduit par une peinture. Celle-ci fait alors partie du système d'isolation par l'extérieur. Elle peut être appliquée après la mise en œuvre de l'enduit de finition ou ultérieurement. Par ailleurs, des peintures peuvent être appliquées au cours de la vie de l'édifice, à la suite d'opérations d'entretien ou de rénovation du système d'enduit, par exemple. Les peintures peuvent remplir des fonctions de protection et de décoration des ETICS.

Les caractéristiques des peintures sont décrites dans le tableau A1 de la [NIT n° 249](#) [C11]. La peinture doit être spécifiquement adaptée à l'ETICS sur lequel elle est mise en œuvre et, en particulier, être compatible du point de vue chimique. À cet égard, nous renvoyons le lecteur à la [NIT n° 249](#) (§ 4.2 et tableau 9) [C11].

La résistance de la peinture à la diffusion de vapeur d'eau devra être suffisamment faible pour que la résistance du système d'enduit traité réponde aux critères du § 3.3.1 (tableau 10, p. 34) visant à limiter les condensations internes. Elle sera au maximum de classe V2, voire de classe V1 en cas d'isolant perméable à la vapeur d'eau (voir § 4.1.3 de la [NIT n° 249](#) [C11]).

Lors du choix d'une peinture pour le rafraîchissement ou l'entretien de l'ETICS, on se basera sur le tableau 40 de la [NIT n° 249](#) [C11].

### 2.2.3 ASPECT

#### 2.2.3.1 Texture

La texture et l'aspect de l'enduit dépendent de la granulométrie de la charge et de l'épaisseur de la couche mise en œuvre. Différentes textures granuleuses, allant de la plus fine à la plus grossière, sont possibles. La structure 'grattée' nécessite des épaisseurs plus importantes et des enduits minéraux spécialement formulés pour cet usage ('enduit gratté').

Les enduits de finition mis en œuvre en épaisseur de grain (1 à 4 mm) peuvent avoir un aspect grésé (taloché-structuré) ou un aspect ribbé (roulé) (voir figures 7 et 8, p. 14). Ces aspects sont conditionnés par la forme respectivement anguleuse ou arrondie des granulats présents dans le produit.

L'aspect grésé (taloché-structuré) est obtenu par talochage (avec une taloche en inox, suivi du grésage avec une taloche en PVC). L'aspect ribbé (roulé) résulte du parachèvement à la taloche qui fait rouler les gros grains arrondis sur le support, formant ainsi des stries irrégulières de différentes largeurs.

La gamme d'enduits de finition 'en épaisseur de grain' d'une même nature fournis par un même fabricant peut comprendre différentes dimensions des plus gros grains (1,5, 2 ou 3 mm,

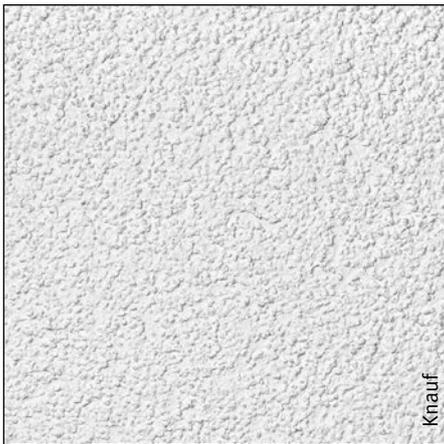


Fig. 7 Enduit grésé.

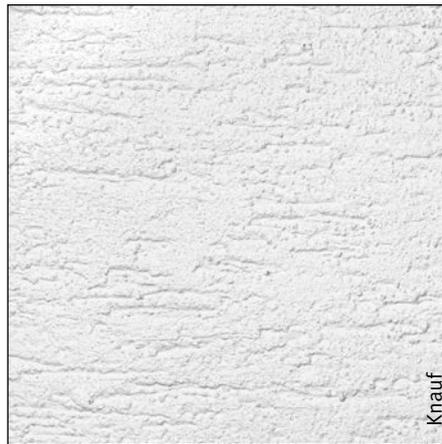


Fig. 8 Enduit ribbé.

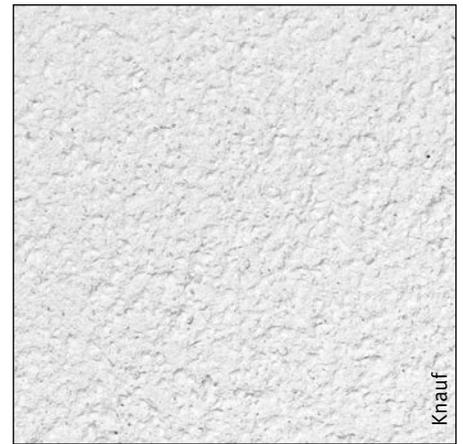


Fig. 9 Enduit gratté.

par exemple). Le choix sera réalisé avant la mise en œuvre et aura une influence sur l'aspect.

L'aspect plan est donné par des enduits minces spécifiques comportant des granulats d'une taille inférieure à 1 mm.

L'enduit à gratter est, quant à lui, appliqué en une épaisseur qui dépend des dimensions des grains et de la structure de surface souhaitée et qui est comprise entre 10 et 15 mm. Il est gratté sur environ 2 à 3 mm à l'aide d'un outillage adapté (fer à gratter, grattoir, taloche avec métal déployé, etc.), après la première prise et avant le durcissement complet de l'enduit. De cette façon, les grains les plus gros deviennent apparents (voir figure 9 et figure 10, p. 15).

La création d'une structure en surface offre de nombreux avantages par rapport à une finition lisse, notamment :

- les fissures éventuelles sont moins visibles
- l'uniformité d'aspect (conseillée en cas d'enduit coloré)
- même si les salissures ont tendance à s'accrocher plus facilement sur une surface rugueuse, leur impact visuel est moins gênant.

### 2.2.3.2 Couleur

La palette de couleur des enduits de finition organiques est plus étendue que celle des enduits minéraux et des enduits silicatés.

Lors du choix de la couleur, on tiendra compte du fait que les couleurs foncées soumises au rayonnement solaire engendrent des températures plus élevées (en particulier sur un isolant thermique) et donc des déformations thermiques plus importantes. Les sollicitations thermiques subies par l'ensemble des couches constituant le système d'enduit, en particulier l'enduit de finition, découlent effectivement en grande partie de la clarté de la couleur, les couleurs sombres étant défavorables.

Afin de réduire la température et le niveau de ces contraintes, il est recommandé de limiter l'indice de clarté IC (à 20, 30 ou 40 %, par exemple) pour une façade exposée à l'ensoleillement direct. La limitation dépendra également de la nature et de l'épaisseur de l'enduit de base, et donc aussi de son élasticité (voir encadré). Si celui-ci est suffisamment élastique, on pourra escompter un bon comportement, même en présence de couleurs plus sombres (indice de clarté plus faible).

Lorsque l'enduit contient des pigments réfléchissant les rayons infrarouges (IR), des couleurs plus sombres peuvent également être utilisées. Dans ce cas, on se base sur les caractéristiques de réflexion et d'absorption totales du rayonnement solaire, plus pertinentes, selon nous, que l'indice de clarté.

Les charges ou pigments utilisés pour donner la couleur désirée à l'enduit de finition doivent provenir d'une seule

#### Indice de clarté (IC)

##### Limitation de l'indice de clarté :

- IC ≥ 20 % dans le cas d'un enduit de base organique
- IC ≥ 40 % dans le cas d'un enduit de base minéral.

##### Calcul de l'indice de clarté :

- Indice de clarté (IC) : valeur indiquant la clarté de la couleur renseignée par le fabricant de l'ETICS.
- L\* : luminosité mesurée selon le système de couleurs L\*.a\*.b\* (L\* : variable de luminosité, a\* et b\* : coordonnées chromatographiques; voir **Infocarte n° 25** [M1]).

- Relation entre IC et L\* :  $IC = \left( \frac{L^* + 16}{116} \right)^3 \times 100$ .

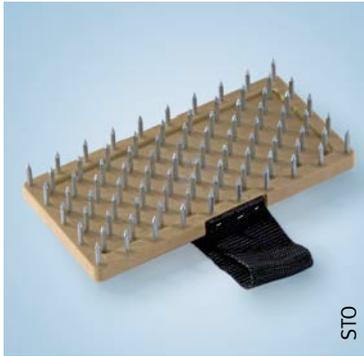


Fig. 10 Grattoir.



Fig. 11 Échantillons d'enduits de différentes couleurs et textures.

fourniture et seront homogénéisés. Il est préférable d'utiliser des compositions prêtes à l'emploi issues d'un même lot de fabrication pour chaque façade.

L'obtention d'une couleur parfaitement uniforme est pratiquement impossible en raison notamment de l'absorption par le support.

Étant donné leur mode de mise en œuvre, les enduits minéraux non prêts à l'emploi, et en particulier les enduits grattés, peuvent présenter des nuances de couleur. En outre, un voile de chaux blanchâtre peut se former sur les enduits foncés. Ce phénomène est lié aux conditions climatiques durant et après l'application.

Dans le cas d'enduits organiques, la couleur, obtenue par l'introduction de pigments, sera homogène à condition que la couche soit suffisamment épaisse et/ou qu'elle soit appliquée de manière uniforme.

L'inaltérabilité de l'aspect des enduits pigmentés de couleur foncée n'est pas toujours garantie; c'est pourquoi il est recommandé de les peindre. Les différences au sein des couleurs bleues et rouges sont plus prononcées qu'au sein des couleurs vertes.

La pollution de l'air occasionne des dépôts et/ou des accumulations de saletés à la surface de l'enduit (suie, poussière, etc.), principalement en ville et dans les zones industrielles. Ces dépôts peuvent provoquer des dégâts en cas de pénétration d'oxyde de soufre et d'azote (attaque du ciment ou de la chaux) et/ou des décolorations, uniformes ou non,

de la surface. Sur une surface rugueuse, le lavage par la pluie produira une décoloration plus homogène que sur une surface lisse. Des détails corrects (voir chapitre 5, p. 49) permettront d'éviter des écoulements préférentiels de l'eau de pluie susceptibles d'occasionner une érosion localisée et des coulures.

## 2.3 L'ISOLANT

### 2.3.1 NATURE ET ÉVOLUTION

L'isolant est disponible sous la forme de panneaux manufacturés rigides. Leurs bords sont à feuillure (épaulement), à rainure et languette ou simplement droits. Leur surface peut être profilée ou plane.



Fig. 12 Échantillons d'isolants de différentes natures.



Fig. 13 Pose d'un isolant sur une façade extérieure.

En Belgique, les isolants les plus utilisés depuis plus de 25 ans, sont :

- le **polystyrène expansé** (EPS), qui représente plus de 85 % du marché (98 % en 2013), tout comme dans le reste de l'Europe. On distingue l'EPS blanc et l'EPS graphité (de couleur grise). L'utilisation de ce dernier est croissante en raison de ses meilleures performances thermiques, mais, étant donné sa couleur sombre, il requiert une protection contre l'ensoleillement lors de la mise en œuvre et du stockage, afin d'éviter le risque de tuilage
- la **laine minérale** (MW), en particulier la laine de roche, qui représente moins de 15 % du marché (moins de 2 % en 2013). On distingue, d'une part, les isolants de type *slab*, aux fibres parallèles à la surface et, d'autre part, les isolants de type *lamella*, aux fibres perpendiculaires à la surface (la résistance à la traction perpendiculaire à la surface dépend de l'orientation des fibres et est supérieure pour les isolants de type *lamella*).

La recherche de niveaux d'isolation toujours supérieurs pour les parois stimule de plus en plus le choix de panneaux isolants de forte épaisseur. Des niveaux d'isolation thermique très élevés (valeur du coefficient de transmission thermique U de l'ordre de 0,12 W/m<sup>2</sup>.K) peuvent, par exemple, être obtenus grâce aux panneaux EPS, dont l'épaisseur peut atteindre

30 à 35 cm. Notons que le coefficient de transmission thermique U d'une paroi n'est pas une fonction parfaitement linéaire de l'épaisseur de l'isolant (voir figure 39, p. 38, et § 3.6, p. 37).

Signalons enfin l'apparition d'une tendance à opter pour des matériaux d'isolation tels que :

- les **produits synthétiques** comme le polystyrène extrudé (XPS), la mousse polyuréthane (PU, qu'il s'agisse de mousse polyuréthane PUR ou polyisocyanurate PIR) ou la mousse phénolique (PF), connue aussi sous le nom de 'resol'. Ceux-ci sont en effet caractérisés par des performances thermiques généralement plus élevées
- les **panneaux à base de fibres de bois** (WF) ou de **liège expansé** (ICB) pour le caractère naturel du matériau
- le **verre cellulaire** (CG), la **mousse minérale** (MF) ou la **laine minérale** (MW) pour leur nature minérale et pour leur comportement au feu (incombustible). Le verre cellulaire est aussi apprécié pour son comportement à l'humidité (imperméable: absorption d'eau ~ 0, résistance à la diffusion de vapeur d'eau  $\mu = \infty$ ).

Dans la pratique, l'expérience de l'emploi de ces matériaux au sein des ETICS est toutefois limitée. On constate également l'émergence de panneaux d'isolation constitués de couches de différentes natures, combinées en usine ou sur chantier.

### 2.3.2 PROPRIÉTÉS ET EXIGENCES

Les isolants doivent au moins satisfaire aux spécifications techniques mentionnées dans les normes européennes harmonisées (voir tableau 3). En Belgique, des exigences supplémentaires sont fixées pour ces produits. Leur respect est nécessaire à l'obtention d'un ATG dans le domaine des ETICS.

Des exigences sur les tolérances dimensionnelles des panneaux doivent être respectées afin d'assurer leur pose ajustée en limitant les découpes et les désaffleurements, mais aussi de permettre l'application de l'enduit dans l'épaisseur nominale prévue et dans les tolérances visées (voir § 7.1, p. 103).

La possibilité d'avoir recours à des produits isolants comme support d'enduit est tributaire de leur stabilité dimensionnelle (retrait au jeune âge, qui doit être terminé avant la pose pour les produits synthétiques (EPS, XPS, PU, PF), et déformations sous variations hygrothermiques, qui ne peuvent pas excéder 0,5 %). Cette dernière permettra entre autres d'éviter

l'apparition du spectre des joints, voire la formation de fissures au droit de ceux-ci. L'influence de cette stabilité peut notamment être évaluée lors des essais hygrothermiques réalisés sur le système complet (voir § 3.3.1, p. 33).

La plupart des panneaux en **laine minérale** (MW) et en **fibres de bois** (WF) sont caractérisés par une résistance mécanique plus faible, ce qui implique qu'ils ne peuvent pas être posés uniquement par collage, mais nécessitent une fixation mécanique par chevillage (complétée par un encollage). En revanche, la résistance à la traction des panneaux de type *lamella* permet une pose collée. Le nombre de fixations dépend essentiellement des sollicitations engendrées par le vent. Par ailleurs, la résistance de ces panneaux peut être sensiblement amoindrie par la présence éventuelle d'humidité.

Toute la gamme de **résistance à la diffusion de vapeur d'eau** (valeur  $\mu$ ) est couverte, depuis les laines minérales ( $\mu \sim 1$ , perméable) jusqu'au verre cellulaire ( $\mu \sim \infty$ , imperméable) en passant par les produits synthétiques ( $\mu \sim 20$  à 200).

Tableau 3 Les isolants utilisés dans les ETICS et leurs propriétés (\*).

Propriétés	Isolants								
	Polystyrène expansé (EPS)	Laine minérale (MW)	Verre cellulaire (CG)	Mousse minérale (MF)	Polystyrène extrudé (XPS)	Mousse phénolique (PF)	Mousse polyuréthane (PU)	Fibres de bois (WF)	Liège (ICB)
Nature									
Norme harmonisée	NBN EN 13163 [B17]	NBN EN 13162 [B16]	NBN EN 13167 [B21]	–	NBN EN 13164 [B18]	NBN EN 13166 [B20]	NBN EN 13165 [B19]	NBN EN 13171 [B23]	NBN EN 13170 [B22]
ATE pour un ETICS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ATG pour un ETICS	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Conductivité thermique $\lambda$ [W/m.K]	0,032-0,040	0,040	0,038-0,045	0,045	0,035	0,023	0,028	0,045	0,040
Densité $\rho$ [kg/m³]	10-40	100-140	100	115	30-40	35-45	35-45	160-265	115-130
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$ [-]	Peu perméable 20-60	Perméable 1-2	Imperméable $\infty$	Perméable 3	Peu perméable 100-200	Peu perméable 50	Peu perméable 60	Perméable 2-5	Perméable 15
$S_d$ pour 10 cm [m]	2,0-6,0	0,1-0,2	$\infty$	0,3	10,0-20,0	5,0	6,0	0,2-0,5	1,5
Résistance à la traction [N/mm²]	0,080-0,200	0,005-0,030 /lamella : 0,080	0,100-0,150	0,080	0,080-0,150	0,040-0,060	0,150-0,200	0,003-0,200	0,080
Réaction au feu	E	A1	A1	A1	E	B-C	E	E	E

(\*) Données indicatives, non exhaustives, basées sur des ATE.

Selon la classification européenne, les **laines minérales** (MW), le **verre cellulaire** (CG) et la **mousse minérale** (MF) appartiennent à la classe A1 en matière de réaction au feu (incombustible). Les exigences légales pour les revêtements de façade portent sur le système complet, c'est-à-dire l'isolant revêtu de l'enduit qui peut constituer une protection. À cet égard, il incombe au fabricant de l'ETICS de déclarer la classe de réaction au feu du système (voir § 3.2, p. 33).

L'**analyse du cycle de vie** (ACV ou LCA) du système permet de déterminer l'impact environnemental de l'isolant en fonction de sa nature (voir § 3.9.2, p. 41).

L'ETAG 004 [E3], qui définit actuellement les exigences auxquelles doivent répondre les systèmes d'enduit sur isolation extérieure pour l'octroi d'un ATE (agrément technique européen), a été rédigé sur la base de l'expérience acquise pour des isolants de types EPS et MW. Pour les isolants d'autres natures, des exigences supplémentaires peuvent être formulées. Il existe à l'heure actuelle des systèmes d'enduit sur isolation extérieure disposant d'un ATE pour les isolants suivants : EPS, MW, CG, MF, PF, XPS, PU, WF, ICB. En Belgique, il existe des ATG complémentaires aux ATE visant des ETICS comprenant des isolants EPS, MW et CG.

Le tableau 3 (p. 17) reprend quelques propriétés des isolants qui entrent dans la composition des ETICS. Basées sur des ATE en notre possession, les valeurs sont données à titre indicatif et ne sont pas exhaustives.

## 2.4 LES MODES DE FIXATION

Il existe plusieurs principes ou modes de pose des ETICS. Ceux-ci doivent permettre le transfert des charges au support, à savoir principalement le transfert :

- du poids propre du système
- des actions du vent
- des sollicitations liées aux mouvements hygrothermiques.

Ils doivent être adaptés tant au support qu'à l'ETICS, ce qui se traduit par des exigences portant non seulement sur la liaison entre le système de fixation et le support, mais aussi sur la liaison entre le système de fixation et l'ETICS.

On distingue les quatre modes de fixation suivants :

- le **collage au support**, pouvant inclure ou non des fixations mécaniques complémentaires. Les systèmes peuvent être collés en plein (sur toute la surface) ou partiellement (minimum 40 % de la surface) par boudins et/ou par plots accompagnés d'une bande de colle sur les bords de la surface de pose des panneaux isolants. Les charges sont entièrement reprises par la colle. Les éventuelles fixations mécaniques complémentaires servent avant tout à assurer la stabilité jusqu'à la prise de la colle et tiennent lieu de liaison provisoire pour éviter les risques de décollement
- la **fixation mécanique au support au moyen de chevilles munies d'une rosace**, combinée à un encollage (minimum

40 % de la surface). La charge de vent est entièrement reprise par les fixations mécaniques. La colle sert à assurer la planéité du système mis en œuvre (on parle de système 'chevillé/calé'), à limiter les mouvements du système (déplacement du système dans le plan et tuilage, par exemple) et à éviter les mouvements d'air au dos des panneaux isolants

- la **fixation mécanique au support au moyen de rails (profilés) et de renforts latéraux**, éventuellement complétée par une fixation mécanique au moyen de chevilles à rosace et/ou par un encollage. L'application de ce système de fixation est actuellement peu courante
- la **fixation mécanique à une ossature au moyen de fixations à rosace ou d'agrafes**, éventuellement alliée à un encollage sur les montants de l'ossature. Ce procédé est relativement récent et est de plus en plus répandu. Les panneaux d'isolation de l'ETICS doivent offrir un comportement en flexion (résistance et rigidité flexionnelle) suffisant pour résister à l'action du vent. Ce mode de fixation sans support continu se distingue des principes de pose habituels des ETICS et le comportement réel des systèmes ainsi fixés face aux sollicitations est peu connu (résistance à l'action dynamique du vent et reprise des actions dans le plan telles que le poids propre et les mouvements hygrothermiques).

Si l'état de la surface (absence de peinture et cohésion suffisante, par exemple) et la planéité du support le permettent (construction neuve ou certains cas de rénovation), la technique la plus utilisée et la plus adéquate est celle du collage, à condition toutefois que l'isolant soit prévu à cet effet (EPS, par exemple).

Les modes de fixation mécanique font appel à des chevilles plastiques adaptées au support, éprouvées et marquées CE selon l'ETAG 014 [E4]. Ils sont soumis à l'évaluation de l'action du vent. Sur la base de méthodes d'essai spécifiques et après application d'un coefficient de sécurité au résultat, on peut calculer directement la résistance au vent et, par exemple, le nombre de fixations nécessaire par mètre carré en fonction de la zone de la façade, de la catégorie de rugosité du terrain, de la hauteur du bâtiment, etc. (voir Annexe D, § D3, p. 145, et NBN EN 1991-1-4 ANB [B10]).

Bien que différents modes de fixation soient souvent combinés, la distinction du mode principal est nécessaire afin de dimensionner correctement le système pour qu'il résiste à l'action du vent.

### 2.4.1 COLLAGE

#### 2.4.1.1 Notions importantes

En cas de pose collée au moyen d'un produit de collage à gâcher (mortier-colle), la **maturation** ou le **temps de repos** définit l'intervalle de temps entre la préparation (gâchage et mélange) et le moment à partir duquel le produit est utilisable. Elle peut durer quelques minutes. Débute ensuite la **durée**

**pratique d'utilisation** (ouvrabilité ou *pot-life*), qui équivaut au délai maximal durant lequel le produit gâché est utilisable. Ce délai est en général de quelques heures au maximum.

Pour tous les types de colle, le **temps ouvert** correspond au délai maximal pendant lequel les panneaux d'isolation peuvent être posés pour atteindre l'adhérence visée une fois la colle appliquée (généralement au dos du panneau).

Ces délais sont influencés par les conditions climatiques (temps chaud, par exemple). Lorsque le temps ouvert ou la durée pratique d'utilisation sont dépassés, la colle ne peut plus être employée.

#### 2.4.1.2 Types de colle

Les colles existent sous différentes formes :

- mortier sec : poudre préparée en usine à mélanger *in situ* avec la quantité d'eau ou de résine en dispersion spécifiée par le fabricant
- pâte à mélanger avec du ciment
- pâte prête à l'emploi
- produit sous forme de mousse (colle PU) à appliquer au pistolet.

On choisira toujours le type de colle préconisé par le fabricant du système et éprouvé pour l'usage. Il convient en outre de respecter les épaisseurs de mise en œuvre prescrites et de s'assurer des bonnes conditions climatiques lors de la prise.

Les différents types de colles (nature et domaine d'application) sont décrits ci-après. Leur mise en œuvre est décrite au § 6.6.2.2 (p. 86). À l'heure actuelle, les mortiers-colles sont les plus courants. On consultera les fiches techniques du fabricant de l'ETICS avant usage.

##### 2.4.1.2.1 Mortiers-colles

###### ■ Nature

Les mortiers-colles se composent d'un mélange de liants hydrauliques et organiques, de charges minérales et d'adjuvants organiques. Ils ne sont pas prêts à l'emploi. Ils peuvent se présenter sous la forme d'une poudre à gâcher en sac (à base de liant hydraulique, de granulats et d'adjuvants). Dans ce cas, le mortier-colle doit être mélangé à de l'eau propre ou, s'il s'agit d'un produit à deux composants, à son liquide de gâchage (résine en dispersion) avant la mise en œuvre. Ils peuvent également prendre la forme d'une pâte (à base de résine en dispersion et de granulats) à laquelle on ajoute une quantité déterminée de ciment (du type préconisé par le fabricant) sur chantier.

La prise s'opère par réaction chimique d'hydratation et par séchage physique. Les produits doivent être stockés au sec, à l'abri du gel et à une température comprise entre 5 et 25 °C.

###### ■ Domaine d'application

Les mortiers-colles permettent l'encollage des panneaux d'isolation ayant une résistance mécanique suffisante (EPS, par exemple) sur le support ou encore l'encollage complémentaire des isolants de moindre résistance fixés mécaniquement au moyen de chevilles munies d'une rosace (laine minérale (MW), par exemple). En règle générale, ils conviennent aux supports minéraux tels que la maçonnerie (éventuellement revêtue d'un enduit minéral existant) et aux structures en béton respectant les conditions reprises au chapitre 4 (p. 43).

Appliqués sous forme de bandes ou de plots (avec une bande sur le pourtour de la face de pose de l'isolant), ils permettent de compenser les écarts de planéité du support jusqu'à 15 mm/2m. Ils ne peuvent pas être utilisés pour encoller les chants des panneaux.

En principe, leur mise en œuvre doit avoir lieu à des températures comprises entre 5 et 30 °C (températures de l'air ambiant et des surfaces à encoller). Des formulations spécifiques, à prise plus rapide, permettent des encollages à faible température.

##### 2.4.1.2.2 Mousses-colles polyuréthane

###### ■ Nature

Les mousses-colles polyuréthane (PU) sont prêtes à l'emploi et sont applicables au pistolet sous forme de cordons d'environ 3 cm de diamètre. Elles se caractérisent par leur prise rapide et leur faible expansion. La prise a lieu par polymérisation chimique au contact de l'humidité contenue dans l'air. La colle peut être livrée sous forme d'aérosols ou de bidons qui doivent être stockés à la verticale, au sec et à une température comprise entre 5 et 25 °C.

###### ■ Domaine d'application

Elles sont utilisables sur un plus large éventail de supports que les mortiers-colles (maçonnerie, béton, bois, acier, etc.). Elles ne conviennent en revanche pas aux panneaux à base de fibres (laine de roche, par exemple). L'écart maximal de planéité du support ne peut excéder 8 mm/2 m. Il y a lieu de respecter les températures de mise œuvre prescrites pour les surfaces d'encollage et la colle (surfaces à encoller entre 5 et 30 °C et récipient contenant la colle entre 5 et 25 °C, par exemple).

Ces colles présentent l'avantage d'être isolantes (conductivité thermique  $\leq 0,04$  W/m.K). Elles permettent dès lors d'encoller les chants des panneaux d'isolation sans créer de ponts thermiques, contrairement aux mortiers-colles. En plus d'admettre une plus grande variété de supports, elles constituent donc des solutions intéressantes notamment aux jonctions, dans les zones de harpage et/ou en cas de forte épaisseur d'isolant.

### 2.4.1.2.3 Adhésifs en dispersion

#### ■ Nature

Constitués d'un liant organique (acrylate en général) et de charges, les adhésifs en dispersion sont prêts à l'emploi. La prise ou le durcissement se réalise par séchage physique associé à un processus de coalescence. La colle est fournie sous forme de pots à stocker dans un endroit frais et sec, à l'abri de l'ensoleillement et du gel.

#### ■ Domaine d'application

Ils permettent l'encollage des panneaux d'isolation sur des supports de diverses natures suffisamment plans (épaisseur du joint de colle de l'ordre de 2 à 3 mm) et peu absorbants, c'est-à-dire les panneaux de construction (à base de bois, par exemple), les maçonneries et les bétons 'plans'. En raison de leur processus de durcissement, ils ne peuvent être utilisés pour encoller deux matériaux imperméables. Les températures des surfaces d'encollage et de l'air ambiant doivent être conformes aux prescriptions du fabricant (5 à 30 °C, par exemple).

## 2.4.2 FIXATION MÉCANIQUE À ROSACE

### 2.4.2.1 Description

Les fixations en matière synthétique sont pourvues d'une rosace qui maintient les panneaux isolants contre le support. Grâce à sa rigidité, la rosace fait office de plateau de répartition de la pression : elle offre, d'une part, une résistance à la succion du vent s'exerçant sur le système et elle permet,

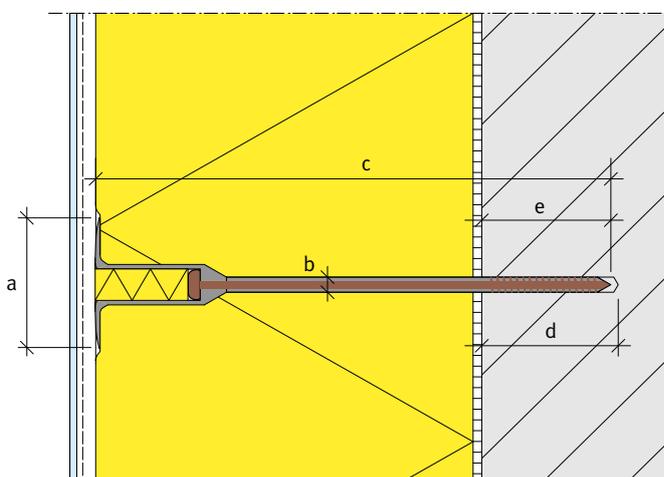
d'autre part, d'obtenir une pression de contact (précompression) suffisante entre l'isolant et le support pour la reprise des efforts dans le plan (poids propre du système).

Les fixations sont munies soit d'une vis métallique (cheville à visser) soit d'un clou (cheville à frapper) en plastique ou en métal et en plastique (clou métallique avec un percuteur synthétique, par exemple). Cette dernière option permet de limiter le pont thermique. C'est également à cette fin que, lors d'une pose à fleur de l'isolant, les chevilles à visser peuvent être pourvues d'un bouchon isolant servant à emprisonner tout volume d'air éventuel (voir figures 16 et 18, p.21). En cas de pose au cœur, on isolera la fixation à l'aide de rondelles (EPS ou MW) de même diamètre que la rosace (voir figures 17 et 18, p. 21).

Les fixations sont caractérisées par le diamètre de la rosace (ou plateau), mais aussi par leur longueur, leur diamètre, les profondeurs de forage et d'ancrage (lesquelles dépendent du support) ainsi que par la nature et la morphologie des supports admissibles (voir § 2.4.2.2, p. 22, et figure 14).

Lorsque l'isolant présente une résistance mécanique faible et que l'action du vent le requiert, on peut utiliser des rosaces complémentaires de diamètre supérieur (90 ou 140 mm, par exemple) en plus d'une cheville à rosace (voir figure 15, p. 21). L'augmentation du diamètre de la rosace permet une meilleure répartition des pressions. Cette solution est entre autres adaptée à la laine minérale sous forme de panneaux de type *lamella* devant être fixés mécaniquement. Ceux-ci présentent en effet une résistance au déboutonnage moindre due à l'orientation des fibres.

Le tableau 4 (p. 21) donne un aperçu des types de fixations à rosace les plus courants. Il y a lieu d'opter pour des chevilles



- a. Diamètre de la rosace
- b. Diamètre de la fixation
- c. Longueur de la fixation
- d. Profondeur de forage
- e. Profondeur d'ancrage

Fig. 14 Données géométriques des fixations à rosace.

Tableau 4 Types de fixations à rosace les plus courants.

Types de fixations à rosace les plus courants	
 <p>Cheville à rosace à visser (1) (2) (vis en acier)</p>	 <p>Cheville à rosace à frapper (clou en acier avec percuteur synthétique)</p>
 <p>Fixation à rosace à visser (1) (2) (3) (vis en acier)</p>	 <p>Cheville à rosace à frapper (clou synthétique)</p>

(1) Doit être complétée par un bouchon isolant en cas de pose à fleur de l'isolant.  
 (2) Doit être complétée par une rondelle isolante (EPS, MW) en cas de pose au cœur de l'isolant.  
 (3) Non couverte par l'ETAG 014 [E4]; adaptée pour les supports en bois notamment.



Fig. 16 Pose d'une fixation à fleur de l'isolant avec bouchon isolant.

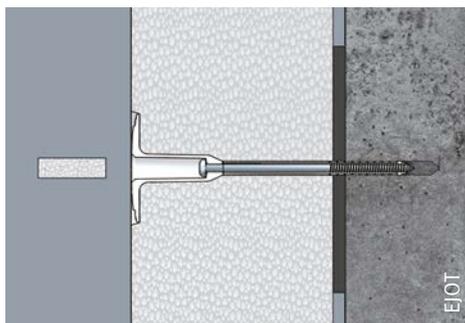


Fig. 17 Pose d'une fixation au cœur de l'isolant avec rondelle isolante.

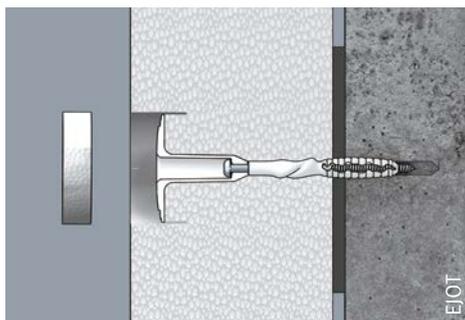


Fig. 15 Rosaces complémentaires de diamètre supérieur à combiner avec une cheville à rosace si nécessaire.



Fig. 18 Fixations à rosace accompagnées d'un bouchon isolant ou de rondelles isolantes permettant de limiter le pont thermique.

à rosace en matière synthétique disposant d'un agrément technique européen (ATE selon l'ETAG 014 [E4]) et plus particulièrement pour celles spécifiées par le fabricant du système. On se référera par ailleurs aux recommandations d'usage de ce dernier. Notons que certains types de chevilles à rosace et procédés de montage nécessitent des outils adaptés (accessoires de foreuse).

#### 2.4.2.2 Classification et choix en fonction des supports admissibles

La nature du support et la présence de perforations (aussi appelées alvéoles) dans les éléments de maçonnerie constituent des paramètres non négligeables dans la cadre d'une fixation mécanique.

L'ETAG 014 [E4] qui régit le marquage CE des ancrages destinés à la fixation mécanique des ETICS classe les fixations en cinq catégories, allant de A à E, selon la nature du support auquel elles sont destinées (voir tableau 5).

Les données relatives au support utilisé doivent donc être mises à la disposition du façadier, afin qu'il puisse choisir le type de fixations à mettre en œuvre le cas échéant. En cas de doute, on s'informerait auprès du fabricant.

#### 2.4.2.3 Positionnement

On distingue trois procédés de mise en œuvre des chevilles de fixation (voir figure 19 ainsi que prescriptions du fabricant du système et ATG ou ATE) :

- elles peuvent être posées à fleur des panneaux isolants soit immédiatement, soit après la prise de la colle, afin d'éviter que les panneaux se détachent à la suite des vibrations
- elles peuvent être posées au cœur des panneaux isolants soit immédiatement, soit après la prise de la colle, afin d'éviter que les panneaux se détachent à la suite des

Tableau 5 Classification des ancrages plastiques en fonction de l'usage visé (type de support) selon l'ETAG 014 [E4].

Catégorie d'ancrage plastique	Type de support visé
A	Béton de densité normale
B	Maçonnerie d'éléments pleins ( <i>solid masonry</i> )
C	Maçonnerie d'éléments perforés ou comportant des cavités
D	Béton de granulats légers (*)
E	Béton cellulaire autoclavé (*)
– (*)	Bois

(\*) Aussi comme éléments de maçonnerie.  
(\*) Non visé par l'ETAG 014 [E4].

vibrations. L'application au cœur n'est pas permise pour les panneaux d'une épaisseur inférieure à 80 mm

- elles peuvent être mises en œuvre dès que l'armature est incorporée dans la première passe d'enduit de base (avant le durcissement). De cette manière, les chevilles de fixation soutiennent non seulement les panneaux isolants, mais aussi la sous-couche de l'enduit. Dans le cas de finitions plus épaisses, plus lourdes (enduit gratté, par exemple), ou d'isolants de plus faible résistance, il s'avère parfois nécessaire de recourir à ce procédé.

#### 2.4.2.4 Propriétés thermiques et mécaniques

Outre les caractéristiques géométriques (longueur et diamètre de la rosace), il y a lieu de prendre en considération les propriétés thermiques et mécaniques décrites ci-après.

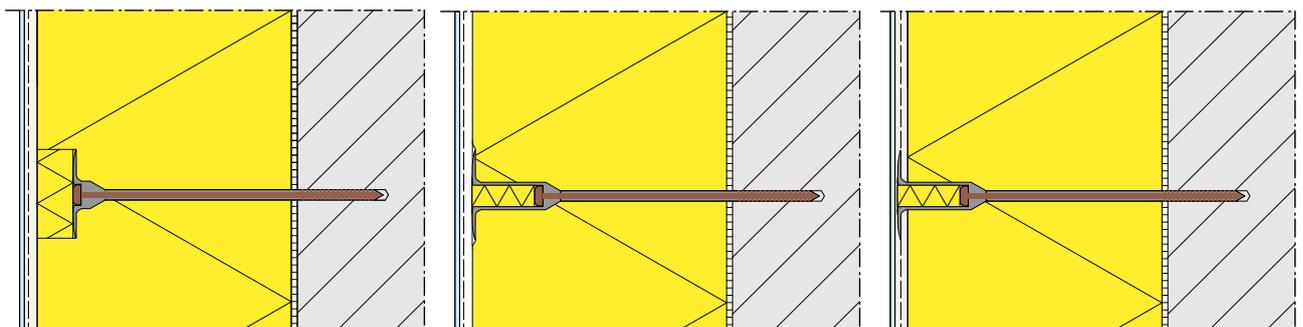


Fig. 19 Chevilles munies d'une rosace appliquées respectivement après la pose de l'isolation, au cœur de l'isolant (à gauche) ou à fleur de l'isolant (au centre), et après la pose de l'armature de l'enduit de base encore frais (à droite).

Tableau 6 Coefficient de transmission thermique ponctuelle indicatif en fonction du type de fixation (1).

Type de fixation	Coefficient de transmission thermique ponctuelle $\chi_p$ [W/K] (2)
Vis ou clou synthétique	0,002
Vis ou clou en acier inoxydable avec percuteur synthétique	
Cheville à tête de vis enfoncée et protégée par un volume d'air emprisonné et un bouchon isolant	
Vis ou clou en acier galvanisé avec percuteur synthétique	0,004
Tout autre type (cas le plus défavorable)	0,008

(1) Le rapport technique n° 25 (TR025) de l'EOTA [E6] permet un calcul plus précis en fonction de la fixation, de l'épaisseur d'isolation, etc.  
 (2) Selon l'ETAG 004 [E3].

(percuteur synthétique, volume d'air emprisonné, bouchon). En fonction de la fixation, il peut diminuer ou augmenter de manière non linéaire à mesure que l'épaisseur de l'isolant augmente.

À cet égard, le fabricant peut déclarer les valeurs évaluées sur la base du rapport technique n° 25 (TR025) de l'EOTA [E6], qui permet un calcul plus précis en fonction de la fixation, de l'épaisseur d'isolation, etc. On peut calculer la résistance thermique de la paroi de manière simplifiée en s'appuyant sur les valeurs du tableau 6, sauf indication contraire de la part du fabricant.

■ Rigidité de la rosace

Cette caractéristique mécanique est déterminante pour la répartition des pressions sur l'isolant (actions perpendiculaires au panneau comme la succion du vent) et des pressions entre l'isolant et le support (actions dans le plan telles que le poids propre du système). Elle est mesurée selon le rapport technique n° 26 (TR026) de l'EOTA [E7].

■ Coefficient de transmission thermique ponctuelle

Multiplié par le nombre d'attaches, ce coefficient ( $\chi_p$  en W/K, voir tableau 6) permet de corriger le coefficient de transmission thermique U (exprimé en W/m².K) de la paroi complète afin de tenir compte du pont thermique (méthode simplifiée). Il dépend de la nature de la vis ou du clou ainsi que des dispositions prises pour limiter le pont thermique

■ Résistance à la traction hors du support

Associée au premier mécanisme de rupture sous l'action du vent (voir figure 20), elle dépend de la fixation et de sa profondeur d'ancrage ainsi que de la nature et de la morphologie (perforations, par exemple) du support. En général, la performance des fixations vissées (vis) est supérieure à celle

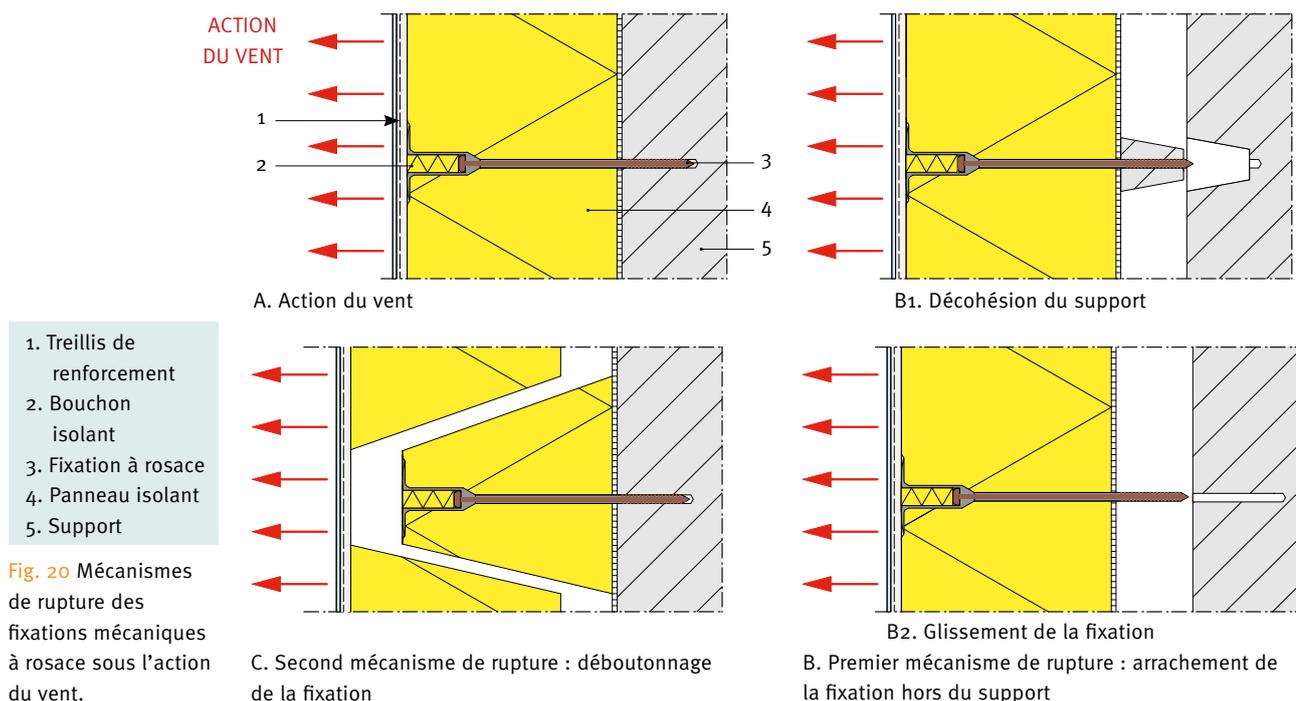
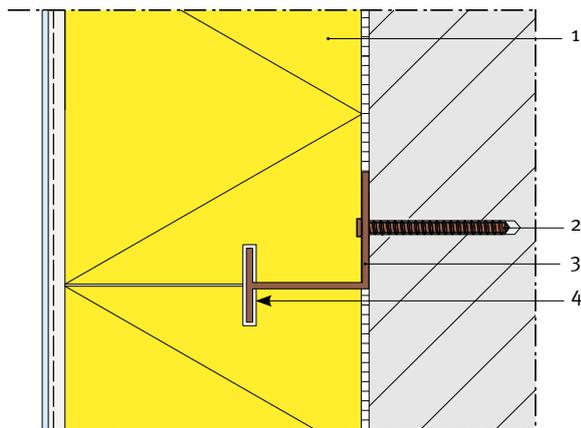


Fig. 20 Mécanismes de rupture des fixations mécaniques à rosace sous l'action du vent.



1. Panneau d'isolation adapté rainuré
2. Fixation (vis + cheville)
3. Rail
4. Rainure

Fig. 21 Fixation mécanique sur rails (vue en coupe).



Fig. 22 Fixation mécanique sur rails complétée par une fixation à rosace.

des fixations frappées (clous). Il importe de s'assurer que le domaine d'application de la fixation couvre le support traité (nature et morphologie). En cas de doute, on vérifiera la résistance à la traction des fixations hors du support.

#### ■ Résistance au débouffonnage de la fixation combinée à l'isolant

Associée au second mécanisme de rupture sous l'action du vent (voir figure 20, p. 23), elle augmente à mesure que la résistance ou l'épaisseur de l'isolant augmente et que le diamètre de la rosace s'élargit. Elle est plus faible lorsque la fixation est posée dans les joints entre les panneaux.

Lors du dimensionnement par rapport à l'action du vent, le concepteur vérifiera systématiquement les données fournies par le fabricant de l'ETICS.

### 2.4.3 FIXATION MÉCANIQUE SUR RAILS

#### 2.4.3.1 Description

Cette technique de fixation mécanique des panneaux d'isolation (voir figures 21 à 23) fait usage de profilés horizontaux en matière synthétique, de renforts latéraux (profilés raidisseurs) et de chevilles en matière synthétique (voir § 2.4.2, p. 20). Elle requiert des isolants rainurés aux dimensions et à la résistance mécanique adéquates. Elle peut être employée lorsque le support est inadapté au collage, par exemple, sans nécessiter de mesures correctrices excessives.

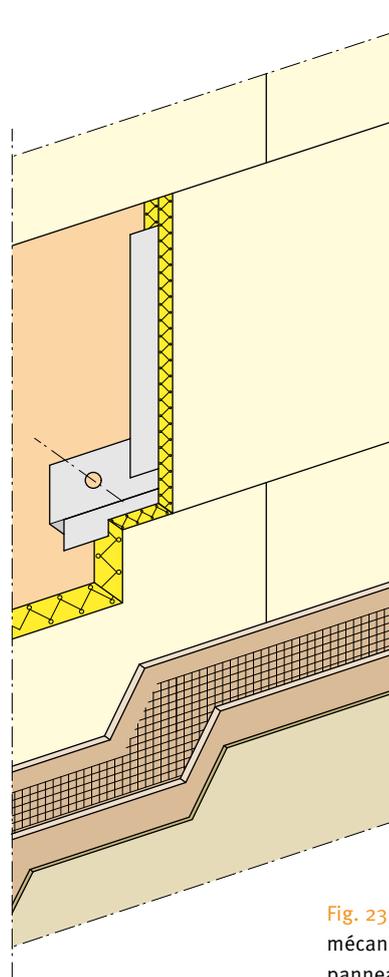


Fig. 23 Fixation mécanique sur rails des panneaux isolants.

Les profilés horizontaux, aussi appelés profilés intermédiaires, sont fixés au support à l'aide de vis et de chevilles et sont destinés à lui transférer les sollicitations mécaniques (poids propre, action du vent). Les profilés raidisseurs contribuent à la stabilisation des panneaux isolants et permettent d'obtenir une surface extérieure plane.

Tout comme les chevilles à rosace, les chevilles pour fixations mécaniques sur rails doivent répondre aux spécifications de l'ETAG 014 [E4]. Elles sont, elles aussi, classées en fonction des supports admissibles et sont caractérisées par leur diamètre ainsi que par les profondeurs de forage et d'ancrage (voir § 2.4.2.2, p. 22). Il est primordial de respecter le nombre et l'interdistance prescrits par le fabricant.

Ce mode de pose peut en outre être combiné à la pose de fixations à rosace (au centre du panneau, par exemple, afin d'améliorer la résistance au vent) et à un encollage des panneaux (servant à colmater l'espace entre l'ETICS et le support à la périphérie de la paroi, en vue d'éviter les infiltrations d'air néfastes pour le comportement sous l'effet des variations thermiques et la résistance au vent, ou à régler la planéité du support en cas d'utilisation de fixations à rosace supplémentaires, ou encore à caler les panneaux d'isolation). On recommande de se conformer aux prescriptions du fabricant à ce sujet.

#### 2.4.3.2 Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques décrites ci-après doivent être prises en compte. Elles sont liées au comportement sous l'action du vent :

- **résistance à la traction de la cheville hors du support.** Elle dépend de la fixation et de sa profondeur d'ancrage

ainsi que de la nature et de la morphologie (perforations, par exemple) du support. En général, la performance des fixations vissées (vis) est supérieure à celle des fixations frappées (clous). Il importe de s'assurer que le domaine d'application de la fixation couvre le support à traiter (nature et morphologie). En cas de doute, on vérifiera la résistance à la traction des fixations hors du support

- **résistance au déboutonnage de la tête du clou** (ou de la vis) **de la cheville hors du profilé**
- **résistance de la combinaison profilés/isolant** (déboutonnage linéaire du profilé combiné à l'isolant et flexion de l'isolant). Elle augmente à mesure que la résistance et l'épaisseur de l'isolant s'accroissent et que la surface des panneaux diminue.

#### 2.4.4 FIXATION MÉCANIQUE À L'OSSATURE

Nous renvoyons le lecteur au § 2.4.2 (p. 20) pour la description, la classification, le positionnement et les propriétés des fixations. Des agrafes peuvent constituer une alternative à ces fixations (voir figure 24).

Il convient en outre de vérifier si la fixation est adaptée à la largeur des montants de l'ossature et si le comportement en flexion du panneau d'isolation permet de garantir la résistance au vent du système (en fonction de la nature de l'isolant, de son épaisseur, de la distance entre les montants de l'ossature).

Il est souhaitable que la documentation technique du fabricant de l'ETICS renseigne la valeur de calcul de l'action du vent à laquelle une configuration (nombre de fixations, etc.) peut résister.



Fig. 24 Fixation mécanique d'un panneau isolant directement à l'ossature au moyen d'agrafes.

## 2.5 LES PROFILÉS

L'emploi de profilés est indispensable à de tels travaux d'enduit extérieur. Le présent paragraphe livre un aperçu de ces produits et propose des recommandations générales pour un choix pertinent.

### 2.5.1 FONCTIONS

Les profilés pour enduit peuvent remplir plusieurs fonctions. Ils sont utilisés pour assurer un raccord (souple) entre l'enduit et d'autres matériaux, pour garantir un fini optimal (notamment en favorisant le rejet d'eau), pour renforcer le système afin qu'il résiste aux chocs sur les angles vifs, pour répercuter les joints du gros œuvre dans l'enduit ou encore pour servir de guide lors de la mise en œuvre de ce dernier.

Les ailes des profilés sont généralement pourvues de perforations permettant un ancrage mécanique dans l'enduit. Les profilés sont scellés dans l'enduit sur toute leur longueur.

### 2.5.2 NATURE

Les profilés peuvent également être classés selon leur nature.

Parfois revêtus d'un traitement de surface, les profilés métalliques doivent être marqués CE selon la norme NBN EN 13658-2 [B27]. Un choix adapté limitera, pour l'enduit, les conséquences indésirables de la corrosion des profilés, notamment l'apparition de taches, la formation de fissures, le décollement ou l'éclatement sous la pression des produits de corrosion.

La résistance des profilés métalliques à la corrosion dépend de la nature du métal et de son éventuelle protection, de l'enduit – en particulier de son alcalinité, de sa vitesse de

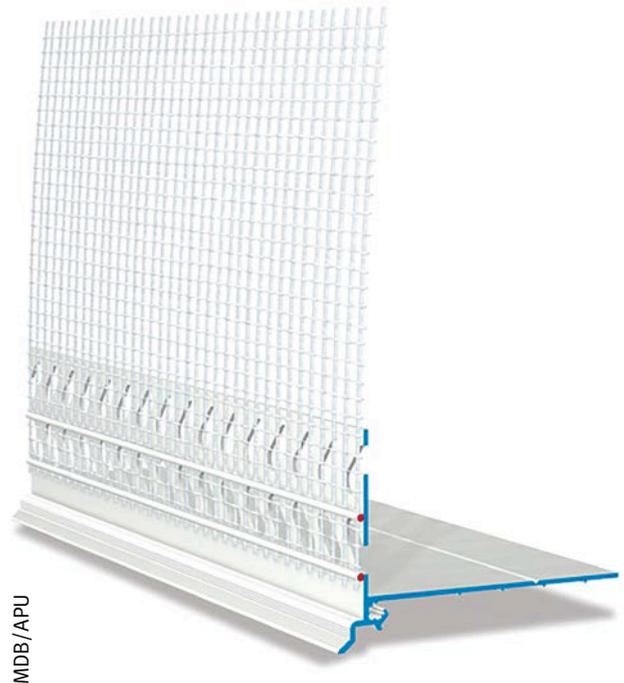


Fig. 25 Profilé de départ en PVC (permettant la coupure thermique) muni d'un treillis d'armature soudé.

carbonatation, de son épaisseur et de son comportement à l'humidité (vitesse de séchage, capillarité, perméabilité à la vapeur d'eau) – et de la sévérité de l'exposition (intensité, fréquence, durée). On distingue ainsi les expositions en milieu extérieur et en milieu extérieur agressif (industriel ou marin).

L'usage de profilés galvanisés est exclu pour les ETICS. L'acier inoxydable est recommandé lorsque le profilé est utilisé dans des situations très humides (paroi extérieure soumise à de

Tableau 7 Recommandations générales quant au choix d'un profilé selon l'exposition et la nature de l'enduit.

Nature	Norme de référence	Exposition	
		Milieu extérieur	Milieu extérieur agressif (industriel ou marin)
Enduit à base de ciment et/ou de chaux	NBN EN 998-1 [B8]	A, C (?), D, E	A ou E
Enduit à base de liant organique (?)	NBN EN 15824 [B33]		

(?) Résine acrylique, par exemple. La norme s'applique également aux enduits à base de liants inorganiques tels que les silicates et les silicones.  
 (?) Ne convient que pour les enduits de base minces des ETICS.

Signification des lettres A, C, D et E utilisées ci-dessus :

A : non métallique (PVC)  
 C : aluminium  
 D : aluminium protégé par un revêtement organique (laque ou couche d'époxy, par exemple)  
 E : acier inoxydable (inox 304 ou 316 en fonction de l'agressivité du milieu).



Fig. 26 Profilé de départ en aluminium sur lequel est clipsé un profilé d'arrêt doté d'un treillis de renfort.

MDB



Fig. 27 Profilé de départ en aluminium.

MDB

fortes précipitations, etc.) ou salines (exposition marine, sels de déverglaçage, présence de sels dans le support, etc.).

L'utilisation des profilés synthétiques (en PVC pour la plupart) en tant qu'accessoires des ETICS se fait croissante. Ils peuvent être entoîlés, c'est-à-dire munis de treillis en fibre de verre résistant aux alcalis. Ils comportent moins de limites d'usage que les profilés métalliques, puisqu'ils ne sont pas soumis aux phénomènes de corrosion. Les parties apparentes doivent néanmoins résister aux UV.

Le choix de la nature du profilé se fondera sur plusieurs facteurs économiques et techniques, dont sa compatibilité avec la composition, l'épaisseur et l'exposition de l'enduit (en particulier à l'humidité ou à un climat agressif). Les recommandations d'usage en fonction des paramètres précités sont reprises dans le tableau 7 (p. 26). Le lecteur intéressé consultera notamment la brochure intitulée 'Recommandations pour l'emploi des profilés de finition dans les travaux avec des enduits intérieurs et extérieurs', éditée par Europrofiles, l'Association professionnelle européenne des fabricants de profilés [E8].

### 2.5.3 TYPES DE PROFILÉS

#### 2.5.3.1 Profilés de départ

Le départ de l'ETICS s'effectue à l'aide de profilés de départ (aussi appelés profilés de socle). Ils sont placés en pied de mur, au-dessus de parements différents et au-dessus de la jonction avec des surfaces non verticales (toitures plates et inclinées, balcons, murs de refend extérieurs). Le chapitre 5 (p. 49) expose les dispositions constructives et les recommandations d'usage en la matière.

Quel que soit le modèle, il doit permettre l'arrêt de l'enduit et être toujours muni d'un larmier afin que les eaux de ruissellement soient rejetées en dehors du plan de la façade. À cet égard, il est préférable que la face exposée du soubassement soit légèrement en retrait par rapport au larmier. Dans certaines configurations, les profilés doivent en outre protéger la face inférieure des panneaux d'isolation (contre les rongeurs, par exemple).

Les profilés de départ en aluminium à fixer dans le support au moyen de chevilles sont les plus utilisés à ce jour (voir figures 26 et 27). Un modèle semblable est également disponible en inox. Leur âme présente une largeur équivalente à l'épaisseur de l'isolant et l'une de leurs ailes est perforée afin de permettre la fixation au support, tandis que l'autre fait office de casse-goutte et d'arrêt du système d'enduit. Des profilés entoîlés supplémentaires peuvent être clipsés sur l'aile extérieure en vue d'obtenir une meilleure solidification de l'enduit avec le profilé de départ. Le treillis général sera ensuite posé avec un chevauchement suffisant lors de l'application de l'enduit de base. Étant donné leur nature, ces profilés ont le désavantage d'occasionner un pont thermique linéaire dont il convient de tenir compte.

Une solution alternative en vue d'éviter l'apparition d'un pont thermique consiste à insérer des profilés en PVC munis d'un casse-goutte et d'un treillis en fibre de verre entre le système d'isolation de la façade inférieure (situé en retrait) et l'isolant de l'ETICS (voir figure 25, p. 26). Des cornières en aluminium ou en PVC peuvent éventuellement compléter le système afin de soutenir l'isolant lorsque sa fixation au support n'est pas encore effective (durant la prise de la colle).

Enfin, il existe d'autres solutions telles que les panneaux d'isolation pourvus d'un profilé de départ.

### 2.5.3.2 Profilés d'angle

Pour renforcer les angles sortants du bâtiment, on utilise des profilés d'angle métalliques ou synthétiques (voir figures 29 et 30). Les profilés d'angle les plus courants à l'heure actuelle sont des cornières en PVC dotées d'ailes mesurant environ 20 mm chacune et revêtues d'une bande de treillis en fibre de verre de 8 à 15 cm de large (appelée entoilage). Ils peuvent être pourvus d'un casse-goutte au niveau des arêtes horizontales (voir figure 28). Le choix du modèle dépendra de l'esthétique recherchée ainsi que de l'enduit et de son épaisseur.

### 2.5.3.3 Profilés d'arrêt

À la jonction entre le système d'enduit et un matériau, on utilise généralement des profilés d'arrêt (voir figure 31 et figure 32, p. 29).

Les profilés d'arrêt ont pour unique fonction d'assurer un fini adéquat de l'enduit au droit des jonctions. En règle générale, ils comportent une partie rigide, mais aussi un entoilage dans le cas de profilés en PVC.

Lorsque la jonction doit assurer un rôle d'étanchéité (arrêt en butée d'une menuiserie, par exemple), les profilés doivent être combinés à une bande d'étanchéité comprimée et à un joint souple. Pour réaliser une séparation souple entre des enduits, on utilisera plutôt un profilé pour joints de mouvement



Fig. 29 Profilé d'angle en aluminium.

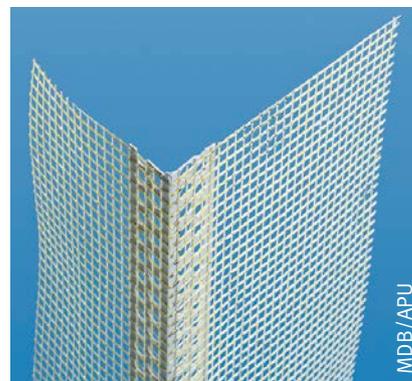


Fig. 30 Profilé d'angle en PVC entoilé.

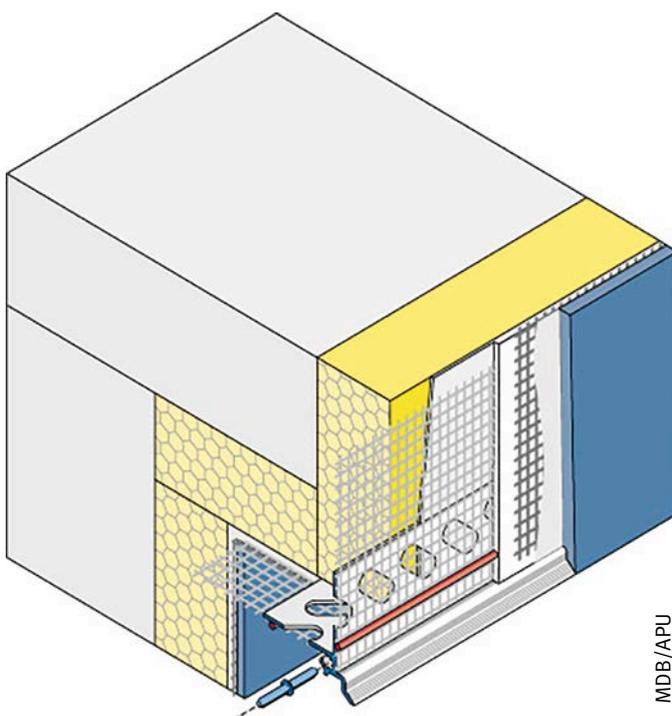


Fig. 28 Profilé pour arête horizontale avec casse-goutte.

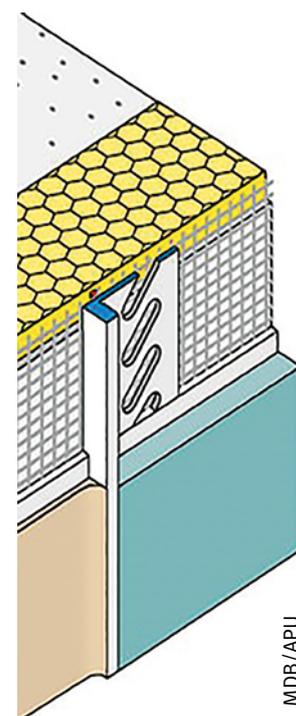


Fig. 31 Profilé d'arrêt séparant des enduits.

(voir ci-après). Les profilés d'arrêt sont normalement posés lors de l'application de l'enduit de base (voir § 6.7.3, p. 95).

#### 2.5.3.4 Profilés de jonction ou de raccord

Les profilés de jonction ou de raccord assurent des fonctions supplémentaires par rapport aux profilés d'arrêt (étanchéité, liberté de mouvement, par exemple). Ils peuvent être placés avant la pose des panneaux d'isolation (§ 6.6, p. 81) et être incorporés à l'enduit lors de l'application de l'enduit de base (voir § 6.7.3, p. 95, et § 6.7.4, p. 98). On les utilise principalement à la jonction avec les menuiseries et de préférence en combinaison avec un joint souple.

Les profilés de raccord non métalliques pour menuiseries extérieures se composent de PVC rigide, d'une bande en fibre de verre solidaire à incorporer dans l'enduit de base et d'un ruban étanche en polyéthylène (doté d'une bande autocollante pour la fixation sur la menuiserie) et/ou en polyuréthane (PU) comprimé. Ce ruban peut relier de manière souple deux éléments en PVC rigide de façon à autoriser des mouvements relatifs plus importants. Certains modèles de profilés sont pourvus d'une lèvre de protection pour obtenir un fini optimal. Grâce à une languette rigide en PVC, on peut poser provisoirement un film de protection sur la menuiserie (voir figure 33 et figure 34, p. 30). Celle-ci devra être détachée après la mise en œuvre de l'enduit, ce qui peut libérer les parties connectées du profilé (voir figure 34, situation B, p. 30).



Fig. 32 Profilé d'arrêt.

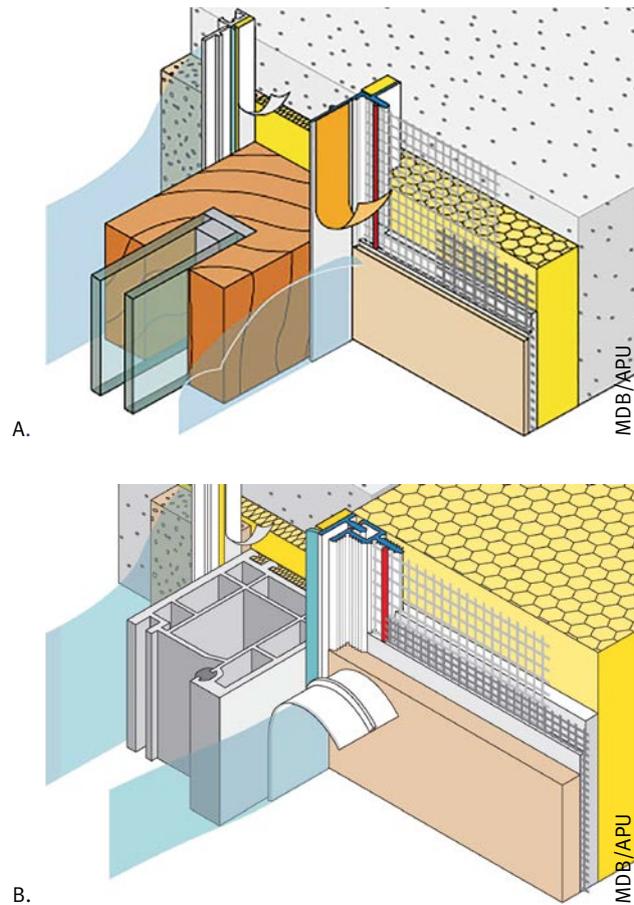


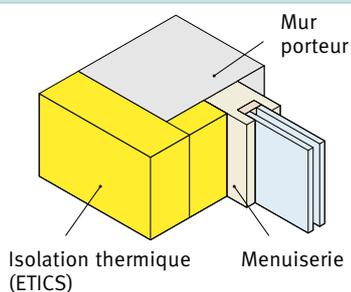
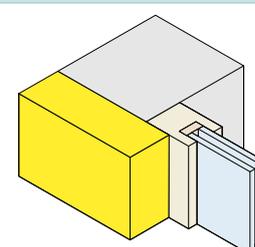
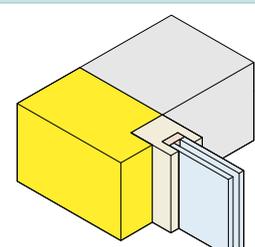
Fig. 33 Partie détachable après travaux (figure B) des profilés non métalliques (PVC rigide) assurant la jonction entre l'enduit et les menuiseries, qui permet la pose provisoire d'un film protecteur (figure A) sur ces dernières durant les travaux.

Ces profilés peuvent être répartis en trois types en fonction de la liberté de mouvement qu'ils permettent (voir figure 34, p. 30) :

- type 1 : sans compensation de mouvement spécialement définie (1D)
- type 2 : avec compensation de mouvement bidimensionnel (2D)
- type 3 : avec compensation de mouvement tridimensionnel (3D).

Les profilés qui assurent la jonction entre l'enduit et les menuiseries sont choisis selon la liberté de mouvement qu'ils confèrent. Le tableau 8 (p. 30), issu du guide de l'EAE (*European Association for External Thermal Composite Systems*), indique le type de profilé de jonction conseillé en fonction des dimensions de la menuiserie et de sa position par rapport au mur porteur ainsi que de l'épaisseur de l'isolant. Le choix d'un profilé parmi ceux du même type dépendra également d'autres paramètres tels que l'épaisseur de l'enduit. On se référera en outre aux prescriptions d'usage du fabricant.

Tableau 8 Choix conseillé des profilés assurant la jonction entre l'enduit et la menuiserie (source : EAE).

Type de menuiserie	Menuiserie dans le plan du mur au cœur du support	Menuiserie dans le plan du mur à fleur du support	Menuiserie débordante, excentrée (pose en applique)			
Illustration						
Épaisseur du panneau d'isolation (1)	Dimensions de la menuiserie (2)					
	≤ 2 m <sup>2</sup>	2 à 10 m <sup>2</sup>	≤ 2 m <sup>2</sup>	2 à 10 m <sup>2</sup>	≤ 2 m <sup>2</sup>	2 à 10 m <sup>2</sup>
≤ 100 mm	Type 1	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2	Type 3
≤ 160 mm	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2	Type 3	Type 3
≤ 300 mm	Type 3	Type 3	Type 3	Type 3	Type 3	Type 3

(1) Pour des épaisseurs d'isolation supérieures à 300 mm ou des ouvertures de dimensions supérieures à 10 m<sup>2</sup>, on s'informera auprès du fabricant de l'ETICS.  
(2) Si la hauteur ou la largeur de la menuiserie est supérieure à 2,5 m : type 3.

Type 1 : sans compensation de mouvement spécialement définie (1D)  
Type 2 : avec compensation de mouvement bidimensionnel (2D)  
Type 3 : avec compensation de mouvement tridimensionnel (3D)

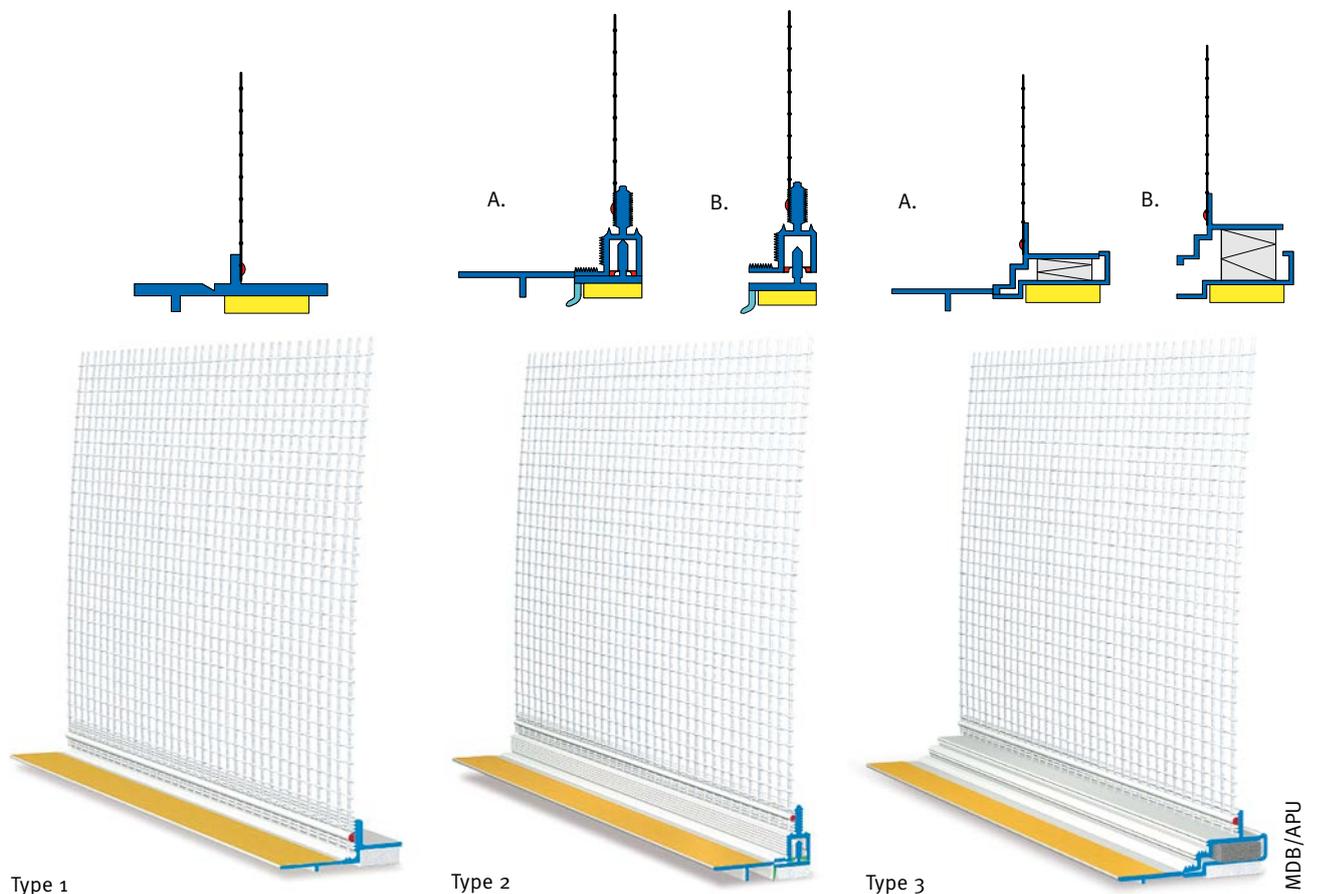


Fig. 34 Exemples de profilés assurant la jonction entre l'enduit et les menuiseries.

### 2.5.3.5 Profilés pour joints de mouvement

Les profilés pour joints de mouvement servent à répercuter les joints de mouvement du gros œuvre dans l'enduit. Ils permettent également la création d'une jonction souple dans l'enduit (si nécessaire selon les recommandations du fabricant) entre deux surfaces perpendiculaires telles que les angles rentrants, par exemple.

Ils sont constitués d'une bande souple (PVC, TPE) (voir figure 35) qui assure la liberté de mouvement des deux surfaces concernées et qui relie deux éléments rigides (PVC) chacun revêtu d'une toile en fibre de verre (entoilage). La partie rigide entoillée des profilés est destinée à être incorporée dans l'enduit de base et peut faire office d'arrêt d'enduit.

Lors du choix du modèle de profilé, on veillera notamment à tenir compte de l'épaisseur de l'enduit et du mouvement toléré par le profilé.

## 2.6 LES ACCESSOIRES

Divers accessoires forment le complément indispensable de ce procédé d'exécution. On distingue les accessoires mis en œuvre par l'entreprise en charge des travaux (voir § 2.6.1) de ceux mis en œuvre par d'autres corps de métier (joints

souples, seuils adaptés, couvre-murs, etc.) (voir § 2.6.2, p. 32).

### 2.6.1 COMPOSANTS ACCESSOIRES DE L'ETICS

#### 2.6.1.1 Mousse de calfeutrage des joints entre panneaux d'isolation

Une mousse adaptée est utilisée pour combler les joints ouverts entre les panneaux d'isolation, généralement une mousse polyuréthane (PU) monocomposant.

#### 2.6.1.2 Préformé d'étanchéité

Le préformé d'étanchéité consiste en une bande précomprimée à base d'une mousse à cellules ouvertes (souvent une mousse PU molle) qui est imprégnée de résine et qui présente une compressibilité de 90 %. Combiné à un joint souple, il assure l'étanchéité du raccord avec d'autres éléments constructifs (menuiserie, par exemple).

#### 2.6.1.3 Cales d'ajustement

Disponibles en différentes épaisseurs, ces cales servent à rattraper les défauts de planéité des supports. Elles se clipsent

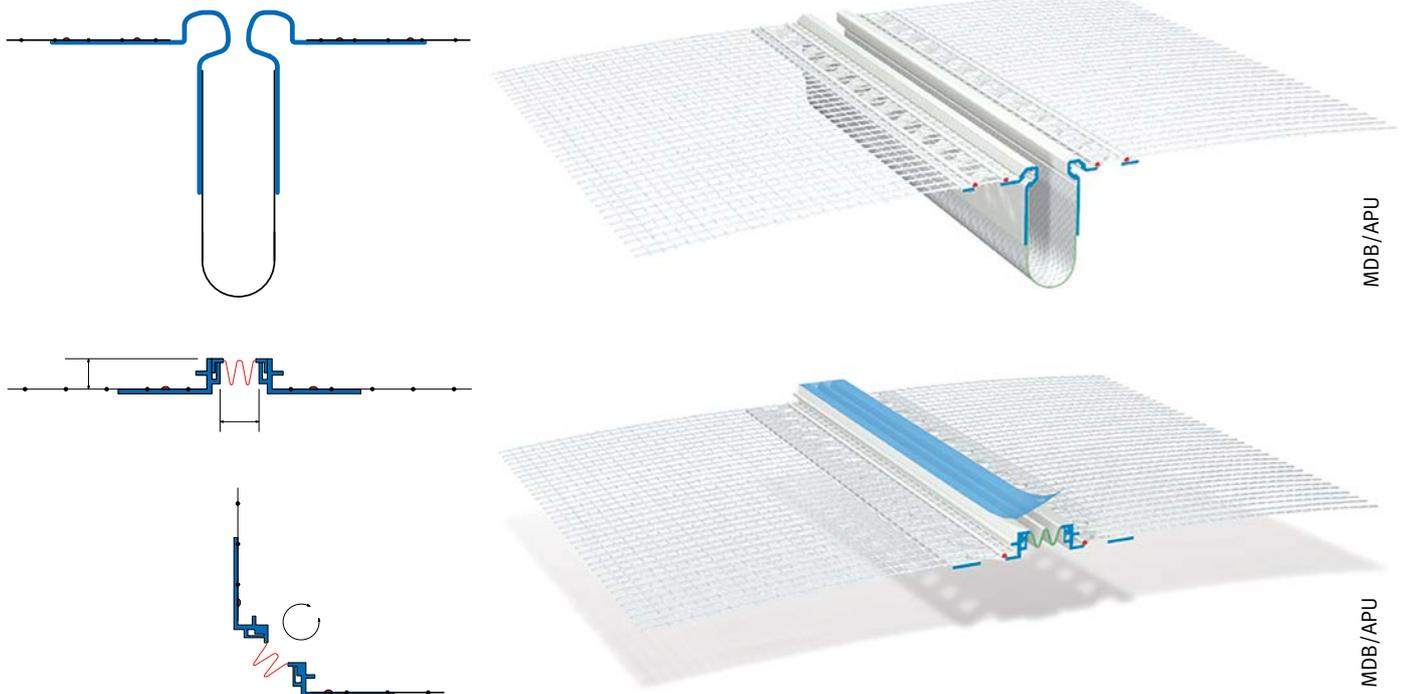


Fig. 35 Profilés pour joint de mouvement dotés d'une feuille souple en PVC (en haut) ou en TPE (en bas).

sur la cheville entre le support et les profilés de départ ou les rails (voir figure 36).

#### 2.6.1.4 Éclisses pour profilés

Ces accessoires clipsables assurent la liaison entre les rails (profilés de départ, par exemple) et facilitent ainsi leur alignement (voir figure 36).

#### 2.6.1.5 Bouchons pour trous servant à l'ancrage des échafaudages

Ces bouchons sont constitués d'un cylindre rigide entouré d'une mousse imprégnée. Ils sont destinés à combler les trous laissés par les ancrages d'échafaudages.

#### 2.6.1.6 Vis en spirale pour la fixation d'objets légers

Les objets légers (lampes murales, par exemple) peuvent être fixés dans l'isolant au moyen d'une vis adaptée, c'est-à-dire une vis en spirale (voir figure 37 et § 5.8, p. 72).

#### 2.6.1.7 Éléments de montage pour la fixation d'objets

Ces modules sont soit placés au sein de l'isolation, soit collés ou chevillés dans le support. Ils renforcent ponctuellement l'ETICS, en vue d'y fixer des objets légers (descente d'eau, par exemple) ou des objets plus lourds (pare-soleil, par exemple) (voir § 5.8, p. 72).

## 2.6.2 AUTRES ACCESSOIRES

### 2.6.2.1 Isolant de socle

Au droit du pied de mur et jusqu'à une hauteur de 30 cm par rapport au niveau du revêtement de sol extérieur, on met en place un matériau isolant adapté (XPS ou EPS haute densité (HD), par exemple), appelé isolant de socle, qui répond à des exigences spécifiques.

### 2.6.2.2 Joints souples

On réalise des joints souples de type F 20LM ou 25LM dont l'usage est éprouvé (disposant d'un ATG) conformément à la norme NBN EN 15651-1 [B31]. Ceux-ci ne peuvent pas contenir de composants qui dégradent le système. Il existe des joints souples à base de silicone (qui ne peuvent pas être peints), de MS polymère, de STP polymère ou de polyuréthane.

Les joints souples ne sont pas considérés comme une protection permanente contre les intempéries. Un entretien régulier et un remplacement peuvent en effet s'avérer nécessaires (voir chapitre 8, p. 111).

### 2.6.2.3 Seuils de fenêtre et couronnements

On utilise des seuils de fenêtres spécifiquement adaptés aux ETICS, qui comportent des rehausses latérales favorisant le rejet d'eau de la façade et limitant la stagnation d'eau à la jonction avec l'enduit (voir § 5.2.2, p. 56). Les couronnements (ou couvre-murs) doivent être pourvus de dépassants horizontaux et verticaux de taille suffisante (voir § 5.3.2, p. 63).



Fig. 36 Set de fixation pour profilés ou rails (éclisse, cale et cheville).



Fig. 37 Vis en spirale (pour la fixation d'objets légers).

# 3

## SPÉCIFICATIONS

Les sept exigences fondamentales du Règlement européen relatif aux produits de construction (Règlement n° 305/2011, RPC) [U3] sont :

1. résistance mécanique et stabilité
2. sécurité en cas d'incendie
3. hygiène, santé et environnement
4. sécurité d'utilisation et accessibilité
5. protection contre le bruit
6. économie d'énergie et isolation thermique
7. utilisation durable des ressources naturelles.

Elles sont complétées par les aspects de durabilité et d'aptitude à l'emploi ainsi que par les aspects environnementaux.

### 3.1 RÉSISTANCE MÉCANIQUE ET STABILITÉ

En tant que finition, les ETICS ne jouent aucun rôle porteur et n'apportent aucune contribution à la stabilité mécanique du support. La résistance mécanique et la stabilité des parties non porteuses d'ouvrages ne sont pas concernées par cette exigence, mais elles sont traitées sous le titre 'Sécurité d'utilisation et accessibilité' (voir § 3.4, p. 36).

### 3.2 SÉCURITÉ EN CAS D'INCENDIE

Les exigences de réaction au feu des ETICS doivent être conformes à la législation, à la réglementation et aux dispositions administratives applicables au bâtiment en fonction de sa destination finale. Elles seront spécifiées par le biais des documents de classification CEN (NBN EN 13501-1 [B26]).

L'ETICS (composition et mise en œuvre) ne peut porter préjudice à la résistance au feu du mur sur lequel il est appliqué.

Selon la loi, les façades des bâtiments visés par l'arrêté royal [S9] (tous sauf les maisons unifamiliales) doivent répondre aux exigences minimales suivantes, exprimées en classes européennes :

- D-s3, d1 pour les bâtiments bas ( $h < 10$  m)
- B-s3, d1 pour les bâtiments moyens ( $10 \text{ m} \leq h \leq 25$  m) et élevés ( $h > 25$  m).

Ces classes minimales se rapportent à la réaction au feu du système complet déclarée par le fabricant. Le lecteur intéressé

pourra consulter l'évolution de la réglementation sur le site Internet de l'Antenne Normes 'Prévention du feu' du CSTC.

### 3.3 HYGIÈNE, SANTÉ ET ENVIRONNEMENT

Cette exigence porte sur différentes caractéristiques du système et des produits qui le composent, à savoir : reprise d'eau par capillarité, étanchéité à l'eau, résistance aux chocs, perméabilité à la vapeur d'eau et caractéristiques thermiques (couvertes par l'exigence n° 6).

#### 3.3.1 ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR ET HUMIDITÉ

Les murs extérieurs doivent résister à l'humidité provenant de l'extérieur. Ils ne peuvent donc pas être endommagés par la pluie ou par la neige ni propager l'humidité vers des parties du bâtiment qui pourraient être dégradées à leur tour.

Par ailleurs, il y a lieu d'éviter la condensation sur la face interne des parois et au sein de ces dernières, et ce, quelle que soit la classe de climat intérieur (voir tableau 9, p. 34).

#### Classification européenne de la réaction au feu des produits de construction

##### Classes principales :

- A1, A2 : incombustible ou à combustion très limitée
- B, C, D, E : combustible
- F : non déterminé.

##### Indices complémentaires :

- production de fumée ('classe-s' pour *smoke*) : s1, s2 et s3. L'indice s1 correspond à un faible dégagement de fumée et s3 à un dégagement de fumée illimité
- formation de gouttelettes ('classe-d' pour *droplets*) : d0, d1 et d2. L'indice d0 correspond à une absence de formation de gouttelettes en feu, d1 à une absence de formation de gouttelettes en feu pendant plus de dix secondes et d2 à une formation illimitée.

Tableau 9 Bâtiments courants (\*) et classes de climat intérieur associées.

Classes de climat intérieur		Exemples de bâtiments
<b>CC I</b>	Bâtiments où la production d'humidité est faible à nulle en permanence	Entrepôts de marchandises sèches Églises, salles d'exposition, garages, ateliers
<b>CC II</b>	Bâtiments bien ventilés, à production d'humidité limitée par m <sup>3</sup>	Habitations ventilées selon la norme Écoles Magasins Bureaux non climatisés Salles de sport et halls polyvalents
<b>CC III</b>	Bâtiments moyennement ventilés, à production d'humidité plus importante au m <sup>3</sup>	Habitations non ventilées selon la norme Hôpitaux, homes Salons de consommation, restaurants, salles des fêtes, théâtres Bâtiments faiblement climatisés (HR ≤ 60 %)
<b>CC IV</b>	Bâtiments à production d'humidité élevée	Bâtiments fortement climatisés (HR > 60 %) Locaux d'hydrothérapie Piscines couvertes Locaux industriels humides (blanchisseries, imprimeries, brasseries, usines à papier, etc.)

(\*) Les bâtiments en surpression ou dont le taux d'humidité est très variable (discothèques, par exemple) exigent une étude hygrothermique particulière.

### 3.3.1.1 Exigences générales

En matière d'étanchéité à l'eau, l'ETICS doit satisfaire à l'essai de comportement hygrothermique (procédure UBAtc BA-521-1 [U1], plus sévère que l'ETAG 004 [E3], transposée dans la norme NBN B 62-400 [B5]; voir aussi [D1] pour plus d'informations).

Quelle que soit la nature du support, le système d'enduit de l'ETICS doit répondre aux critères du tableau 10, afin de limiter le risque de condensation entre l'isolant et le système d'enduit. L'application d'un ETICS réduit généralement la condensation superficielle.

### 3.3.1.2 Supports en maçonnerie ou en béton

Dans des conditions d'utilisation normales (classes de climat intérieur I à III), on n'observe aucune formation de condensation interne au sein d'un système appliqué sur un support en maçonnerie ou en béton. Lorsqu'une pression de vapeur d'eau importante s'exerce à l'intérieur des locaux (climat chaud et humide, classe IV de climat intérieur), des précautions appro-

priées doivent être prises pour empêcher l'humidification du système, notamment une conception correcte des parois et un choix de matériaux adéquat (pare-vapeur adapté, par exemple).

Si l'on respecte les critères du tableau 10 ainsi que les recommandations de mise en œuvre (application de l'ETICS après les travaux intérieurs apportant de l'humidité et sur un support exempt d'humidité anormale), l'étude hygrothermique visant à évaluer le risque de condensation interne est superflue au stade de la conception, sauf dans le cas d'une classe de climat intérieur IV.

Aucune limitation d'usage concernant les façades fortement exposées aux pluies battantes n'est actuellement en vigueur. Selon l'expérience acquise, les ETICS mis en œuvre sur ce type de support présentent une étanchéité aux pluies battantes d'au moins 900 Pa (voir tableau 11, p. 35).

### 3.3.1.3 Constructions à ossature en bois

Dans le cas de constructions à ossature en bois, une attention particulière doit être accordée au comportement hygro-

Tableau 10 Critères visant à limiter les condensations internes entre l'isolant et le système d'enduit (\*).

Type 1 $S_{d\text{-isolant-ETICS}} < 3 \text{ m}$ Isolant de l'ETICS perméable à la vapeur d'eau, laine minérale (MW), par exemple	Type 2 $S_{d\text{-isolant-ETICS}} \geq 3 \text{ m}$ Isolant peu perméable à la vapeur d'eau, polystyrène expansé (EPS), par exemple
$S_{d\text{-système d'enduit}} \leq 1 \text{ m}$	$S_{d\text{-système d'enduit}} \leq 2 \text{ m}$

(\*)  $S_d = \mu \times d$  : la résistance à la diffusion de vapeur d'eau (épaisseur de la couche d'air équivalente) équivaut au produit de la valeur  $\mu$  et de l'épaisseur  $d$  de la couche et s'exprime en mètre.

Tableau 11 Limitation de la hauteur de référence  $z_e$  des façades exposées aux pluies battantes.

Pression d'étanchéité à l'eau (°)	450 Pa				900 Pa				
	Vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ [m/s]				Vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ [m/s]				
	26	25	24	23	26	25	24	23	
Catégories de rugosité	Hauteurs de référence $z_e$ jusqu'à				Hauteurs de référence $z_e$ jusqu'à				
o Zone côtière	–				17 m	–			
I Plaine	–	–	–	–	23 m	34 m	52 m	85 m	
II Bocage	3 m	3 m	4 m	6 m	38 m	55 m	81 m	125 m	
III Banlieue – forêt	9 m	12 m	15 m	19 m	91 m	124 m	175 m	200 m (°)	
IV Ville	25 m	31 m	35 m	48 m	200 m (°)	200 m (°)	200 m (°)	200 m (°)	

(°) Pression d'étanchéité à l'eau =  $\frac{1}{2} \times c_{p,e^*} \times q_p(z_e) \times c_{prob}^{-2}$

où :

- $c_{p,e^*} = 1,3$
- $c_{prob} = 1$  (période de retour de 50 ans)
- $q_p(z_e) =$  pression dynamique de pointe.

(°) Limitation issue de la norme NBN EN 1991-1-4 [B9].

thermique de la paroi, en vue de limiter le risque de condensation interne par diffusion (voir § 4.3.3, p. 47).

En outre, des principes et des exigences complémentaires spécifiques à ce type de support doivent être établis. L'évaluation expérimentale de la résistance aux infiltrations d'eau en cas de pluie battante peut s'avérer nécessaire en fonction de la situation envisagée. À cet égard, la réalisation d'un essai 'pluie et vent' selon la norme NBN EN 12865 [B15] après l'essai de comportement hygrothermique mentionné ci-avant (voir 'Exigences générales', § 3.3.1.1, p. 34) peut présenter un intérêt. Cette approche est pressentie dans le futur document d'évaluation européen (DEE ou *European Assessment Document*, EAD) des ETICS sur ossature en bois [E2]. L'étanchéité mesurée selon la Procédure A doit être assurée jusqu'à 600 Pa au moins, voire plus en fonction de l'exposition (hauteur du bâtiment, catégorie de rugosité du terrain, zone de vent).

Bien que cette approche soit intéressante, elle ne garantit selon nous pas une protection totale de la paroi en bois, puisque les joints souples requièrent un entretien régulier pour pouvoir assurer l'étanchéité à long terme.

À moins de disposer de données pertinentes concernant la résistance aux pluies battantes de l'ETICS (en partie courante, mais surtout au droit des détails), nous conseillons, dans l'état actuel des connaissances, de limiter la hauteur des façades exposées du bâtiment aux valeurs mentionnées dans le tableau 11 (pression d'étanchéité à l'eau (°) de l'ordre de 450 Pa selon la Procédure A de la norme NBN EN 12865 [B15]).

Ainsi, l'application est tout à fait exclue pour les bâtiments exposés directement aux vents de mer. Ces limitations sont moins strictes pour les façades moins exposées (façades orientées du nord-ouest au nord-est, voire au sud-est) ou pour les systèmes éprouvés pour cet usage. Pour de plus amples informations concernant les vitesses de référence du vent, les catégories de rugosité du terrain et leur détermination, nous renvoyons le lecteur à la norme NBN EN 1991-1-4 [B9] et à son annexe belge [B10] ainsi qu'aux modules de calcul en ligne (°).

### 3.3.2 RÉSISTANCE AUX CHOCS

Il importe de tenir compte de la résistance du système aux sollicitations mécaniques induites par un usage normal. D'une part, le système doit être conçu de manière à conserver ses propriétés sous l'effet de chocs causés par la circulation et l'utilisation normales. En d'autres termes, ses performances doivent être telles que les effets d'impacts non exceptionnels, survenus de façon accidentelle ou délibérée, n'entraînent pas de dégâts. D'autre part, on doit pouvoir appuyer des équipements de maintenance courants contre le système sans provoquer de rupture ou de perforation de l'enduit.

La résistance aux impacts (résistance aux 'chocs durs', soit l'impact d'un projectile indéformable simulé par une bille d'acier de masse et de hauteur de chute déterminées, résistance à la perforation) et l'exposition aux chocs (au

(°) 'Écart maximal de pression d'air pulsatoire, en Pa, correspondant à une non-pénétration d'eau pendant l'essai' d'après la norme NBN EN 12865 [B15].

(°) Voir le site de l'Antenne Normes 'Eurocodes' : module 'Clnt' pour les catégories de rugosité du terrain et module 'WInt' pour l'action du vent.

Tableau 12 Résistance aux impacts (chocs durs) : catégories d'utilisation en fonction de l'exposition.

Catégorie d'utilisation	Description
I	Zone facilement accessible au public au niveau du sol ( $\leq 2,8$ m) et vulnérable aux chocs, mais non soumise à une utilisation anormalement sévère
II	Zone exposée à des chocs (jet d'objets ou coups) plus ou moins violents, mais dans des endroits publics où la hauteur du système limite l'étendue de l'impact, ou à des niveaux inférieurs lorsque l'accès au bâtiment est principalement utilisé par des personnes soigneuses
III	Zone qui n'est pas susceptible d'être endommagée par des chocs normaux causés par des personnes ou par des objets (jet d'objets ou coups)

rez-de-chaussée d'un bâtiment en milieu urbain, par exemple) constituent des critères importants lors du choix d'un ETICS. À cet égard, on se référera à la catégorie d'utilisation (I, II ou III) du système précisée par le fabricant et dans l'ATG, ainsi qu'au tableau 12. Par ailleurs, les éventuelles dégradations mécaniques doivent être réparées immédiatement en vue de garantir le bon maintien des fonctions de l'ETICS. Le donneur d'ordre ou le maître d'ouvrage doit notamment être conscient de la nécessité d'une réparation immédiate lors d'un tel désagrément.

En général, les exigences relatives à la résistance aux chocs de 'corps mous' (corps humain notamment, simulés au moyen d'une balle de masse et de hauteur de chute déterminées, par exemple) sont, quant à elles, liées à la sécurité des personnes. C'est pourquoi elles ne sont pas pertinentes dans le cas des ETICS et ne sont pas requises par l'ETAG 004 [E3]. Néanmoins, si l'on souhaite assurer le maintien des performances du système sans avoir à effectuer des réparations régulières, on peut fixer des exigences complémentaires en la matière (usage d'ETICS dans des zones anormalement soumises aux chocs comme le rez-de-chaussée d'une cour d'école, par exemple). À ce propos, on peut se baser sur la norme NBN ISO 7892 [B35] et le rapport technique 001 (TR001) [E5] de l'EOTA.

Ces exigences ne concernent pas les actes de vandalisme.

### 3.3.3 ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR

Les travaux d'installation et de construction ne peuvent pas être source de pollution pour l'environnement immédiat (air, sol, eau).

En ce qui concerne les matériaux de construction des murs extérieurs, le taux de dégagement de produits polluants vers l'air extérieur, le sol et l'eau doit donc être conforme à la législation, à la réglementation et aux dispositions administratives en vigueur à l'endroit où le produit est incorporé dans l'ouvrage.

## 3.4 SÉCURITÉ D'UTILISATION ET ACCESSIBILITÉ

L'ETICS doit être stable et résister à l'ensemble des sollicitations produites par les charges normales, telles que le poids propre, la température, l'humidité et le retrait, ainsi que par les mouvements de la structure principale et par le vent (dépression).

L'exigence n° 4 concerne ainsi diverses caractéristiques du système et de ses composants, qui sont détaillées ci-après.

### 3.4.1 EFFET DES EFFORTS DUS AU POIDS PROPRE

Le système doit pouvoir supporter son propre poids sans subir de déformation dommageable.

### 3.4.2 EFFET DES MOUVEMENTS DE LA STRUCTURE PRINCIPALE

Les mouvements normaux de la structure principale ne peuvent entraîner aucune formation de fissures ou perte d'adhérence dans le système. On considère que l'ETICS doit résister aux mouvements provoqués par des variations de température et de contraintes, excepté au niveau des joints de structure où des précautions particulières sont à prendre.

### 3.4.3 EFFET DE L'ACTION DU VENT

Le système doit présenter une résistance mécanique appropriée aux forces de pression, de dépression et de vibration liées au vent, et ce, avec un facteur de sécurité suffisant.

La valeur de calcul de l'action du vent (suction/dépression) est déterminée sur la base de la norme NBN EN 1991-1-4 [B9] et de son annexe nationale belge (ANB) [B10] en fonction de la zone de vent, de la catégorie de rugosité du terrain, de la hauteur du bâtiment, de la zone de la façade, etc. Le dimen-

sionnement au vent nécessite également la connaissance des caractéristiques de résistance du système, lesquelles dépendent du mode de fixation. Le principe du dimensionnement au vent est repris à l'Annexe D (p. 141).

### 3.5 PROTECTION CONTRE LE BRUIT

Les exigences en matière de protection contre le bruit doivent être satisfaites par l'ensemble du mur, y compris l'ETICS, ainsi que par les fenêtres et les autres ouvertures.

Lorsque les parois revêtues d'un ETICS sont soumises à des exigences en matière de performances acoustiques, on distingue, d'une part, les performances de la paroi elle-même et, d'autre part, la qualité des raccords, et en particulier de ceux aux menuiseries extérieures (châssis de portes et de fenêtres). Bien que l'on dispose de peu de données à ce sujet, on peut néanmoins observer quelques tendances.

En ce qui concerne les performances acoustiques de la paroi elle-même, l'application d'un ETICS sur un mur massif peut faire augmenter ou au contraire baisser (jusqu'à -5dB) l'indice d'affaiblissement acoustique lié au bruit de la circulation. Les principaux paramètres à prendre en considération sont la souplesse du matériau isolant, le mode de fixation au support (collage, fixation mécanique) et la masse surfacique de l'enduit. L'indice qui en découle doit être mis en relation avec les performances acoustiques des autres parties de la façade (fenêtres, grilles de ventilation) et avec les exigences applicables, afin d'évaluer si le type de paroi est adéquat.

Étant donné la légèreté des matériaux isolants habituellement utilisés dans les ETICS, certains types de raccords (aux menuiseries, par exemple) peuvent occasionner des fuites acoustiques (voir figure 38) et ne peuvent dès lors être appliqués que dans des zones peu sollicitées par le bruit.

Les performances acoustiques au droit des raccords sont encore très peu connues. D'une manière générale, les dispositions constructives décrites au chapitre 5 (p. 49) peuvent toutes être utilisées dans un environnement calme (environnement rural ou lotissement calme avec uniquement une circulation locale). Dans la suite de ce document, le lecteur sera averti lorsqu'une des dispositions est déconseillée ou exclue soit dans un environnement moyennement calme, soit dans un environnement bruyant (circulation encombrée).

### 3.6 ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ET ISOLATION THERMIQUE

Les ETICS améliorent l'isolation thermique et réduisent la consommation d'énergie pour le chauffage (en hiver) et la climatisation (en été).

La réglementation sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) s'applique à l'ensemble des bâtiments (sauf exceptions mentionnées explicitement dans la réglementation) pour tous les travaux de construction, de reconstruction et de transformation nécessitant l'obtention d'un permis d'urbanisme. Elle exige non seulement de limiter les déperditions thermiques en partie courante des parois, mais aussi

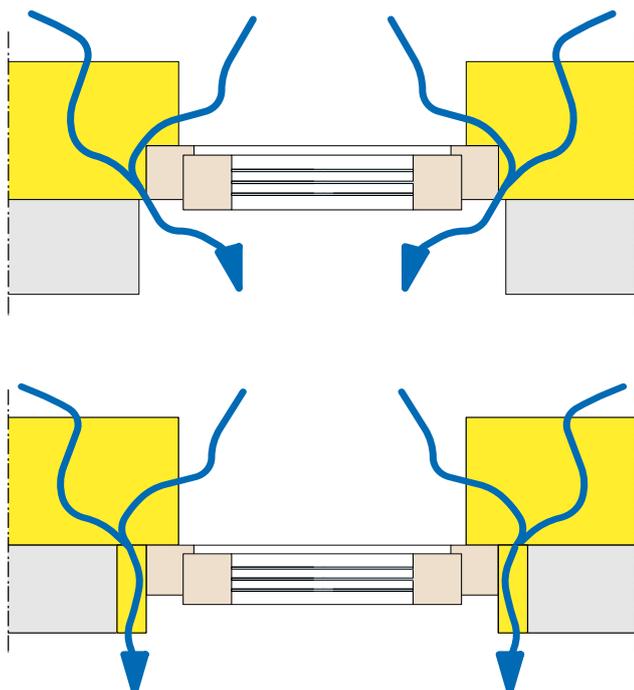
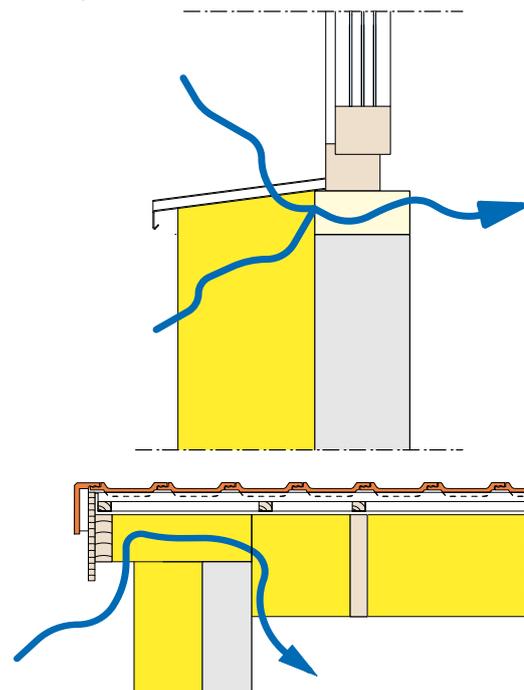


Fig. 38 Exemples de fuites acoustiques au droit des raccords avec l'ETICS.

#### FUITES ACOUSTIQUES



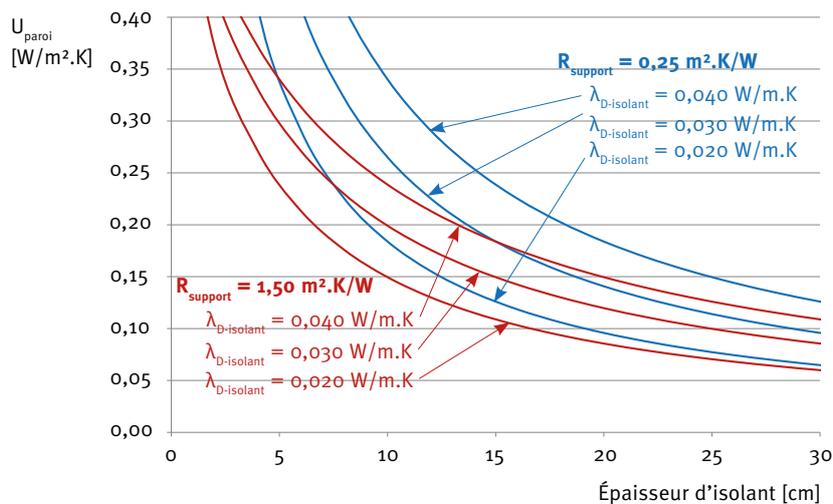


Fig. 39 Coefficient de transmission thermique  $U$  de la paroi ( $U_{\text{paroi}}$ ) en fonction de l'épaisseur de l'isolant (pas de fixation mécanique).

de tenir compte des nœuds constructifs (uniquement pour les bâtiments neufs et assimilés).

En vue de répondre aux exigences de la réglementation PEB, le coefficient de transmission thermique (valeur  $U$ ) de la paroi recouverte par l'ETICS ne peut pas dépasser une certaine valeur limite (valeur  $U_{\text{max}}$ ) fixée par chacune des trois Régions et communiquée sur leurs sites Internet respectifs. Toute interruption linéaire ou ponctuelle d'une paroi qui appartient à la surface de déperditions et qui est répartie sur cette dernière, doit obligatoirement être prise en compte dans le calcul du coefficient de transmission thermique de cette paroi (en suivant une méthode de calcul simplifiée ou une méthode de calcul numérique).

L'Annexe A (p. 121) détaille le calcul de la valeur  $U$  sur la base des performances thermiques de l'ETICS. La figure 39 montre, à titre indicatif, l'influence de l'épaisseur et de la conductivité thermique ( $\lambda_{\text{D-isolant}}$ ) de l'isolant de l'ETICS ainsi que de la résistance thermique du support ( $R_{\text{support}}$ ) sur cette valeur ( $U_{\text{paroi}}$ ).

Les différentes manières de prendre en considération les nœuds constructifs conformément à la réglementation PEB sont synthétisées à l'Annexe B (p. 123). Il revient au donneur d'ordre de choisir l'une des options (A, B ou C). Le chapitre 5 (p. 49) et l'Annexe B (p. 123) reprennent les exigences auxquelles doivent satisfaire les nœuds constructifs associés aux ETICS pour être conformes à la PEB (option B) selon les règles de base.

Le lecteur intéressé consultera le site de l'Antenne Normes 'Énergie et climat intérieur' du CSTC ainsi que les documents de référence sur les sites Internet suivants :

- pour la Flandre : [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be)
- pour la Wallonie : [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)
- pour Bruxelles : [www.bruxellesenvironnement.be](http://www.bruxellesenvironnement.be).

La réglementation précise que lors de la vérification de la conformité d'un nœud constructif à la PEB, la présence d'une membrane de construction n'entre pas en ligne de compte (à condition que le contact entre la membrane et la couche d'isolation soit parfaitement continu). Les profilés de départ fixés au support ne permettent pas d'obtenir un nœud conforme à la PEB selon les règles de base de l'option B, et ce, qu'ils soient en aluminium ou en PVC. Dans ce dernier cas, l'impact des profilés sur les déperditions thermiques est néanmoins relativement faible et est selon nous comparable à celui des membranes de construction. En effet, la valeur lambda ( $\lambda$ ) du PVC rigide est de l'ordre de 0,14 à 0,28 W/m.K en fonction de la charge minérale et ces profilés présentent des épaisseurs inférieures à 2 mm. Dans cette NIT, le cas des profilés de départ en PVC est dès lors assimilé à celui des membranes, ce qui signifie qu'ils ne sont pas pris en compte.

Notons que les ETICS n'ont pas pour fonction d'assurer l'étanchéité à l'air du bâtiment.

### 3.7 UTILISATION DURABLE DES RESSOURCES NATURELLES

Cette septième exigence fondamentale s'attache à la réutilisation et à la recyclabilité des matériaux et éléments de construction ainsi qu'à l'usage de matières premières et de matériaux secondaires respectueux de l'environnement.

Cette exigence n'a, à ce jour, pas encore été traduite concrètement dans un cadre normatif obligatoire. L'Union européenne vise néanmoins un usage efficace des matières premières et une économie 'circulaire' dans laquelle les matériaux et les produits sont réparés, renouvelés, réutilisés ou recyclés au lieu d'être simplement utilisés et jetés. Dans le cadre de cette

stratégie, le secteur de la construction est considéré comme un des secteurs clés pour la diminution de l'usage des matières premières et de l'impact environnemental.

### 3.8 DURABILITÉ ET APTITUDE À L'EMPLOI

L'ensemble des exigences essentielles mentionnées ci-avant doit être satisfait pendant toute la durée de vie du système.

#### 3.8.1 DURABILITÉ DU SYSTÈME

L'ETICS doit être stable et résister aux variations de température, à l'humidité et au retrait. Les températures extérieures (qu'elles soient élevées, basses ou extrêmes : de +50 °C à -20 °C environ) ne peuvent pas avoir un effet destructeur ni provoquer une déformation irréversible.

Le rayonnement solaire augmente la température de surface des ETICS lorsqu'ils y sont exposés. Cette augmentation dépend du flux du rayonnement et de l'absorption énergétique de la surface (couleur). On considère généralement que la température de surface maximale est de 70 °C. Les changements brusques de la température de surface (de l'ordre de 30 °C), dus notamment à une exposition prolongée au rayonnement solaire suivie d'une pluie intense ou au passage de l'ensoleillement à l'ombre, ne peuvent pas entraîner de désordres.

De plus, des mesures devront être prises afin d'éviter la formation de fissures tant à hauteur des joints de mouvement de la structure qu'aux jonctions entre différents matériaux (raccords avec les fenêtres, par exemple).

La procédure UBAtc BA-521-1 [U1] fixe des exigences en matière de durabilité tenant compte des spécificités du climat belge. Elle a été transposée dans la norme belge NBN B 62-400 [B5]. Cette procédure d'essai est plus sévère que celle de l'ETAG 004 [E3], étant donné qu'elle prescrit en outre des cycles de gel-dégel 'humide' [D1] (voir figure 40).

Même si les systèmes sont éprouvés en matière d'étanchéité à l'eau, leur humidification peut être à l'origine d'un vieillissement 'normal' de l'aspect (algues et mousse, par exemple; voir aussi [D2]). Une conception réfléchie du bâtiment permet néanmoins de favoriser la durabilité à cet égard. En plus du respect des détails préconisés, des choix architecturaux tels que des débords de toiture suffisants peuvent ainsi se justifier afin de diminuer la sollicitation de la façade et, ce faisant, son humidification.

#### 3.8.2 DURABILITÉ DES COMPOSANTS

L'intégralité des composants doivent conserver leurs propriétés pendant toute la durée de vie du système dans les conditions normales d'utilisation et de maintenance, afin de préserver la qualité du système.

Cela implique que :

- tous les composants doivent être stables ou du moins présumés stables s'ils ne sont pas entièrement connus, et ce, à la fois sur le plan chimique et physique. Si des réactions entre matériaux surviennent, elles doivent se produire lentement
- tous les matériaux doivent être naturellement résistants aux attaques de la corrosion, ou être traités ou protégés contre celles-ci
- tous les matériaux doivent être compatibles entre eux.



Fig. 40 Maquette 'Grand mur' qui simule une façade revêtue par des ETICS et qui est destinée à l'évaluation en laboratoire du comportement hygrothermique (ETAG 004 [E3], procédure BA-521-1 [U1], NBN B 62-400 [B5]).

### 3.9 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

La construction durable implique d'accorder une attention particulière aux aspects techniques, environnementaux, économiques et sociaux du bâtiment. Parmi ces aspects, l'impact environnemental revêt une importance croissante. À ce sujet, les principaux points à prendre en considération sont les suivants : sélection des matériaux, démolition, récupération, traitement des déchets et possibilités de rénovation. Diverses réglementations environnementales sont ainsi en vigueur dans les différentes Régions du pays.

#### 3.9.1 ANALYSE DU CYCLE DE VIE (LCA) ET DÉCLARATION ENVIRONNEMENTALE DE PRODUIT (EPD)

L'analyse du cycle de vie (ACV ou LCA, pour *Life Cycle Analysis*) est utilisée pour quantifier l'impact environnemental d'un matériau, d'un élément de construction ou d'un bâtiment. Une ACV prend en compte les diverses phases du cycle de vie : production, construction, utilisation, démolition et traitement des déchets. L'impact environnemental est exprimé soit sous la forme d'indicateurs d'impact environnemental (changement climatique, acidification terrestre et aquatique, formation de matières particulaires et épuisement des ressources, etc.), soit sous la forme d'un score chiffré unique obtenu après normalisation, pondération et agrégation des résultats. En ce qui concerne le secteur de la construction, il existe des normes européennes harmonisées pour l'évaluation environnementale des produits de construction (NBN EN 15804+A1 [B32]) et des bâtiments (NBN EN 15978 [B34]). Pour de plus amples informations sur l'analyse du cycle de vie, on consultera l'**Infocarte n° 64** [J1].

Une **déclaration environnementale de produit** ou EPD (*Environmental Product Declaration*) est une fiche normalisée reprenant des informations environnementales pertinentes concernant un produit spécifique, qui sont basées sur l'analyse du cycle de vie. Elle a pour but de guider les professionnels de la construction dans le choix de matériaux respectueux de l'environnement, et ce, en toute objectivité et sans émettre de jugement de valeur. Avec la publication de l'arrêté royal du 22 mai 2014 fixant les exigences minimales pour les affichages environnementaux sur les produits de construction [S10], la Belgique a franchi un premier pas vers la mise en place d'un système EPD national. Tout fabricant qui souhaite apposer un message environnemental sur son produit est désormais tenu de rédiger une EPD et de l'enregistrer dans la **base de données EPD fédérale** (prochainement accessible sur [www.environmentalproductdeclarations.eu](http://www.environmentalproductdeclarations.eu)). De cette façon, chaque consommateur peut avoir accès aux informations environnementales liées à un produit. Plusieurs pays européens disposent déjà de leurs propres bases de données EPD répertoriant des produits de construction. Citons notamment la base de données INIES en France, les *Environmental Profiles* en Grande-Bretagne, les *Umwelt-Produkt-deklarationen* en Allemagne, l'*International EPD® System* en Scandinavie et la *Nationale Milieudatabase* aux Pays-Bas.

Le but de ce système n'est toutefois pas d'établir une comparaison de l'impact environnemental des produits sur la base des EPD. Par ailleurs, seuls les produits appartenant à un même système EPD peuvent être comparés, et ce, à condition d'utiliser des unités fonctionnelles équivalentes, l'impact d'un kilo de produit ne pouvant être comparé à l'impact d'un mètre carré d'un autre produit.

Bien que les EPD se limitent aux produits de construction, elles peuvent servir de base pour l'évaluation environnemen-

Tableau 13 Aperçu de la portée et de l'approche des ACV réalisées sur différents ETICS.

Unité fonctionnelle	1 m <sup>2</sup> d'un mur extérieur présentant une valeur U de 0,32 W/m <sup>2</sup> .K ou 0,12 W/m <sup>2</sup> .K
Période d'évaluation	60 ans
Limites du système	Analyse du berceau à la tombe ( <i>cradle-to-grave</i> ) : production, transport, installation sur chantier, utilisation (remplacements, consommation énergétique pour le chauffage, etc.), démolition, transport des déchets et traitement des déchets
Base de données et scénarios	Base de données générique Ecoinvent v2.2 ( <a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a> ), données harmonisées pour le contexte belge (scénarios de transport et de fin de vie représentatifs de la situation belge pour l'année 2012)
Consommation énergétique pour le chauffage	Consommation due aux déperditions à travers l'élément : <ul style="list-style-type: none"> <li>• méthode équivalente des degrés-jours (1.200 degrés-jours équivalents)</li> <li>• système de chauffage équipé d'une chaudière à condensation au gaz d'un rendement global de 68 %</li> </ul>
Méthode pour l'analyse de l'impact environnemental	ReCiPe v.1.06 Endpoint (H)/Europe ReCiPe H/A : 17 indicateurs d'impact environnemental + un score unique ( <a href="http://www.lcia-recipe.net">www.lcia-recipe.net</a> )
Date des analyses	2012

tale des éléments de construction ou des bâtiments dans leur ensemble. Lors de l'évaluation d'un produit de construction, il convient toutefois de ne pas se focaliser uniquement sur le produit lui-même, mais de **tenir compte également de son application dans le bâtiment**. Il est en effet possible que l'utilisation d'un matériau à faible impact environnemental réduise les performances environnementales d'un bâtiment, étant donné, par exemple, qu'il nécessite un matériau de fixation supplémentaire ou un entretien plus intensif tout au long de la durée de vie du bâtiment.

### 3.9.2 IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES ETICS

Nous exposons ici les conclusions d'une étude menée par le CSTC qui illustre, au moyen d'ACV basées sur des données environnementales génériques (et non sur des EPD), l'impact environnemental de différents types d'ETICS et de leurs composants. Les tableaux 13 (p. 40) et 14 (p. 42) offrent un aperçu des méthodes d'analyse et des scénarios envisagés ainsi que des compositions étudiées.

Il ressort de l'étude que le matériau isolant est l'élément qui influence le plus l'impact environnemental global des ETICS (voir figure 42, p. 42). Les analyses comparatives révèlent que, parmi les matériaux isolants examinés (variantes minérales, synthétiques et naturelles), l'isolant le plus utilisé, à savoir le polystyrène expansé (EPS), présente l'impact environnemental le plus faible. Bien que l'on puisse s'attendre à ce que le liège expansé (ICB) obtienne un bon score en tant que matériau isolant naturel, son impact environnemental s'avère élevé en raison de l'occupation importante du territoire agricole lors de sa production. Dans le cas des ETICS à base de laine de roche (MW), l'impact environnemental élevé s'explique par la forte densité du matériau et donc par

la plus grande quantité de matériaux par rapport à l'EPS. Une réduction de la densité du matériau isolant a donc un effet favorable sur l'impact environnemental.

La comparaison avec un mur creux isolé met en évidence le fait que le choix réfléchi et correct d'une solution écologique ne peut reposer uniquement sur l'impact environnemental d'un matériau individuel, mais doit également être déterminé en fonction de l'application.

L'impact environnemental des enduits et des moyens de fixation est faible, mais, dans l'ensemble, non négligeable. L'étude du CSTC considère une durée de vie de 60 ans et tient compte d'une remise en peinture de la façade tous les 10 ans. Remplacer l'enduit pendant cette durée de vie augmente, en toute logique, l'impact environnemental. Pour la majorité des systèmes analysés, l'impact environnemental reste toutefois limité ou semblable à celui d'un mur creux isolé.

Enfin, l'étude montre que, pour des systèmes dimensionnés de telle manière que la valeur U de la paroi est de  $0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , l'impact environnemental de la consommation énergétique pour le chauffage durant la phase d'utilisation est supérieur à celui des matériaux, ce qui souligne une fois encore l'importance d'une bonne isolation des bâtiments (voir figure 41). Vu la tendance actuelle à construire (et à exiger) des bâtiments toujours mieux isolés thermiquement, le choix de matériaux respectueux de l'environnement devrait s'imposer à l'avenir.

Rappelons toutefois qu'il est primordial de veiller à une bonne conception ainsi qu'à une réalisation des détails et une pose correctes des ETICS, afin d'atteindre la durée de vie escomptée de 60 ans.

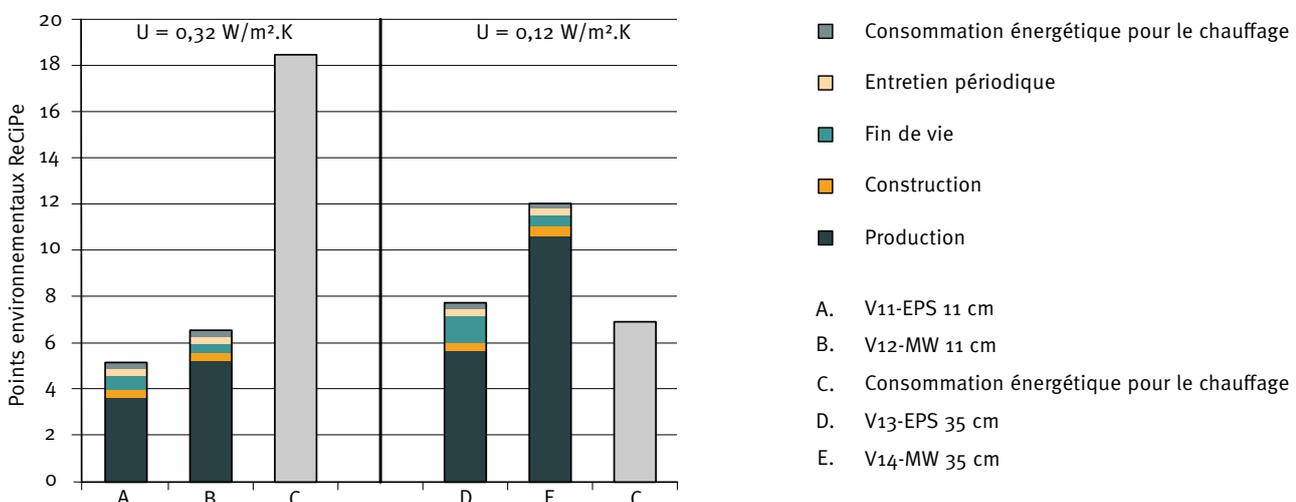


Fig. 41 Comparaison de l'impact environnemental durant les différentes phases du cycle de vie (60 ans) pour les ETICS avec EPS et MW, et  $U = 0,32 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  ou  $U = 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Tableau 14 Compositions étudiées ( $U_{\text{paroi}} = 0,32 \text{ W/m}^2.\text{K}$ ).

Composition ETICS	Matériau isolant				Fixation		Parachèvement		
	Nature	Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	Valeur lambda [W/m.K]	Épaisseur [cm]	Colle (°)	Chevilles [# /m <sup>2</sup> ]	Nature de l'enduit		Épaisseur [cm]
							Base	Finition	
V1-EPS	Polystyrène expansé	15	0,040	11	40 %	6	Minérale	Organique	0,7
V2-XPS	Polystyrène extrudé	32	0,035	9	100 %	2 (°)	Minérale	Organique	0,5
V3-MW	Laine de roche	100	0,040	11	40 %	6	Minérale	Minérale	0,6
V4-WF	Fibre de bois	230	0,045	12	40 %	10	Minérale	Organique	0,8
V5-PUR	Polyuréthane	40	0,029	8	40 %	6	Minérale	Organique	0,5
V6-MW	Laine de roche	140	0,040	11	40 %	6	Minérale	Minérale	0,6
V7-CG	Verre cellulaire	110	0,040	10	100 %	1 (°)	Chaux	Chaux	0,10
V8-ICB	Liège expansé	120	0,040	11	40 %	6	Minérale	Organique	0,8
Composition mur creux	Matériau isolant				Fixation		Parachèvement		
	Nature	Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	Valeur lambda [W/m.K]	Épaisseur [cm]	Chevilles [# /m <sup>2</sup> ]	Type de mur		Épaisseur [cm]	
V9-MW	Laine de roche	40	0,040	10	5	Mur de brique		9	
V10-PUR	Polyuréthane	40	0,029	7	5	Mur de brique		9	

(°) Pourcentage de surface encollée.  
 (°) Pour le soutien provisoire durant la prise de la colle.

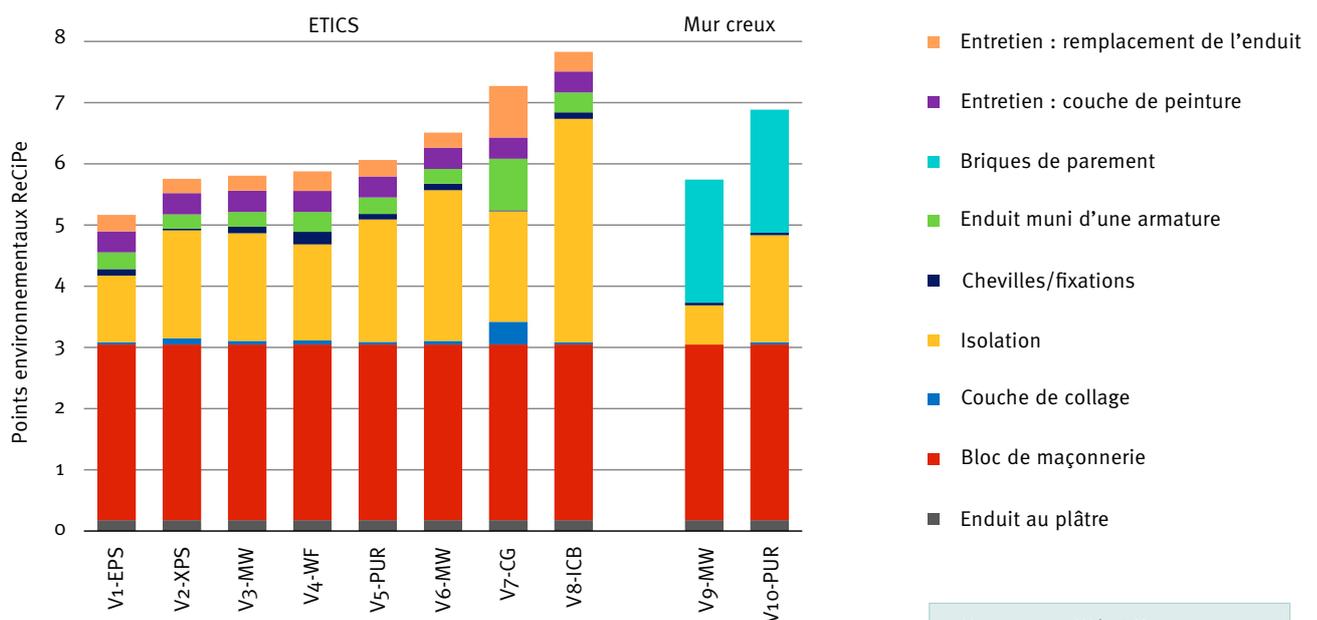


Fig. 42 Impact environnemental des ETICS (avec différents matériaux isolants, moyens de fixation et enduits) au cours de leur cycle de vie (60 ans).

 $U_{\text{paroi}} = 0,32 \text{ W/m}^2.\text{K}$ 

Méthode : ReCiPe Endpoint H/A

# 4

## SUPPORT

### 4.1 INTRODUCTION

On entend par ‘support’ un mur qui satisfait à lui seul aux exigences d’étanchéité à l’air, de résistance mécanique (résistance aux charges statiques et dynamiques) et de stabilité dimensionnelle. Il peut être revêtu d’un parachèvement adhérent (enduit existant, par exemple).

Les supports traités selon les dispositions constructives spécifiques aux ETICS (voir chapitre 5, p. 49) doivent être réceptionnés par le donneur d’ordre avant la réalisation des travaux. Dans tous les cas, le façadier procédera au contrôle du support.

Les ETICS peuvent être utilisés sur des murs verticaux neufs ou existants (rénovation). Ils peuvent également être mis en œuvre sur des surfaces horizontales ou inclinées non exposées aux précipitations. Ces systèmes sont des éléments de construction non porteurs. Ils ne contribuent en effet pas directement à la stabilité des murs sur lesquels ils sont appliqués, mais ils favorisent néanmoins leur durabilité grâce à une meilleure protection contre les intempéries.

Les murs sont généralement composés de maçonnerie ou de béton (béton banché, panneaux préfabriqués), voire d’une combinaison des deux (ossature en béton avec remplissage en maçonnerie, linteaux en béton incorporés dans la maçonnerie, etc.). Depuis quelques années, les ETICS comptent en outre parmi les techniques de parachèvement des constructions à ossature en bois. L’utilisation d’une protection à ‘simple’ barrière d’étanchéité, qui est tributaire de la conception correcte et de la bonne réalisation des détails ainsi que de leur entretien (joints souples en particulier), en vue de protéger une structure en bois, de nature plus sensible à l’humidité qu’une structure massive traditionnelle, comporte davantage de risques. D’autres types de support ne sont pas à exclure (ossature métallique panneautée, par exemple). À ce sujet, on s’inspirera des recommandations formulées dans ce chapitre et des directives du fabricant de l’ETICS.

Les principales caractéristiques du support, c’est-à-dire la nature, la capacité et la rapidité d’absorption de l’eau, la stabilité dimensionnelle, la cohésion ou encore la planéité de la surface, déterminent le choix du produit ou de la technique de pose ainsi que le comportement de l’ETICS dans le temps.

Les joints de structure présents dans le support nécessitent la réalisation de joints de fractionnement dans l’ETICS.

### 4.2 MAÇONNERIES ET STRUCTURES EN BÉTON

#### 4.2.1 MAÇONNERIES

En règle générale, les murs neufs en maçonnerie sont érigés à partir d’éléments en terre cuite, en béton de granulats denses ou légers, en silicate de calcium (silicalcaire) ou en béton cellulaire autoclavé qui sont posés à l’aide d’un mortier ou d’un mortier-colle approprié. Les murs en pierre naturelle ou en pierre reconstituée (similaire au béton) sont moins fréquents en Belgique.

La conception et l’exécution des maçonneries sont normalisées (voir Eurocode 6 [B13] et ses annexes nationales belges [B14]). En Belgique, les STS 22 [S2] (version révisée à paraître) constituent un des documents de référence en la matière.

La maçonnerie en élévation doit toujours être dotée des barrières anticapillaires nécessaires, notamment au pied du mur. En l’absence de telles barrières ou en cas de mise en œuvre incorrecte, elle risque d’absorber de l’humidité, avec, à la clé, une éventuelle dégradation de l’ETICS.

Les maçonneries existantes peuvent faire office de support. Les murs creux doivent de préférence être postisolés au préalable selon les spécifications et les recommandations des STS 71.1 [S5] et de la **NIT n° 246** [C10], à l’exclusion des conditions restrictives concernant l’exposition et la largeur de la coulisse. Dans tous les cas, ils doivent être traités de façon à ne pas être ventilés.

#### 4.2.2 STRUCTURES EN BÉTON

Les murs en béton sont formés de béton banché ou de panneaux préfabriqués en usine.

Le béton de structure se compose de ciment, de granulats (ordinaires ou légers), d’adjuvants éventuels et d’eau. La conformité de la composition des bétons relève de la norme NBN EN 206-1 [B7]. Les normes suivantes s’appliquent aux éléments préfabriqués en béton :

- NBN EN 13369 Règles communes pour les produits préfabriqués en béton [B25]
- NBN B 21-600 Règles communes pour les produits préfabriqués en béton (complément national à la NBN EN 13369) [B3]

- NBN EN 13225 Produits préfabriqués en béton. Éléments de structure linéaires [B24]
- NBN EN 14992 Produits préfabriqués en béton. Éléments de mur [B30].

La norme NBN EN 13670 relative à l'exécution des structures en béton [B28] et son supplément national (NBN B 15-400) [B2] sont, quant à eux, consacrés à la fois à la réalisation de constructions en béton coulé sur place et à la mise en œuvre d'éléments préfabriqués en béton.

Notons que le béton cellulaire s'emploie également sous forme de panneaux préfabriqués.

### 4.2.3 TOLÉRANCES : ÉCARTS ADMISSIBLES

Il est impératif que le support respecte rigoureusement les écarts dimensionnels admissibles (voir § 7.1, p. 103) afin de permettre la pose de l'ETICS et en particulier des panneaux d'isolation. Ces tolérances strictes visent en effet à obtenir l'isolation continue et les écarts maximaux admissibles requis pour les travaux d'enduisage sans que des mesures correctives doivent être apportées. Ces dernières ne sont pas prévues dans le cadre normal des travaux, sauf mention contraire explicite dans les documents contractuels.

#### Définitions selon la norme NBN EN 13670 relative à l'exécution des structures en béton [B28] et son supplément national (NBN B 15-400) [B2]

##### Types de tolérances :

- **tolérances normatives** : tolérances structurelles devant garantir la résistance mécanique et la stabilité des structures
- **tolérances informatives** : tolérances ayant généralement une faible influence structurale. Soulignons que les documents contractuels doivent toujours mentionner si elles sont d'application ou non.

##### Classes de tolérances :

- **classe de tolérance 1** (tolérances normales) : cette classe est d'application à défaut d'autres spécifications dans le cahier spécial des charges et permet de tenir compte des hypothèses de l'Eurocode 2 [B11] en ce qui concerne le dimensionnement
- **classe de tolérance 2** (tolérances plus sévères) : cette classe doit toujours être spécifiée dans le cahier spécial des charges lorsqu'on souhaite qu'elle soit d'application. Ces tolérances plus sévères et le contrôle de la qualité permettent de considérer des coefficients de sécurité partiels réduits dans les calculs (voir annexe A de l'Eurocode 2 [B11]).

La norme européenne NBN EN 1996-2 [B13] et son annexe nationale [B14] ainsi que les STS 22 [S2] expriment les valeurs maximales des écarts admissibles applicables en Belgique pour les maçonneries neuves.

La norme européenne NBN EN 13670 relative à l'exécution des structures en béton [B28] et son supplément national (NBN B 15-400) [B2] (voir encadré) établissent une distinction entre les tolérances 'normatives' et les tolérances 'informatives'. Elles prévoient en outre deux classes de tolérances (classes 1 et 2) (voir aussi [Les Dossiers du CSTC n° 2004/4.4](#) [P1]).

Le parachèvement de maçonneries et de structures en béton au moyen d'ETICS est subordonné au respect des écarts maximaux admissibles décrits dans les documents de référence précités. Les tolérances informatives pertinentes et la classe de tolérance 2 plus sévère sont d'application pour les structures en béton (à mentionner dans les documents contractuels). Ces écarts sont synthétisés au § 7.1 (p. 103). Dans le cas d'écarts plus importants (certaines rénovations, par exemple), les éventuelles mesures correctives destinées à rendre le support acceptable d'un point de vue dimensionnel n'entrent pas dans le cadre normal des travaux et engendrent un coût supplémentaire.

Si la finition spéciale de l'ETICS (voir § 7.1, p. 103) est demandée explicitement dans les documents contractuels, les travaux ne débiteront qu'une fois que le façadier sera en possession d'un rapport de réception du support actant le respect des écarts admissibles sur le support ainsi que l'adéquation entre les dispositions constructives et la technique d'enduisage sur isolation extérieure (voir chapitre 5, p. 49). Ce rapport ne dispense toutefois pas l'entrepreneur du contrôle du support.

### 4.2.4 TEMPS D'ATTENTE : DÉFORMATIONS DIFFÉRÉES ET SÉCHAGE

On ne peut appliquer un ETICS directement sur un support présentant une instabilité de forme ou des fissures actives. Après la réalisation du gros œuvre, un délai d'attente minimal doit être observé avant l'application de l'ETICS. En particulier, durant les premiers temps, le béton est en effet sujet à des déformations lentes liées au retrait hydraulique et au fluage. Le retrait est principalement influencé par la composition du béton et les conditions de séchage, tandis que le fluage dépend aussi des charges reprises par l'élément.

Ces déformations différées de retrait et de fluage touchent également les maçonneries neuves dans des mesures diverses. Ainsi, les éléments de maçonnerie en béton, en béton cellulaire et en silicalcaire sont sujets au retrait hydrique de séchage. La connaissance de leur date de production peut fournir une indication à cet égard. Étant donné les déformations instantanées engendrées par la reprise des charges auxquelles elles sont soumises, les maçonneries

subissent également des déformations différées de fluage en fonction, entre autres, de ces charges.

Ces déformations différées peuvent avoir des répercussions sur l'ETICS (cisaillement à l'interface colle/support, par exemple). Afin de limiter ce risque, les maçonneries et les structures en béton doivent avoir atteint un âge suffisant avant d'être parachevées, en particulier lorsqu'on utilise des techniques d'encollage. Un temps d'attente d'au moins trois mois après l'achèvement du gros œuvre est recommandé. Ce délai correspond généralement à un séchage normal du support. Il peut être réduit pour les supports qui sont soumis dans une moindre mesure au retrait et au fluage. En cas de conditions inhabituelles (bâtiment très fortement chargé et/ou très élevé, conditions climatiques défavorables au séchage, etc.), des délais plus longs peuvent être requis.

#### 4.2.5 HUMIDITÉ ANORMALE

Le support ne peut avoir subi aucune humidification anormale. S'il présente des signes de dégradation due à l'humidité ou au gel, on procédera à un examen préalable des mesures à prendre en vue d'y remédier.

Une humidité anormale à la surface du support peut altérer voire empêcher le collage de l'ETICS. Elle peut notamment être causée par des intempéries récentes ayant sollicité un support peu ou pas protégé, ou par une amorce de descente d'eau n'étant pas encore reliée aux évacuations. Elle est facilement décelable en raison des signes visibles qui l'accompagnent tels que des auréoles ou une tonalité localement plus sombre du support.

Dans ce cas, le donneur d'ordre doit être informé des conditions inadéquates dans lesquelles se trouve le support et prendre les mesures qui s'imposent en vue d'éliminer la cause du problème. Avant le début des travaux, on observera en outre un temps d'attente permettant la disparition de cette humidité anormale dans les zones concernées.

#### 4.2.6 CLASSIFICATION DES SUPPORTS (FIXATION MÉCANIQUE)

La nature du support et la présence de perforations (aussi appelées alvéoles) dans les éléments de maçonnerie revêtent une importance particulière en cas de fixation mécanique (voir § 2.4.2.2, p. 22).

Lorsque la nature et/ou la géométrie du support en question diffèrent des conditions d'évaluation en laboratoire, il s'avère parfois nécessaire d'évaluer la résistance des fixations *in situ*.

Il importe de fournir au façadier les données concernant le support qui sont pertinentes pour le choix du type de fixation à employer. En cas de doute, on s'informerait auprès du fabricant.

#### 4.2.7 ÉTAT DE LA SURFACE

En plus d'être propre et cohésif, le support doit être exempt de mousses, de poussières, de boursouflures, de graisses, d'efflorescences nuisibles et de toutes autres substances ou particules susceptibles d'affecter l'adhérence de l'ETICS.

En cas d'encollage, le bon état de la surface du support est primordial. La valeur minimale de la cohésion de surface s'élève à 0,25 N/mm<sup>2</sup>.

Les supports présentant une cohésion de surface réputée faible <sup>(4)</sup> nécessitent une profondeur d'ancrage plus importante en cas de fixation mécanique de l'ETICS. Si l'on procède à une fixation par encollage, on utilisera une colle adaptée à ce type de support (épaisseur, rigidité et retrait limités), notamment afin d'éviter une rupture dans le support lors du retrait de cette dernière.

Si le support est recouvert d'un enduit, on vérifiera l'adhérence de ce dernier au support et sa cohésion de surface ainsi que sa compatibilité avec le produit de collage de l'ETICS. Lorsqu'il s'agit d'un enduit de dressage appliqué pour améliorer la planéité de surface du support, on veillera en outre à respecter un délai de prise et de séchage suffisant (quelques jours, selon les directives du fabricant). Ces couches d'enduit ne sont pas considérées comme résistantes lorsqu'on évalue la profondeur d'ancrage de fixations mécaniques.

Si l'on souhaite utiliser la technique d'encollage et que le support est recouvert d'une peinture, on procédera à l'élimination de cette dernière (par grattage, brûlage ou décapage, par exemple), à moins qu'elle soit spécifiquement couverte comme support acceptable par le domaine d'application de la colle. Une méthode alternative consiste à réaliser une pose par fixation mécanique avec encollage complémentaire (voir § 2.4, p. 18, pour les fonctions de l'encollage complémentaire). Dans le cas d'un support ancien, il n'est pas exclu qu'un traitement hydrofuge de la surface ait été réalisé. Une absorption d'eau très limitée et/ou le ruissellement de gouttelettes d'eau aspergées à la surface en sont des indices. Des mesures similaires (colle adaptée, fixations mécaniques) doivent alors être prises.

Les maçonneries neuves sont parfois revêtues de produits d'étanchéité et/ou de membranes collées assurant, par exemple, la protection en pied de mur ou l'étanchéité à l'air

<sup>(4)</sup> Béton cellulaire, béton de granulats légers, murs anciens existants, généralement en maçonnerie d'éléments de terre cuite ayant pu subir les influences du climat et des microfissurations, mêmes invisibles à l'œil nu, dues aux cycles de gel/dégel.

à la jonction châssis/support. Ces revêtements peuvent requérir l'usage d'une colle adaptée. À ce propos, on se référera aux prescriptions du fabricant.

Lorsque le support montre une absorption d'eau forte ou hétérogène, il s'avère parfois nécessaire d'appliquer une couche d'imprégnation (voir les directives du fabricant).

En cas de doute, on consultera la norme NBN B 14-210 [B1] pour la mesure *in situ* de la cohésion de surface du support et/ou de l'adhérence de la colle ainsi que l'annexe D de l'ETAG 014 [E4] pour la mesure *in situ* de la résistance des fixations.

#### 4.2.8 EFFLORESCENCES

Les efflorescences ont un effet néfaste sur l'adhérence de l'ETICS au support. Hormis les exsudations de chaux, elles doivent être éliminées avant le début des travaux (par brossage à sec). Leur réapparition indique l'existence d'un problème d'humidité dans la construction, qui doit être résolu en priorité.

#### 4.2.9 PRODUITS DE CURE ET DE DÉCOFFRAGE

Des traces de produits de décoffrage peuvent subsister à la surface du béton qui était en contact avec le coffrage, tandis

que d'autres surfaces peuvent avoir été traitées au moyen de produits de cure destinés à empêcher une dessiccation trop rapide. Ces produits pouvant altérer l'adhérence de la colle au support, des précautions complémentaires s'imposent. En pratique, il est cependant difficile de constater la présence de ces produits et l'on doit généralement se contenter des informations fournies par le donneur d'ordre ou l'entreprise de bétonnage. En cas de doute, il convient de contrôler l'adhérence de la colle et/ou de fixer le système par des moyens mécaniques.

#### 4.2.10 AUTRES MATÉRIAUX INCORPORÉS

Lorsque des matériaux d'une autre nature (béton, métal, bois) sont incorporés dans le mur (sous forme de poutres (linteaux) ou de colonnes, par exemple), on optera pour une colle adaptée selon les recommandations du fabricant. Les panneaux d'isolation doivent ponter les jonctions entre différents matériaux. Les poutrelles en 'I' requièrent parfois un remplissage préalable de l'espace entre leurs ailes à l'aide de panneaux d'isolation encollés.

### 4.3 CONSTRUCTIONS EN BOIS

Par rapport aux supports en maçonnerie ou en béton, l'application des ETICS sur des constructions en bois présente des risques accrus, à savoir : d'une part, la fissuration du

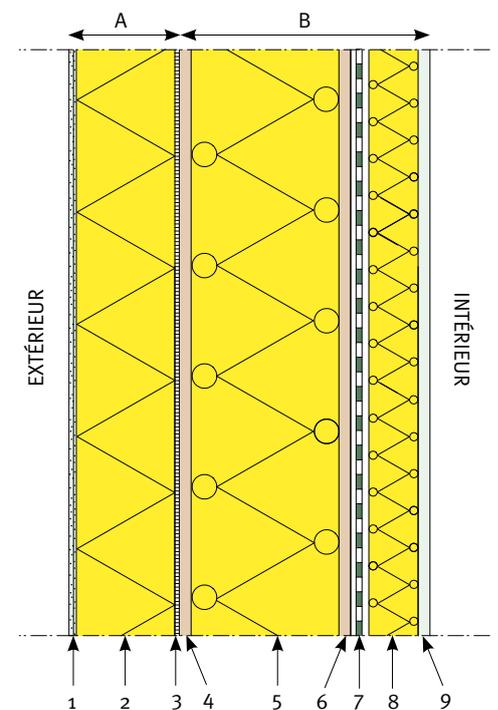
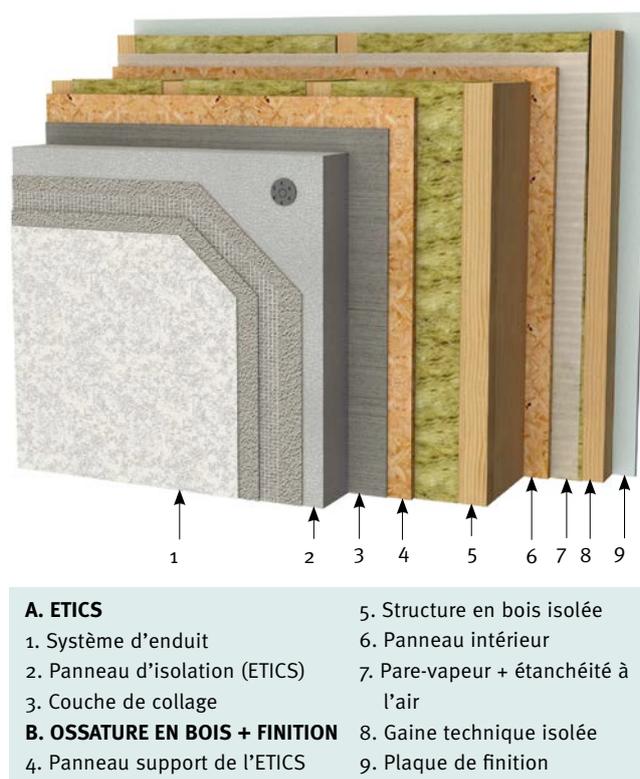


Fig. 43 Paroi constituée d'un ETICS sur ossature en bois : vue en 3D (à gauche) et vue en 2D (à droite).

système d'enduit à la suite de mouvements potentiels plus importants du support et, d'autre part, des conséquences plus dommageables dues à la présence d'humidité dans le complexe façade (éventuelles infiltrations et/ou condensations internes). Une limitation de l'usage (en fonction de l'exposition aux pluies battantes) et le choix de matériaux adaptés permettent toutefois de limiter les risques.

En règle générale, il convient de placer des barrières antipillaires entre les pièces de bois et les autres éléments du gros œuvre (entre un radier en béton armé et la lisse de réglage, par exemple; voir [CSTC-Contact n° 2013/1](#) [C15]). En l'absence de telles barrières ou en cas de mise en œuvre incorrecte, la structure risque d'absorber de l'humidité, avec, à la clé, une éventuelle dégradation de celle-ci et de l'ETICS.

### 4.3.1 TYPES DE PAROIS EN BOIS

Afin de réduire le risque de dégradation de l'ETICS (en particulier la fissuration de l'enduit) en raison des variations dimensionnelles du bois, nous déconseillons fortement d'appliquer l'ETICS sur des constructions en madriers (bois massif empilé). Dans le cas d'une construction à ossature en bois de rigidité suffisante (moins sensible à cet égard) ou d'une construction en panneaux préfabriqués en bois massif contrecollé et/ou cloué, l'application est possible, à condition que la teneur en humidité des bois de structure et des panneaux supports soit inférieure ou égale à 18 % en masse au moment de la mise en œuvre de l'ETICS. Cette teneur exclut notamment une exposition à une humidification excessive du fait, par exemple, des intempéries durant les phases d'exécution (des mesures doivent être prises afin de protéger la paroi support de l'humidification, comme la réduction du délai de pose de l'ETICS, par exemple).

L'ossature en bois doit présenter une rigidité suffisante et doit répondre aux spécifications des STS 23 [S3]. L'isolant de l'ETICS ne contribue pas au contreventement de l'ossature.

La fixation mécanique d'ETICS directement à l'ossature est de plus en plus utilisée (voir § 2.4, p. 18).

### 4.3.2 LIMITATION DE L'EXPOSITION AUX PLUIES BATTANTES

Nous renvoyons au § 3.3.1 (p. 33) pour de plus amples informations sur les limitations recommandées.

### 4.3.3 CONCEPTION HYGROTHERMIQUE DE LA PAROI

Une attention particulière doit être accordée au comportement hygrothermique de la paroi (voir figure 43, p. 46), afin de limiter le risque de condensation interne par diffusion. Ce risque peut notamment être avéré au niveau du panneau support lorsque ce dernier est résistant à la diffusion et que la résistance thermique de l'isolant de l'ETICS est inférieure

à 1,5 fois la résistance thermique de l'isolation de l'ossature. Ce risque est également présent à l'interface entre l'isolant et l'enduit.

Afin de ramener les quantités de condensat à des valeurs raisonnables, il y a dès lors lieu (voir tableau 14) :

- d'assurer l'étanchéité à l'air de la paroi
- de limiter la résistance à la diffusion de vapeur d'eau du système d'enduit en fonction de la résistance à la diffusion de l'isolant de l'ETICS, conformément au § 3.3.1 (p. 33)
- d'adapter les performances du pare-vapeur (toujours nécessaire) à la situation réelle (composition, propriétés des matériaux et sensibilité à l'humidité de ces derniers). Un pare-vapeur présentant une valeur  $S_d \geq 2$  m ( $\geq 5$  m en cas de matériaux d'isolation très sensibles à l'humidité) est bien souvent suffisant si le climat intérieur est de classe I ou II. C'est généralement le cas lorsqu'un système de ventilation conforme à la norme NBN D 50-001 [B6] est mis en place et correctement utilisé.

### 4.3.4 CHOIX DES MATÉRIAUX

Les conséquences d'une humidification excessive et/ou de trop longue durée peuvent être atténuées en optant pour des matériaux plus résistants à l'humidité. Ainsi, les bois de structure seront traités contre les insectes et les champignons (voir STS 23 [S3]). Les panneaux supports doivent être résistants à l'humidité et ceux à base de bois doivent présenter au moins une classe de service 2, voire 3 (conseillé) (voir [Les Dossiers du CSTC n° 2015/2.20](#) [C17]).

### 4.3.5 TOLÉRANCES : ÉCARTS ADMISSIBLES

Les éléments constitutifs de la paroi portante, qui servent de support à l'ETICS, doivent respecter les écarts dimensionnels admissibles décrits au § 7.1 (p. 103).

Tableau 14 Exigences relatives à l'étanchéité à l'air et à la vapeur.

Classe de climat intérieur	Niveau d'étanchéité à l'air (°)	Niveau de résistance à la diffusion de vapeur $S_d$ du pare-vapeur (°)
CC I	L1 : niveau de base	$\geq 2$ m
CC II		
CC III	L2 : niveau validé par des mesures	$\geq 5$ m
CC IV		Étude requise

(°) Classe L1 : bonne étanchéité à l'air.  
Classe L2 : étanchéité à l'air validée et améliorée (L1 + mesures + correction des fuites).  
Voir [NIT n° 251](#) [C13].

(°) Excepté pour les matériaux d'isolation très sensibles à l'humidité ( $S_d$  du pare-vapeur  $\geq 5$  m en classe de climat intérieur I ou II).

#### 4.4 APPLICABILITÉ DES TECHNIQUES DE POSE EN FONCTION DES ÉCARTS DIMENSIONNELS DU SUPPORT

Afin de respecter les tolérances d'exécution de l'enduit et de l'isolant, il est essentiel de réaliser le support dans les limites de certaines tolérances et de choisir la technique de pose sur la base des écarts constatés. Il convient de vérifier la planéité, la verticalité et l'horizontalité du support ainsi que l'absence de désaffleurements avant d'entreprendre les travaux. En cas de non-respect des tolérances, le donneur d'ordre sera informé et des mesures seront proposées, lesquelles nécessiteront une adaptation des délais et/ou des coûts.

Pour rappel, les mesures particulières destinées à corriger localement le support ne sont pas comprises dans le cadre normal des travaux et engendrent un surcoût, sauf indication contraire dans les documents contractuels. Les méthodes de contrôle des tolérances sont décrites au § 7.2 (p. 104).

Si les écarts de verticalité restent dans les valeurs admissibles précisées au § 7.1 (p. 103), aucune mesure ne sera prise, excepté en cas de demande, ces écarts étant en général peu visibles.

Lorsque les écarts admissibles sont dépassés, des mesures complémentaires peuvent être requises en vue de remédier aux désaffleurements (dressage à l'aide d'un enduit ou usage d'isolants d'épaisseurs différentes tout en respectant la résistance thermique imposée au mur, par exemple). Lorsque l'écart est faible, les désaffleurements peuvent souvent être corrigés grâce à la combinaison de la technique d'encollage en plein et de celle de l'encollage par plots et/ou par bandes. Si l'écart est ponctuel, une découpe locale de l'isolant est en outre envisageable à condition de respecter la résistance thermique du mur. Dans tous les cas, on veillera à ponter le défaut au moyen d'un panneau d'isolation.

Les écarts de planéité sous la latte de 2 m admissibles pour les supports neufs en maçonnerie ou en béton (8 mm/2 m) permettent l'application de toutes les techniques de pose par collage décrites au § 2.4.1 (p. 18) (mortier-colle, mousse-colle PU), excepté la pose à l'aide d'un adhésif en dispersion. En cas de non-respect de ces tolérances, qu'il s'agisse d'une construction neuve ou existante, les techniques de collage en plein ou à la mousse-colle PU sont exclues. Si l'écart dépasse 15 mm/2 m, des mesures correctives seront proposées : dressage à l'aide d'un enduit approprié ou usage de panneaux isolants de différentes épaisseurs.

Tableau 15 Applicabilité des techniques de pose en fonction des écarts de planéité du support.

Cas	Écarts du support		Techniques de collage				Fixation mécanique	
	Planéité sous la latte de 2 m	Désaffleurement	Collage en plein		Collage partiel (1)		Chevilles à rosace + encollage (2)	Profilés
			Adhésif en dispersion	Mortier-colle	Plots ou bandes + bande périphérique	Bandes + bande périphérique		
1	≤ 2 mm/2 m	≤ 1 mm	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	≤ 8 mm/2 m	≤ 5 mm	×	✓	✓	✓	✓	✓
3 (2)	8 mm/2 m < ... ≤ 15 mm/2 m	5 mm < ... ≤ 10 mm	×	×	✓ (2)	×	✓ (2)	×
4 (2) (4)	> 15 mm/2 m	> 10 mm	×	×	×	×	×	×

(1) ≥ 40 % de la surface.  
(2) Support hors tolérance.  
(3) Implique une consommation de colle dépassant le cadre normal des travaux.  
(4) La pose ne peut être effectuée sans procéder à des mesures complémentaires non prévues dans le cadre normal des travaux. Celles-ci entraînent un surcoût et consistent soit en l'application d'un enduit de dressage préalable afin de revenir aux cas 1, 2 ou 3, soit en la mise en œuvre de panneaux isolants d'épaisseurs différentes en vue de corriger l'écart de planéité (calepinage détaillé requis).

# 5

## DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Une conception réfléchie limitant l'exposition à l'humidité et traitant les points singuliers avec discernement pour limiter les ponts thermiques et les risques de fissuration est vivement recommandée. Elle requiert, en outre, des détails favorisant la bonne coordination entre corps de métier et la bonne définition des travaux qui incombent à chacun.

Les supports traités selon les dispositions constructives spécifiques aux ETICS décrites dans ce chapitre doivent être réceptionnés par le donneur d'ordre avant la réalisation des travaux (voir chapitre 7, p. 103).

Les dispositions constructives proposées sont établies sur la base des connaissances et de l'expérience acquises à ce jour. Pour des bâtiments très fortement exposés aux pluies battantes (voir § 3.3.1, p. 33), on se référera aux informations fournies par le fabricant au sujet d'éventuelles mesures complémentaires.

### 5.1 RACCORDS EN PIED DE MUR

#### 5.1.1 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Que ce soit en construction neuve ou en rénovation, le départ de l'ETICS à au moins 30 cm au-dessus du niveau du sol

extérieur est recommandé (voir figure 44) :

- au-dessus de la barrière anticapillaire du mur. En rénovation, les problèmes éventuels, comme l'humidification du mur par remontées capillaires, doivent être résolus préalablement à la pose du système
- au-dessus de la zone d'éclaboussure (eaux de rejaillissement)
- à partir d'une zone de choc admissible pour le système.

On recommande de prévoir la pose d'une plinthe isolée (voir § 5.1.2) en guise de socle. Il est en outre conseillé d'aménager une zone de gravillons d'au moins 30 cm de large aux abords du bâtiment. Cette zone permet de limiter le risque d'éclaboussure de la façade, de favoriser le drainage des eaux de surface, mais aussi d'éviter la proximité de la végétation et les risques de chocs liés au jardinage.

Signalons qu'en règle générale, le façadier se charge uniquement de l'isolation des murs non enterrés (travaux d'ETICS, mais aussi parfois isolation et parachèvement du socle).

#### 5.1.2 PLINTHE ISOLÉE (SOCLE)

La plinthe isolée sera composée d'un matériau résistant aux chocs (revêtement apte à l'usage en pierre naturelle ou en



Fig. 44 Pieds de mur traités selon les dispositions constructives spécifiques aux ETICS.



Fig. 45 Pierre naturelle agrafée et isolant de socle pour le parachèvement du soubassement.

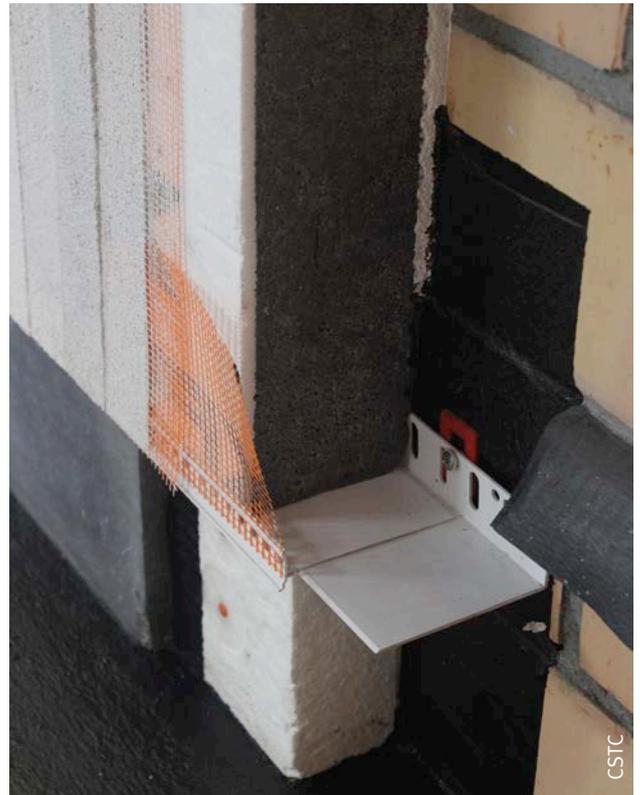


Fig. 46 Plinthe encollée sur l'isolant de socle.

béton, par exemple) et d'un isolant de socle résistant à l'humidité (en polystyrène extrudé (XPS), par exemple). Une étanchéité adaptée doit être prévue en pied de mur.

La plinthe isolée peut être réalisée au moyen de pierres naturelles agrafées, par exemple (voir [NIT n° 146](#) [C1] en cours de révision). Elles sont fixées au support à travers l'isolant par l'intermédiaire de fixations mécaniques (voir figure 45).

Lorsque le risque de décollement et de chute de la plinthe est limité (grâce à la présence d'un talon de fondation, par exemple), on peut envisager d'encoller cette dernière sur l'isolant de socle à l'aide d'une colle adaptée (voir [Les Dossiers du CSTC n° 2011/4.11](#) [G2] et [n° 2015/4.09](#) [G3] ainsi que figure 46).

Le parachèvement de l'isolant de socle au moyen d'un système d'enduit adapté (spécialement formulé pour cet usage) n'est pas exclu, mais il est déconseillé en raison de la forte exposition du soubassement. Si l'on opte pour cette technique, il est recommandé de marquer la séparation entre le système d'enduit du soubassement et celui de la façade, afin de permettre un entretien et une réparation plus aisés et localisés. Une couleur distincte permet en outre d'éviter les nuances d'aspect par rapport au reste de la façade.

L'isolation des murs contre terre et des murs de soubassement doit être combinée à une protection mécanique de l'isolant (lors des remblais, par exemple) et à une étanchéité (protection contre les eaux de ruissellement et éventuellement contre la nappe phréatique, par exemple; voir [NIT n° 250](#) [C12]).

L'isolation spécifique du pied de mur (isolation du socle) et son parachèvement ainsi que les éventuelles fixations mécaniques doivent être pris en considération dans le calcul du coefficient de transmission thermique (valeur U). Les transitions entre cet isolant de socle et les différentes couches d'isolation des parois de déperditions doivent être intégrées en tant que nœuds constructifs selon la réglementation PEB. Les solutions spécifiques pour la réalisation des raccords en fonction de la définition du volume protégé sont décrites aux paragraphes 5.1.3 à 5.1.5 (p. 50 à 53).

### 5.1.3 RACCORD ENTRE L'ETICS ET LA PLINTHE ISOLÉE

Le façadier intervient après les travaux d'isolation et de parachèvement du socle.

Les raccords doivent être conçus et réalisés conformément aux recommandations générales (voir § 5.1.1, p. 49) et de

manière à ce que la continuité des couches d'isolation soit assurée, que l'eau ne puisse pas s'infiltrer ni stagner à la jonction, et que la face apparente de l'enduit de l'ETICS soit en saillie d'environ 2 cm par rapport à la plinthe. Cette saillie permettra d'écarter les eaux de pluie ruisselant sur la façade et de faciliter la jonction au moyen d'un profilé de départ en PVC et d'une bande d'étanchéité comprimée. Le profilé de départ doit, quant à lui, être pourvu d'un larmier efficace (voir figure 47, p. 52).

La transition entre l'isolant de socle et l'isolant de l'ETICS du mur extérieur doit également être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB. La continuité des couches d'isolation est généralement assurée grâce au contact entre l'isolant de socle et l'isolant de l'ETICS. Le nœud est conforme lorsque ces deux isolants sont en contact sur une longueur supérieure ou égale à la moitié de l'épaisseur de l'isolant de socle (sans tenir compte du profilé de départ en PVC; voir § 3.6, p. 37).

Notons qu'en l'absence de socle sous l'ETICS (si le niveau n'appartient pas au volume protégé, par exemple), on peut soit démarrer ce dernier au moyen d'un profilé de départ à l'âme pleine fixé au support, soit parachever la face inférieure de l'isolant de l'ETICS à l'aide de l'enduit.

#### 5.1.4 VOLUME PROTÉGÉ SITUÉ AU-DESSUS DU NIVEAU DU SOL

Lorsque le volume situé sous le niveau du sol n'appartient pas au volume protégé (le plancher isolé fait partie de la surface de déperdition thermique), la transition entre l'isolant de socle et l'isolant du plancher doit être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB.

La continuité des couches d'isolation peut être obtenue :

- soit en utilisant des éléments isolants interposés (voir § 5.1.4.1)
- soit en garantissant un chemin de moindre résistance thermique d'une longueur minimale de 1 m (voir § 5.1.4.2).

##### 5.1.4.1 Raccord à l'aide d'éléments isolants interposés

On peut assurer la continuité des couches d'isolation soit :

- par l'intermédiaire d'un mur isolant (maçonnerie isolante, par exemple) présentant une conductivité thermique inférieure ou égale à 0,2 W/m.K. Dans ce cas, celui-ci est incorporé à la couche d'isolation et le nœud est conforme s'il répond à la règle de base n° 1 (contact entre le mur et l'isolant du plancher supérieur ou égal à la moitié de l'épaisseur de ce dernier)
- au moyen d'un élément isolant interposé (blocs constructifs thermiquement isolants) (règle de base n° 2). Par ailleurs, ces éléments doivent satisfaire simultanément à trois conditions, tout en maintenant les propriétés de portance du mur (voir figure 48, p. 52).

Dans le second cas, le nœud est conforme (voir Annexe B, p. 123) lorsque l'élément isolant interposé (blocs constructifs) est tel que :

- sa conductivité thermique ( $\lambda_{\text{insulating part}}$ ) est inférieure ou égale à 0,2 W/m.K. L'épaisseur nécessaire ( $d_{\text{insulating part}}$ ) dépend de la conductivité thermique précitée, mais aussi des résistances thermiques de l'isolation du socle et du plancher, excepté pour des niveaux d'isolation élevés de ces derniers, soit des résistances thermiques supérieures à 4 m<sup>2</sup>.K/W (isolant d'une valeur  $\lambda$  de 0,04 W/m.K et d'au moins 16 cm d'épaisseur, par exemple). Dans ce cas, un élément isolant d'une valeur  $\lambda_{\text{insulating part}}$  de 0,10 W/m.K, par exemple, doit ainsi avoir une épaisseur  $d_{\text{insulating part}}$  d'au moins 20 cm ( $d_{\text{insulating part}} [m] \geq 2 \lambda_{\text{insulating part}} [W/m.K]$ )
- le contact direct avec l'isolant du plancher, d'une part, et avec l'isolant de socle, d'autre part, est assuré, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur de la couche la plus fine parmi l'isolation concernée et celle du bloc constructif ( $d_{\text{insulating part}}$ ) (la réglementation permet de ne pas tenir compte des éventuelles feuilles d'étanchéité traversant les couches d'isolation).

Le façadier en charge de l'isolation du socle (qui correspond en général aussi à la partie faiblement enterrée de l'isolant) intervient après les travaux d'étanchéité du mur, mais avant le remblai de la face à isoler. Il convient de vérifier les niveaux (supérieur et inférieur) à respecter. En particulier, l'isolant de socle doit recouvrir le mur isolant (premier cas) ou le bloc constructif thermiquement isolant (second cas) afin de garantir la continuité des couches d'isolation.

Remarquons que, dans le cas d'une dalle sur terre-plein, le drain peut se trouver aux environs du niveau de la face inférieure de la dalle en béton. Dans ce cas, le prolongement de l'étanchéité de la face externe du mur et de la membrane de drainage en deçà de ce niveau n'est pas requis. En revanche, un film en polyéthylène doit être placé sous la dalle en béton en vue d'éviter la dessiccation de cette dernière.

##### 5.1.4.2 Raccord sans élément isolant interposé

Une solution alternative pour assurer la continuité des couches d'isolation consiste à garantir un chemin de moindre résistance thermique d'une longueur minimale de 1 m (règle de base n° 3) entre le volume protégé et, d'une part, l'air extérieur et, d'autre part, l'environnement situé sous le plancher s'il s'agit d'un espace adjacent non chauffé (voir Annexe B, p. 123). Dans le dernier cas, il y a en outre lieu d'isoler, au moins partiellement, la sous-face du plancher et la face intérieure du mur enterré (voir figure 49, p. 52).

Le façadier en charge de l'isolation du socle (qui correspond en général aussi à la partie faiblement enterrée de l'isolant) intervient après les travaux d'étanchéité du mur, mais avant le remblai de la face à isoler. Il convient de vérifier les niveaux (supérieur et inférieur) à respecter. En particulier, la profondeur atteinte par l'isolant de socle doit permettre de se

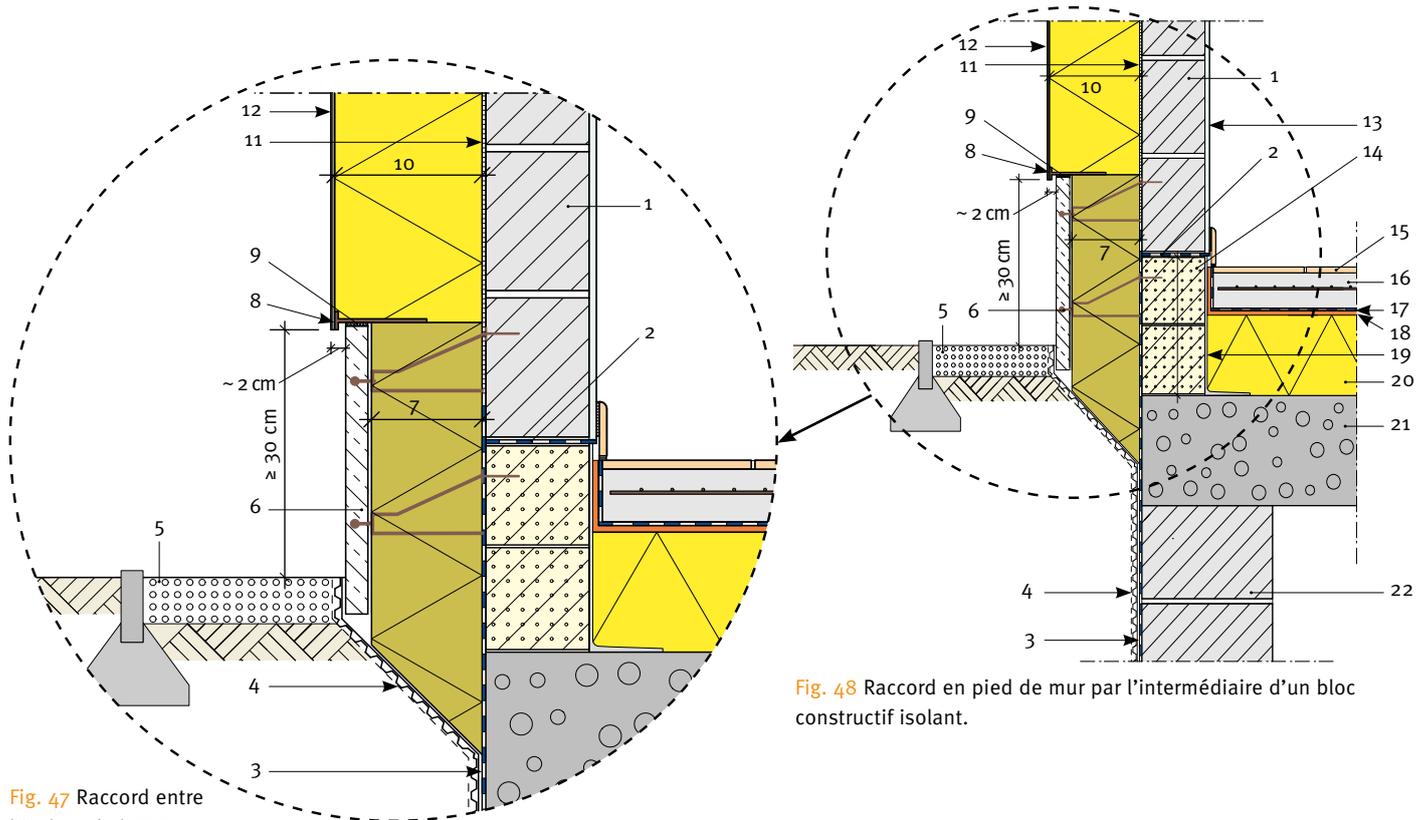
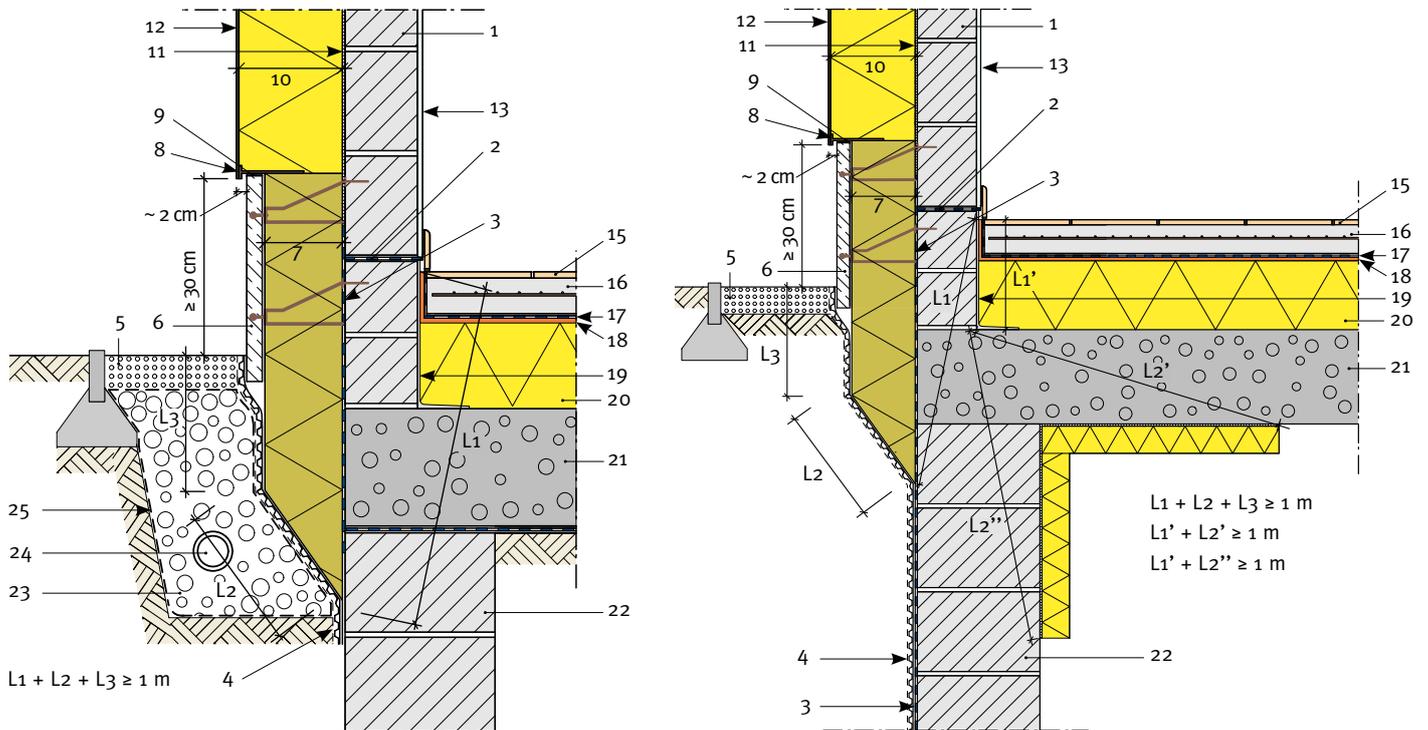


Fig. 47 Raccord entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant de socle.

Fig. 48 Raccord en pied de mur par l'intermédiaire d'un bloc constructif isolant.



A. Sur terre-plein

B. Sur volume adjacent non chauffé (cave, vide sanitaire)

Fig. 49 Raccords dans un volume protégé non enterré réalisés sans élément isolant interposé.

1. Maçonnerie portante
2. Barrière anticapillaire
3. Étanchéité
4. Membrane à excroissances
5. Gravier (drainage)
6. Plinthe
7. Isolant de socle résistant à l'humidité  
(épaisseur :  $d_{\text{isol socle}}$ )
8. Profilé de départ en PVC
9. Bande d'étanchéité comprimée
10. Panneau d'isolation (ETICS) (épaisseur :  $d_{\text{isol ETICS}}$ )
11. Colle (ETICS)
12. Enduit (ETICS)
13. Enduit intérieur
14. Bloc constructif isolant (épaisseur :  $d_{\text{insulating part}}$ )
15. Finition
16. Chape
17. Membrane éventuelle
18. Isolation acoustique
19. Étanchéité à l'air éventuelle
20. Isolation thermique du plancher  
(épaisseur :  $d_{\text{isol plancher}}$ )
21. Dalle portante (béton armé coulé, par exemple)
22. Maçonnerie enterrée
23. Matériau drainant
24. Collecteur
25. Filtre
26. Isolation du mur enterré  
(épaisseur :  $d_{\text{isol mur enterré}}$ )

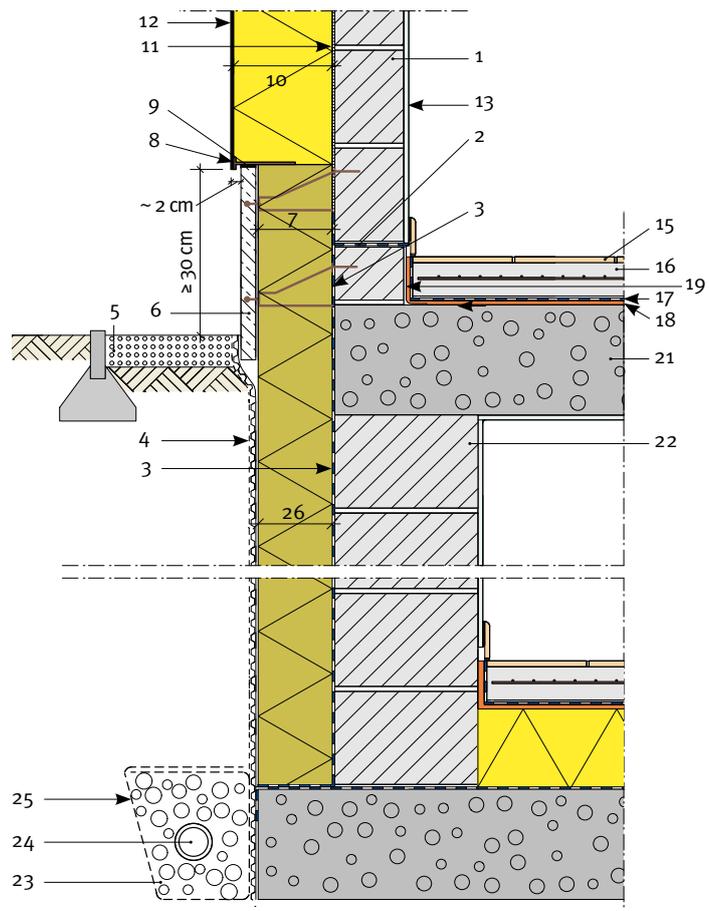


Fig. 50 Raccords dans un volume protégé partiellement enterré.

conformer à la longueur minimale du chemin de moindre résistance thermique ( $\geq 1$  m).

### 5.1.5 VOLUME PROTÉGÉ PARTIELLEMENT ENTERRÉ

Lorsque le plancher n'appartient pas à la surface de déperdition thermique (pas de transition entre l'isolation de façade et l'isolation de plancher, comme dans les caves aménagées au sein du volume protégé), la transition entre l'isolant de socle et l'isolant du mur enterré doit être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB.

La continuité des couches d'isolation au droit des nœuds constructifs est généralement obtenue en assurant la longueur de contact minimale entre les couches d'isolation (règle de base n° 1) éventuellement séparées par une membrane d'étanchéité (cette séparation ne constitue pas un nœud constructif selon la réglementation PEB) (voir figure 50).

Le nœud est conforme (voir Annexe B, p. 123) lorsque l'isolant de socle et l'isolant du mur enterré sont en contact direct, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur la plus réduite parmi celle de l'isolant du mur enterré et celle de l'isolant du socle.

Le façadier ne se charge pas de l'isolation de la maçonnerie enterrée, mais uniquement de l'isolation du socle (qui correspond en général aussi à la partie faiblement enterrée de l'isolant). Il intervient après les travaux d'étanchéité et d'isolation du mur, mais avant le remblai de la face à isoler. Il convient de contrôler les niveaux (supérieur et inférieur) à respecter.

Il est à noter que si le radier en béton se trouve sous le niveau de la nappe phréatique, on prévoira une étanchéité en sous-face (de manière à ce que la pression de l'eau pousse l'étanchéité contre le béton).

## 5.2 RACCORDS AUX FENÊTRES ET AUX PORTES

### 5.2.1 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Les raccords aux fenêtres et aux portes doivent satisfaire non seulement aux exigences d'étanchéité à l'eau et de durabilité, mais aussi aux exigences thermiques et acoustiques. À cette fin, les recommandations générales formulées ci-après doivent être respectées.

La pose des châssis sans battée et donc à fleur de l'enduit (sans retour d'enduit) est possible (voir figure 52) mais déconseillée, car elle augmente le risque de fissuration dans les angles et le risque d'infiltration d'eau.

La pose en battée est recommandée (voir figure 51). Dans cette configuration, l'isolant de l'ETICS couvre une partie du dormant du châssis (et forme une battée). Plusieurs positionnements de la partie fixe du châssis sont possibles, à savoir soit à fleur de la face externe du mur porteur (solution la plus utilisée jusqu'à présent; voir figures 53B et 54, p. 55), soit de manière excentrée (en applique, voir figures 53A et 55, p. 55) dans l'alignement de la couche d'isolation de la façade. Cette dernière option est avantageuse d'un point de vue thermique (voir § 5.2.3, p. 57). La pose au cœur du mur (voir figure 53C, p. 55) est envisageable, mais s'applique plutôt à la rénovation et suit, d'une manière générale, les dispositions constructives associées aux châssis posés à fleur du mur (voir § 5.2.3, p. 57).

Dans tous les cas, la longueur (recouvrement du dormant par l'isolant de l'ETICS) et la profondeur (dimension du retour d'enduit) de la battée doivent être suffisantes afin de permettre la pose des accessoires de l'ETICS, soit respectivement au moins 2 cm (bande d'étanchéité comprimée) et au moins 4 cm (profilé d'angle de l'enduit). Lorsque la menuiserie est placée à fleur du mur, la battée doit présenter une largeur minimale, qui correspond à la longueur de contact ( $d_{\text{contact}}$ ), pour assurer la conformité du nœud à la réglementation PEB. Cette longueur de contact dépend de l'épaisseur de la partie fixe du châssis et est soumise à des exigences spécifiques (voir § 5.2.3, p. 57, et 5.2.4, p. 60).

Lorsqu'il est prescrit, en fonction de l'exposition du bâtiment (voir **NIT n° 188** [C4] en cours de révision), de raccorder la menuiserie et le gros œuvre au moyen d'une étanchéité supplémentaire dans le but de former un écran à l'air (voir figure 56, p. 56), la pose de l'ETICS par collage peut s'avérer inadéquate selon la nature du matériau et la longueur du mur recouvert. En cas de doute, des fixations mécaniques devront être prévues au droit de la zone concernée, à moins que l'on dispose d'une colle adaptée à l'étanchéité et/ou que la longueur de la zone soit limitée (maximum 15 cm).

Si le bâtiment bénéficie d'un niveau d'étanchéité à l'air élevé grâce à la prise de mesures appropriées concernant la jonction entre l'enduit intérieur et le châssis, l'étanchéité supplémentaire n'est pas requise, sauf cas particulier (baies situées à proximité des angles de bâtiment combinées à un mur non étanche à l'air, par exemple).



Fig. 51 Pose en battée (recommandée).



Fig. 52 Pose sans battée (possible mais déconseillée).

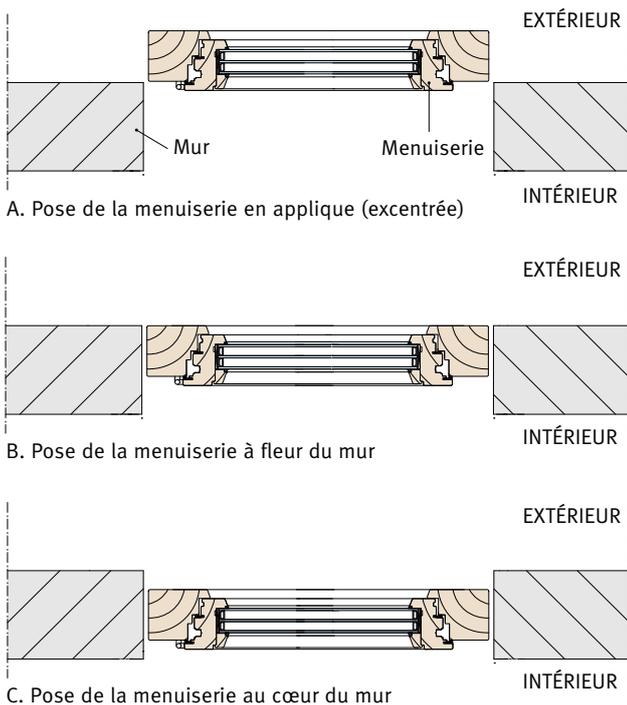


Fig. 53 Position de la menuiserie par rapport au mur porteur.



Fig. 54 Pose de la partie fixe du châssis à fleur de la face externe du mur.

Le raccord (étanche à l'eau) entre l'ETICS et la menuiserie est réalisé, d'une part, en insérant une bande d'étanchéité comprimée (qui doit être suffisamment comprimée) entre l'isolant et la menuiserie et, d'autre part, en plaçant soit un profilé d'arrêt combiné à un joint souple, soit un joint souple seul entre l'enduit et la menuiserie. Dans tous les cas, le bon entretien du joint souple est primordial.

La méthode alternative qui consiste à appliquer l'enduit directement en butée de la menuiserie (moyennant une coupe en V à la jonction) est réservée aux ouvertures de petites dimensions et aux enduits minces disposant de propriétés d'élasticité adéquates. À cet égard, il convient de suivre les recommandations des fabricants. Cette solution ne dispense pas de l'intégration d'une bande comprimée entre l'isolant et la menuiserie.

En rénovation, le choix de remplacer ou non un châssis existant ou de modifier son positionnement influence la conception des détails. Une épaisseur de dormant suffisante doit être prévue afin de permettre une mise en place correcte de l'ETICS et la réalisation d'une battée isolée.

En cas d'isolant de forte épaisseur, un effet d'ombrage assez important peut se manifester. Des solutions telles que la découpe de l'isolant à 45° peuvent être adoptées afin de diminuer cet effet, à condition que l'aspect esthétique reste



Fig. 55 Pose de la partie fixe du châssis dans l'alignement de la couche d'isolation de la façade (pose excentrée ou en applique).



Fig. 56 Écran à l'air entre une menuiserie et le mur.

acceptable. Le positionnement du châssis peut également contribuer à cet effet d'ombrage.

Rappelons finalement qu'en fonction des dispositions constructives prévues, les raccords entre le mur et les châssis peuvent affaiblir les performances acoustiques en raison des fuites acoustiques qu'ils engendrent. Certains types de raccords peuvent être désavantageux, voire déconseillés dans un environnement bruyant lorsque des exigences acoustiques sont posées (voir § 3.5, p. 37).

### 5.2.2 SEUILS

Les seuils de fenêtre (dotés de rehausses latérales et arrière) doivent permettre l'évacuation et le rejet de l'eau de pluie en dehors du plan de la façade. Ils sont de préférence métalliques (en aluminium, par exemple, éventuellement laqué; voir figure 57 et figure 58, p. 57). L'utilisation de seuils en pierre naturelle ou en béton (pourvus d'un larmier sur la face inférieure) est possible, mais n'est pas conseillée, car ils n'offrent notamment pas de protection verticale contre les pluies à leur jonction avec l'ETICS (voir figure 58B, p. 57). L'enduit de finition doit se trouver à fleur de l'extrémité des rehausses latérales des seuils. Il est indispensable que la jonction entre la rehausse latérale et le talon du seuil soit parfaitement étanche.

Si l'épaisseur d'isolant est importante, les accessoires fixés au niveau du mur porteur ou des dormants de châssis (seuils, appuis, couvre-murs) doivent idéalement reposer sur une,

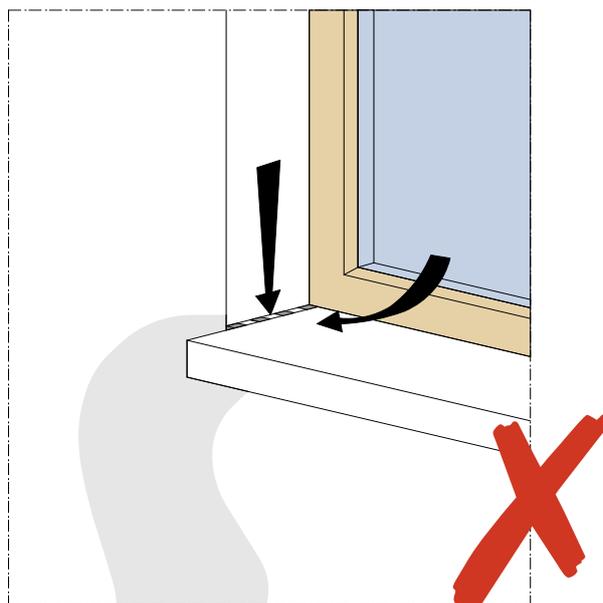
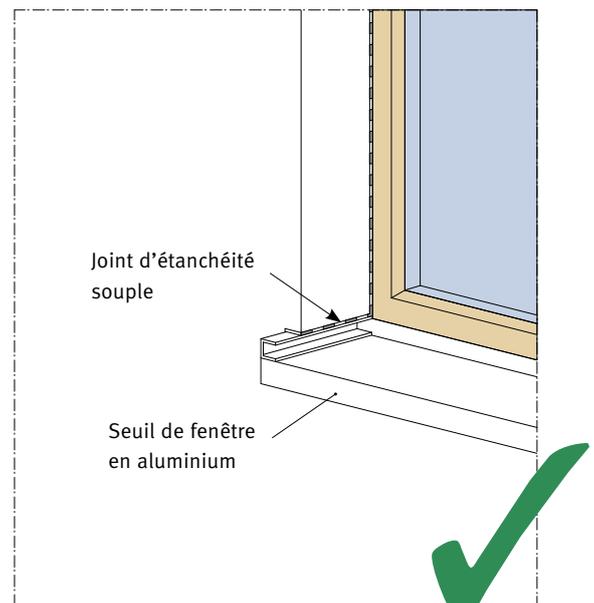
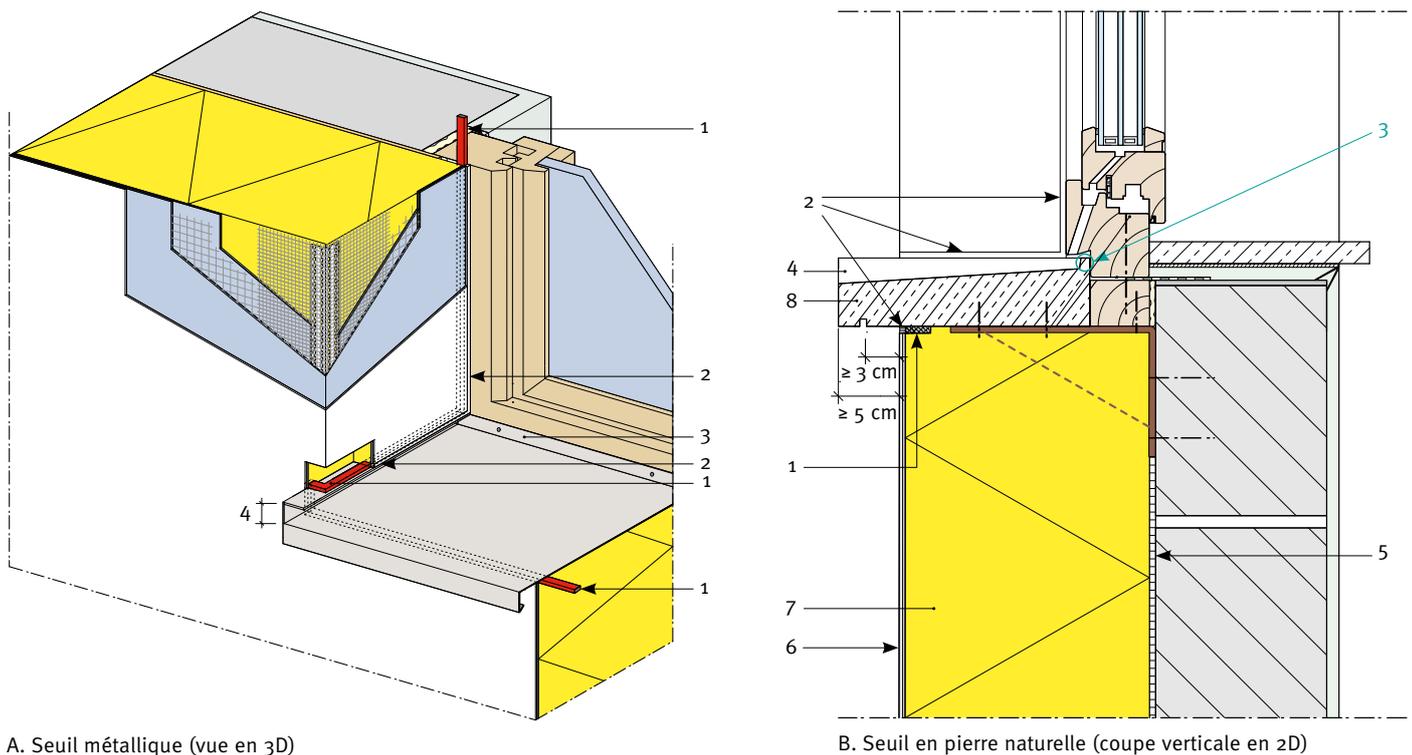


Fig. 57 Raccord entre un ETICS et un seuil de fenêtre.





A. Seuil métallique (vue en 3D)

B. Seuil en pierre naturelle (coupe verticale en 2D)

Fig. 58 Raccord entre un ETICS et un seuil de fenêtre.

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 1. Bande d'étanchéité comprimée | 5. Colle (ETICS)  |
| 2. Joint d'étanchéité souple    | 6. Enduit (ETICS)   |
| 3. Rehausse arrière (talon)     | 7. Panneau d'isolation (ETICS) (épaisseur : $d_{\text{isol ETICS}}$ ) |
| 4. Rehausse latérale            | 8. Seuil en pierre  |

voire plusieurs équerres de renfort afin de prévenir les effets du vent ou de charges localisées. Il existe de petits profilés destinés à être placés à l'extrémité des équerres et coincés au droit du larmier des seuils, mais ce dispositif gêne la pose du préformé d'étanchéité entre le seuil et l'ETICS. Une autre solution consiste à solidariser l'équerre à l'accessoire au moyen d'une colle adaptée (polyuréthane, par exemple). Afin de limiter le pont thermique, la pose de l'équerre peut en outre être réalisée par l'intermédiaire d'un isolant adapté.

### 5.2.3 RECOMMANDATIONS EN FONCTION DE LA POSITION DU CHÂSSIS

La transition entre le mur extérieur (isolant de l'ETICS) et les châssis (partie fixe des fenêtres et des portes) doit être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB.

La pose excentrée (en applique) est, selon nous, à privilégier pour les **châssis à coupure thermique** dans un environnement moyennement à très bruyant (voir 'Fuites acoustiques' au

§ 3.5, p. 37). En outre, elle assure la continuité des couches d'isolation au droit des nœuds constructifs grâce au contact entre la coupure thermique et l'isolation de l'ETICS (voir § 5.2.3.1, p. 58).

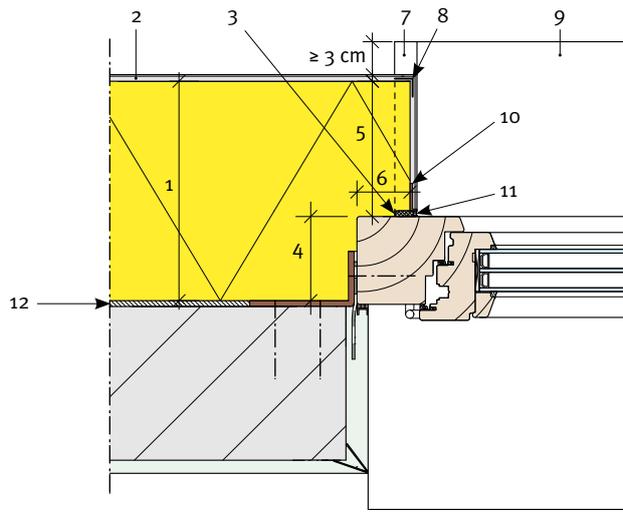
Pour les **châssis sans coupure thermique**, la continuité des couches d'isolation au droit des nœuds constructifs est généralement obtenue en garantissant une longueur de contact minimale entre la couche d'isolation de l'ETICS et la partie fixe du châssis (règle de base n° 1). Le nœud est conforme lorsque la longueur de contact est supérieure ou égale à la moitié de l'épaisseur de la partie fixe. Cette règle est valable quelle que soit la position du châssis par rapport au mur (voir § 5.2.3.1, p. 58, et § 5.2.3.2, p. 59). Néanmoins, pour les châssis de forte épaisseur, la longueur de contact nécessaire au respect de cette condition est relativement importante, voire irréaliste si les châssis sont posés à fleur ou au cœur du mur (voir § 5.2.3.2, p. 59).

La pose excentrée est donc toujours plus favorable d'un point de vue thermique.

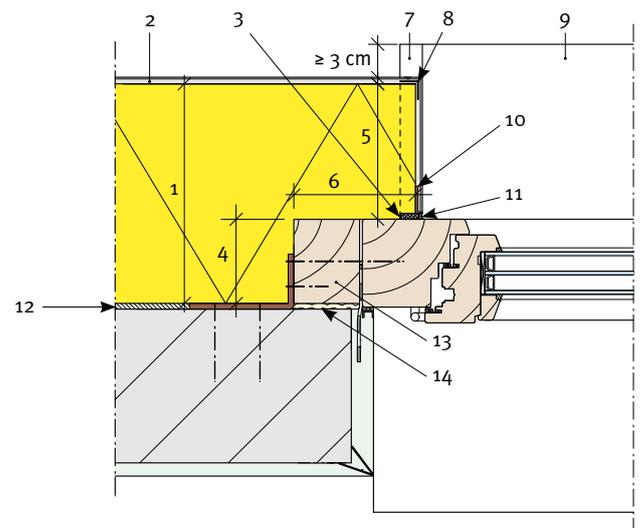
### 5.2.3.1 Châssis : pose excentrée (en applique)

La pose des châssis dans l'alignement de la couche d'isolation de la façade (donc en dehors du plan du gros œuvre) ou pose excentrée (voir figure 59) est plus avantageuse d'un point de vue thermique, et ce, tant pour les châssis avec coupure thermique que pour les châssis sans coupure thermique (voir Annexe B, p. 123). Quel que soit le type de châssis, si l'on opte pour cette technique de pose, la mise

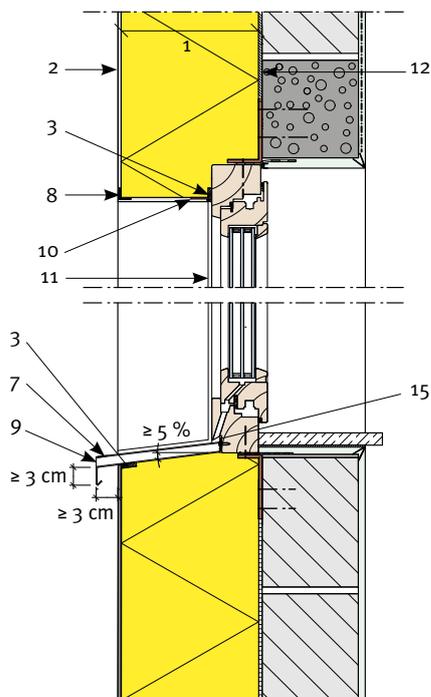
en œuvre d'un précadre prolongeant la partie fixe du châssis et faisant partie intégrante de cette dernière s'impose afin de limiter les fuites acoustiques (dans un environnement moyennement à fortement bruyant; voir § 3.5, p. 37). L'espace entre le précadre et le mur, créé par les inévitables écarts de planéité du mur, doit être rempli d'une mousse expansible. Bien que des solutions alternatives soient envisageables, elles ne sont pas encore éprouvées dans l'état actuel des connaissances.



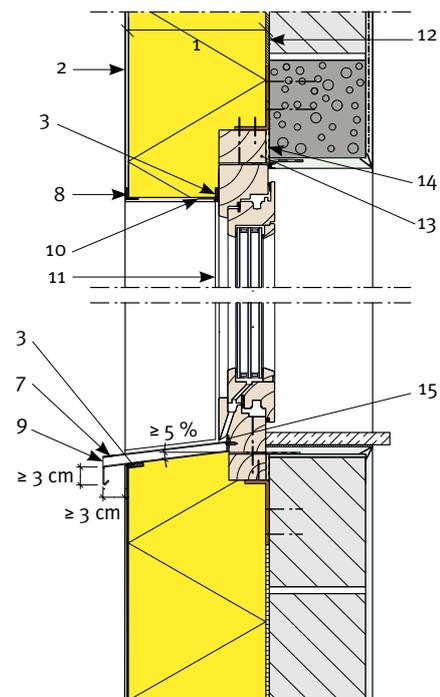
A. Coupe horizontale – Châssis sans précadre (uniquement dans un environnement peu bruyant)



B. Coupe horizontale – Châssis avec précadre



C. Coupe verticale – Châssis sans précadre (uniquement dans un environnement peu bruyant)



D. Coupe verticale – Châssis avec précadre

Fig. 59 Raccord entre un ETICS et un châssis posé en applique (pose excentrée).

5.2.3.2 Châssis : pose dans le plan du mur

Dans le cas d'un châssis à coupure thermique, il est indispensable d'utiliser un isolant interposé qui pont la coupure thermique, afin d'être en conformité avec la PEB (voir Annexe B, p. 123). Cette solution ne peut néanmoins être envisagée que dans un environnement peu bruyant en raison des fuites acoustiques qu'elle engendre; elle est déconseillée dans un environnement moyennement à fortement bruyant

(bruit de circulation; voir § 3.5, p. 37). Bien que des solutions alternatives soient envisageables, elles ne sont pas encore éprouvées dans l'état actuel des connaissances.

Lorsque des châssis sans coupure thermique sont posés dans le plan du mur (soit à fleur, soit au cœur du mur), on peut atténuer les fuites acoustiques en limitant à 1,5 cm l'espace entre le châssis et l'ébrasement du mur et en le remplissant de mousse expansible (voir figure 61).

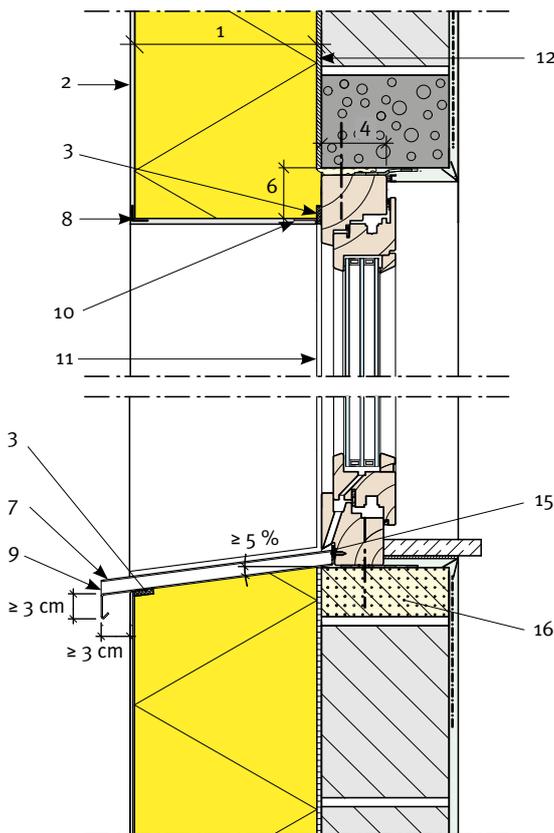
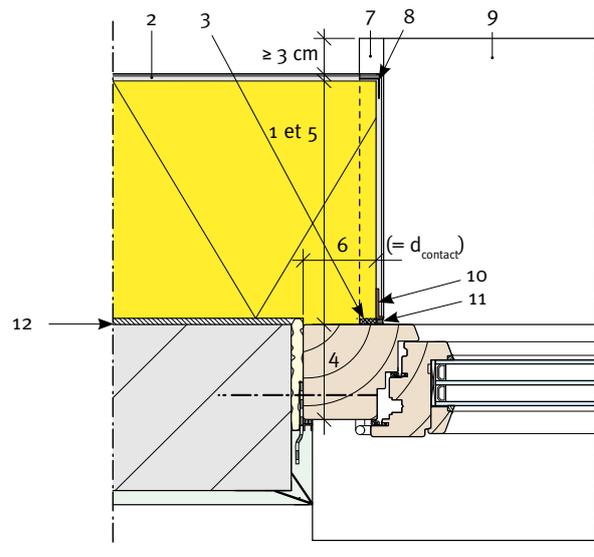
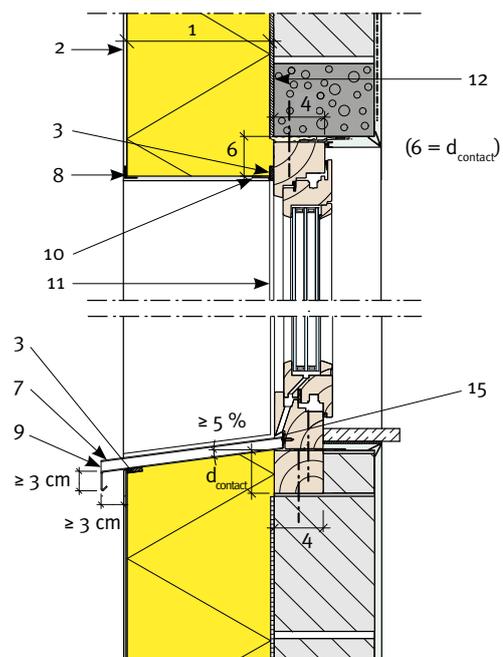


Fig. 60 Raccord entre un ETICS et un châssis posé sur un bloc constructif thermiquement isolant (environnement peu bruyant).

- |  |   |
|--|---|
| 1. Panneau d'isolation (ETICS)<br>(épaisseur : $d_{\text{isol ETICS}}$ ) | 9. Seuil de fenêtre   |
| 2. Enduit (ETICS)  | 10. Profilé d'arrêt (optionnel)   |
| 3. Bande d'étanchéité comprimée  | 11. Joint d'étanchéité souple   |
| 4. Épaisseur du dormant ( $d_{\text{épaisseur dormant}}$ )               | 12. Colle (ETICS)   |
| 5. Profondeur de la battée ( $\geq 4 \text{ cm}$ )                       | 13. Précadre  |
| 6. Longueur de la battée ( $\geq 2 \text{ cm}$ )                         | 14. Mousse PU   |
| 7. Rehausse latérale   | 15. Rehausse arrière (talon)  |
| 8. Profilé d'angle   | 16. Bloc constructif isolant<br>(épaisseur : $d_{\text{insulating part}}$ ) |



A. Vue en coupe horizontale



B. Vue en coupe verticale

Fig. 61 Raccord entre un ETICS et un châssis sans coupure thermique posé à fleur du mur.

Lorsqu'on souhaite assurer la continuité des couches d'isolation à l'aide d'éléments isolants interposés comme un bloc constructif isolant (voir figure 60, p. 59), ces éléments doivent satisfaire simultanément à trois conditions (règle de base n° 2). En fonction du niveau d'isolation du mur, l'application de cette technique peut être limitée par l'épaisseur du mur lui-même (voir Annexe B, p. 123). De plus, lorsque le châssis repose sur l'isolant interposé, l'aptitude de ce dernier à supporter la charge doit être évaluée. Finalement, cette solution est déconseillée dans un environnement moyennement à très bruyant (bruit de circulation; voir § 3.5, p. 37) en raison des fuites acoustiques qu'elle engendre.

## 5.2.4 EXIGENCES RELATIVES À L'ALIGNEMENT DE L'ETICS

### 5.2.4.1 Exigence générale

La figure 62 montre un schéma de raccord conforme (A) et un exemple de raccord non conforme (B) à la réglementation PEB pour deux raisons :

- premièrement, le seuil est trop long et le façadier ne pourra donc pas respecter l'épaisseur de contact minimale ( $d_{\text{contact}}$ )

sur les parties verticales du cadre dormant

- deuxièmement, le seuil se situe contre la face supérieure de l'allège. Là aussi, le façadier ne pourra pas respecter l'épaisseur de contact minimale ( $d_{\text{contact}}$ ) sur la partie horizontale du cadre dormant.

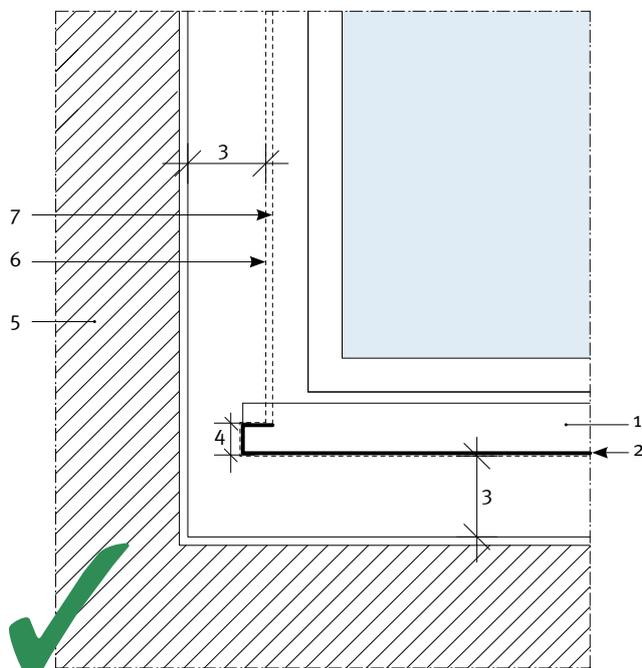
### 5.2.4.2 Exigence spécifique au droit d'un soubassement

La figure 63 (p. 61) illustre le fait que, si la largeur du dormant est insuffisante, le raccord entre une plinthe telle que décrite au § 5.1 (p. 49) et la partie inférieure d'une menuiserie posée à fleur du mur sera difficile à réaliser selon les règles de base des nœuds constructifs conformes à la PEB.

Comme exposé précédemment, la pose excentrée est dès lors plus favorable d'un point de vue thermique dans tous les cas.

La figure 63B (p. 61) illustre un raccord non conforme à la réglementation PEB présentant deux défauts :

- l'épaisseur de contact ( $d_{\text{contact}}$ ) n'est pas respectée, puisque l'isolant du socle ne recouvre pas le dormant
- la plinthe extérieure est en contact avec le mur porteur.



A. Conforme à la PEB



B. Non conforme à la PEB

1. Rehausse arrière du seuil (talon)
2. Seuil en aluminium
3. Longueur de la battée = contact entre l'isolant de l'ETICS et la menuiserie ( $d_{\text{contact}}$ )

4. Rehausse latérale du seuil
5. Mur
6. Alignement de l'isolant (ETICS)
7. Alignement de l'enduit (ETICS)

Fig. 62 Raccord d'un ETICS à un cadre dormant posé à fleur du mur.

## 5.3 RACCORDS AUX RIVES DE TOITURES PLATES

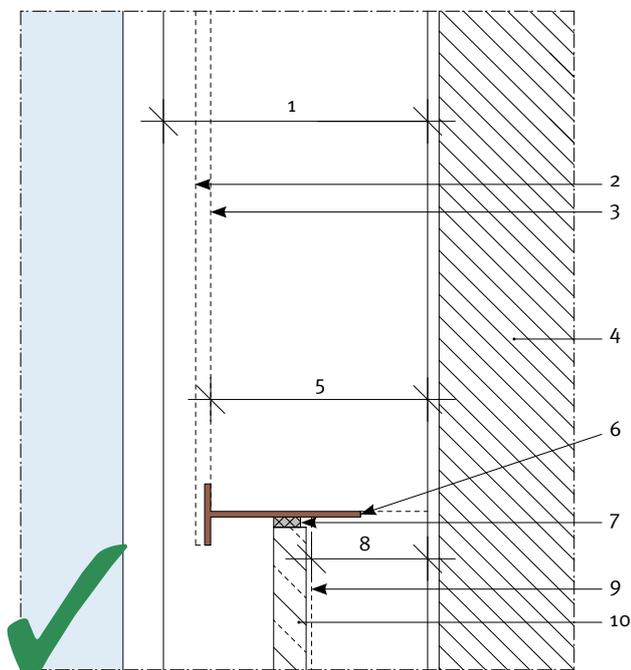
### 5.3.1 RACCORD AU DÉPART DE TOITURES PLATES

Le façadier intervient après les travaux de toiture réalisés selon les recommandations de la **NIT n° 244** [C9]. Les raccords doivent être conçus et réalisés de manière appropriée. On veillera ainsi à prévoir un relevé de l'étanchéité de toiture d'au moins 15 cm et le raccord des couches d'isolation, mais aussi à empêcher l'infiltration et la stagnation d'eau à hauteur de la jonction. On s'assurera en outre que la face apparente de l'enduit de l'ETICS est en saillie par rapport au relevé d'étanchéité et que le départ de l'ETICS se situe à une distance suffisante par rapport au niveau de l'étanchéité ou du revêtement de toiture (voir figures 64 et 65, p. 62).

Le plan de l'enduit doit être en saillie d'environ 2 cm par rapport à celui du relevé d'étanchéité, afin d'écarter les eaux de pluie ruisselant sur la façade et de faciliter la jonction au moyen d'un profilé de départ en PVC. Une bande d'étanchéité comprimée ou un cordon de mastic souple peut être utilisé pour absorber les éventuelles irrégularités de la membrane d'étanchéité (au droit des chevauchements, par exemple).

Le départ de l'ETICS se fait au niveau du relevé d'étanchéité, soit au minimum 15 cm au-dessus du niveau de l'étanchéité ou du revêtement de la toiture lorsque ce dernier n'est pas ajouré. Lorsque la toiture est accessible (risque de chocs plus élevé) ou que le revêtement de sol extérieur favorise les éclaboussures, on conseille de respecter une distance d'au moins 30 cm, comme en pied de mur. La **NIT n° 244** [C9] propose des solutions en matière d'accessibilité qui consistent à utiliser des caillebotis afin d'obtenir un relevé de 15 cm tout en maintenant une faible différence entre les niveaux extérieur et intérieur. Bien que les caillebotis placés le long de la façade limitent aussi le risque d'éclaboussure, ils ne réduisent pas le risque de dégradation de l'ETICS par les chocs.

La transition entre l'isolant de la toiture et l'isolant de l'ETICS doit être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB (voir Annexe B, p.123). La continuité des couches d'isolation est généralement obtenue à l'aide d'un isolant interposé (règle de base n° 2). Ce dernier doit par ailleurs satisfaire simultanément à trois conditions (voir Annexe B, p. 123).



A. Conforme à la PEB



B. Non conforme à la PEB

- |   |   |
|---|---|
| 1. Largeur du dormant   | 6. Profilé de départ en PVC   |
| 2. Alignement de l'enduit (ETICS)   | 7. Bande d'étanchéité comprimée   |
| 3. Alignement de l'isolant (ETICS)  | 8. Longueur de la battée formée par l'isolant de socle ( $d_{\text{contact},2}$ ) |
| 4. Mur  | 9. Alignement de l'isolant de socle   |
| 5. Longueur de la battée formée par l'isolant de l'ETICS ( $d_{\text{contact},1}$ ) | 10. Plinthe   |

Fig. 63 Raccord d'une plinthe isolée à un cadre dormant (se trouvant à fleur de la face extérieure du mur).



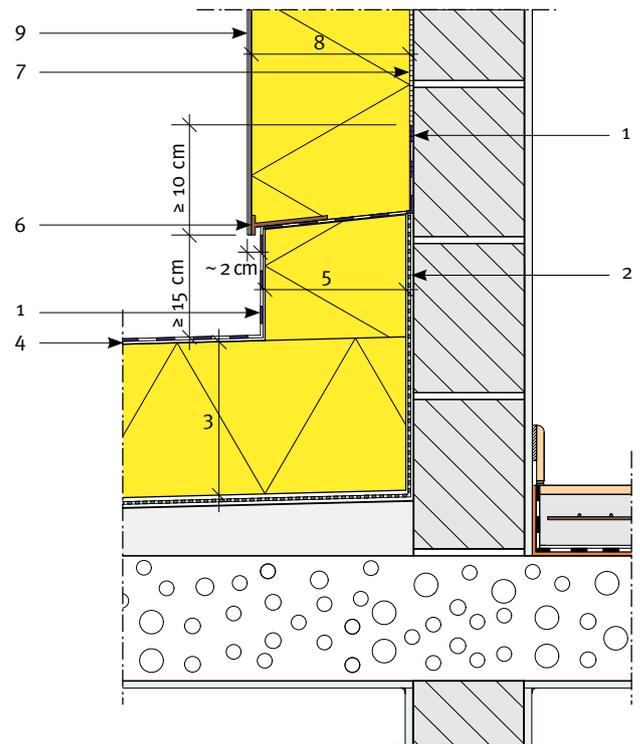
Fig. 64 Raccord au départ de toitures plates.

Le nœud est conforme lorsque l'élément isolant interposé est tel que :

- sa conductivité thermique ( $\lambda_{\text{insulating part}}$ ) est comparable à celles des isolants de la toiture et de l'ETICS ( $\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$  n'est pas assez restrictif). L'épaisseur nécessaire ( $d_{\text{insulating part}}$ ) dépend de la conductivité thermique précitée, mais aussi des résistances thermiques des isolations de l'ETICS et de la toiture, excepté pour des niveaux d'isolation élevés de ces derniers, soit des résistances thermiques supérieures à  $4 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (isolant d'une valeur  $\lambda$  de  $0,04 \text{ W/m.K}$  et d'au moins  $16 \text{ cm}$  d'épaisseur, par exemple). Dans ce cas, un élément isolant d'une valeur  $\lambda_{\text{insulating part}}$  de  $0,05 \text{ W/m.K}$ , par exemple, doit ainsi avoir une épaisseur  $d_{\text{insulating part}}$  d'au moins  $10 \text{ cm}$  ( $d_{\text{insulating part}} [\text{m}] \geq 2 \lambda_{\text{insulating part}} [\text{W/m.K}]$ )
- le contact entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant du relevé (en ne tenant pas compte de la membrane d'étanchéité et du profilé de départ en PVC; voir § 3.6, p. 37) est assuré, et ce, sur une longueur supérieure ou égale à la moitié de l'épaisseur de l'isolant du relevé ( $d_{\text{insulating part}}$ ).

Remarquons que la réglementation n'exclut pas de considérer le relevé d'étanchéité isolé comme une paroi à part entière et de calculer son coefficient de transmission thermique (valeur U). Si tel est le cas, les transitions entre cette couche d'isolation et les isolants du mur et de la toiture doivent être intégrées en tant que nœuds constructifs selon la réglementation PEB.

Lorsqu'on utilise un profilé à coupure thermique, son éventuel encollage sur la face inférieure de l'isolant de l'ETICS doit être réalisé au moyen de cordons de colle adaptée (de faible conductivité thermique, donc pas de mortier-colle).



1. Relevé d'étanchéité
2. Pare-vapeur
3. Isolation de toiture (épaisseur :  $d_{\text{isol toiture}}$ )
4. Étanchéité de la toiture plate
5. Isolation du relevé (épaisseur :  $d_{\text{insulating part}}$ )
6. Profilé de départ en PVC
7. Colle (ETICS)
8. Panneau d'isolant (ETICS) (épaisseur :  $d_{\text{isol ETICS}}$ )
9. Enduit (ETICS)

Fig. 65 Raccord au départ d'une toiture plate.

### 5.3.2 RACCORD AUX RIVES DE TOITURES PLATES

On peut assurer l'étanchéité à l'eau de la partie supérieure de l'ETICS en prolongeant l'étanchéité de toiture, appliquée généralement sur un couvre-mur, et soit en la raccordant à un profilé de rive (voir figures 71 et 72, p. 65), soit en la recouvrant d'un couronnement de préférence métallique (voir figure 68, p. 64). L'utilisation de couronnements en pierre naturelle ou en béton (pourvus d'un larmier sur la face inférieure) est possible, mais n'est pas conseillée, notamment du fait qu'ils n'offrent pas à eux seuls de protection verticale contre les pluies à leur jonction avec l'ETICS (voir figure 69, p. 64). Dans tous les cas, les raccords doivent empêcher les infiltrations d'eau. Des rejets d'eau placés au droit des jonctions entre les éléments du couronnement permettent en outre d'éviter les effets d'une éventuelle détérioration du jointolement (voir figure 70, p. 64).

Un dépassant suffisant doit être prévu afin d'écarter efficacement l'eau ruisselante du parement et de permettre l'enduisage jusqu'en butée du couvre-mur. Le larmier doit se situer à au moins 3 cm du plan de la façade parachevée et protéger l'enduit sur une hauteur minimale de 5 cm. En cas d'exposition sévère aux pluies battantes, une hauteur supérieure est recommandée (voir informations techniques délivrées par le fabricant).

Si l'épaisseur d'isolant est importante, il s'avère parfois nécessaire de prendre des dispositions particulières telles que l'installation d'équerres ou de profilés adaptés pour soutenir le couronnement et son support.

Le façadier intervient après la mise en place du couronnement et/ou du profilé de rive (voir figure 66). L'ETICS est appliqué en butée contre le dispositif de couronnement. Une bande d'étanchéité comprimée est posée à la jonction entre le



Fig. 67 Raccord à la rive d'une toiture plate.

panneau isolant et l'étanchéité de l'acrotère (ou son support). Afin de limiter le risque de fissuration horizontale dans la partie supérieure de l'enduit, ce dernier est coupé à la jonction avec l'élément en butée. Il est conseillé de parachever cette jonction au moyen d'un joint souple adapté.

La transition entre le mur extérieur et la toiture plate doit être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB. On assurera généralement la continuité des couches d'isolation à l'aide d'éléments isolants interposés (règle de base n° 2). Ces éléments doivent par ailleurs satisfaire simultanément à trois conditions (voir Annexe B, p. 123).



Fig. 66 Raccord aux rives de toitures plates (avant travaux d'ETICS).



Un nœud conforme peut être réalisé selon les deux procédés suivants :

- en utilisant un bloc constructif thermiquement isolant. Bien que très répandue, cette solution présente, d'après nous, le désavantage d'exposer le mur de l'acrotère aux variations thermiques du climat extérieur et aux éventuels risques de dégradation de son parachèvement (en particulier l'ETICS) (voir figure 71, p. 65)
- en recouvrant le mur de l'acrotère au moyen d'une isolation thermique (voir figure 72, p. 65).

### 5.3.2.1 Utilisation d'un bloc constructif isolant

Si l'on opte pour ce premier procédé (voir figure 71, p. 65), le nœud est conforme lorsque l'isolant interposé (bloc constructif) est tel que :

- sa conductivité thermique ( $\lambda_{\text{insulating part}}$ ) est inférieure ou

égale à  $0,2 \text{ W/m.K}$ . L'épaisseur nécessaire ( $d_{\text{insulating part}}$ ) dépend de la conductivité thermique précitée, mais aussi des résistances thermiques des isolations de l'ETICS et de la toiture, excepté pour des niveaux d'isolation élevés de ces derniers, soit des résistances thermiques supérieures à  $4 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (isolant d'une valeur  $\lambda$  de  $0,04 \text{ W/m.K}$  et d'au moins  $16 \text{ cm}$  d'épaisseur, par exemple). Dans ce cas, un élément isolant d'une valeur  $\lambda_{\text{insulating part}}$  de  $0,1 \text{ W/m.K}$ , par exemple, doit ainsi avoir une épaisseur  $d_{\text{insulating part}}$  d'au moins  $20 \text{ cm}$  ( $d_{\text{insulating part}} [\text{m}] \geq 2 \lambda_{\text{insulating part}} [\text{W/m.K}]$ )

- le contact direct avec l'isolant de la toiture, d'une part, et l'isolant de l'ETICS, d'autre part, est assuré, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur de la couche la plus fine parmi l'isolation concernée et celle du bloc constructif isolant ( $d_{\text{insulating part}}$ ) (la réglementation permet de ne pas tenir compte des éventuelles feuilles d'étanchéité traversant les couches d'isolation).

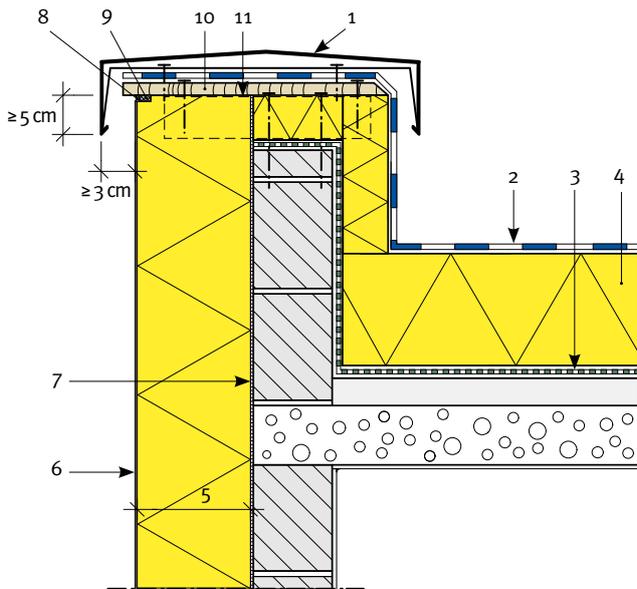


Fig. 68 Couronnement métallique.

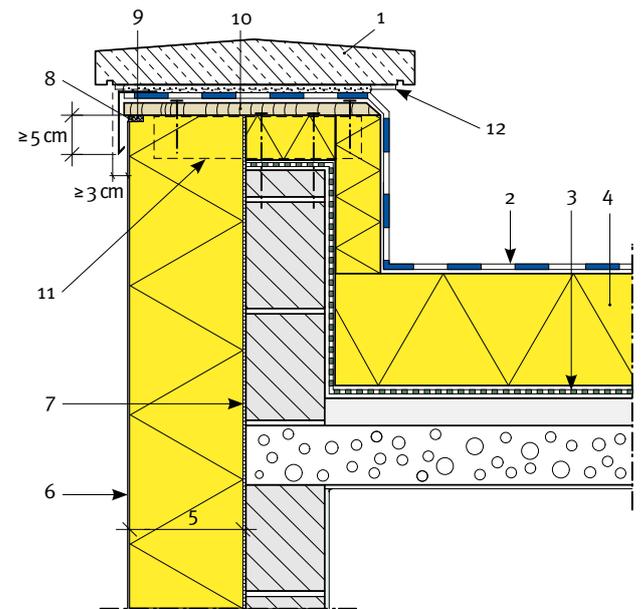


Fig. 69 Couronnement en pierre naturelle ou en béton.

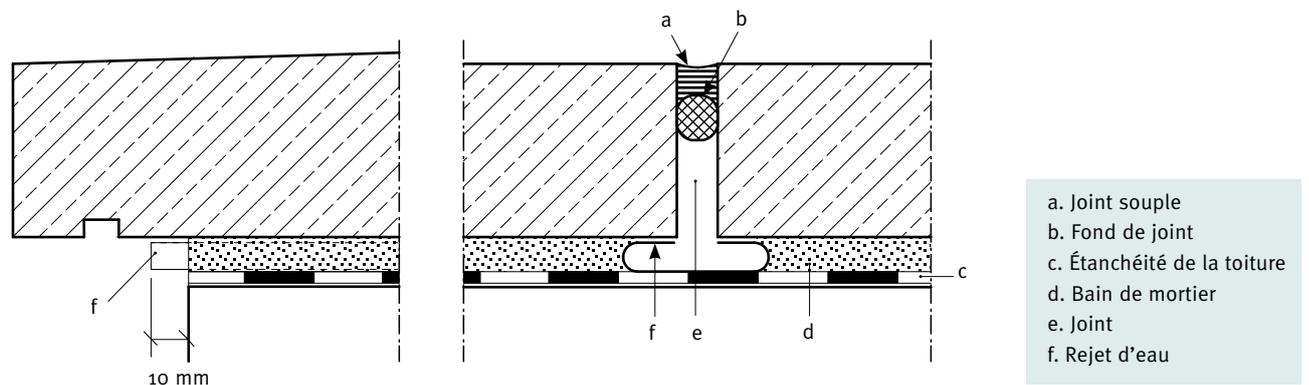
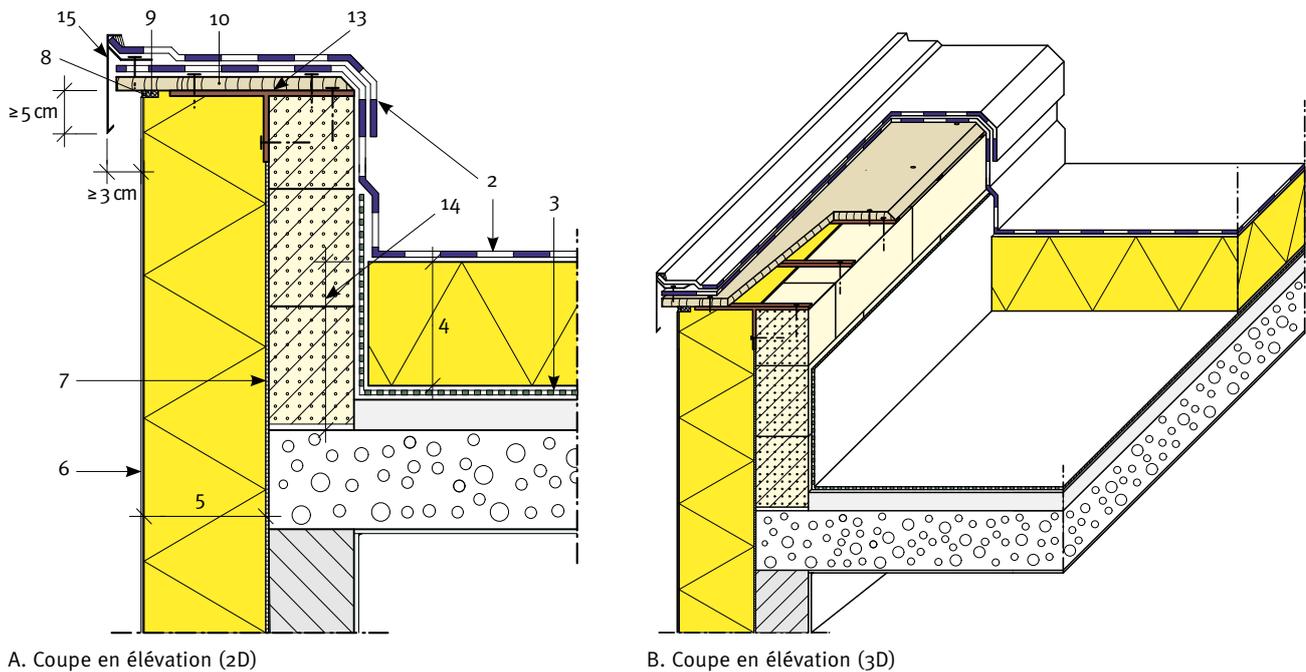


Fig. 70 Détail d'exécution des joints entre éléments de couvre-mur en pierre naturelle ou en béton.

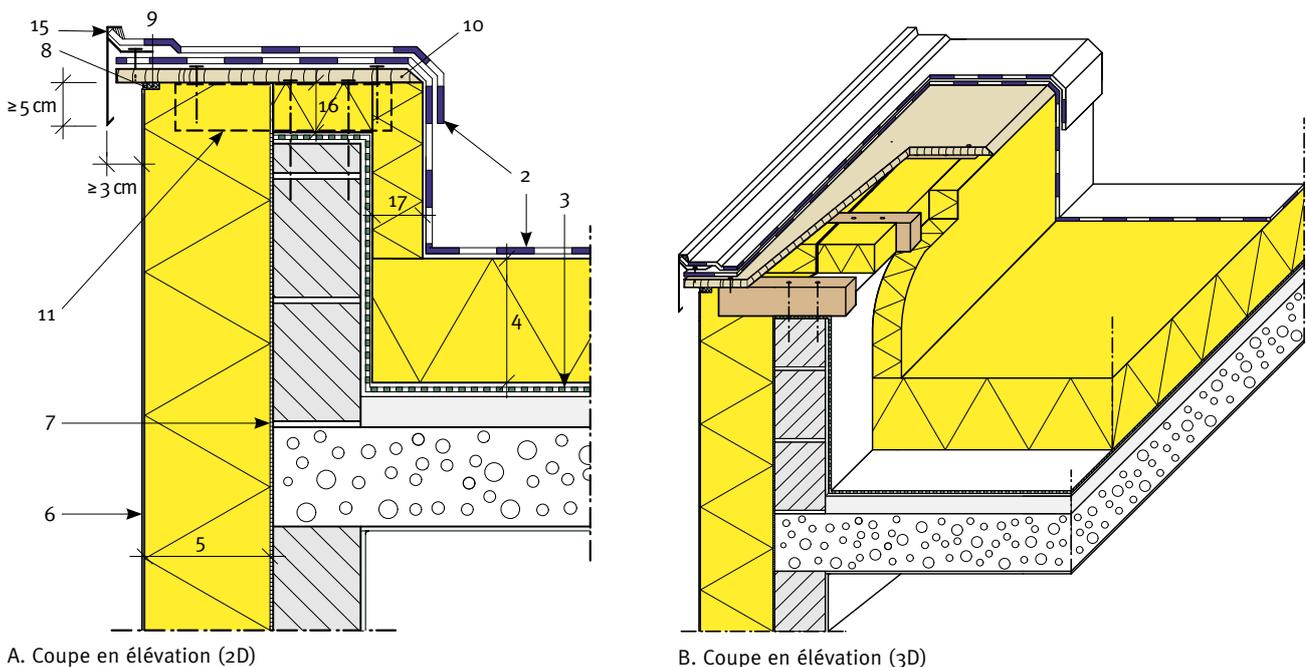


A. Coupe en élévation (2D)

B. Coupe en élévation (3D)

Fig. 71 Raccord à la rive d'une toiture plate et utilisation d'un bloc constructif thermiquement isolant.

- |   |  |   |
|---|--|---|
| 1. Couronnement   | 7. Colle (ETICS)   | 14. Bloc constructif isolant<br>(épaisseur : $d_{\text{insulating part}}$ ) |
| 2. Étanchéité de toiture  | 8. Joint d'étanchéité souple   | 15. Profilé de rive   |
| 3. Pare-vapeur  | 9. Bande d'étanchéité comprimée  | 16. Isolant interposé A<br>(épaisseur : $d_{\text{insulating part A}}$ )    |
| 4. Isolation thermique de toiture<br>(épaisseur : $d_{\text{isol toiture}}$ ) | 10. Couvre-mur   | 17. Isolant interposé B<br>(épaisseur : $d_{\text{insulating part B}}$ )    |
| 5. Panneau d'isolation (ETICS)<br>(épaisseur : $d_{\text{isol ETICS}}$ )      | 11. Gîtage en bois, support du couvre-mur  |   |
| 6. Enduit (ETICS)   | 12. Rejet d'eau sous la jonction d'éléments de<br>couronnement (voir figure 70, p. 64) |   |
|   | 13. Équerre de support du couvre-mur   |   |



A. Coupe en élévation (2D)

B. Coupe en élévation (3D)

Fig. 72 Raccord à la rive d'une toiture plate et recouvrement de l'acrotère par des couches d'isolation thermique.

Étant donné leur position (côté froid) par rapport au bloc constructif thermiquement isolant, les éventuelles équerres ou consoles destinées à soutenir le support d'étanchéité ont une influence négligeable sur les déperditions thermiques (à condition qu'aucun élément métallique ne traverse ou ne recouvre ce bloc).

### 5.3.2.2 Recouvrement de l'acrotère par des couches d'isolation thermique

Si l'on opte pour le second procédé (voir figure 72, p. 65), le nœud est conforme (voir Annexe B, p. 123) lorsque les couches d'isolation interposées de l'acrotère sont telles que :

- leur conductivité thermique ( $\lambda_{\text{insulating part}}$ ) est inférieure ou égale à  $0,2 \text{ W/m.K}$ . En règle générale, on utilise des matériaux d'isolation présentant une valeur  $\lambda$  comparable à celles des isolants de la toiture et de l'ETICS. Les épaisseurs nécessaires ( $d_{\text{insulating part}}$ ) dépendent de la conductivité thermique précitée, mais aussi des résistances thermiques des isolations de l'ETICS et de la toiture, excepté pour des niveaux d'isolation élevés de ces derniers, soit des résistances thermiques supérieures à  $4 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (isolant d'une valeur  $\lambda$  de  $0,04 \text{ W/m.K}$  et d'au moins  $16 \text{ cm}$  d'épaisseur, par exemple). Dans ce cas, des éléments isolants de valeur  $\lambda_{\text{insulating part}}$  de  $0,04 \text{ W/m.K}$ , par exemple, doivent ainsi avoir une épaisseur  $d_{\text{insulating part}}$  d'au moins  $8 \text{ cm}$  ( $d_{\text{insulating part}} [\text{m}] \geq 2 \lambda_{\text{insulating part}} [\text{W/m.K}]$ )
- le contact direct avec l'isolant de la toiture ou de l'ETICS est assuré, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur de l'isolant présentant l'épaisseur la plus faible (généralement l'isolant interposé)
- le contact direct entre les éléments isolants interposés est garanti, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur de l'isolant ayant l'épaisseur la plus réduite.

En outre, le volume du gîtage en bois (matériau de valeur  $\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$ ) interrompant l'isolant interposé de la partie supérieure de l'acrotère ne peut pas dépasser 10 % par mètre courant de nœud constructif linéaire selon la réglementation. Ce critère est respecté lorsque l'on a deux gîtes de maximum 5 cm de largeur par mètre courant, par exemple. La section des fixations métalliques ne devra, quant à elle, pas excéder  $1 \text{ cm}^2$  par mètre courant. On pourra ainsi placer deux fixations d'un diamètre de 0,5 cm tous les 50 cm, par exemple.

## 5.4 RACCORDS AUX TOITURES À VERSANTS

En règle générale, le façadier intervient après les travaux de toiture. Les travaux d'isolation de façade sont effectués dans les zones où l'enduit sera appliqué. Il convient de veiller au bon raccord des couches d'isolation.

Les raccords au départ d'une toiture à versants (voir § 5.4.3, p. 68) suivent les principes du départ d'une toiture plate. Les raccords au bas de versant (voir § 5.4.1) et à la rive latérale



Fig. 73 Raccord entre un ETICS et la rive d'une toiture à versants.

(voir § 5.4.2) doivent être conçus et réalisés de manière à ce que la partie supérieure de l'ETICS soit protégée. Le dépassant de toiture doit en outre être suffisant pour permettre la pose du système et limiter l'exposition de l'ETICS à l'humidité.

L'ETICS peut être raccordé en butée contre l'habillage du dépassant, dont la partie visible doit être protégée au préalable. Une bande d'étanchéité comprimée est également prévue à la jonction entre l'isolant de l'ETICS et l'habillage du dépassant (voir figures 73 à 76, p. 66 à 67). Une fois appliqué, l'enduit est coupé à la jonction avec l'habillage du dépassant, dans le but de limiter le risque de fissuration aléatoire. Il est conseillé de prévoir un joint souple à la jonction entre l'habillage du dépassant et l'enduit (cette tâche n'est généralement pas du ressort du façadier).

Une solution alternative consiste à poser la rive décorative inférieure, éventuellement pourvue d'une plinthe, après la mise en œuvre de l'ETICS et légèrement en deçà de l'extrémité supérieure de ce dernier, afin de masquer l'arrêt d'enduit (voir figure 73).

### 5.4.1 RACCORD AU BAS DE VERSANT

La transition entre l'isolant de toiture et l'isolant de l'ETICS du mur extérieur doit être intégrée en tant que nœud constructif selon la réglementation PEB. Dans la plupart des cas, la continuité des couches d'isolation est obtenue en garantissant leur contact (voir Annexe B, p. 123). Le nœud est conforme lorsque le contact entre l'isolant de la toiture et l'isolant de l'ETICS est assuré, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur de la couche d'isolation présentant l'épaisseur la plus faible (généralement l'isolant de l'ETICS) (voir figure 75, p. 67).

### 5.4.2 RACCORD À LA RIVE LATÉRALE (MUR PIGNON)

La transition entre le mur extérieur (mur pignon) et la rive de toiture doit être intégrée en tant que nœud constructif selon

la réglementation PEB. La continuité des couches d'isolation au droit des nœuds constructifs est généralement assurée à l'aide d'éléments isolants interposés (règle de base n° 2). Ces éléments doivent par ailleurs satisfaire simultanément à trois conditions (voir Annexe B, p. 123, et figure 76).

Le nœud est conforme lorsque l'isolant de la rive de toiture (isolant interposé) est tel que :

- sa conductivité thermique ( $\lambda_{\text{insulating part}}$ ) est comparable à celles des isolants de la toiture et de l'ETICS ( $\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$  n'est pas assez restrictif). Les dimensions nécessaires ( $d_{\text{insulating part}}$ ) dépendent de la conductivité thermique précitée, mais aussi des résistances thermiques des isolations de l'ETICS et de la toiture, excepté pour des niveaux d'isolation élevés de ces derniers, soit des résistances thermiques supérieures à  $4 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (isolant d'une valeur  $\lambda$  de  $0,04 \text{ W/m.K}$  et d'au moins  $16 \text{ cm}$  d'épaisseur, par exemple). Dans ce cas, un élément isolant d'une valeur  $\lambda_{\text{insulating part}}$  de  $0,05 \text{ W/m.K}$ , par exemple, doit ainsi avoir une épaisseur  $d_{\text{insulating part}}$  d'au moins  $10 \text{ cm}$  ( $d_{\text{insulating part}} [\text{m}] \geq 2 \lambda_{\text{insulating part}} [\text{W/m.K}]$ )
- les contacts directs avec l'isolation de la toiture, d'une part, et de l'ETICS, d'autre part, sont assurés, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur ( $d_{\text{insulating part}}$ ) de l'isolant interposé (épaisseur de la couche la plus fine en général).

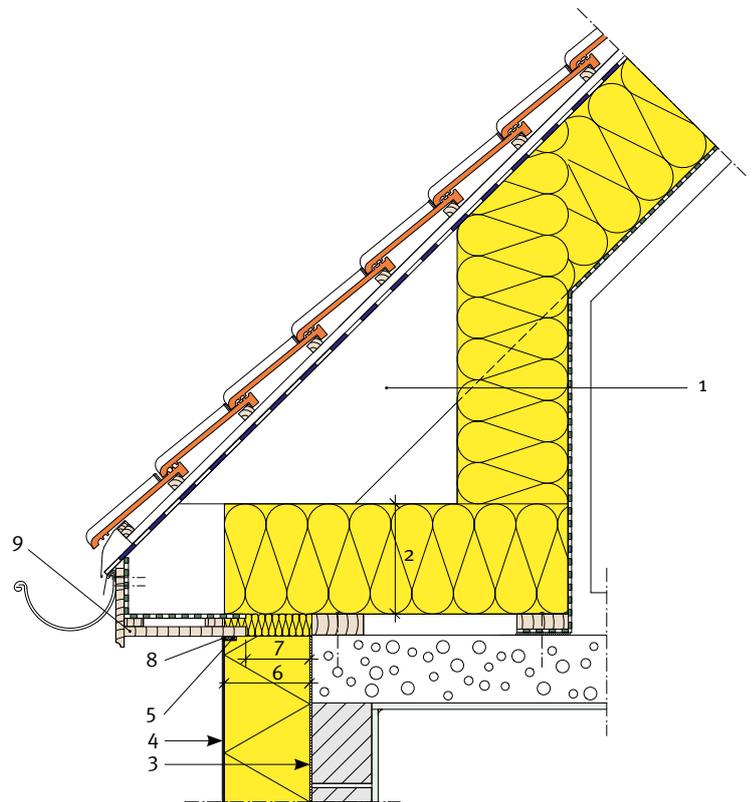


Fig. 75 Raccord d'un ETICS à la rive de bas de versant d'une toiture à versants (cas où l'ETICS vient en butée contre l'habillage du dépassant).



Fig. 74 Raccord à la rive latérale d'une toiture à versants (vue de l'isolant interposé avant les travaux de façade).

1. Ferme
2. Isolation thermique de toiture (épaisseur :  $d_{\text{isol toiture}}$ )
3. Colle (ETICS)
4. Enduit (ETICS)
5. Bande d'étanchéité comprimée
6. Panneau d'isolation (ETICS) (épaisseur :  $d_{\text{isol ETICS}}$ )
7. Épaisseur de contact entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant de toiture ( $d_{\text{contact}}$ )
8. Joint d'étanchéité souple
9. Habillage du dépassant
10. Épaisseur de contact entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant interposé de la rive de toiture ( $d_{\text{contact}}$ )
11. Isolant interposé (épaisseur :  $d_{\text{insulating part B}}$ )

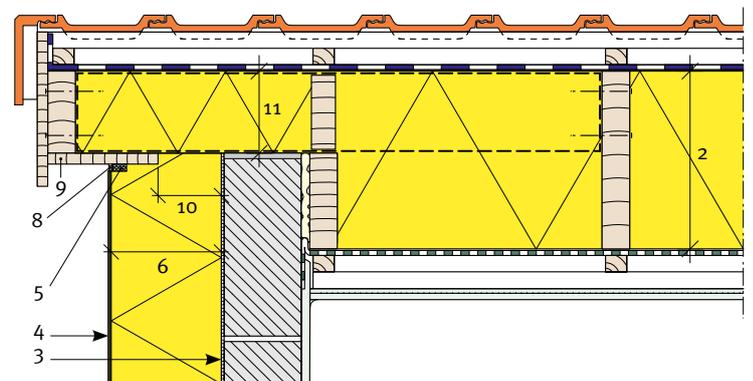


Fig. 76 Raccord d'un ETICS à la rive latérale (mur pignon) d'une toiture à versants.

En outre, le volume de la structure secondaire (échelle en bois, matériau de valeur  $\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$ ) interrompant l'isolant de la rive de toiture ne peut pas dépasser 10 % par mètre courant de nœud constructif linéaire selon la réglementation. Ce critère est respecté lorsque l'on a deux gîtes de maximum 5 cm de largeur par mètre courant, par exemple.

Remarquons que le raccord entre les couches d'isolation de la toiture et de la façade peut également être réalisé au moyen d'un bloc constructif isolant (voir figure 2 de la NIT n° 251 [C13]).

### 5.4.3 RACCORD AU DÉPART DE TOITURES À VERSANTS

Le façadier intervient après les travaux de toiture réalisés selon les recommandations des NIT n° 175 [C2], n° 186 [C3], n° 202 [C5], n° 219 [C7], n° 240 [C8] et n° 251 [C13]. Les raccords doivent être conçus et réalisés de façon à ce que le départ de l'ETICS s'effectue à au moins 15 cm au-dessus du niveau supérieur de la couverture de toiture. Un panneau isolant résistant à l'humidité est interposé entre l'isolant de la toiture et celui de l'ETICS. La face apparente de l'enduit de l'ETICS doit de préférence être en saillie (environ 2 cm) par rapport au solin, afin d'écartier les eaux de pluie ruisselant sur la façade et de faciliter la jonction au moyen d'un profilé de départ en PVC. Une bande d'étanchéité comprimée est en outre placée à la jonction entre le solin et le profilé de départ de l'ETICS (voir figures 77 et 78).

La transition entre l'isolant de la toiture et l'isolant de l'ETICS du mur extérieur doit être intégrée en tant que nœud construc-

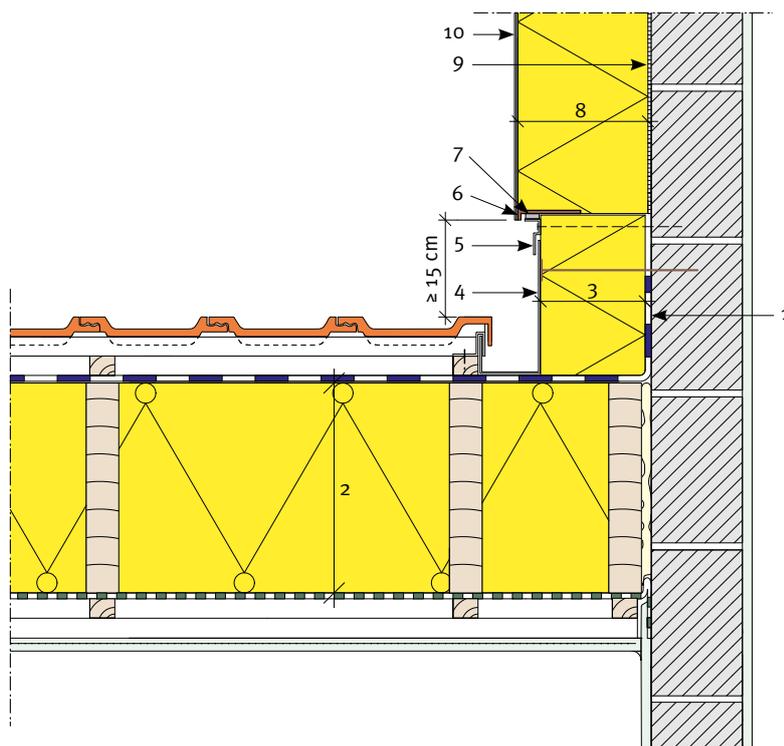


A. Vue avant la pose de la couverture



B. Vue après la pose de la couverture

Fig. 78 Raccord d'un ETICS au départ d'une toiture à versants.



1. Relevé de la sous-toiture
2. Isolation thermique de toiture (épaisseur :  $d_{\text{isol toiture}}$ )
3. Isolant interposé résistant à l'humidité (épaisseur :  $d_{\text{insulating part}}$ )
4. Chéneau encaissé
5. Solin
6. Profilé de départ en PVC
7. Bande d'étanchéité comprimée
8. Panneau d'isolation (ETICS) (épaisseur :  $d_{\text{isol ETICS}}$ )
9. Colle (ETICS)
10. Enduit (ETICS)

Fig. 77 Raccord d'un ETICS au départ d'une toiture à versants.



Fig. 79 Balcons préfabriqués intégrant un rupteur thermique.

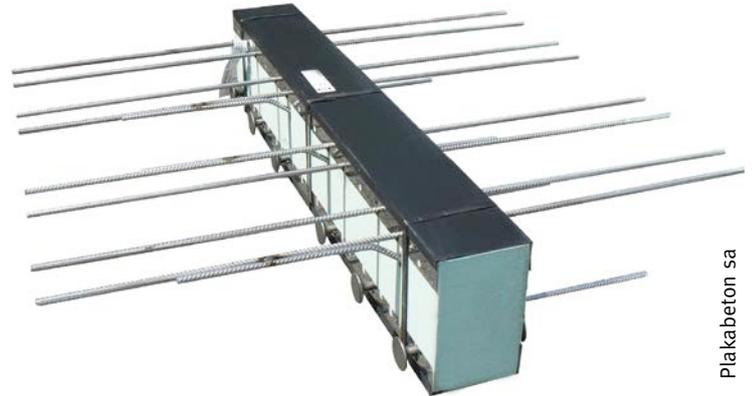


Fig. 80 Rupteur thermique pour balcon en béton coulé.

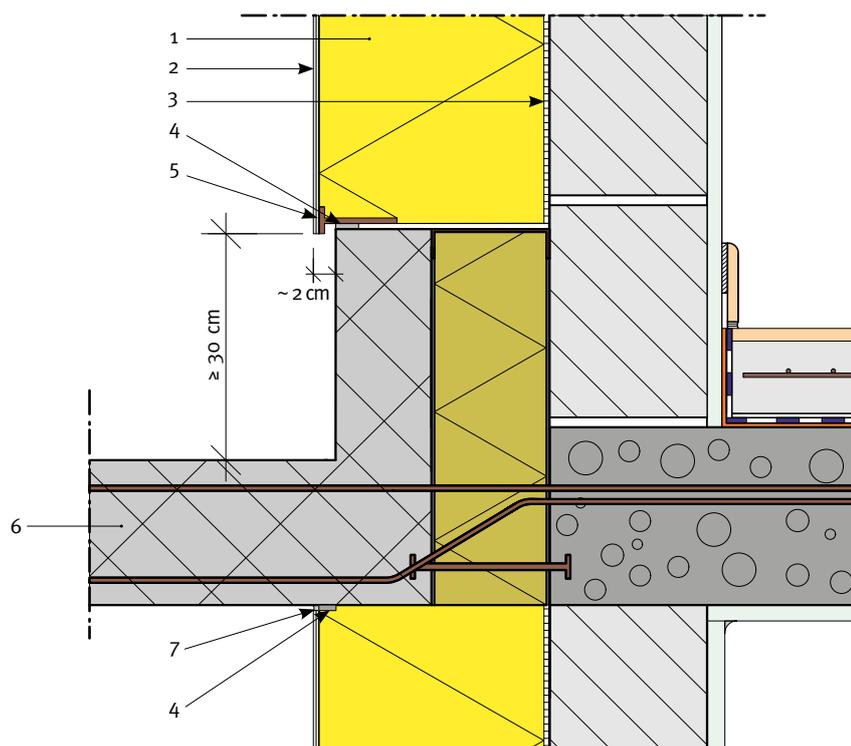
tif selon la réglementation PEB. Dans la plupart des cas, la continuité des couches d'isolation sera assurée à l'aide d'un élément isolant interposé (règle de base n° 2), à l'instar d'un départ de toiture plate (voir § 5.3.1, p. 61). Cette solution constructive nécessite un entretien régulier de la rive de toiture.

## 5.5 RACCORDS AUX BALCONS

Le façadier intervient après les travaux de gros œuvre et les éventuels travaux d'étanchéité du balcon. Les raccords aux balcons doivent être conçus et réalisés selon les mêmes

recommandations que celles formulées pour les toitures plates (voir figure 81).

La couche d'isolation de l'ETICS est interrompue par un nœud constructif linéaire, qui doit être pris en compte dans le calcul de la valeur U. À cet égard, il est recommandé d'opter pour des solutions utilisant un rupteur thermique (élément isolant réduisant les ponts thermiques) associé ou non à un balcon préfabriqué. Pour de plus amples informations, on se référera aux prescriptions spécifiques des fabricants de ces éléments. Rappelons également que la stabilité du balcon constitue une exigence essentielle (voir figures 79 et 80).



1. Panneau d'isolation (ETICS)
2. Enduit (ETICS)
3. Colle (ETICS)
4. Bande d'étanchéité comprimée
5. Profilé de départ en PVC
6. Balcon préfabriqué intégrant un rupteur thermique
7. Joint d'étanchéité souple

Fig. 81 Raccord d'un ETICS à un balcon.

## 5.6 RACCORDS AUX MURS COULISSES

Le façadier intervient après les travaux de gros œuvre et la pose du couvre-mur doté d'une rehausse arrière. Les raccords doivent être conçus et réalisés selon des recommandations similaires à celles énoncées pour le raccord au départ de la plinthe en pied de mur. Il convient ainsi d'assurer le bon raccord des couches d'isolation et d'empêcher toute infiltration ou stagnation d'eau à la jonction. On veillera également à ce que la face apparente de l'enduit de l'ETICS soit en saillie d'environ 2 cm par rapport à la rehausse du couvre-mur, afin d'écarter les eaux de pluie ruisselant sur la façade et de faciliter la jonction au moyen d'un profilé de départ en PVC et d'une bande d'étanchéité comprimée. Le profilé de départ doit en outre être pourvu d'un larmier efficace (voir figures 82 à 84, p. 70 à 71).

La transition entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant du mur coulisse doit être intégrée en tant que nœud constructif selon

la réglementation PEB. La continuité des couches d'isolation est assurée à l'aide d'un isolant interposé (règle de base n°2). Cet isolant doit par ailleurs satisfaire simultanément à trois conditions (voir Annexe B, p. 123).

Le nœud est conforme lorsque :

- la conductivité thermique de l'isolant interposé ( $\lambda_{\text{insulating part}}$ ) est comparable à celles des isolants du mur creux et de l'ETICS ( $\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$  n'est pas assez restrictif). L'épaisseur nécessaire ( $d_{\text{insulating part}}$ ) dépend de la conductivité thermique précitée, mais aussi des résistances thermiques des isolations de l'ETICS et du mur creux, excepté pour des niveaux d'isolation élevés de ces derniers, soit des résistances thermiques supérieures à  $4 \text{ m}^2.\text{K/W}$  (isolant d'une valeur  $\lambda$  de  $0,04 \text{ W/m.K}$  et d'au moins 16 cm d'épaisseur, par exemple). Dans ce cas, un élément isolant d'une valeur  $\lambda_{\text{insulating part}}$  de  $0,05 \text{ W/m.K}$ , par exemple,

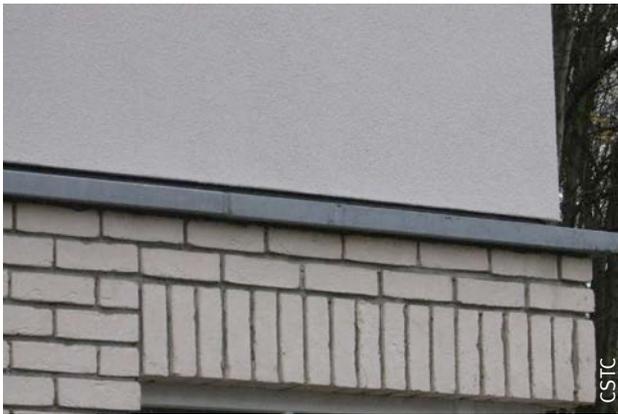
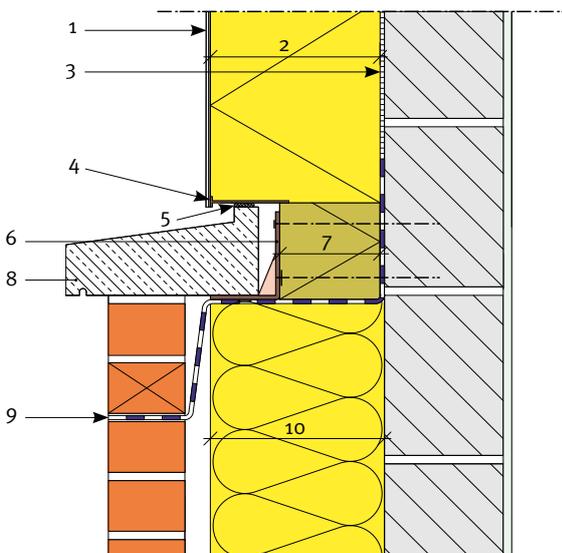
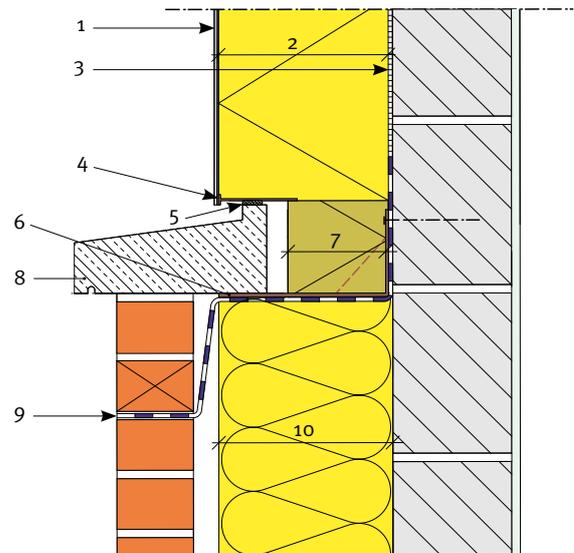


Fig. 82 Raccord d'un ETICS à un mur coulisse.

1. Enduit (ETICS)
2. Panneau d'isolation (ETICS)  
(épaisseur :  $d_{\text{isol ETICS}}$ )
3. Colle (ETICS)
4. Profilé de départ en PVC
5. Bande d'étanchéité comprimée
6. Console ou équerre
7. Isolant interposé  
(épaisseur :  $d_{\text{insulating part}}$ )
8. Couvre-mur avec talon
9. Membrane d'étanchéité
10. Isolation thermique du mur coulisse  
(épaisseur :  $d_{\text{isol mur coulisse}}$ )



A. Support du couvre-mur au moyen d'une console supportée par deux fixations



B. Support du couvre-mur au moyen d'équerres ponctuelles

Fig. 83 Raccords de l'ETICS à un mur coulisse.



Fig. 84 Exemple de raccord à un mur coulisse.

doit ainsi avoir une épaisseur  $d_{\text{insulating part}}$  d'au moins 10 cm ( $d_{\text{insulating part}} [\text{m}] \geq 2 \lambda_{\text{insulating part}} [\text{W/m.K}]$ )

- la section des fixations métalliques traversant l'isolant interposé ne dépasse pas  $1 \text{ cm}^2$  par mètre courant (console ou équerre supportée par deux fixations d'un diamètre de 0,5 cm tous les 50 cm (voir figure 83A, p. 70), ou équerres ponctuelles de section  $0,15 \times 3 \text{ cm}$  tous les 50 cm (voir figure 83B, p. 70), par exemple)
- le contact entre l'isolant interposé et l'isolant du mur creux, d'une part, et celui entre l'isolant interposé et l'isolant de l'ETICS, d'autre part, sont assurés, et ce, sur au moins la moitié de l'épaisseur de l'isolant interposé (on ne tient pas compte du profilé en PVC ni de la membrane; voir § 3.6, p. 37).

Lorsqu'on utilise un profilé de départ non fixé au support, son éventuel encollage sur la face inférieure de l'isolant de l'ETICS doit être réalisé au moyen de cordons de colle adaptée (de faible conductivité thermique, donc pas de mortier-colle).

## 5.7 JOINTS DE MOUVEMENT

Il importe de prévoir des joints de mouvement au sein du système aux endroits suivants :

- au droit des joints de mouvement situés dans la structure portante, qui doivent être répercutés dans l'ETICS
- là où des mouvements différentiels importants du bâtiment sont à craindre (variation de hauteur, par exemple)

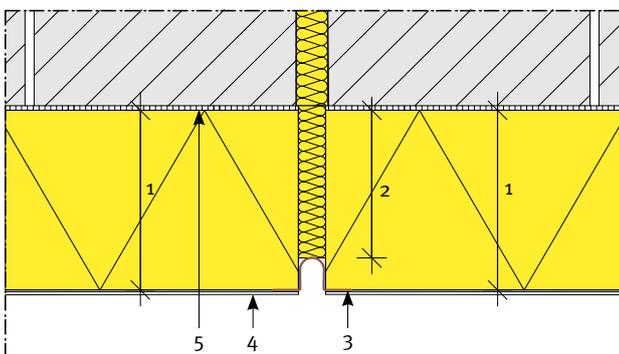


Fig. 85 Joint de mouvement à la surface.

1. Panneau d'isolant (ETICS) (épaisseur :  $d_{\text{isol ETICS}}$ )
2. Distance de contact
3. Profilé pour joint de mouvement
4. Enduit (ETICS)
5. Colle (ETICS)

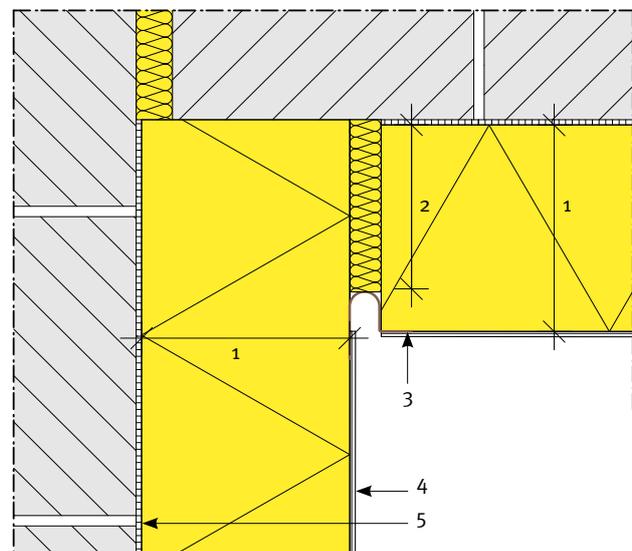


Fig. 86 Joint de mouvement dans un angle.



Fig. 87 Joints de mouvement à la surface d'un ETICS.

- là où la structure portante change de type (passage d'une structure en bois à une maçonnerie, par exemple).

Les joints de mouvement doivent être étanches et seront réalisés à l'aide de profilés spécifiquement conçus à cet effet (voir figures 85 à 87, p. 71 à 72, et § 2.5.3, p. 27).

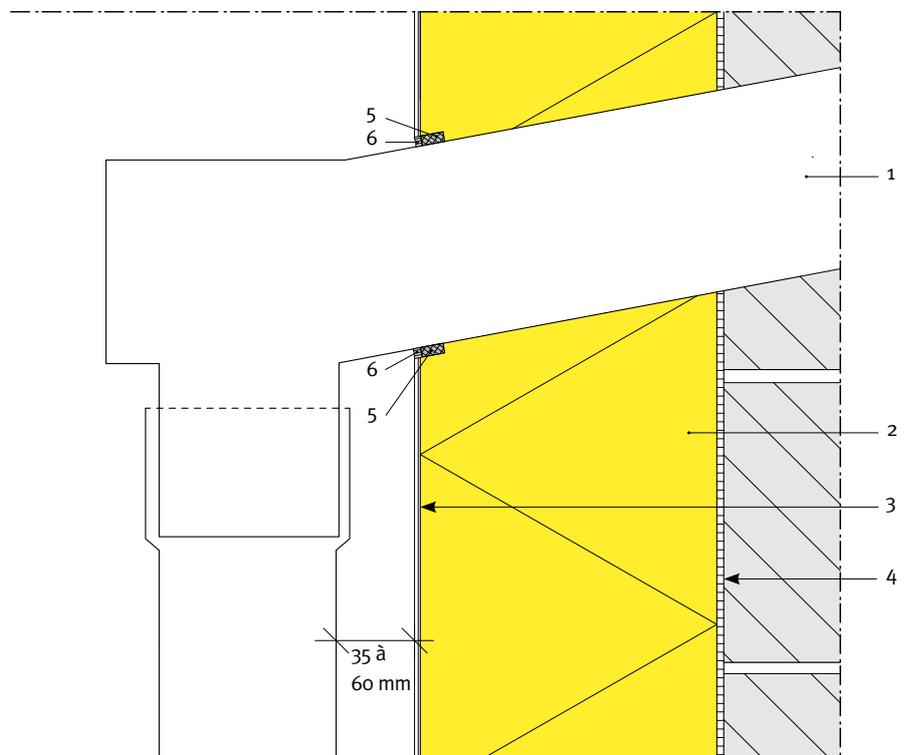
## 5.8 FIXATION OU TRAVERSÉE D'OBJETS

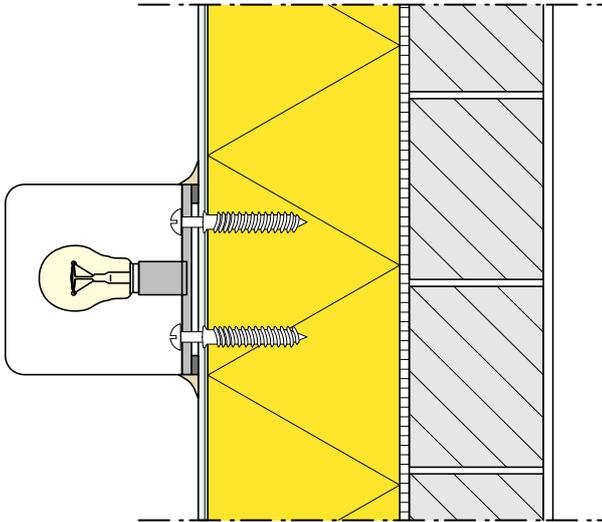
Les éléments qui reprennent des efforts importants ou qui assurent la sécurité contre les chutes (garde-corps de balcon, par exemple) doivent être fixés suffisamment en profondeur dans le support. Les éléments qui transmettent seulement des efforts limités (bouton de sonnette, robinet d'eau, etc.) peuvent éventuellement être fixés dans la couche d'enduit et/ou d'isolant. Ces fixations peuvent aussi être mises en œuvre par l'intermédiaire d'éléments de montage adaptés aux efforts (voir figure 89, p. 73).

Tous les percements de l'enduit doivent en outre être pourvus d'un joint souple (voir figure 88). Enfin, les objets fixés contre la façade doivent être conçus de façon à ce que l'eau de pluie ruisselant sur la façade et sur eux-mêmes soit rejetée en dehors du plan de cette dernière.

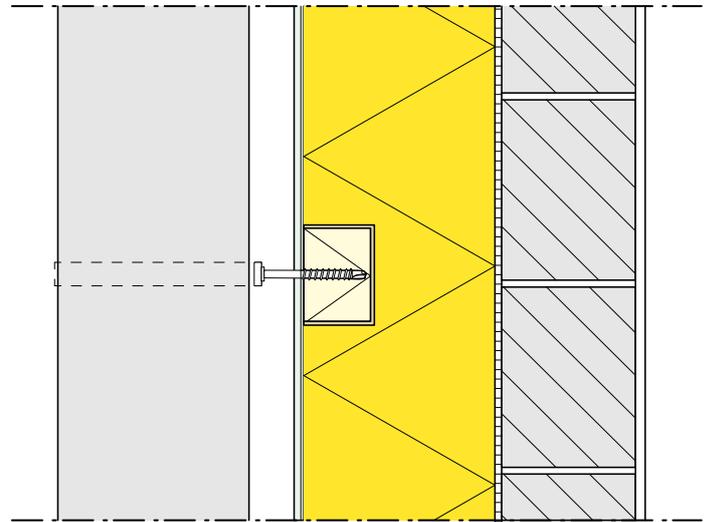
1. Tuyau d'évacuation d'eaux pluviales
2. Panneau d'isolation (ETICS)
3. Enduit (ETICS)
4. Colle (ETICS)
5. Bande d'étanchéité comprimée
6. Joint d'étanchéité souple

Fig. 88 Traversée par une évacuation d'eaux pluviales.

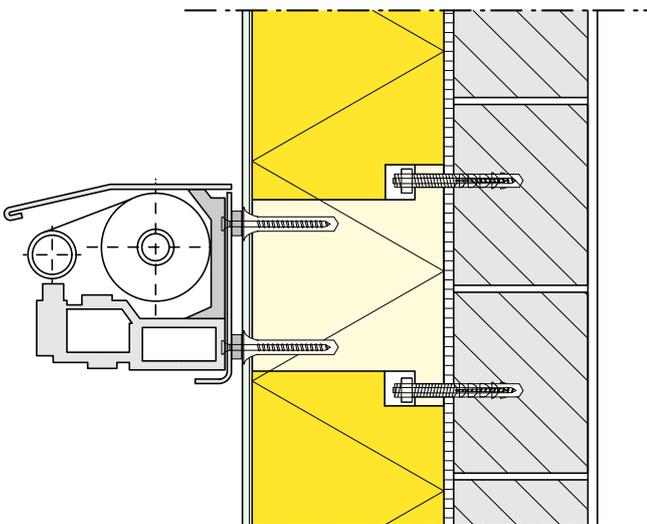




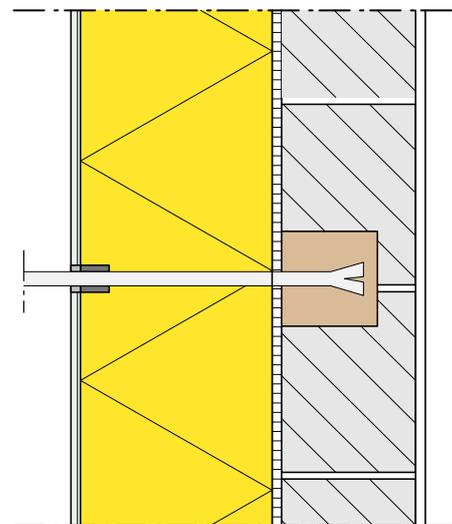
A. Fixation d'objets légers à l'isolant au moyen de vis en spirale



B. Fixation d'objets légers au moyen d'un élément de montage collé au sein de l'isolant



C. Fixation d'objets lourds au moyen d'un élément de montage fixé au support



D. Fixation d'objets lourds par ancrage dans le support

Fig. 89 Fixation d'objets.

## 5.9 CONDUITS DE FUMÉE

La présence de conduits de fumée constitue un point critique dont le concepteur et le façadier doivent impérativement tenir compte. En effet, les conduits de fumée transportent vers l'extérieur des gaz de combustion dont la température peut varier entre 80 et 600 °C selon le type d'appareil raccordé (voir tableau 16, p. 75).

Un ETICS ne peut être appliqué sur un support dont la température de surface est susceptible de dépasser 70°C (mur qui intègre un conduit d'évacuation de fumée en boisseaux, par exemple).

En outre, lorsqu'un conduit de fumée traverse la façade, une distance de sécurité doit être respectée entre la paroi extérieure de ce conduit et les matériaux combustibles <sup>(5)</sup> dits étendus ou substantiels (ayant une contribution au feu significative), c'est-à-dire les isolants combustibles dans le cas des ETICS. Cette distance de sécurité vise à limiter le risque d'incendie et à éviter la dégradation des propriétés fonctionnelles de l'ETICS lorsque le conduit est en service.

Dans le cadre du marquage CE, le fabricant du conduit déclare un certain nombre de données normalisées, à savoir : la classe de température (température maximale admissible des gaz de combustion), la classe de résistance au feu de cheminée ('O' pour non résistant, 'G' pour résistant; exigée si le conduit dessert un appareil à combustible solide) et la distance (exprimée en mm) à respecter par rapport aux matériaux combustibles (voir figure 90).

Néanmoins, les performances fonctionnelles de l'ETICS ne sont éprouvées que jusqu'à 70 °C. Étant donné que la distance

de sécurité normalisée tient compte de températures au droit du matériau combustible s'élevant à 85 °C pour un conduit classé O et à 100 °C pour un conduit classé G, elle doit donc être majorée.

Le tableau 16 (p. 75) permet de déterminer la distance de sécurité majorée. L'isolant combustible d'un ETICS ne peut en aucun cas se situer à une distance plus courte du conduit. Afin de limiter également la température au droit de l'enduit et de son raccord avec le conduit, il est recommandé d'employer des conduits de type Goo ou Ooo (distance de sécurité nulle).

Si les données relatives au conduit ne sont pas connues, on appliquera une distance de sécurité forfaitaire, qui dépend notamment du diamètre du conduit et qui est renseignée par le donneur d'ordre. Pour un générateur raccordé à un conduit de maximum 150 mm de diamètre, par exemple, une distance de sécurité de 300 mm devrait suffire.

Dans la plupart des cas, les conduits existants devront être adaptés à la nouvelle situation (augmentation de l'épaisseur de la paroi en particulier) par une personne qualifiée.

Afin d'assurer la jonction avec l'ETICS, une isolation incombustible (classe de réaction au feu A1 ou A2-s1,do) adaptée à l'usage (température de fusion suffisante) sera placée autour du conduit (voir figure 91, p. 75). Dans le cas de conduits de type Goo ou Ooo, l'ETICS sera raccordé au conduit par l'intermédiaire d'une bande d'étanchéité comprimée et d'un joint souple, tous deux destinés à cet emploi. D'autres solutions ne sont pas exclues.

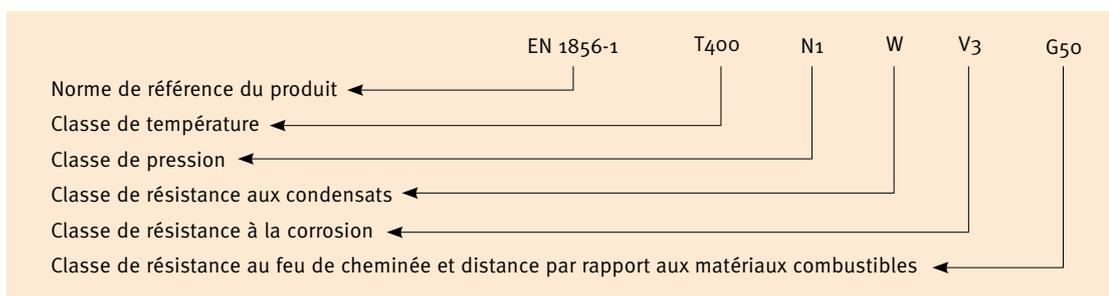


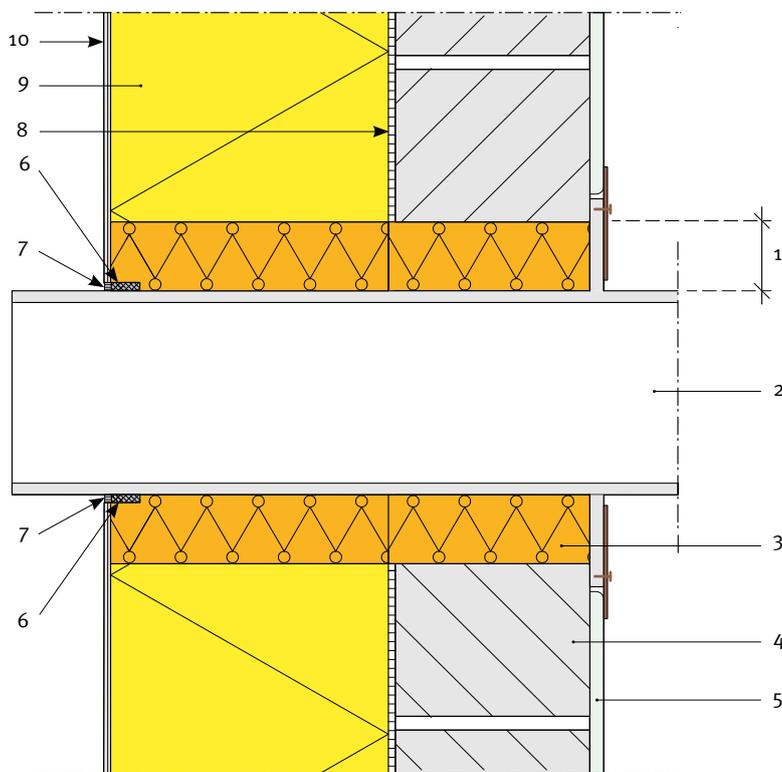
Fig. 90 Exemple de désignation d'un conduit de fumée métallique.

(5) Un matériau est incombustible lorsque sa classe de réaction au feu est A1 ou A2-s1,do selon la norme NBN EN 13501-1 [B26].

Tableau 16 Conduits de fumée : exigences et distance de sécurité majorée par rapport à l'isolant combustible de l'ETICS.

Température des gaz de combustion	Type de générateur raccordé au conduit	Combustible	Exigences applicables au conduit (1) (2)	Distance de sécurité à respecter par rapport à l'isolant combustible (3) d'un ETICS	Exemple
≤ 600 °C	Feu ouvert, poêle	Solide	T600 G	Distance de sécurité = distance de sécurité normalisée $xx$ (4) + 75 mm (5)	Pour un conduit de type Goo, la distance de sécurité est de 0 + 75, soit 75 mm.
≤ 400 °C	Chaudière	Solide	T400 G		
	Appareil non étanche à air soufflé (types B <sub>22</sub> ou B <sub>23</sub> ), sans condensation	Gazeux	T400 O	Distance de sécurité = distance de sécurité normalisée $xx$ (4) + 50 mm (5)	Pour un conduit de type Ooo, la distance de sécurité est de 0 + 50, soit 50 mm.
	Appareil sans condensation	Liquide	T400 O		
≤ 300 °C	Appareil non étanche sans air soufflé (type B à l'exception des types B <sub>22</sub> et B <sub>23</sub> ), sans condensation	Gazeux	T300 O		
≤ 250 °C	Appareil étanche (type C) sans condensation	Gazeux	T250 O		
≤ 120 °C	Appareil à condensation	Gazeux/liquide	T120 O		

(1) Classe de température et classe de résistance au feu de cheminée; voir marquage CE du conduit.  
 (2) Pour un conduit concentrique, vérifier l'aptitude à être raccordé au générateur.  
 (3) Un matériau est incombustible lorsque sa classe de réaction au feu est A1 ou A2-s1,do selon la norme NBN EN 13501-1 [B26].  
 (4)  $xx$  : relatif à G $xx$  ou O $xx$ ; voir marquage CE du conduit.  
 (5) Cette majoration est destinée à prendre en compte le fait que la méthode d'essai des conduits de types G et O envisage une température au droit du matériau combustible de respectivement 100 °C et 85 °C, alors que les performances fonctionnelles de l'ETICS ne sont éprouvées que jusqu'à 70 °C.



1. Distance de sécurité majorée
2. Conduit
3. Isolant incombustible adapté (A1 ou A2-s1,do)
4. Mur
5. Enduit intérieur
6. Bande d'étanchéité comprimée adaptée
7. Joint d'étanchéité souple adapté
8. Colle (ETICS)
9. Panneau d'isolation combustible (ETICS)
10. Enduit (ETICS)

Fig. 91 Raccord entre un ETICS et un conduit de fumée (de type Goo ou Ooo).



# 6

## MISE EN ŒUVRE

### 6.1 COORDINATION AVEC LES AUTRES CORPS DE MÉTIER

L'étendue des travaux incombant au façadier est décrite au § 1.6 (p. 9). Avant de procéder aux travaux d'isolation, il convient :

- d'effectuer tous les travaux intérieurs qui apportent de l'humidité et qui concernent les planchers et les murs, sous réserve qu'aucune disposition contraire ne soit prévue et que le fabricant y soit favorable. On peut déroger à cette règle moyennant un accord entre les différentes parties et la prise en compte des climats intérieur et extérieur, de la composition du système, de la perméabilité à la vapeur ainsi que des autres propriétés pertinentes des matériaux
- de poser les menuiseries extérieures fixées au moyen de matériaux durables et stables tout en veillant à l'étanchéité à la pluie et au vent. Il est essentiel que les menuiseries soient déjà suffisamment traitées et/ou protégées (le bois doit avoir reçu toutes les couches de protection excepté la dernière, par exemple)
- d'effectuer les percements dans la façade
- de placer et de protéger tous les éléments gênants comme les grilles, les évacuations d'eaux de pluie, les câblages, les rives de toiture, les couvres-murs, les seuils de fenêtres et autres, conformément aux plans de l'architecte et aux dispositions constructives exposées au chapitre 5 (p. 49)
- de localiser les câbles et de les placer verticalement et/ou horizontalement afin de faciliter les découpes et la pose des panneaux d'isolation
- de prendre les dispositions nécessaires en vue d'empêcher les remontées d'humidité

- d'éviter les infiltrations d'eau de pluie dans les murs pendant les travaux de gros œuvre. À cet effet, on placera au plus tôt les évacuations d'eau de pluie
- de veiller à ce que les raccords entre l'ETICS et les châssis, les montants des portes et autres puissent être exécutés dans les limites d'épaisseur normales
- de s'assurer que les détails de plinthes, de pourtour des fenêtres et de rives soient conformes aux directives et tiennent compte des épaisseurs de l'isolant et de l'enduit.

### 6.2 SÉCURITÉ PENDANT LES TRAVAUX

Conformément au Règlement général pour la protection du travail (RGPT) [S8] et au Code sur le bien-être au travail [S7], des mesures de protection collective efficaces doivent être prises pour prévenir la chute des travailleurs, des matériaux et du matériel.

Lorsqu'il s'avère impossible de prendre les dispositions requises en raison de la nature des travaux, la sécurité des travailleurs doit être assurée au moyen d'équipements individuels.

### 6.3 PROTECTION DES OUVRAGES

Il convient de protéger les ouvrages non concernés par les travaux (fenêtres et portes, par exemple) dans leur ensemble, afin d'éviter diverses dégradations telles que des taches, et de faciliter le nettoyage après les travaux d'enduisage. Si l'on utilise une bande adhésive, on veillera à ne pas abîmer l'ouvrage (voir figures 92 et 93).



Fig.92 Protection d'une plinthe.



Fig. 93 Protection d'une fenêtre et d'une porte.

## 6.4 CONDITIONS CLIMATIQUES LORS DE LA MISE EN ŒUVRE

Les conditions climatiques lors de la mise en œuvre influencent la prise et/ou le durcissement des colles et des enduits ainsi que leur séchage. De ce fait, elles peuvent avoir des répercussions sur les performances du système : qualité du collage, caractéristiques et aspect de l'enduit (risque de décollement, fissuration, non-uniformité de la teinte, etc.).

La pose par collage et l'enduisage ne seront dès lors pas réalisés dans des conditions défavorables, telles que :

- des températures de l'air ambiant et/ou du support supérieures à 30 °C ou inférieures à 5 °C lors de l'application ou du durcissement (24 à 48 heures après l'application). Des conditions plus strictes encore peuvent s'imposer en fonction de la nature des produits (voir tableau 2, p. 13). Afin d'éviter le risque de condensation, la température du support doit en outre être supérieure d'au moins 3 °C à celle du point de rosée de l'air ambiant
- une exposition en plein soleil
- des conditions venteuses
- des pluies battantes
- un support humide ou gelé.

Dans certaines conditions, les travaux devront donc être interrompus. La mise en place de bâches permet d'assurer une protection contre le soleil ou le vent (voir figure 94).

## 6.5 TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Le façadier vérifie si le support, en fonction de sa nature, satisfait aux exigences de pose du système d'enduit sur isolation extérieure. Si un ou plusieurs des critères ne sont pas respectés, il convient de consulter le fabricant et de prendre des dispositions supplémentaires. Ces travaux complémentaires n'entrent pas dans le cadre normal des travaux et engendrent un surcoût, sauf mention contraire dans les documents contractuels. On se référera également à l'avis du fabricant du système en cas de doute quant à la compatibilité du support avec le produit de collage ou la fixation mécanique (en présence de supports fortement ou très faiblement absorbants ou pulvérulents, par exemple).

### 6.5.1 CONTRÔLES PRÉALABLES ET PRÉPARATION DU SUPPORT

#### 6.5.1.1 Maçonneries et voiles en béton

Le support doit répondre aux exigences suivantes (voir § 4.2, p. 43) :

- être exempt d'humidité anormale (voir § 4.2.5, p. 45) (remontées capillaires, descentes d'eau déficientes, etc.)
- être stable. Le support doit avoir atteint un âge suffisant et il y a lieu de tenir compte du retrait et du fluage éventuels. On recommande de respecter un délai minimal de



Fig. 94 Bâches de protection contre le soleil et le vent.

trois mois après l'achèvement du gros œuvre (voir § 4.2.4, p. 44)

- être propre et cohésif, en particulier pour la pose par collage. Le support doit être dépourvu de mousses, de poussière, de résidus de peinture, de parties non adhérentes, de matières sujettes au gonflement, d'efflorescences et d'autres matières réduisant l'adhérence (voir § 4.2.7, p. 45, § 4.2.8, p. 46, et § 4.2.9, p. 46)
- respecter les écarts admissibles (tolérances de planéité, de verticalité, etc.). Les écarts constatés peuvent influencer le mode de fixation (voir § 4.2.3, p. 44, et § 4.4, p. 48)
- être compatible avec le système (voir § 4.2.6, p. 45, notamment).

Le tableau 17 (p. 79) synthétise les points auxquels il convient d'accorder une attention particulière lors du contrôle et de la préparation du support.

#### 6.5.1.2 Constructions en bois

Le support doit répondre aux exigences suivantes (voir § 4.3, p. 46) :

- être stable et être compatible avec le système (type de structure en bois, nature et épaisseur des panneaux, etc.) (voir § 4.3.1, p. 47, et § 4.3.4, p. 47)
- être sec. Le taux d'humidité des bois de structure et des panneaux supports doit être mesuré (voir § 4.3.1, p. 47)
- être propre et cohésif, en particulier pour la pose par collage. Ainsi, le support doit être dépourvu de mousses, de poussière, de parties non adhérentes et d'autres matières réduisant l'adhérence
- respecter les écarts admissibles (tolérances de planéité et de verticalité, etc.). Les écarts constatés peuvent influencer le mode de fixation (voir § 4.3.5, p. 47, et § 4.4, p. 48).

Tableau 17 Contrôles préalables et préparation d'un support en maçonnerie ou d'un voile en béton.

Paramètres à vérifier	Méthode	Constatations	Mesures à prendre en fonction de la technique de pose (1)
<b>Délai depuis l'achèvement du gros œuvre</b>	Information transmise par le donneur d'ordre	Un délai d'au moins trois mois convient généralement	Si le délai est inférieur à trois mois, attendre
<b>Cohésion et état de la surface (aptitude à l'encollage)</b>	Frottement de la main	Présence limitée (normale) de poussière	Brossage de la surface
		Quantité importante de poussière et de particules non adhérentes	Brossage de la surface et application d'un fixateur (2)
	Grattage de la surface à l'aide d'un outil dur et tranchant, à réaliser également après humidification	Sous une pression moyenne : <ul style="list-style-type: none"> <li>dégradation de la surface</li> <li>le revêtement existant s'effrite ou se ramollit, les lèvres de la découpe se déforment ou se détachent</li> </ul>	Éliminer à la main ou à la machine les particules instables ou friables et l'ancien revêtement (2)
	Bande autocollante	Détachement d'une couche d'ancien revêtement; de nombreuses particules adhèrent à la bande	Éliminer l'ancien revêtement (2)
	En cas de doute, détermination de l'adhérence de la colle de l'ETICS au support	Adhérence insuffisante (rupture cohésive dans le support, par exemple, avec une valeur < 0,25 N/mm <sup>2</sup> )	Opter pour une fixation mécanique (+ encollage complémentaire)
<b>Humidité</b>	Contrôle visuel	Zones humides, auréoles, décolorations visibles à la surface	Éliminer la cause (2) et attendre que la surface du support soit suffisamment sèche
<b>Efflorescences (3)</b>	Contrôle visuel	Présence de sels	Attendre que la surface du support soit suffisamment sèche et éliminer les résidus de sels (2)
<b>Mousses, algues et moisissures</b>	Contrôle visuel	Dépôts verts ou foncés	Éliminer mécaniquement ou à l'aide d'un algicide et nettoyer au jet à haute pression (2)
<b>Résidus d'agents de décoffrage ou de peinture</b>	Contrôle visuel	Traces	Éliminer/décaper (2); éventuellement choisir une pose par fixation mécanique
<b>Pouvoir absorbant</b>	Humidification	Absorption irrégulière ou forte	Traiter le support en appliquant une couche d'imprégnation
		Absorption faible ou inexistante d'anciens supports en maçonnerie (+ ruissellement de gouttelettes) indiquant la présence d'un hydrofuge	Vérifier les consignes du fabricant; en cas de doute, opter pour des fixations mécaniques
<b>Planéité</b>	Voir chapitre 7 (p. 103)	Écarts observés	Mesures à prendre (2) et/ou choix de la technique de fixation en fonction des écarts observés (4)
<b>Aplomb/verticalité</b>	Voir chapitre 7 (p. 103)	Écarts observés	À préciser par le donneur d'ordre; pas de mesure ou de correction (2) (4)
<b>Compatibilité des raccords</b>	Contrôle visuel	Écarts par rapport aux solutions préconisées (voir chapitre 5, p. 49)	Adapter les dispositions constructives (2)
<b>Barrière anticapillaire</b>	Contrôle visuel	Absence	Signaler le risque au donneur d'ordre
<b>Joints de mouvement</b>	Contrôle visuel et vérification de la conformité aux plans	Présence	À répercuter dans l'ETICS

(1) Consulter également les consignes du fabricant.

(2) Ces mesures n'entrent pas dans le cadre normal des travaux et engendrent des surcoûts, sauf mention contraire dans les documents contractuels.

(3) À distinguer des exsudations de chaux qui se carbonatent rapidement et forment une couche adhérente et stable ne nécessitant pas d'élimination.

(4) Les écarts de l'ETICS sont tolérés dans la mesure où la forme et l'aspect ne sont pas modifiés et où les fonctions techniques (convenues) sont maintenues.

Le tableau 18 synthétise les points auxquels il convient d'accorder une attention particulière lors du contrôle et de la préparation du support.

### 6.5.2 INSTALLATION DU CHANTIER

Les matériaux et l'appareillage doivent être entreposés dans un endroit sec et à l'abri du gel.

Les échafaudages doivent, quant à eux, prendre appui sur une surface stable et de taille suffisante. Ils doivent permettre l'application du système dans le respect des règles de sécurité à chaque stade de la mise en œuvre. Il est en outre conseillé de limiter le nombre de points d'ancrage dans le mur, tout en respectant les consignes de montage, en vue de réduire l'impact des réparations locales de l'enduit sur l'aspect esthétique de la façade. Enfin, un système d'évacuation et de tri des déchets doit être prévu.

Tableau 18 Contrôles préalables et préparation d'un support en bois.

Paramètres à vérifier	Méthode	Constatations	Mesures à prendre (1)
Type de structure	Information transmise par le donneur d'ordre	Type de structure	Pose sur construction en madrier (bois massif empilé) fortement déconseillée
Nature et état de propreté du panneau support (aptitude à l'encollage)	Contrôle visuel et frottement de la main; en cas de doute, détermination de l'adhérence de la colle de l'ETICS au support	Présence de poussière	Brossage de la surface
		Adhérence insuffisante (rupture cohésive dans le support, par exemple, avec une valeur $< 0,25 \text{ N/mm}^2$ )	Valider/exclure l'application ou opter pour une fixation mécanique (+ encollage complémentaire)
Nature et épaisseur du panneau support (aptitude à la fixation mécanique)	Information transmise par le donneur d'ordre et/ou examen visuel; en cas de doute, détermination de la résistance à la traction de la fixation hors du support	Respect du domaine d'application de la fixation	Valider/exclure l'application
Interdistance entre les montants de l'ossature et largeur de ces derniers (aptitude à la fixation mécanique directement à l'ossature)	Information transmise par le donneur d'ordre et/ou examen visuel	Respect du domaine d'application de la fixation	Valider/exclure l'application
Humidité des bois de structure et des panneaux supports	Contrôle visuel et à l'aide d'un humidimètre	Zones humides, auréoles, décolorations visibles à la surface; teneur en humidité $\leq 18 \%$ en masse	Valider/exclure l'application
Planéité	Voir chapitre 7 (p. 103)	Écarts observés	Mesures à prendre (2) et/ou choix de la technique de fixation en fonction des écarts observés (3)
Aplomb/verticalité	Voir chapitre 7 (p. 103)	Écarts observés	À préciser par le donneur d'ordre; pas de mesure ou correction (2) (3)
Compatibilité des raccords	Contrôle visuel	Écarts par rapport aux solutions préconisées (voir chapitre 5, p. 49)	Adapter les dispositions constructives (2)
Barrière anticapillaire	Contrôle visuel	Absence	Signaler le risque au donneur d'ordre
Joints de mouvement	Contrôle visuel et vérification de la conformité aux plans	Présence	À répercuter dans l'ETICS

(1) Consulter également les consignes du fabricant.  
(2) Ces mesures n'entrent pas dans le cadre normal des travaux et engendrent des surcoûts, sauf mention contraire dans les documents contractuels.  
(3) Les écarts de l'ETICS sont tolérés dans la mesure où la forme et l'aspect ne sont pas modifiés et où les fonctions techniques (convenues) sont maintenues.

## 6.6 MISE EN ŒUVRE DE L'ISOLANT

Après l'acceptation du support et l'installation du chantier, on peut entamer la mise en œuvre de l'ETICS par la pose de l'isolant. Cette dernière comprend la découpe et la pose des panneaux d'isolation en zone courante et au droit des détails (avec pose de fonds de joint sous forme d'une bande d'étanchéité comprimée) ainsi que la pose des profilés de socle (ou de départ). Les panneaux d'isolation de l'ETICS doivent être protégés de l'humidification durant toutes les étapes préalables à l'application de l'enduit de base (transport, stockage, etc.).

### 6.6.1 POSE DU PROFILÉ DE SOCLE

Le profilé de socle peut être soit fixé mécaniquement au support, soit inséré entre l'isolant de socle et la première couche d'isolant de l'ETICS. Après avoir protégé la plinthe, on place un préformé d'étanchéité (bande comprimée) entre la plinthe et le profilé de socle (voir figure 95).

Lorsqu'on fixe le profilé de socle dans le support par des moyens mécaniques à l'aide de vis ou de clous et de chevilles, il importe de respecter le nombre de fixations prescrit par le fabricant.

Les profilés doivent être espacés d'environ 3 mm afin de permettre leur dilatation thermique. De plus, on ajoute à leur jonction des pièces de raccord destinées à maintenir les différents profilés dans le même plan. Enfin, la pose d'une bande comprimée assure l'étanchéité entre les différentes pièces du profilé de socle.

En règle générale, les profilés de socle sont placés à l'horizontale, tout comme la plinthe. Lorsque le niveau fini des terres ou du revêtement de sol extérieur est en pente le long de la façade, rien n'exclut, selon nous, de poser le profilé obliquement (parallèlement au niveau des terres) ou bien de combiner profilés horizontaux et verticaux (voir figures 96 à 98). Afin d'atténuer le risque accru de fissuration, on prendra les dispositions nécessaires concernant la pose d'armatures de renfort (voir § 6.7.3.3, p. 97) et la pose de l'isolation (voir § 6.6.2, p. 82).



Fig. 95 Pose du préformé d'étanchéité sur la plinthe.



Fig. 96 Pied de mur horizontal et en pente.



Fig. 97 Pied de mur en pente.



Fig. 98 Pied de mur en escalier.

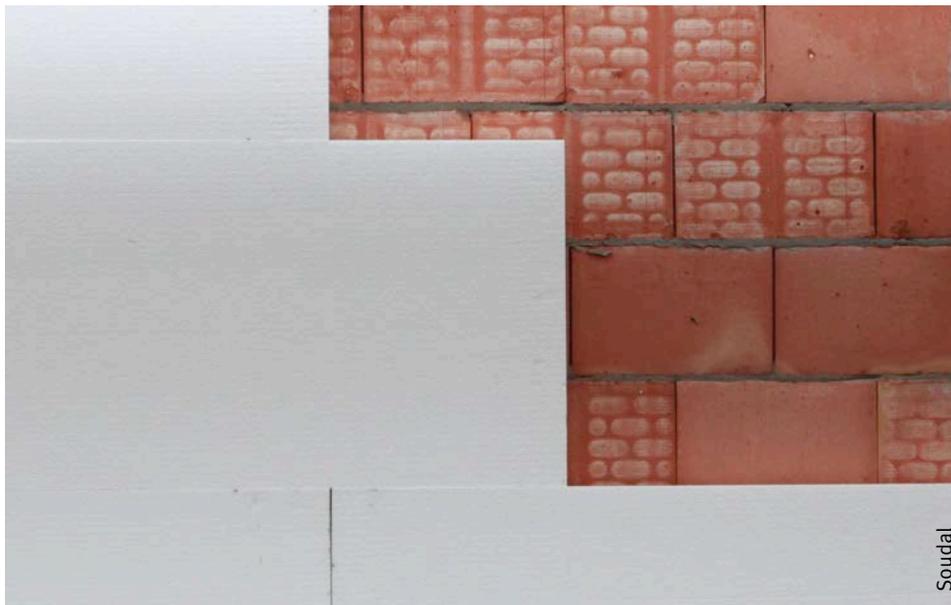


Fig. 99 Pose bien ajustée à joints verticaux alternés des panneaux aux tolérances dimensionnelles adaptées.

## 6.6.2 FIXATION DES PANNEAUX D'ISOLATION

Les panneaux d'isolation sont fixés et/ou collés au support selon les principes décrits ci-après. La découpe des panneaux peut être réalisée par sciage, ou au moyen d'un fil chauffant dans le cas de panneaux en polystyrène expansé (EPS). Notons que la découpe d'isolants épais peut se révéler laborieuse si l'on ne dispose pas d'un dispositif à fil chaud.

### 6.6.2.1 Principes essentiels de pose

Les panneaux isolants doivent former une surface plane pour permettre la mise en œuvre de l'enduit dans les épaisseurs prescrites et en une épaisseur constante, et ce, afin de respecter les tolérances géométriques et les critères d'aspect généralement admis.

Un ensemble de points particuliers sont à considérer en vue de limiter le risque de fissuration de l'enduit et d'éviter la pénétration d'eau au droit des détails.

Ainsi, il ne peut y avoir **ni désaffleurement entre les panneaux ni joints ouverts** (voir tableau 21, p. 99, et figure 99). S'il en existe (l'isolant répondant à des tolérances dimensionnelles sur la longueur et la largeur moins strictes, par exemple), ils devront être remplis de préférence de matériau isolant ou de mousse PU (ouverture de joint inférieure à 5 mm) selon les prescriptions du fabricant.

Il importe que les panneaux isolants soient disposés à joints verticaux alternés sur le support (voir figure 101, p. 83). Si ce dernier présente des hétérogénéités telles qu'un linteau

en béton dans une maçonnerie de terre cuite, les joints entre les panneaux d'isolation ne peuvent pas coïncider avec les joints de transition entre les différents matériaux. Un **harpage (pose à joints alternés)** est également prévu dans les angles du bâtiment (voir figures 102 et 103, p. 83).

Afin de limiter le risque de fissuration, les joints entre les panneaux ne peuvent en outre pas se trouver dans des zones de concentration de contraintes. Dans ces zones, l'isolant sera posé en une pièce, qui sera découpée au préalable si nécessaire. On évitera donc particulièrement la juxtaposition de panneaux dans les zones suivantes :

- au droit des angles supérieurs et inférieurs des baies (prévoir une découpe adaptée; voir figure 104, p. 84, ainsi que figures 107 et 109, p. 85)
- à la jonction entre deux profilés (profilés de départ, par exemple) (prévoir une seule pièce; voir figure 105, p. 84)
- au droit des 'marches' d'un pied de mur en escalier (prévoir une découpe adaptée; voir figure 106, p. 84).

Un **préformé d'étanchéité à l'eau** (bande d'étanchéité comprimée ou fond de joint) doit être posé le long de chaque raccord entre les panneaux d'isolation et les différents matériaux, notamment :

- à la jonction entre l'isolant et les dormants de châssis de porte et de fenêtre (voir figures 110, p. 85, et 112, p. 86)
- sur le pourtour des appuis de fenêtre (voir figure 108, p. 85)
- autour des percements de l'isolation (fixation et traversée des évacuations d'eaux pluviales, etc.) (voir figure 111, p. 86).

Il est impératif de veiller à comprimer correctement la bande d'étanchéité au moment de la pose de l'isolant (voir figures 108, p. 85, et 112, p. 86).



Fig. 100 Pose du premier panneau d'isolation inséré dans le profilé de socle.



Fig. 101 Pose des panneaux à joints verticaux alternés.



Fig. 102 Harpage dans les angles du bâtiment aux éventuels retours de baies.



Fig. 103 Harpage dans les angles du bâtiment.

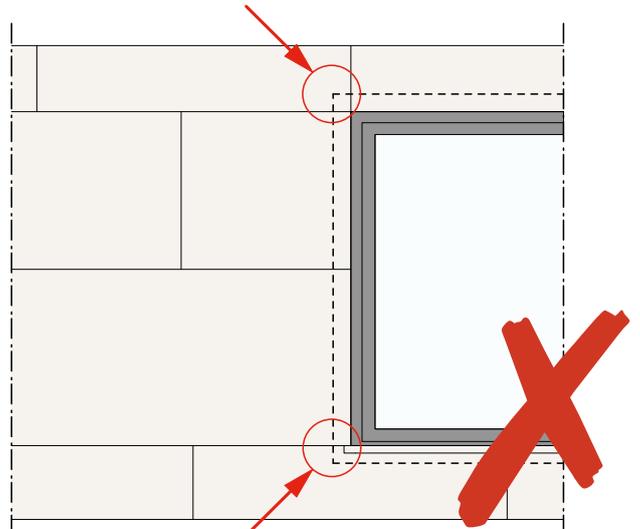
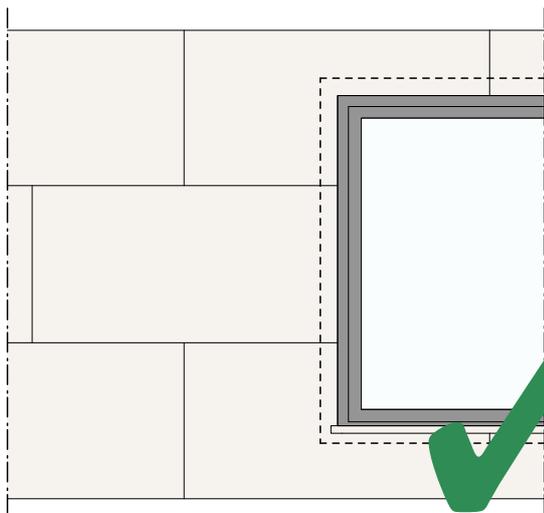


Fig. 104 Placement d'un panneau en une seule pièce dans les angles de baie pour limiter le risque de fissuration.

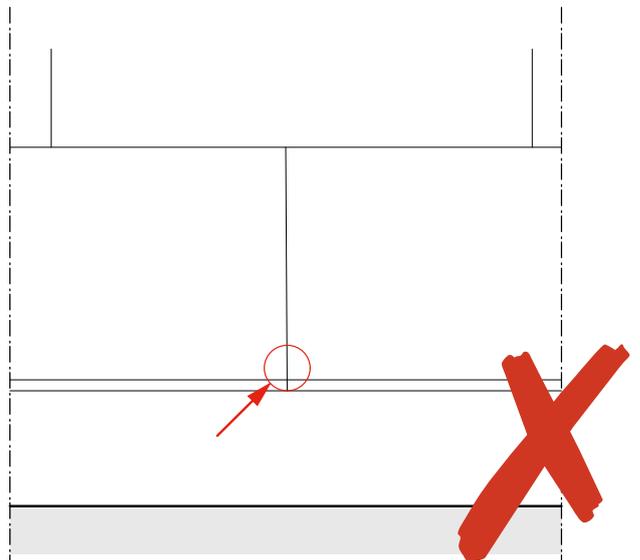
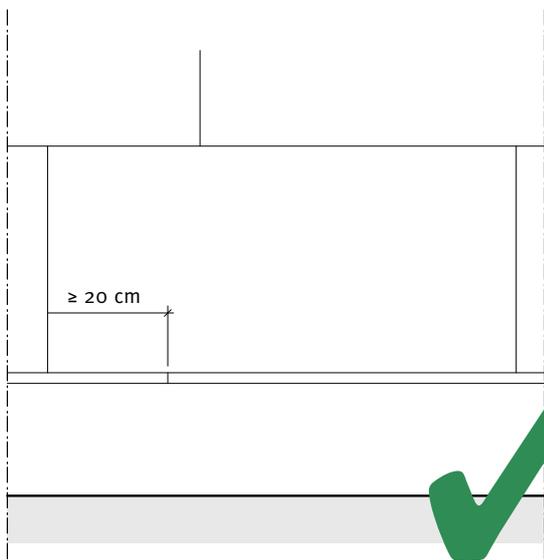


Fig. 105 Absence de joint entre panneaux à la jonction de profilés de socle.

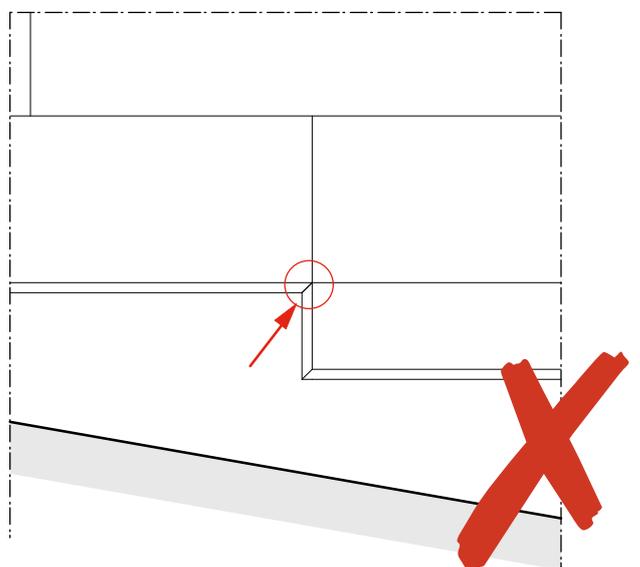
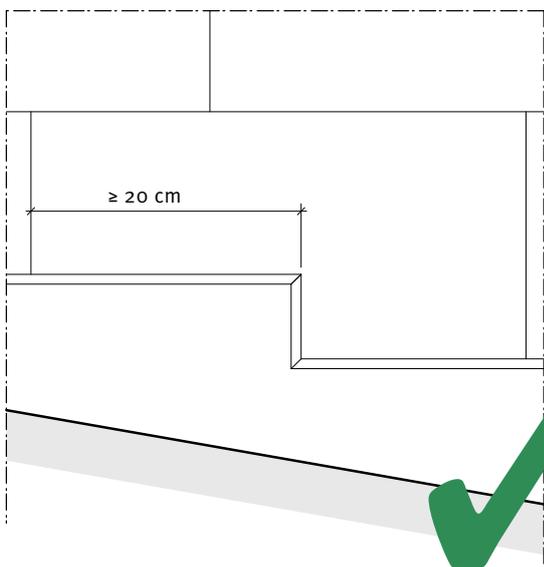


Fig. 106 Placement d'un panneau en une seule pièce à la jonction de profilés au droit d'une 'marche' d'un pied de mur en escalier.



Fig.107 Découpe adaptée préalable à la pose du panneau dans un angle de baie.



Fig. 108 Pose d'une bande d'étanchéité comprimée sur le pourtour des seuils (maquette de démonstration; châssis et son rejet d'eau non représentés).



Fig. 109 Pose d'un panneau prédécoupé en une seule pièce dans un angle de baie.



Fig. 110 Pose d'une bande d'étanchéité comprimée (fond de joint) à la jonction entre le panneau isolant et le dormant du châssis.



Fig. 111 Pose d'une bande comprimée (fond de joint) à la jonction entre le panneau isolant et le percement de l'ETICS.



Fig. 112 Pose de l'isolant contre la bande d'étanchéité de manière à la comprimer.

### 6.6.2.2 Pose par collage

#### 6.6.2.2.1 Recommandations générales

Il importe de respecter les consignes générales de mise en œuvre de la colle, en particulier :

- les caractéristiques et la préparation du support (traitement préliminaire) (voir chapitre 4, p. 43, § 6.5.1, p. 78, et § 6.6.2.5, p. 92)
- la date de péremption
- le stockage dans un endroit sec et à l'abri du gel
- les conditions climatiques lors de la mise en œuvre
- l'homogénéisation des produits prêts à l'emploi
- le respect des dosages
- le respect des temps de mélange et de maturation (temps de repos) et la durée pratique d'utilisation
- l'encollage sur au moins 40 % de la surface, avec une bande de colle sur le pourtour de la surface de pose de l'isolant
- le temps ouvert.

Une fois la colle appliquée à la surface du panneau, ce dernier est aussitôt pressé fermement contre le support de manière à assurer le bon transfert de la colle. On veillera à écraser correctement les sillons, plots ou bandes de colle lors de la pose sur le support et à vérifier la surface effective d'encollage.

Lorsque plusieurs panneaux adjacents sont posés, ils sont battus avant la prise de la colle au moyen d'une longue règle plane afin de les positionner dans un même plan et d'éviter les désaffleurements entre panneaux (voir figure 2, p. 7). Il ne peut y avoir de mortier de collage dans les joints entre les panneaux isolants, et ce, y compris dans les zones de harpage.

Si nécessaire, des fixations mécaniques peuvent être ajoutées de façon à assurer la fixation définitive des panneaux.

#### 6.6.2.2.2 Recommandations en fonction du type de colle

Les recommandations spécifiques à chaque type de colle sont exposées ci-après.

##### ■ Mortiers-colles

La poudre est ajoutée au liquide dans les proportions préconisées et l'ensemble est ensuite mélangé au moyen d'un mixeur adapté. Il convient de respecter l'éventuel temps de maturation indiqué par le fabricant avant de remélanger le tout au moyen d'une truelle et de disposer le mortier-colle au dos du panneau.

Le dosage est primordial (quantité d'eau de gâchage, par exemple), car il détermine les caractéristiques du produit de pose. À cet égard, il est capital de suivre à la lettre les instructions du fabricant concernant la préparation du mélange et son utilisation (dosages, temps de malaxage, temps de repos, temps ouvert, durée pratique d'utilisation, etc.).

Deux techniques d'application peuvent être envisagées en fonction notamment des écarts géométriques du support : le collage en plein et le collage partiel par bandes ou par plots (avec une bande continue sur le pourtour des panneaux). La première technique consiste à appliquer d'abord la colle sur le panneau d'isolation en une couche continue par pressage à l'aide d'une spatule lisse. La colle est ensuite immédiatement peignée à l'aide d'une spatule dentelée (15 × 15 mm de crantage en général; selon les recommandations du fabricant) inclinée entre 45 et 60°, moyennant l'ajout de mortier-colle posé à la truelle, dans le but d'obtenir des sillons d'épaisseur régulière et adaptée. La seconde technique consiste à appliquer une bande continue à la truelle sur le pourtour de l'isolant et à répartir, dans le rectangle délimité, la colle par bandes (minimum deux, soit situées au tiers de la longueur du panneau, soit en forme de W) ou par plots (minimum trois).

Une fois le mortier-colle appliqué et avant que le temps ouvert ne soit écoulé, le panneau isolant est pressé fermement contre le support et son positionnement est ajusté afin d'obtenir une surface plane et de limiter les désaffleurements entre panneaux. Les temps de prise et de séchage sont de l'ordre de 2 à 5 jours en fonction des matériaux encollés (support et panneaux d'isolation), de l'épaisseur de colle mise en œuvre et des conditions climatiques.

■ Mousses-colles polyuréthane

L'application au pistolet permet de régler le débit et ainsi d'obtenir un diamètre de cordon déterminé (30 mm, par exemple). La technique utilisée est le collage par bandes. Le cordon est appliqué de manière continue sur le pourtour du panneau (à environ 30 mm des bords) et le rectangle ainsi délimité est ensuite rempli de cordons en zigzag de manière à avoir une surface d'encollage d'au moins 40 % de la surface (voir figures 113 et 114). Une fois les cordons déposés sur le dos du panneau, on observera un bref délai d'attente (de l'ordre d'une minute) tout en respectant le temps ouvert de la colle (environ 7 à 8 minutes maximum pour éviter la formation d'une peau).

Le panneau est pressé avec force contre le support durant minimum 30 à 60 secondes, afin d'écraser et de répartir la mousse-colle, qui doit alors couvrir au moins 40 % de la surface. L'épaisseur d'encollage ne peut dépasser environ 10 mm. On tiendra compte d'un délai de repos minimal d'une à deux heures avant de travailler le panneau (ponçage, par exemple). Les délais mentionnés peuvent varier en fonction des conditions climatiques (plus courts par temps chaud et/ou humide et plus longs par temps froid et/ou peu humide).

■ Adhésifs en dispersion

Ces colles sont prêtes à l'emploi, mais nécessitent une homogénéisation avant usage. Elles sont appliquées à l'aide d'une spatule dentelée ou crantée (généralement 4 × 4 à 8 × 8 mm de crantage, selon la rugosité du support) sur toute la surface du panneau d'isolation (technique du collage en plein). Le temps ouvert étant relativement restreint, le panneau doit être encollé sur le support directement après l'application de la colle. Le temps de séchage est de l'ordre de 2 à 3 jours en fonction des matériaux encollés (support et panneaux d'isolation), de l'épaisseur de colle mise en œuvre et des conditions climatiques.

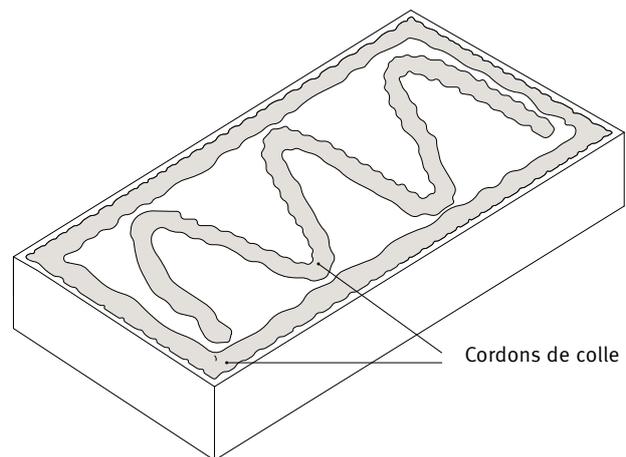


Fig. 113 Application d'une mousse-colle polyuréthane sur un panneau isolant.



Fig. 114 Application au pistolet d'une mousse-colle polyuréthane sur un panneau isolant.

### 6.6.2.2.3 Surface minimale d'encollage

La surface d'encollage effective doit atteindre au moins 40 %. Par 'effective', on entend la surface collée après le pressage du panneau contre le support et l'étalement de la colle sur les deux faces encollées. En pratique, la surface d'encollage effective peut être vérifiée en décollant un panneau qui vient d'être posé et en examinant les deux faces encollées.

On veillera en outre à ce que les bords de la surface de pose des panneaux soient totalement encollés afin de limiter les déformations. Si la colle n'est pas prévue pour cet usage, les chants des panneaux d'isolation ne pourront pas être encollés, sous peine de créer des ponts thermiques. C'est pourquoi les mortiers de collage sont appliqués à une certaine distance du bord des panneaux (20 mm en général).

La fixation uniquement par encollage ne convient pas aux matériaux d'isolation présentant une résistance à la traction inférieure à 0,08 N/mm<sup>2</sup> (< 80 kPa, comme la laine minérale en panneau, par exemple). Dans ce cas, il est indispensable de recourir à la fixation mécanique par chevillage.

### 6.6.2.2.4 Synthèse des techniques d'encollage

Le tableau 19 (p. 89) synthétise les différentes techniques d'encollage. Pour de plus amples informations concernant l'applicabilité des techniques en fonction des écarts dimensionnels du support, nous renvoyons le lecteur au § 4.4 (p. 48).

## 6.6.2.3 Système de fixation 'calé-chevillé'

La pose des fixations sera réalisée conformément aux prescriptions du fabricant.

### 6.6.2.3.1 Choix des fixations

Le type (à frapper ou à visser) et les caractéristiques des fixations à rosace (longueur de la cheville, diamètre de la rosace, etc.) ainsi que le procédé de pose (montage à fleur ou au cœur de l'isolant ou par-dessus l'armature) sont choisis en fonction des prescriptions du fabricant, des données du chantier et du dimensionnement au vent (effectué par le concepteur). Les critères de choix (voir § 2.4.2, p. 20) sont la nature et la morphologie du support, l'épaisseur et la nature de l'isolation, le positionnement des fixations par rapport au panneau, les sollicitations au vent et le type de finition. En cas de doute quant à la résistance du support, notamment dans certaines rénovations ou lorsque le type de support est méconnu ou diffère de celui utilisé en laboratoire pour l'évaluation des fixations (nature et/ou géométrie), on s'informera auprès du fabricant. Il peut s'avérer nécessaire de vérifier la résistance des fixations sur site (voir annexe D de l'ETAG 014 [E4]). Notons que les couches inter-

médiaires (enduit ou couches d'égalisation) ne sont pas considérées comme faisant partie du support.

### 6.6.2.3.2 Limitation des ponts thermiques

Il importe de limiter les ponts thermiques en vue non seulement de diminuer les déperditions thermiques, mais également de réduire le risque d'apparition de la trame des fixations (différence d'aspect au droit des fixations due aux processus d'humidification et de séchage différents à certains endroits du système). Le procédé de pose au cœur, qui consiste à incorporer complètement la rosace dans la couche d'isolation (minimum 80 mm d'épaisseur), offre une solution en matière (voir § 2.4.2.3, p. 22). Dans ce cas, des rondelles isolantes (EPS ou MW, par exemple) de même diamètre que la rosace doivent être utilisées afin d'isoler la fixation.

### 6.6.2.3.3 Nombre de fixations

Le nombre de fixations dépend de l'action du vent, de la résistance au vent du système (type d'isolant, support, fixations) et du positionnement des fixations (en surface ou sur les joints entre panneaux). Nous renvoyons le lecteur au § 3.4 (p. 36) pour de plus amples informations concernant le principe de dimensionnement.

Les fixations à rosace placées à la jonction entre les panneaux offrent une résistance au déboutonnage moindre par rapport à celles placées à la surface du panneau. Pour les panneaux de forme rectangulaire (en général de 0,5 m<sup>2</sup> de surface), le nombre minimal de fixations sera de deux par panneau, soit minimum quatre fixations par mètre carré (panneaux de 50 × 100 cm ou de 62,5 × 80 cm), de manière à répartir les fixations sur la surface.

Notons que si les fixations servent uniquement au maintien de l'isolant durant la prise de la colle, un nombre minimal d'une fixation par panneau est conseillé. Ces fixations complémentaires ne sont pas prises en compte dans l'évaluation de la résistance à l'action du vent.

### 6.6.2.3.4 Plan de pose

Lorsque l'on opte pour la technique de pose au moyen de fixations mécaniques munies de rosaces, il est nécessaire d'établir, avant le début du chantier, un plan de pose en tenant compte du dimensionnement au vent. Les fixations seront réparties de manière uniforme sur la surface. L'Annexe D (p. 141) reprend différents plans de pose envisageables.

Il y a lieu de distinguer les fixations placées dans les joints entre panneaux et celles disposées sur la surface du panneau. Dans ce dernier cas, les fixations situées sur le pourtour du panneau se trouveront à une distance minimale 'a' (voir figure 115, p. 89) du bord des panneaux prescrite par le fabricant du système (en général 100 mm).

Tableau 19 Synthèse des techniques d'encollage.

Technique	Collage en plein	Collage partiel	
		Collage par plots	Collage par bandes
Description	Le produit de collage est appliqué sur toute la surface du panneau isolant au moyen d'une spatule dentelée adaptée (en général, 15 × 15 mm de crantage pour les mortiers-colles et 4 × 4 à 8 × 8 mm pour les adhésifs en dispersion).	Le mortier de collage est appliqué sous forme d'une bande continue sur le pourtour du panneau isolant et en un certain nombre de plots répartis sur la surface du panneau.	Le produit de collage est appliqué sous forme de bandes continues sur le pourtour du panneau isolant et de bandes réparties sur la surface intérieure (deux bandes appliquées chacune à un tiers de la longueur du panneau isolant ou en forme de W, par exemple).
Illustration			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Panneau isolant</li> <li>2. Colle</li> <li>3. Spatule dentelée</li> <li>4. Bande de colle périphérique</li> <li>5. Plots de colle</li> <li>6. Bandes de colle</li> </ul>		

Le plan de pose adapté au type de fixation est établi sur la base des données précitées et doit être suivi (voir § 2.4.2.4, p. 22). Le positionnement des chevilles à rosace doit coïncider avec celui des plots ou des bandes de colle. Il convient de respecter les distances minimales entre les fixations, mais aussi entre les fixations et les bords du panneau.

En cas de pose à fleur de l'isolant, qu'il s'agisse d'une cheville à frapper ou à visser, on veillera à ce que la fixation ne soit pas trop enfoncée, mais néanmoins suffisamment pour que la face extérieure de la rosace se trouve à fleur de la face extérieure de l'isolant. Le respect de cette recommandation permet aux rosaces d'assurer leur rôle mécanique et contri-

### 6.6.2.3.5 Pose des fixations

La pose des fixations débute après la prise de la colle (à moins que la fixation ne serve à maintenir le panneau durant la prise de la colle; voir § 6.6.2.2, p. 86). Le diamètre et la profondeur de forage doivent être conformes aux recommandations du fabricant. Sauf indication contraire explicite, le forage par percussion est en principe exclu dans les maçonneries et le béton cellulaire, car il tend à affaiblir le support et donc la résistance à la traction de la fixation. Si l'on opte pour cette technique, une cheville adéquate devra être disposée dans l'orifice.

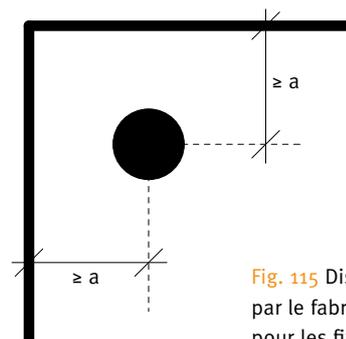


Fig. 115 Distance minimale 'a' (prescrite par le fabricant du système) à respecter pour les fixations de surface.

bue à limiter les surépaisseurs ou les sous-épaisseurs de l'enduit de base. En évitant ces épaisseurs variables, on réduit les imperfections locales de planéité et ainsi le risque de fissuration ou d'apparition de la trame des fixations. Le travail peut être finalisé par la pose d'un bouchon isolant (voir figure 117 et figure 119, p. 91).

En cas de pose au cœur de l'isolant, la visseuse est munie d'un accessoire spécifique comportant une plaque de butée et un foret. L'utilisation de ce type d'outil permet de garantir que la rosace est disposée à la bonne profondeur dans l'isolant. Au cours du montage, le morceau d'isolant situé

sous la rosace est carotté, puis comprimé lors du vissage de la fixation (et non éliminé). Pour terminer, on insère un disque d'isolant dans l'évidement réalisé, afin de recouvrir la rosace (voir figure 116 et figure 118, p. 91).

Les procédés de pose des chevilles à rosace au cœur et à fleur de l'isolant sont illustrés aux figures 116 à 119 (p. 90 à 91).

Ces recommandations valent également pour la pose des fixations par-dessus l'armature, à la différence que celle-ci s'applique lorsque l'armature est marouflée dans la première passe de l'enduit de base encore frais.



Fig. 116 Pose d'une fixation au cœur de l'isolant.

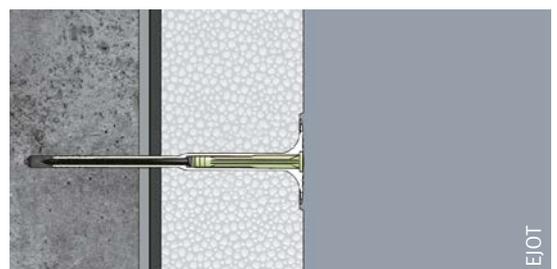
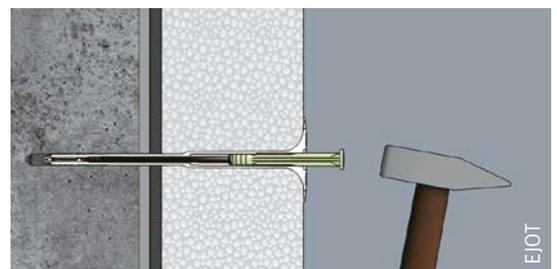
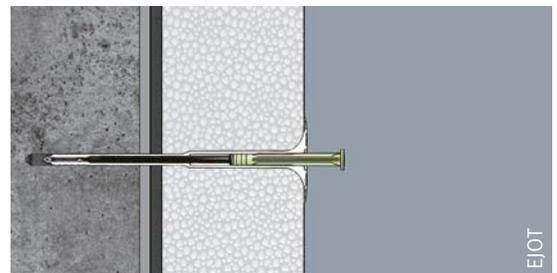
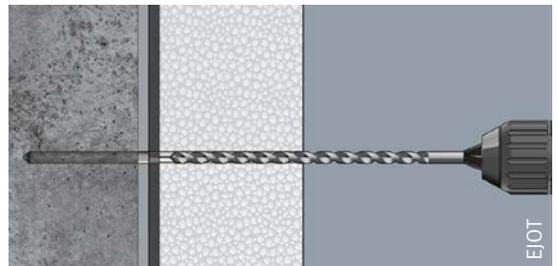


Fig. 117 Pose d'une cheville à rosace à frapper (clou en acier à percuteur synthétique) à fleur de l'isolant.

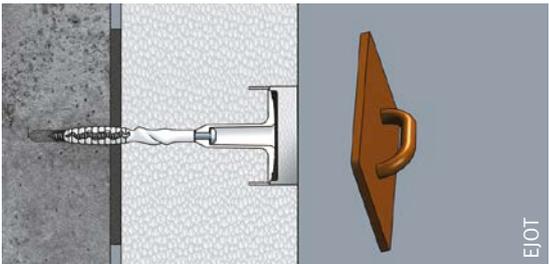
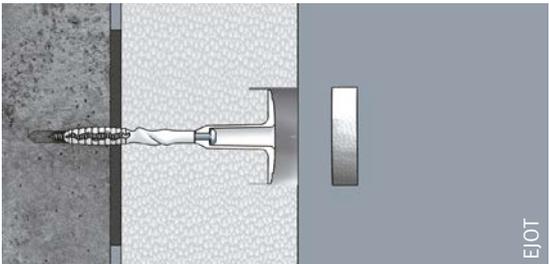
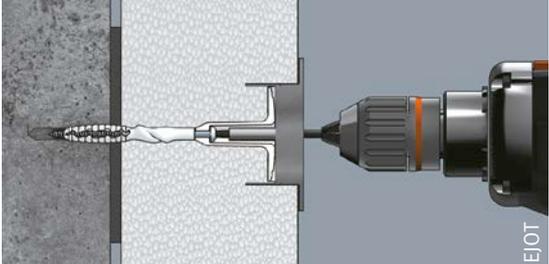
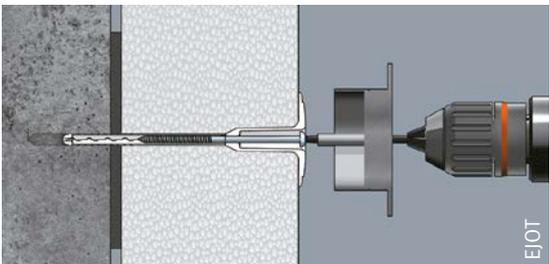
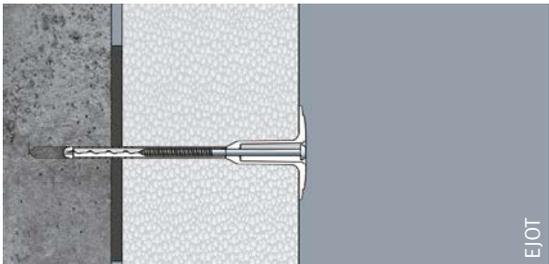
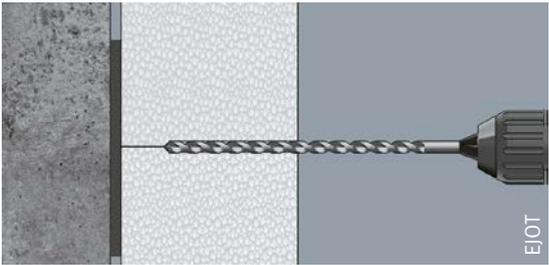


Fig. 118 Pose d'une cheville à rosace à visser au cœur de l'isolant (vis en acier).

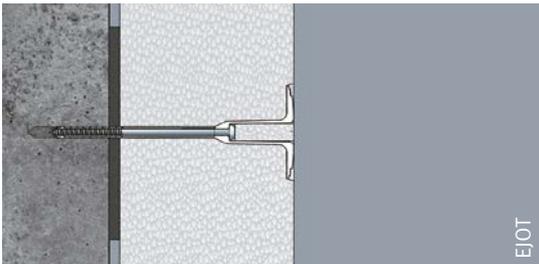
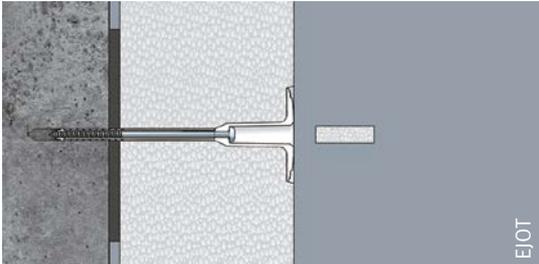
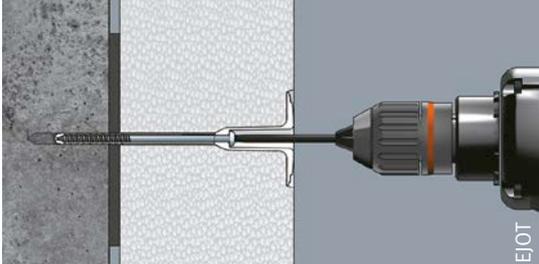
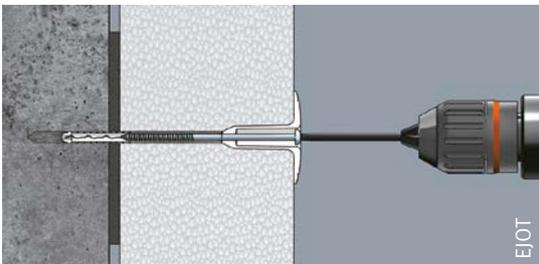
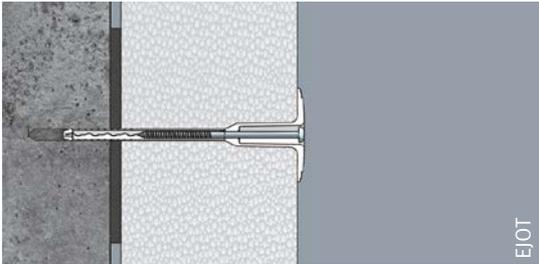
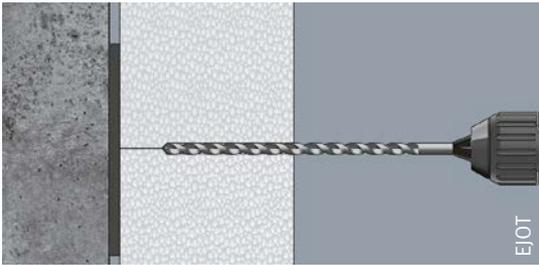


Fig. 119 Pose d'une cheville à rosace à visser à fleur de l'isolant (vis en acier).

#### 6.6.2.4 Pose au moyen de rails

La pose est réalisée selon les indications du fabricant et à l'aide des éléments suivants : profilés de départ et profilés intermédiaires (rails horizontaux), profilés raidisseurs ou profilés de maintien, chevilles adéquates et panneaux d'isolation rainurés destinés à cet usage.

Le type (à frapper ou à visser) et les caractéristiques des chevilles (longueur, entre autres) sont choisis en fonction des prescriptions du fabricant, des données du chantier et du dimensionnement au vent (effectué par le concepteur). Les critères de choix (voir § 2.4.2, p. 20) sont la nature et la morphologie du support ainsi que les sollicitations au vent. En cas de doute quant à la résistance du support, notamment dans certaines rénovations ou lorsque le type de support est méconnu, on s'informerait auprès du fabricant. Des essais de traction peuvent en outre être réalisés (voir annexe D de l'ETAG 014 [E4]). Un plan de pose adapté est établi sur la base des données précitées et devra être suivi.

Les rails horizontaux (y compris le profilé de départ) sont fixés au support au moyen de chevilles du type prescrit (à frapper ou à visser) généralement disposées tous les 30 cm. Le diamètre et la profondeur du forage doivent être conformes aux recommandations du fabricant. Rappelons que les couches intermédiaires (enduit ou couches d'égalisation) ne sont pas considérées comme faisant partie du support. Sauf mention contraire explicite, le forage par percussion est exclu dans les maçonneries et le béton cellulaire, car il tend à affaiblir le support et donc la résistance à la traction de la fixation. Si l'on opte pour cette technique, une cheville adéquate devra être disposée dans l'orifice à travers l'âme du profilé.

On pose le panneau d'isolation rainuré à joints décalés sur le rail inférieur préalablement chevillé en veillant à disposer le détalonnage des faces du panneau – destiné à compenser l'épaisseur du profilé – du côté du support. Les profilés raidisseurs ou les profilés de maintien sont ensuite insérés dans les rainures des bords latéraux verticaux du panneau d'isolation. On répète cette opération tout le long de la rangée horizontale. Lorsqu'une rangée de panneaux est complète, on enfonce le rail supérieur dans les rainures du bord supérieur des panneaux d'isolation et on le cheville.

La pose peut être complétée par des fixations à rosace (au centre du panneau pour améliorer la résistance au vent, par exemple) et par un encollage (colmatage de l'espace entre l'ETICS et le support sur le pourtour du système afin d'éviter les infiltrations d'air néfastes pour le comportement thermique et le comportement sous l'action du vent, réglage de la planéité du support en cas d'utilisation de fixations à rosace, calage).

La figure 120 illustre les étapes de la pose d'un rail ou d'un profilé au moyen d'une cheville à visser (vis prémontée).

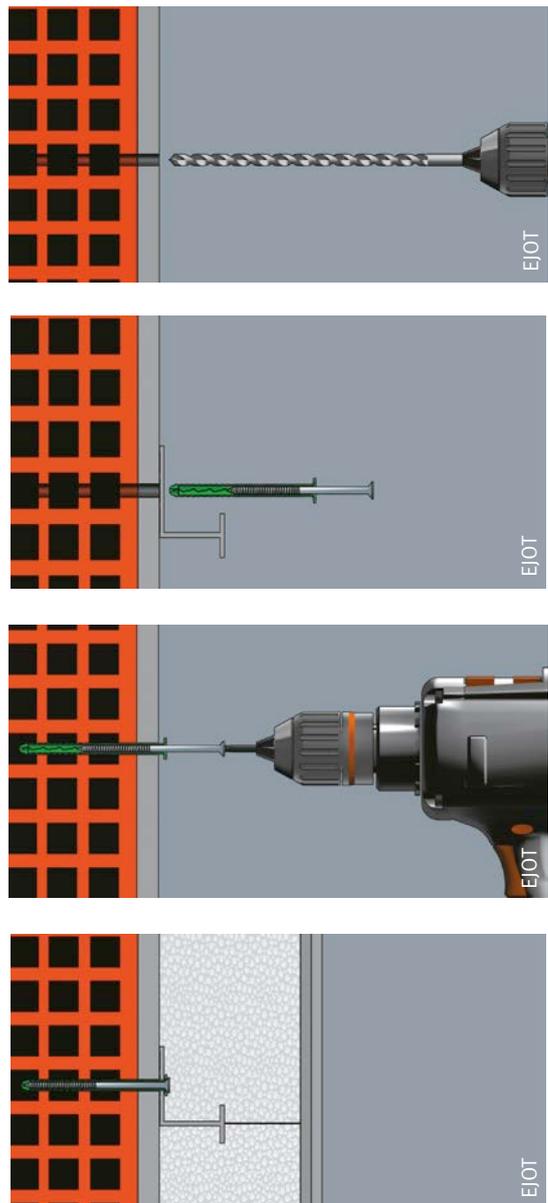


Fig. 120 Pose d'un rail ou d'un profilé au moyen d'une cheville à visser (vis prémontée).

#### 6.6.2.5 Synthèse des modes de fixation de l'isolant au support

Le tableau 20 (p. 93) synthétise les points essentiels exposés dans les paragraphes précédents quant au choix d'un système de fixation. Pour de plus amples informations à ce sujet, on se référera à l'agrément du système (ATG, ATE) et aux prescriptions du fabricant.

Tableau 20 Récapitulatif des points essentiels concernant le choix d'un système de fixation.

Mode de fixation	MODE 1 Collage ≥ 40 % de la surface (+ fixations mécaniques éventuelles)	MODE 2 Mécanique au moyen de fixations pourvues d'une rosace + encollage (≥ 40 % de la surface) (aussi appelé 'calé-chevillé')	MODE 3 Mécanique au moyen de rails en PVC (chevillés dans le support) et de renforts latéraux	MODE 4 Mécanique directement à l'ossature
Isolant concerné	EPS, MW type <i>lamella</i> , CG, XPS, PU, ICB (si caractéristiques mécaniques suffisantes)	Tous les types	EPS rainuré, MW rainuré	Panneaux d'isolation présentant un comportement en flexion adapté (résistance et rigidité flexionnelle)
Résistance au vent	Pas de limite théorique (si le support est adapté)	Dimensionnement au vent en fonction des fixations, du support, de l'isolant, de la hauteur du bâtiment, etc.		
Complément de fixation	Fixations à rosace pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>• maintien éventuel durant la prise de la colle <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup></li> <li>• surfaces courbes (selon la courbure) <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup></li> </ul>	Encollage complémentaire systématique : <ul style="list-style-type: none"> <li>• bandes sur le pourtour du panneau pour limiter le déplacement du système dans le plan et les déformations hygrothermiques</li> <li>• plots ou bandes de colle pour régler la planéité du support et la reprise du poids propre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inserts pour régler la planéité du support</li> <li>• Chevilles (+ plots de colle) pour augmenter la résistance au vent</li> <li>• Collage sur le pourtour de la façade</li> </ul>	–
Planéité du support	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adhésif en dispersion : support plan</li> <li>• Mousse-colle PU ou collage en plein à l'aide de mortier-colle : ≤ 8 mm/2 m et désaffleurement ≤ 5 mm</li> <li>• Collage partiel à l'aide de mortier colle : ≤ 15 mm/2 m et désaffleurement ≤ 10 mm</li> </ul>	≤ 15 mm/2 m et désaffleurement ≤ 10 mm	≤ 8 mm/2 m et désaffleurement ≤ 5 mm	–
Préparation du support	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Décapage des peintures existantes empêchant l'encollage <sup>(3)</sup></li> <li>• Élimination des résidus de produit de décoffrage pour béton coulé <sup>(3)</sup></li> <li>• Brossage à sec des efflorescences <sup>(3)</sup></li> <li>• Couche d'imprégnation préalable selon le support <sup>(3)</sup></li> </ul>	Pas de préparation particulière nécessaire (permet la pose sur un support moins favorable). Il convient de s'assurer que le support (nature et morphologie) est couvert par le domaine d'application de la fixation <sup>(2)</sup> <sup>(4)</sup> .		
Conditions climatiques lors de la mise en œuvre	Limitations en fonction de la colle et de son domaine d'application	Pas de limitation		

<sup>(1)</sup> Si le support est inadéquat ou douteux, on ne considère plus le mode de fixation par collage et on se réfère aux exigences des fixations mécaniques (modes 2 ou 3).

<sup>(2)</sup> Voir aussi les recommandations du fabricant.

<sup>(3)</sup> En cas de doute, on vérifiera la cohésion du support et/ou l'adhérence de la colle au support.

<sup>(4)</sup> En cas de doute, on vérifiera la résistance à la traction des fixations hors du support.

### 6.6.2.6 Finition de l'isolant avant application de l'enduit

Comme mentionné précédemment, le raccord entre les panneaux d'isolation doit être le plus ajusté possible. Lorsqu'il n'a pas été possible de les disposer bien jointivement, les éventuels joints ouverts doivent être remplis conformément aux prescriptions du fabricant, afin d'éviter les ponts thermiques et la formation de fissures. Pour ce faire, on utilisera de préférence le même matériau que celui des panneaux ou de la mousse PU (voir figure 121).

Enfin, lorsque le matériau isolant le permet, les éventuelles inégalités de l'isolant sont rabotées par ponçage en vue d'assurer la planéité du support avant l'application de l'enduit (voir figure 122). Les désaffleurements entre panneaux doivent être évités et ne peuvent en aucun cas être supérieurs à l'écart mentionné au § 7.1 (p. 103) (soit  $\frac{1}{5}$  de l'épaisseur de l'enduit de base). Notons que certains types de panneaux d'isolation (EPS moulé, par exemple) nécessitent un ponçage systématique de toute la surface, afin d'éliminer la peau qui altère l'adhérence de l'enduit de base (voir recommandations du fabricant).

## 6.7 MISE EN ŒUVRE DE L'ENDUIT

### 6.7.1 INTRODUCTION

Lorsque le support (isolant) est prêt et que les conditions climatiques le permettent, on peut entamer la mise en œuvre du système d'enduit. Après la pose de l'isolant, un temps d'attente minimum de respectivement 48 heures pour les mortiers-colles et les adhésifs en dispersion, et de quelques heures pour les mousses-colles PU doit être observé. On veillera néanmoins à ce que le délai ne soit pas trop long, afin de limiter le risque d'humidification de l'isolant et du support.

Il est primordial de suivre les consignes de mise en œuvre des enduits, à savoir :

- date de péremption
- stockage dans un endroit sec et à l'abri du gel
- conditions climatiques lors de la mise en œuvre (voir § 6.4, p. 78) en fonction de la nature de l'enduit (voir tableau 2, p. 13)
- dosages
- homogénéisation des produits prêts à l'emploi
- temps de mélange et de maturation (temps de repos) et durée d'utilisation
- traitement préliminaire éventuel (voir ATG ou consulter le fabricant)
- choix des profilés (voir § 2.5, p. 26).

Lorsque l'ETICS est fixé directement à une ossature en bois (sans panneaux supports) dont l'isolation consiste en un matériau insufflé sous pression entre l'isolant de l'ETICS et le panneau intérieur, l'enduit ne pourra être mis en œuvre qu'après insufflation si l'isolant de l'ETICS présente une résistance mécanique faible et une forte perméabilité à l'air



Fig. 121 Remplissage des joints entre panneaux au moyen d'une mousse PU expansible adaptée.



Fig. 122 Ponçage de la surface d'isolation (panneaux en EPS).

(isolant à base de fibres de bois, par exemple). L'isolant de l'ETICS sera dès lors soumis à un risque élevé d'humidification en raison des intempéries, ce qui peut engendrer une diminution des caractéristiques mécaniques et un risque d'attaque biologique. Des mesures de protection doivent par conséquent être prises.

### 6.7.2 SYNTHÈSE DES ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre de l'enduit se déroule en plusieurs étapes, qui sont décrites plus en détail aux paragraphes suivants et qui peuvent être résumées comme suit :

- **pose des profilés et des armatures de renfort.** Cette étape concerne leur mise à dimensions et leur pose sur l'isolant, en ce compris la préparation du produit de collage ou de pose (enduit de base)

- **application de l'enduit de base armé.** Elle consiste en la préparation et en la mise en œuvre de l'enduit de base dans lequel est incorporé le treillis d'armature général
- **application de la finition.** Cette étape comprend le ponçage et l'humidification de l'enduit de base durci (si nécessaire), l'application d'une couche d'apprêt (dans certains cas), la préparation et la mise en œuvre de l'enduit de finition (et des accessoires du système si ce dernier prévoit les profilés d'angle incorporés dans la finition, par exemple) et les éventuels traitements ultérieurs (peinture, par exemple).

Il importe de respecter les temps d'attente prescrits par le fabricant, et ce, à toutes les étapes de la mise en œuvre.

L'utilisation d'un joint souple adapté est parfois préconisée, mais elle sort du cadre normal des travaux du façadier, sauf spécification contraire dans les documents contractuels (poste spécifique et coûts supplémentaires à prévoir).

### 6.7.3 POSE DES PROFILÉS ET DES ARMATURES DE RENFORT

#### 6.7.3.1 Principes généraux

Cette étape concerne la mise à dimensions des profilés et des armatures de renfort et leur pose sur l'isolant, en ce compris la préparation préalable du produit de pose (enduit de base). Une bonne préparation permet de réduire autant que possible le temps de pose et ainsi de ne pas dépasser la durée d'utilisation du mélange.

Une fois ces accessoires mis à dimensions, on peut procéder à la préparation du produit de collage (enduit de base) et à la pose. En général, on commence par la pose des profilés et on passe ensuite aux armatures de renfort. D'une manière générale, le principe de pose illustré dans les paragraphes suivants est similaire pour tous les accessoires.

Dans un premier temps, l'enduit est taloché directement sur l'isolant dans une quantité qui dépend de l'épaisseur finale prescrite pour l'enduit de base. L'accessoire est ensuite scellé (marouflé) fermement. Enfin, on effectue un talochage afin d'uniformiser la couche de collage qui doit recouvrir l'accessoire et d'éliminer l'excédent d'enduit.

La pose des accessoires au droit des baies et le traitement de leur jonction sont illustrés aux figures 123 à 131 (p. 95 à 98).

##### 6.7.3.1.1 Profilés

Parmi les accessoires, on trouve les profilés de départ, les profilés d'angle (baies et angles du bâtiment, par exemple), les profilés d'arrêt et les profilés de jonction avec d'autres matériaux de l'ouvrage (jonction avec les châssis, par exemple) ainsi que les profilés pour joints de mouvement (voir § 2.5, p. 26). Lorsqu'on juxtapose deux profilés, il convient

de veiller à ne pas les positionner l'un contre l'autre, mais à une distance de l'ordre de 2 à 3 mm, afin de ne pas contraindre le mouvement à leurs extrémités. On évitera aussi l'emploi de petits morceaux. Les profilés doivent être encollés sur toute leur longueur au moyen d'une quantité suffisante de produit de pose taloché.

Lorsqu'on pose des profilés pour joints de mouvement, le joint entre les panneaux d'isolation doit être rempli préalablement au moyen d'un matériau adéquat. Les principes de pose généraux sont également valables pour la mise en œuvre de l'enduit de finition dans certains cas particuliers où les profilés d'angle ne sont pas incorporés dans la couche de base, mais dans l'enduit de finition, conformément aux prescriptions des fabricants (enduits de finition minéraux épais).

Notons que les profilés d'arrêt ou de raccord servant à protéger les ouvrages peuvent être posés sur les châssis au moment de la pose de l'isolation. Ils seront incorporés dans une couche d'encollage selon les principes exposés ci-avant.

##### 6.7.3.1.2 Armatures de renfort

Afin d'obtenir une meilleure résistance mécanique aux sollicitations hygrothermiques, il y a lieu de prévoir une bande d'armature supplémentaire dans les zones les plus sujettes à la fissuration. Ces armatures de renfort sont placées dans les zones de concentration de contraintes telles que les angles de baies, les jonctions entre profilés ou/et les traversées de l'ETICS (évacuations des eaux pluviales, par exemple).

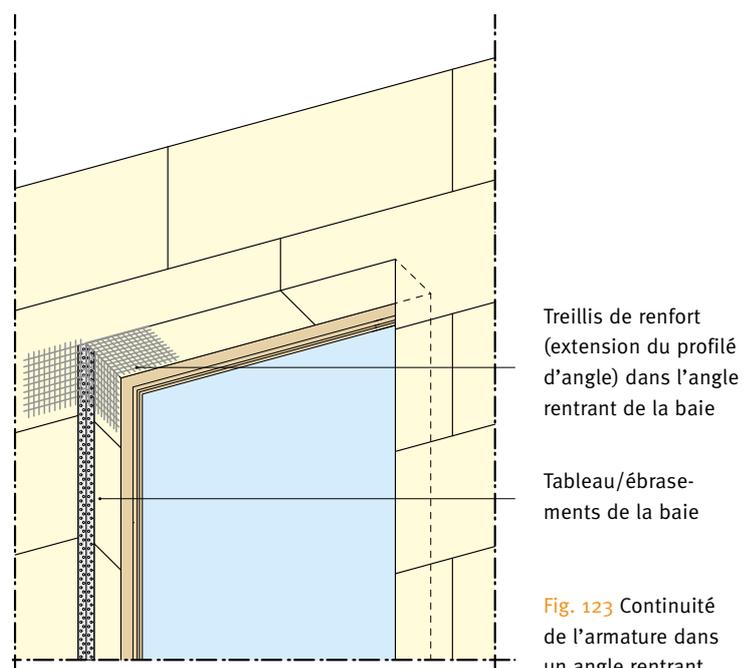


Fig. 123 Continuité de l'armature dans un angle rentrant.

### 6.7.3.2 Baies

Les angles sortants de la baie sont pourvus d'un profilé d'angle. Dans de rares cas, le profilé protégeant l'arête horizontale supérieure est pourvu d'un casse-goutte en vue de protéger l'enduit (arête et embrasure) et les éléments à l'aplomb de celui-ci contre le risque potentiel de stagnation de gouttes d'eau. Le choix de cette solution alternative est laissé à l'appréciation du donneur d'ordre (à préciser dans les documents contractuels).

Des profilés d'arrêt ou de raccord sont généralement posés à la jonction avec la menuiserie.

Lorsqu'on utilise des profilés munis d'armatures soudées, la continuité de l'armature au droit de l'angle sortant est automatiquement assurée (voir figure 124). Afin de garantir la continuité au droit des angles rentrants, on peut avoir recours à une armature de renfort complémentaire ou à une découpe adaptée de l'extrémité du profilé (voir figure 125, p. 95, ainsi que figures 125 et 126).

Des armatures de renfort sous forme de bandes d'environ  $300 \times 300$  mm sont en outre posées à  $45^\circ$  dans les angles de la baie et perpendiculairement à la diagonale de celle-ci (voir figures 127 et 128, p. 97).



Fig. 125 Pose d'un profilé avec une découpe de ce dernier et du treillis soudé permettant d'assurer la continuité de l'armature au droit de l'angle rentrant.

Ces opérations peuvent également être réalisées au moyen de treillis de renfort préformés (voir figure 6, p. 12).



Fig. 124 Pose d'un profilé d'angle.



Fig. 126 Pose d'une armature de renfort pour assurer la continuité de l'armature dans l'angle rentrant.



Fig. 127 Pose d'une bande d'armature de renfort dans l'angle d'une baie.

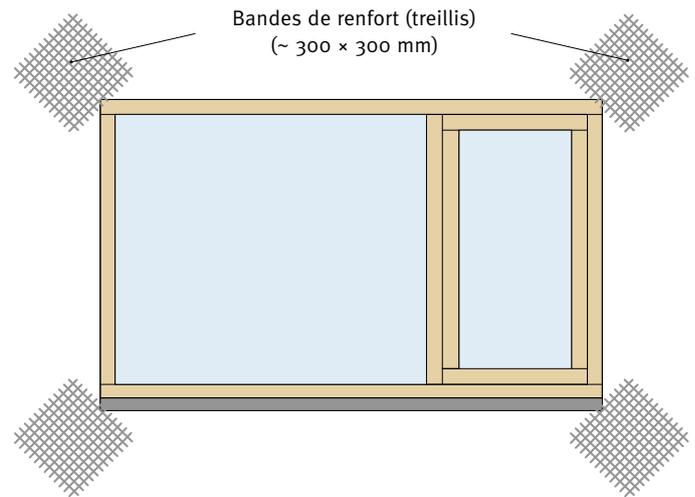


Fig. 128 Position des armatures de renfort supplémentaires dans les angles de baies.

### 6.7.3.3 Jonction entre profilés

Les discontinuités des profilés (profilés de départ, profilés d'angle, etc.) forment une zone dans laquelle des contraintes peuvent apparaître à la suite du mouvement relatif des profilés juxtaposés et de l'enduit. Les mesures décrites dans le présent paragraphe visent à limiter le risque d'apparition de fissures et surtout leur propagation, et dépendent du type de profilés prescrit par le fabricant (voir § 2.5, p. 26).

On privilégiera, si possible, l'usage d'un seul profilé (baies de dimensions inférieures à la longueur d'un profilé, par exemple) plutôt que la juxtaposition de chutes. Lorsqu'on joint deux profilés, il convient de veiller à ne pas les positionner l'un contre l'autre, mais à une distance de l'ordre de 2 à 3 mm, afin de ne pas contrarier leur mouvement aux extrémités. On emploiera des armatures de renfort ponctuel (aussi appelées mouchoirs), généralement de 300 x 300 mm, qu'on appliquera de façon à recouvrir les ailes des profilés juxtaposés (voir figure 129). Cette mesure concerne notamment les profilés de départ et les profilés d'angle dépourvus de treillis clipsé ou soudé.

Les profilés entoilés disposent d'une extrémité plus longue (treillis) qui favorise le recouvrement dans la zone de juxtaposition des profilés (voir figure 130, p. 98). Lorsque l'enduit de base est appliqué en couche très fine (environ 3 mm), il y a lieu de réaliser une découpe adaptée du second profilé, afin de permettre le chevauchement tout en évitant les surépaisseurs (voir figure 131, p. 98).

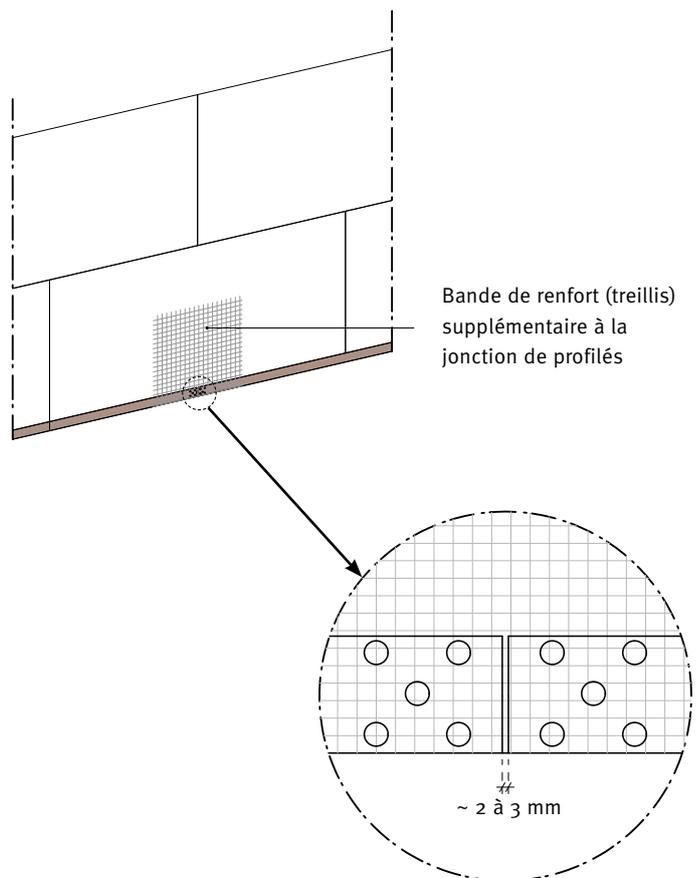


Fig. 129 Bandes de renfort d'environ 300 x 300 mm (mouchoirs) placées à la jonction entre des profilés dépourvus de treillis soudé.

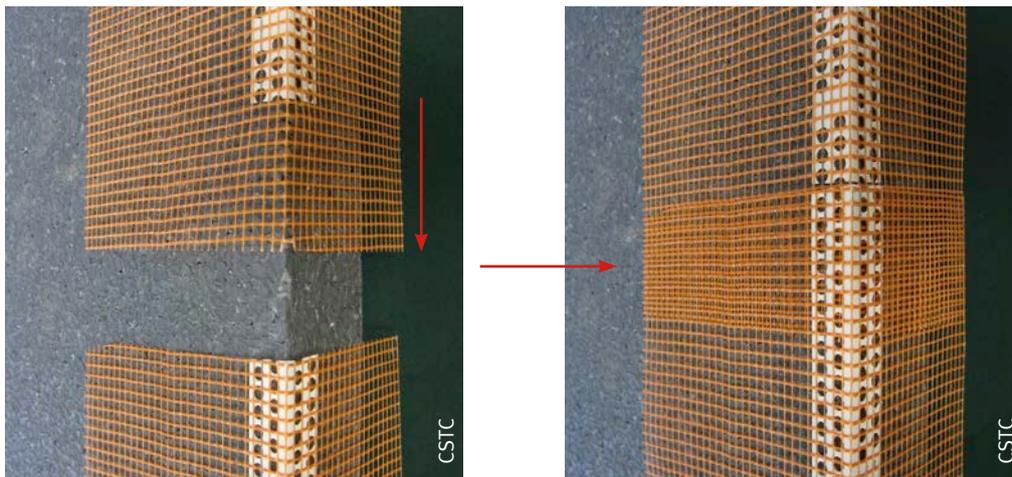


Fig. 130 Principe de découpe pour la jonction entre des profilés d'angle dont les ailes sont munies d'un treillis soudé.

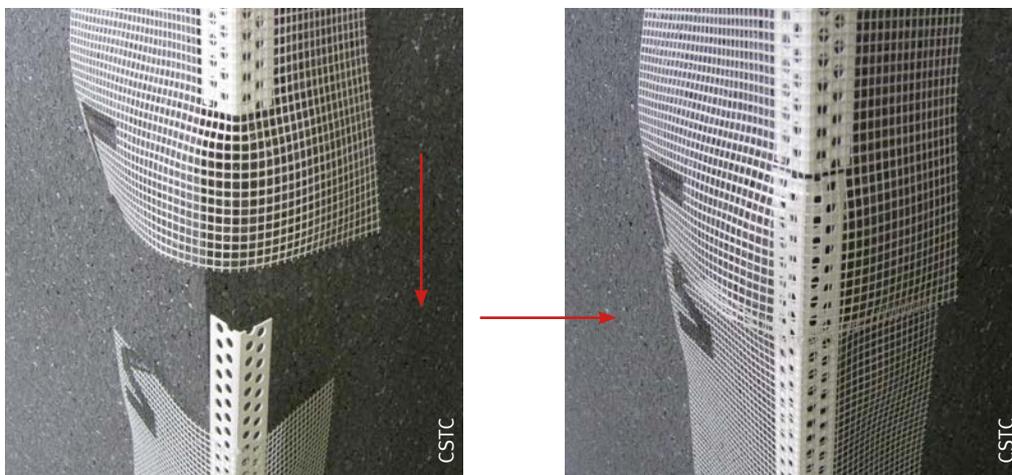


Fig. 131 Solution alternative pour la jonction entre profilés dans un enduit de base très mince.

## 6.7.4 APPLICATION DE L'ENDUIT DE BASE ARMÉ

### 6.7.4.1 Principes généraux

Une fois les accessoires posés, on peut passer à la préparation et à la mise en œuvre de l'enduit de base armé, aussi appelé 'couche de fond' ou 'couche de base'. Après la pose de l'isolant, il importe d'observer un délai minimal de respectivement 48 heures pour les mortiers-colles et les adhésifs en dispersion, et de quelques heures pour les mousses-colles PU avant la mise en place de l'enduit de fond et du treillis d'armature (en fonction des conditions hygrothermiques ambiantes). L'enduit peut être appliqué soit manuellement au moyen de plâtres ou de taloches inoxydables, soit par projection à la machine.

Cette étape de mise en œuvre comprend la découpe à dimensions des treillis d'armature, la préparation de l'enduit de base (selon les recommandations exposées au § 6.7.1, p. 94) et l'application sur l'isolant d'une première passe, en général peignée, dans laquelle est marouflé le treillis (seconde passe).

Afin d'améliorer la durabilité de l'enduit et de réduire le risque de fissuration, il est conseillé de noyer l'armature dans la moitié extérieure de l'épaisseur de la couche de fond, plus précisément aux alentours du milieu pour les enduits très minces et des deux tiers pour les enduits plus épais (voir tableau 21, p. 99).

Pour que l'armature se trouve à une distance suffisante de l'isolant et que l'épaisseur de la couche de base respecte les valeurs préconisées, il est primordial d'utiliser la bonne quantité de produit, et ce, quelle que soit la méthode d'application (au peigne, par projection, etc.).

Dans le cas d'une mise en œuvre manuelle au moyen d'un peigne, méthode la plus courante, la quantité appliquée dépend des dimensions des dents de la taloche utilisée et de son inclinaison par rapport au plan de la surface. C'est pourquoi il y a lieu d'employer le peigne préconisé par le fabricant du système et d'appliquer le produit en inclinant la taloche entre 45 et 60° par rapport à la surface de l'isolant. Dans un premier temps, le produit est taloché (à l'aide d'une

Tableau 21 Position de l'armature et autres recommandations.

Illustrations			
Recommandations	<p>L'armature doit être incorporée complètement dans le mortier et être placée dans la moitié extérieure de l'épaisseur de la couche de base.</p>	<p>Les désaffleurements entre panneaux isolants doivent être évités.</p>	<p>S'il subsiste des joints ouverts entre panneaux isolants (à éviter), on procède au remplissage de préférence à l'aide de morceaux d'isolant (<math>&gt; 5</math> mm) ou de mousse PU (<math>\leq 5</math> mm) (en aucun cas avec l'enduit de base).</p>

taloche à bords droits) sur toute la surface de l'isolant (en cas d'isolant fibreux, l'enduit de base doit être poussé dans les fibres) puis peigné. Ensuite, l'armature est marouflée et l'enduit est arasé en vue d'obtenir une surface plane.

Au besoin, une seconde passe peut être ajoutée (surcharge d'enduit talochée, frais dans frais), ce qui permet d'homogénéiser l'épaisseur, de réduire le relief (dressage ou égalisation) et de recouvrir complètement le treillis tout en veillant au positionnement correct de ce dernier au sein de la couche d'enduit.

Les bandes d'armature peuvent être posées soit à l'horizontale, soit à la verticale et doivent être intégralement incorporées dans l'enduit. Dans certains cas particuliers tels qu'un enduit gratté de 10 à 15 mm d'épaisseur, il peut s'avérer nécessaire de peigner la couche au moyen d'une taloche crantée adaptée.

#### 6.7.4.2 Recouvrement des bandes d'armature

Les bandes de treillis d'armature doivent se chevaucher sur une longueur d'environ 100 mm dans les parties courantes de la façade et au droit des angles du bâtiment. Le recouvrement ne peut en aucun cas être inférieur à 80 mm. Afin d'éviter toute altération de l'aspect du système, il convient de maroufler l'armature sous-jacente plus en profondeur au droit du recouvrement en exerçant une pression plus forte (voir figure 133, p. 100).

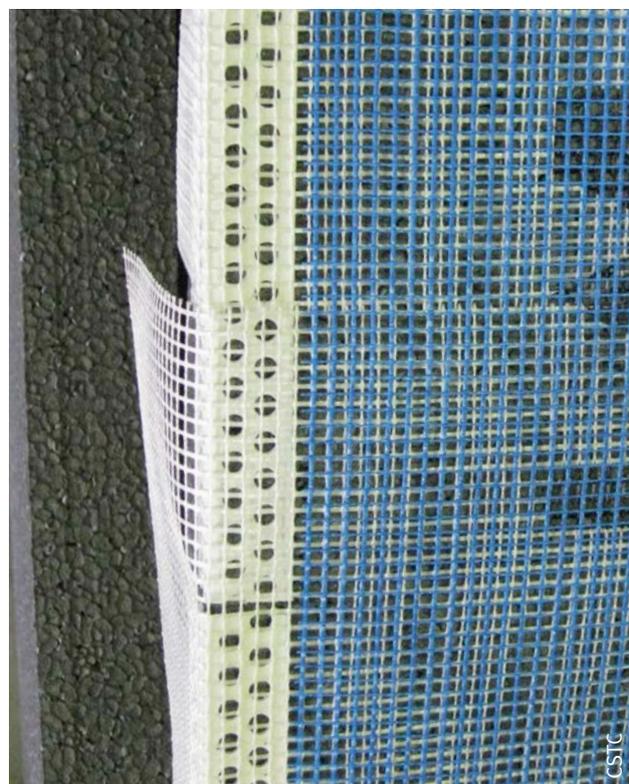


Fig. 132 Position de l'armature de surface (bleue ici) par rapport aux profilés d'angle munis de treillis soudés (afin d'illustrer ce principe, les accessoires sont ici délibérément non incorporés dans l'enduit de base).

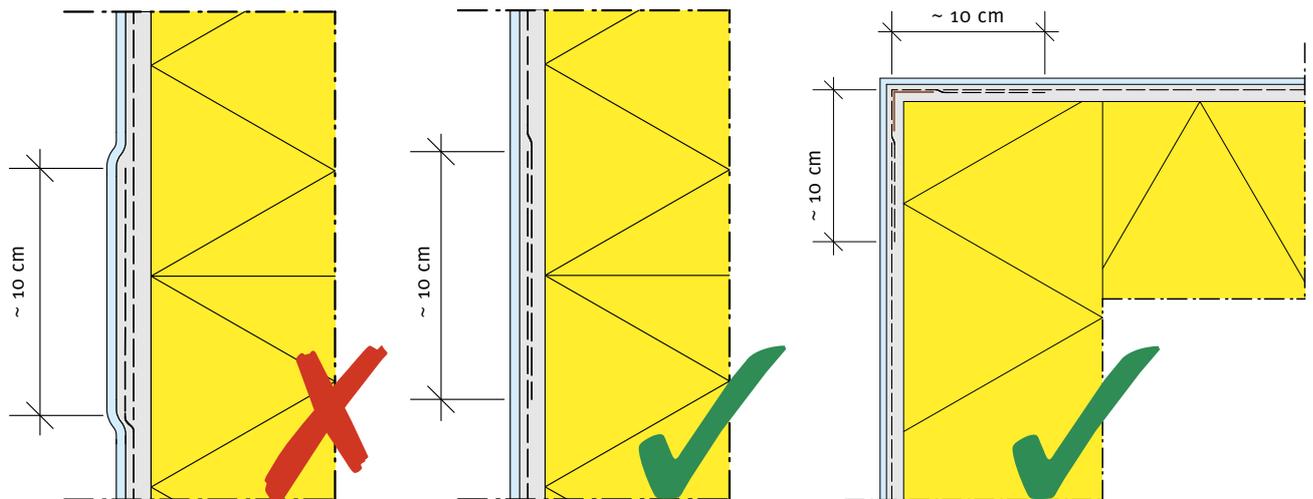


Fig. 133 Recouvrement des bandes d'armature (X si hors tolérances).

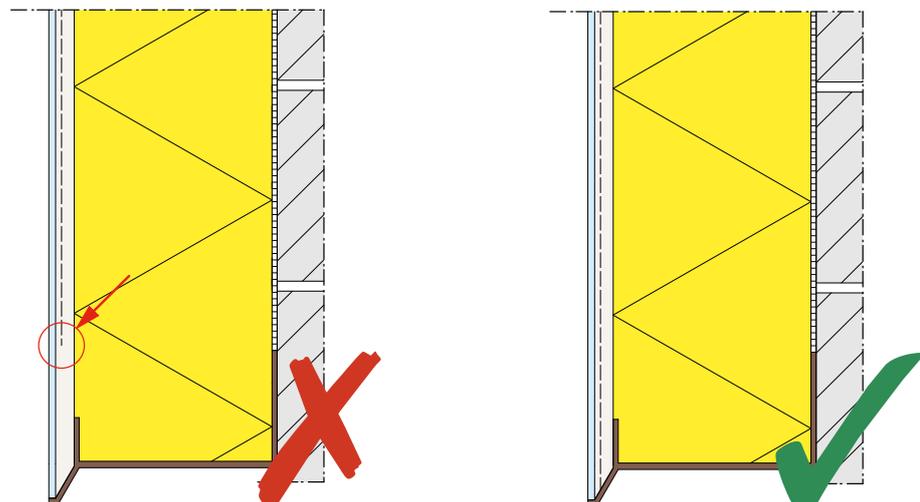


Fig. 134 Jonction entre l'armature et le profilé de départ.

Il est indispensable que l'armature générale soit solidaire des ailes des profilés (éventuellement par l'intermédiaire des treillis soudés sur ces derniers) (voir figures 132, p. 99, et 134). Rappelons qu'il existe des solutions adaptées telles que les profilés munis d'un treillis ou les clips pourvus d'un treillis à fixer au profilé de départ.

Lorsque les profilés sont dépourvus de treillis soudés et sont complètement incorporés dans la couche de base, l'armature de surface générale peut être placée de façon à contourner l'angle tout en respectant une longueur de recouvrement d'environ 100 mm. Pour ce faire, on utilisera des treillis au grammage plus faible qui peuvent être pliés à 90°.

#### 6.7.4.3 Reprises

Lorsque des reprises sont à prévoir, elles doivent de préférence être réalisées au droit des angles et/ou des joints de mouvement du bâtiment. Si cette solution n'est pas envisageable, le treillis ne sera en partie pas incorporé à l'enduit de base, plus précisément sur une largeur d'environ 100 mm qui correspond à la longueur de recouvrement. Il sera recouvert ultérieurement par la bande d'armature générale de la zone adjacente et incorporé dans la couche de base de la phase d'exécution suivante. Afin d'éviter toute altération de l'aspect visuel au droit de ces reprises, il peut être opportun de marquer le joint, en structurant

différemment la finition, par exemple (joints architecturaux).

Dans le cas d'enduits minces, il n'est pas rare que les superpositions de renforts, en particulier au droit des profilés, créent une légère surépaisseur. Ce phénomène est, selon nous, inhérent à la technique, mais est en général peu visible sous lumière normale et ne devrait pas susciter de réclamation.

### 6.7.5 APPLICATION DE LA FINITION

Avant l'application de l'enduit de finition, la couche de fond doit être suffisamment durcie et sèche (à la vue et au toucher). Le délai dépend des conditions climatiques et de l'épaisseur de l'enduit (minimum un jour par millimètre d'épaisseur). On distingue trois étapes, entre lesquelles un certain temps d'attente doit être observé en fonction des recommandations du fabricant : les prétraitements, la mise en œuvre de l'enduit de finition et les traitements ultérieurs.

#### 6.7.5.1 Prétraitements

Il s'avère parfois nécessaire de procéder à des prétraitements tels que le ponçage, le dépoussiérage ou l'humidification de l'enduit de base durci, ou encore l'application, au rouleau ou au pinceau, d'une couche d'apprêt adaptée à la nature de l'enduit.

#### 6.7.5.2 Enduit de finition

L'enduit de finition est préparé et mis en œuvre à la main ou par projection, selon les recommandations formulées au § 6.7.1 (p. 94), après séchage de l'éventuelle couche d'apprêt (au moins six heures, en fonction des conditions climatiques). On recommande de ne pas réaliser de raccords au sein d'une même façade, étant donné que ceux-ci risquent d'être visibles. L'application sur de grandes surfaces requiert dès lors une organisation adéquate et une main d'œuvre suffisante. Si les recommandations du fabricant prévoient l'incorporation d'accessoires adaptés (profilés d'angle, par exemple) dans l'enduit de finition, ceux-ci seront mis en œuvre conformément aux prescriptions.

Le choix de l'enduit de finition, réalisé préalablement à la mise en œuvre, influencera le choix de la technique de mise en œuvre et l'aspect de la façade (voir figures 135 et 136). À ce sujet, nous renvoyons le lecteur au § 2.2.3.1 (p. 13).

Le temps de séchage de l'enduit de finition dépend des conditions climatiques, de la nature de l'enduit et de son épaisseur.



Fig. 135 Mise en œuvre d'un enduit de finition (talochage).



Fig. 136 Grésage d'un enduit de finition mince.

#### 6.7.5.3 Traitements ultérieurs

Certains systèmes nécessitent en outre l'application d'une peinture spécifique et adaptée (hydrofuge, antisalissures ou anti-algues, par exemple) en raison de leur nature ou de leur exposition (environnement très vert, orientation défavorable, etc.).

Après le séchage et/ou la prise de la finition, la réalisation de joints souples au droit des jonctions peut être requise (voir chapitre 5, p. 49). Elle n'est pas du ressort du façadier, sauf mention contraire dans les documents contractuels.



# 7

## TOLÉRANCES ET ASPECT

En cas de réclamation après l'exécution des travaux, le donneur d'ordre et le façadier contrôlent la qualité de l'ouvrage réalisé en s'appuyant sur le descriptif des travaux figurant dans le cahier des charges ou sur le bon de commande.

Le contrôle a pour but de permettre aux partenaires d'évaluer le travail effectué sur la base de critères objectifs (tolérances d'exécution, différences de couleur) ou de considérations esthétiques (texture de surface) lorsqu'il est impossible de recourir à un critère quantitatif. Si l'aspect final souhaité (différences de texture et de couleur tolérées; voir § 7.3, p. 108) n'est pas décrit dans les documents contractuels, il ne peut faire l'objet de réclamations. Notons que le contrôle de l'enduit s'opère à l'état sec, sous lumière naturelle et en aucun cas à contre-jour ou sous un éclairage rasant.

En cas de réclamation, le contrôle approprié (voir § 7.2, p. 104, et § 7.3, p. 108) est pratiqué au droit de la façade concernée par le problème, à l'endroit où ce dernier se manifeste, à défaut de précisions dans les documents contractuels. Si des imperfections sont relevées lors de ce contrôle, les éventuelles mesures à prendre seront proportionnelles au désagrément; elles dépendent de la distinction entre conséquences esthétiques et techniques (fonctionnelles).

### 7.1 TOLÉRANCES D'EXÉCUTION

Une tolérance est définie comme la différence entre la dimension limite supérieure admissible et la dimension limite inférieure admissible (voir figure 137). La tolérance est donc une valeur absolue (sans signe). Notons que dans le domaine de la construction, la tolérance est souvent exprimée par l'écart admissible (en  $\pm$ ), ce qui rend implicite la valeur de la tolérance, celle-ci étant égale au double de l'écart admissible. L'écart admissible (inférieur ou supérieur) est la différence entre la dimension limite (inférieure ou supérieure) admissible et la dimension de référence correspondante.

Les tolérances d'exécution portent sur les caractéristiques géométriques de l'enduit: planéité de surface, aplomb ou verticalité, rectitude des arêtes, angularité (équerrage), horizontalité et dimensions. Elles sont vérifiées à l'aide du matériel adéquat et selon une procédure spécifique (voir § 7.2, p. 104). La méthodologie de contrôle s'applique aussi bien à l'enduit qu'aux panneaux d'isolation et à leur support (structure portante).

Il est impératif de respecter des tolérances rigoureuses sur le support afin de permettre la pose de l'ETICS et, en particulier, des panneaux d'isolation. Ces tolérances strictes sont en effet nécessaires en vue de remplir les exigences en matière de continuité de l'isolation et d'écart maximum admissible pour les travaux d'enduisage sans que des mesures correctives doivent être apportées. Ces dernières ne sont pas prévues dans le cadre normal des travaux, sauf mention contraire explicite dans les documents contractuels.

La technique de pose de l'isolant peut, dans une certaine mesure, être choisie en fonction des écarts observés sur le gros œuvre (voir aussi § 4.4, p. 48) lorsque ces derniers respectent les critères normatifs synthétisés dans le tableau 22 (p. 105). Si les écarts sont plus importants (dans certaines rénovations, par exemple), les éventuelles mesures

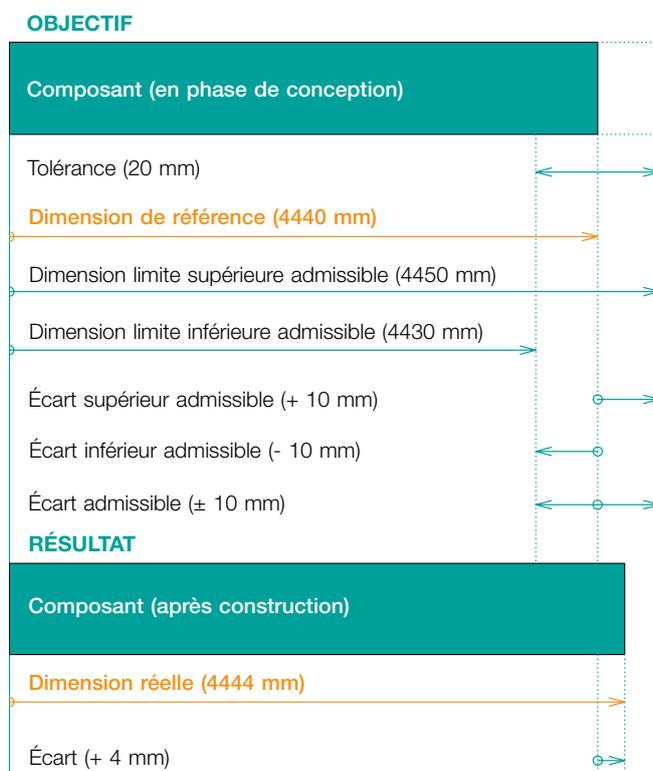


Fig. 137 Relation entre tolérance et écart admissible.

correctives destinées à rendre le support acceptable d'un point de vue dimensionnel n'entrent pas dans le cadre normal des travaux et engendrent des coûts supplémentaires. Lorsque le support respecte ces critères, les écarts admissibles de l'enduit dépendent principalement des tolérances dimensionnelles des panneaux d'isolation, de leur pose et de leur aptitude au ponçage. La pose de l'isolant constitue dès lors une étape de mise en œuvre cruciale pour le respect des écarts admissibles de l'enduit.

Les tolérances d'exécution sont également tributaires de la nature et de la finition de l'enduit. On distingue, à cet égard, les **types d'enduits de finition** suivants :

- type 1 : enduit minéral ou organique de faible épaisseur à structure fine
- type 2 : enduit lisse, finement taloché, éventuellement destiné à être peint
- type 3 : enduit minéral épais tel qu'un enduit minéral gratté ou un enduit décoratif grossier.

Dans le cas d'enduits de type 1 ou 2, les tolérances admises pour la couche d'isolation posée et l'enduit de finition ont le même niveau de sévérité. Il est à noter que tous les types d'enduits ne peuvent pas être combinés avec n'importe quelle technique de finition (voir § 2.2.3.1, p. 13).

Selon le degré de précision souhaité pour la mise en œuvre de l'enduit, on distingue deux classes de tolérances : la **finition normale** et la **finition spéciale**. La classe de tolérance à respecter fait l'objet d'une convention entre parties. En l'absence d'indications à ce sujet dans les documents contractuels, on considère que la finition normale est d'application. En principe, la finition spéciale n'est, quant à elle, retenue que sur mention expresse dans les documents contractuels. Le cas échéant, elle ne sera en vigueur, lors d'un éventuel contrôle en fin de travaux, qu'à condition que le façadier ait reçu un rapport actant le respect des écarts admissibles sur le support (voir chapitre 4, p. 43) et l'adéquation des dispositions constructives avec la technique des ETICS (voir chapitre 5, p. 49).

Les imperfections de planéité s'étalant sur de longues distances (5 m ou plus) portent souvent moins à conséquence et sont moins perceptibles que les imperfections de planéité locales. La rectitude des raccords visibles, la finition des angles, l'alignement par rapport aux lignes existantes (plinthes, menuiseries, etc.) sont autant d'aspects essentiels dont il convient de tenir compte. L'épaisseur de l'enduit doit en outre être adaptée aux tolérances d'exécution admises pour le produit. Enfin, on veillera à appliquer les couches d'enduit en une épaisseur constante, afin de parvenir au comportement mécanique attendu et à une homogénéité d'aspect.

Le tableau 22 (p. 105) reprend les écarts admissibles par type d'enduit de finition ainsi que ceux applicables à l'isolation posée et au support. Soulignons que le respect des critères normatifs issus des documents de référence est primordial pour la réception des supports.

## 7.2 CONTRÔLE DES TOLÉRANCES

### 7.2.1 PLANÉITÉ DE SURFACE

Le contrôle de la planéité s'effectue au moyen de règles droites et rigides de 0,2 ou 2 m de longueur, munies aux extrémités de taquets résistant à l'usure (carrés ou cylindriques, de 20 à 40 mm de côté ou de diamètre) et d'une épaisseur égale à la tolérance admise (voir figure 138). La règle est en outre pourvue d'un troisième taquet de mêmes dimensions, qui est mobile et présente une épaisseur égale au double de la tolérance.

On pose la règle munie de ses taquets sur la surface à contrôler :

- cas 1 : un taquet et un point de la règle touchent la surface, alors que le deuxième taquet ne la touche pas. La planéité ne se situe pas dans les tolérances
- cas 2 : les deux taquets touchent la surface, tandis que la règle ne la touche pas; le taquet mobile ne passe pas sous la règle. La planéité est dans les tolérances
- cas 3 : les deux taquets touchent la surface, alors que la règle ne la touche pas; le taquet mobile passe sous la règle. La planéité n'est pas dans les tolérances.

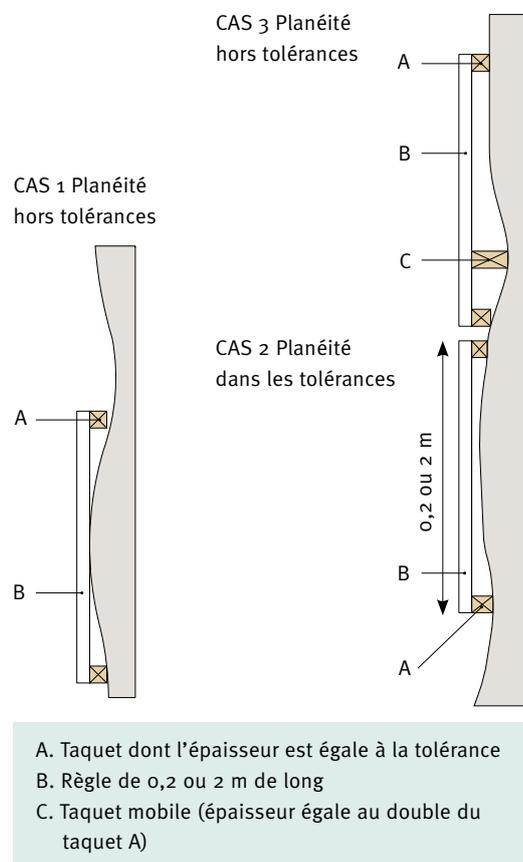


Fig. 138 Principe du contrôle de la planéité.

Tableau 22 Tolérances d'exécution des ETICS : écarts admissibles.

Écart maximal admis sur ...	Support			ETICS			
	Maçonnerie (1)	Structure en béton (2)	Ossature + panneaux supports (3)	Tolérance d'exécution (4) de l'enduit	Couche d'isolation posée	Enduit de finition (5)	
						Types 1 et 2	Type 3
la planéité globale sous la règle de 2 m	± 8 mm (6)	± 8 mm (6)	± 5 mm (± 2 mm (7))	Normale	± 5 mm	± 5 mm	± 8 mm
				Spéciale	± 3 mm	± 3 mm	± 5 mm
la planéité locale/l'irrégularité sous la règle de 0,2 m	-	± 5 mm (8)	± 3 mm (± 1 mm (7))	Normale	± 2 mm	± 2 mm	± 4 mm
				Spéciale	± 1,5 mm	± 1,5 mm	± 2 mm
la verticalité/l'aplomb	~ 1 étage (2,5 à 3 m)	± 8 mm (9)	± 5 mm	Normale et spéciale	± 8 mm (10)		
	hauteur du bâtiment				± 50 mm		
l'horizontalité écart t (en cm) pour la distance d entre deux points d'une ligne	$t = \pm \frac{1}{8} \sqrt[3]{d}$ (12)	-	-	Normale	$t = \pm \frac{1}{8} \sqrt[3]{d}$ (12)		
				Spéciale	$t = \pm \frac{1}{12} \sqrt[3]{d}$ (12)		
la rectitude des lignes/arêtes (pour une longueur de 2 m)	- (13)	± 8 mm	- (13)	Normale	± 5 mm	± 5 mm	± 8 mm
				Spéciale	± 3 mm	± 3 mm	± 5 mm
le faux d'équerre (raccord de fenêtre, etc.)	-	-	-	Normale	± 5 mm/0,25 m		
				Spéciale	± 3 mm/0,25 m		
le désaffleurement de la face externe	- (13)	± 5 mm (8)	± 3 mm (± 1 mm (7))	Normale et spéciale	± 1/5 e (14)	-	-
une dimension linéaire d en cm	$\pm \frac{1}{4} \sqrt[3]{d}$ (≤ 4 cm) (12)	-	± 10 mm/10 m	Normale et spéciale	$\pm \frac{1}{4} \sqrt[3]{d}$ (≤ 4 cm) (12)		

(1) Voir la norme NBN EN 1996-2 ANB [B14] et les STS 22 [S2] (version révisée à paraître).  
 (2) Voir la norme NBN EN 13670 [B28] et son supplément national NBN B 15-400 [B2]. Écarts issus de la classe de tolérance 2 (sévère) (à spécifier dans le cahier spécial des charges).  
 (3) Voir les STS 23 [S3], sauf mention contraire.  
 (4) La classe de tolérance à respecter fait l'objet d'une convention entre parties. En l'absence d'indications à ce sujet dans les documents contractuels, on considère que la finition normale est d'application. En principe, la finition spéciale n'est, quant à elle, retenue que sur mention expresse dans les documents contractuels. Le cas échéant, elle ne sera en vigueur, lors d'un éventuel contrôle en fin de travaux, qu'à condition que le façadier ait reçu un rapport actant le respect des écarts admissibles sur le support (voir chapitre 4, p. 43) et l'adéquation des dispositions constructives avec la technique des ETICS (voir chapitre 5, p. 49).  
 (5) Type 1 : enduit de faible épaisseur à structure fine.  
 Type 2 : enduit lisse, finement taloché, éventuellement destiné à être peint.  
 Type 3 : enduit minéral épais (enduit minéral gratté, enduit décoratif grossier, etc.).  
 (6) Un écart jusqu'à 8 mm/2 m permet la pose au moyen de mortier-colle ou de mousse-colle polyuréthane. Un écart jusqu'à 15 mm/2 m permet la pose au moyen de mortier-colle par plots ou par bandes (+ bande sur le pourtour du panneau).  
 (7) Critères plus sévères que ceux des STS 23 [S3]. Ils sont exigés en cas de collage à l'aide d'un adhésif en dispersion.  
 (8) Un écart jusqu'à 5 mm (planéité sur 0,2 m ou désaffleurement) permet la pose au moyen de mortier-colle ou de mousse-colle polyuréthane. Un écart jusqu'à 10 mm permet la pose au moyen de mortier-colle par plots ou bandes (+ bande sur le pourtour du panneau).  
 (9) Par application de la formule adéquate issue des normes NBN EN 13670 [B28] et NBN B15-400 [B2] avec une hauteur libre de l'étage 'h' de 3 m.  
 (10) Soit 'h' la hauteur du mur exprimée en cm (soit 300 cm), l'écart maximal admissible est  $\pm \frac{1}{8} \sqrt[3]{h}$  (soit 8 mm).  
 (11) Par application de la formule adéquate issue des normes NBN EN 13670 [B28] et NBN B15-400 [B2], fonction de la hauteur et du nombre d'étages.  
 (12)

Dimension linéaire d	en m	1	1,5	2	3	4	5	6	10	12	15
	en cm	100	150	200	300	400	500	600	1.000	1.200	1.500
Écart t en cm	$= \frac{1}{4} \sqrt[3]{d}$ (d en cm)	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,5	2,7	2,9
	$= \frac{1}{8} \sqrt[3]{d}$ (d en cm)	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,3	1,4
	$= \frac{1}{12} \sqrt[3]{d}$ (d en cm)	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0

(13) En l'absence de critère normatif, un écart admissible identique à celui des structures en béton est conseillé.  
 (14) Les désaffleurements entre panneaux doivent être évités en vue de limiter le risque de fissuration. On peut, si nécessaire, poncer l'isolant si le fabricant l'autorise (voir fiches techniques). Le désaffleurement ne peut en aucun cas être supérieur à l'écart mentionné ('e' correspond à l'épaisseur de l'enduit de base).

### 7.2.2 APLOMB OU VERTICALITÉ

Les mesures de la verticalité sont effectuées à l'aide du clinomètre (voir figure 139) ou du fil à plomb (selon la norme NBN ISO 7976-1 [B36]). Le clinomètre représenté ici est une latte droite d'une longueur inférieure ou égale à 2 m, munie d'un niveau à bulle d'air réglable et pourvue de deux taquets. La mesure peut se faire directement par lecture sur la bulle ou indirectement en posant la latte verticalement et en utilisant notamment des jauges d'épaisseur sous un des taquets.

### 7.2.3 ALIGNEMENTS HORIZONTAUX

Il importe que l'enduit respecte les alignements horizontaux (profilés de départ, linteaux de baies). Un alignement est considéré comme étant horizontal lorsque les tolérances correspondent, en chaque point, aux tolérances indiquées au tableau 22 (p. 105). Un alignement horizontal doit également satisfaire aux exigences de rectitude.

### 7.2.4 RECTITUDE DES ARÊTES ET DES ALIGNEMENTS

La rectitude des arêtes et des alignements est contrôlée

selon la norme NBN ISO 7976-1 [B36] et peut se mesurer de la même façon que la planéité, en plaçant la règle équipée de taquets sur l'arête ou la ligne à contrôler (voir figure 142, p. 107).

### 7.2.5 HORS-ÉQUERRE

Un hors-équerre est une anomalie par rapport à un angle prescrit tel qu'un retour de baie. L'écart angulaire est mesuré au moyen d'une équerre dont les côtés présentent une longueur de 0,3 m maximum (voir figure 141, p. 107). L'écart angulaire se définit comme la différence entre un angle réel et l'angle de référence correspondant. La figure 140 (p. 107) montre les écarts angulaires exprimés en grades ou en degrés (A), ou par un décalage (B).

### 7.2.6 DÉSAFFLEUREMENT

L'écart admissible sur le désaffleurement concerne à la fois la surface externe du support, qui doit permettre une pose de l'isolation sans mesure corrective, et celle des panneaux d'isolation posés, qui doit favoriser une mise en œuvre de l'enduit sans variations d'épaisseur (voir figure 143, p. 107).

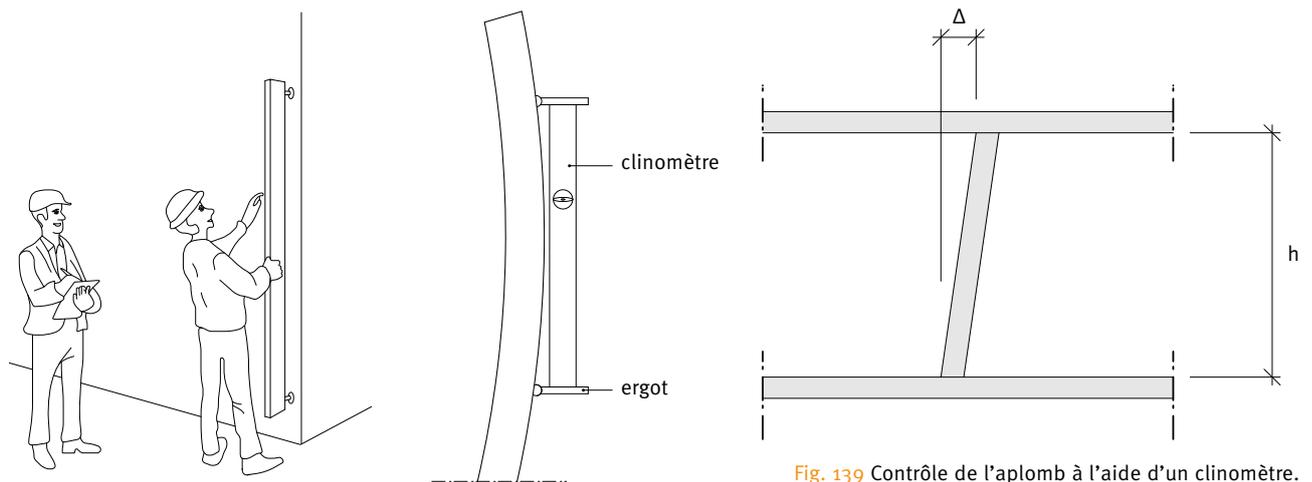


Fig. 139 Contrôle de l'aplomb à l'aide d'un clinomètre.

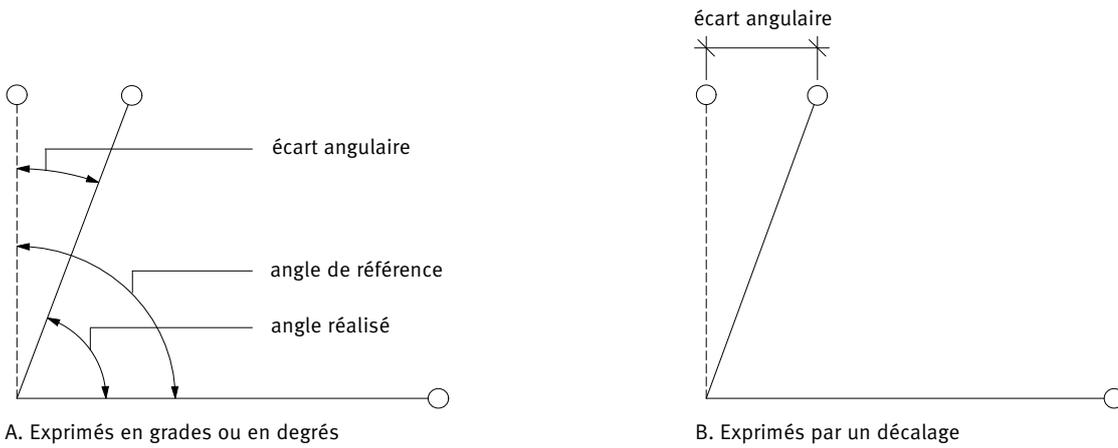


Fig. 140 Écarts angulaires.

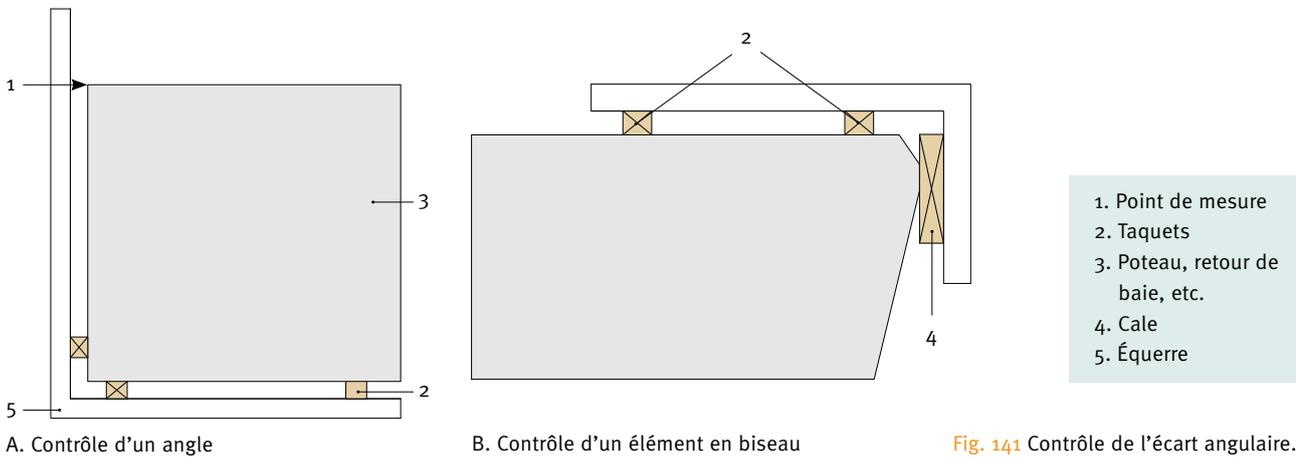


Fig. 141 Contrôle de l'écart angulaire.

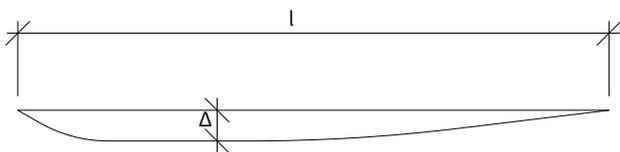


Fig. 142 Mesure de la rectitude des arêtes et des alignements.

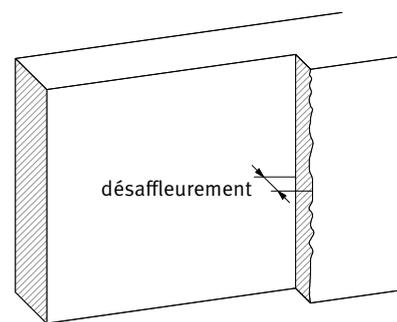


Fig. 143 Désaffleurement à la surface externe du support et entre panneaux d'isolation.

### 7.3 ASPECT

Pour les enduits extérieurs, c'est l'uniformité d'aspect d'une surface située dans un même plan qui importe. Celle-ci est déterminée par la texture de surface, la couleur, l'homogénéité de la prise et de la perte d'humidité (différence de couleur à l'état sec et à l'état humide) ainsi que le degré de salissure dans le temps. Nous examinons ci-après quelques caractéristiques comme la texture de surface et la couleur, les autres propriétés étant difficilement mesurables (rugosité ou répartition des grains, par exemple).

Il est déconseillé de se baser sur des échantillons de référence pour prévoir l'aspect de la façade achevée, et ce, tant pour la couleur que pour la texture, à moins qu'ils ne soient de taille suffisante (bâtiment de référence, par exemple). Des échantillons de petite taille ne permettent effectivement pas une reproduction fidèle de l'aspect de la façade et ne fournissent qu'une idée approximative du travail fini.

En pratique, lorsque des exigences en matière d'aspect sont fixées dans les documents contractuels (différences de couleur tolérées, par exemple), on utilise en général une éprouvette de référence de dimensions supérieures ou égales à 15 × 15 cm. Dans ce cas, le contrôle consécutif à une réclamation sera effectué au moment de la réception provisoire des travaux. Dans tous les autres cas, l'aspect ne peut faire l'objet de réclamations.

Le maintien de l'aspect de l'enduit dans le temps dépend fortement du type de système, de son environnement, de son exposition (en particulier à l'humidité) et de son entretien ainsi que de la bonne conception et de la réalisation correcte des détails d'exécution.

#### 7.3.1 TEXTURE DE SURFACE

La texture de la surface est influencée par une série de facteurs tels que l'épaisseur de la couche de finition, la com-

position de l'enduit, et surtout les dimensions des granulats et le type de finition (voir § 2.2.3.1, p. 13).

Ainsi, il est risqué de choisir une finition lisse pour les enduits extérieurs à caractère décoratif, étant donné que les microfissures éventuelles (faïençage) et la décoloration irrégulière par plages sont très visibles sur ce type de finition. Pour ce qui est des autres types de finitions, on distingue, d'une part, la conformité de la livraison par rapport à la commande et, d'autre part, l'uniformité. Les fines fissures ( $\leq 0,2$  mm) ne requièrent pas de mesures particulières et sont donc acceptables.

On peut opter soit pour un contrôle visuel à une distance de 3 m perpendiculairement au mur, soit pour un contrôle par comparaison de photos prises de la même façon. Pour déterminer l'aspect voulu, on se basera sur des échantillons suffisamment grands tels que des bâtiments de référence. En ce qui concerne l'uniformité d'aspect, une surface située dans un même plan ou entre des lignes de démarcation ne peut présenter aucune différence de rugosité prononcée visible à 3 m de distance. Le contrôle s'opère sur un enduit sec et sous une lumière non rasante (lumière naturelle).

#### 7.3.2 COULEUR

L'évaluation de la couleur peut reposer sur des échantillons suffisamment grands comme des bâtiments de référence. Il y a toutefois lieu de tenir compte du fait que les variations de couleur dans un enduit peuvent résulter, entre autres, d'une différence de taux d'humidité (séchage incomplet, absorption d'eau par mouillage complet ou partiel, ensoleillement partiel, etc.) ou de la présence d'un voile de chaux (très apparent sur un enduit foncé). Elles peuvent également être influencées par les conditions climatiques au moment du parachèvement et du séchage, par des salissures, etc.

Avant de procéder à l'appréciation, il convient donc de respecter un délai suffisant. Autrement dit, on attendra que la

couche de finition soit durcie et/ou carbonatée et on s'assurera de l'absence d'humidification récente. Il est conseillé de vérifier, avant l'application de l'enduit sur la façade, la conformité de la couleur du produit livré avec la couleur souhaitée (comparaison avec une éprouvette de référence contractuelle, par exemple).

L'évaluation comprend un examen visuel ou une mesure de couleur et sera toujours réalisée sur une surface sèche. Le contrôle visuel consiste à examiner une surface sèche et non ensoleillée à une distance d'au moins 3 m, éventuellement à l'aide du nuancier de couleurs utilisé pour le choix. Aucun contraste prononcé ni aucun défaut ne peuvent apparaître à la surface d'une façade lors de la réception dans les conditions décrites ci-avant et la couleur ne peut s'écarter fortement de la couleur souhaitée.

Il s'avère parfois opportun de mesurer les couleurs à l'aide d'un colorimètre afin d'évaluer la gêne visuelle de manière

plus objective. À cet effet, on calcule l'écart (valeur  $\Delta E^*_{ab}$ ) entre les deux zones comparées. La valeur  $\Delta E^*_{ab}$  représente l'écart global (différence totale de couleur) calculé sur la base de cinq mesures réparties sur la surface à contrôler :

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

où :

- $L^*$  = variable de luminosité
- $a^*$  et  $b^*$  = coordonnées chromatographiques.

Pour la description de l'appareillage et l'identification des couleurs selon le système  $L^*.a^*.b^*$ , on consultera l'Infofiche n° 25 [M1]. Il est à noter que cette mesure ne convient pas aux enduits rugueux (enduit gratté et enduit en épaisseur de grain de diamètre supérieur à 2 mm).

À l'heure actuelle, l'expérience (voir également § 2.2.3.2, p. 14) montre que l'on peut tolérer les écarts repris au tableau 23.

Tableau 23 Écarts de couleur tolérés ( $\Delta E^*_{ab}$ ; colorimétrie).

Conformité (°)		Conformité du produit livré au façadier par rapport au produit commandé	Conformité de la couleur de la façade achevée par rapport au choix du donneur d'ordre (éprouvette de référence)	
Écarts admis		Écarts admis entre la couleur de l'enduit livré (éprouvette de référence préparée avant travaux) et la couleur souhaitée (éprouvette de référence du fabricant)	Écarts admis entre :	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• la façade achevée et l'éprouvette de référence</li> <li>• deux zones d'une même façade</li> </ul>	
			IC (°) ≥ 45	IC (°) ≤ 55
Enduit de finition	Organique	3	5	6
	Minéral	5	7	8

(°) Si mesurable.  
 (°) Indice de clarté de l'enduit de finition.





## MAINTENANCE

---

Un ETICS bien conçu et correctement exécuté nécessite peu d'entretien à long terme. Une inspection périodique est néanmoins nécessaire afin de déceler et de réparer à temps les dégâts éventuels. Elle est de préférence réalisée par une personne qualifiée. La fréquence d'entretien dépend fortement du soin apporté à la conception et à l'exécution des détails de construction, de l'environnement de l'ouvrage et de son exposition à l'humidité.

En ce qui concerne la maintenance, il convient de distinguer, d'une part, le nettoyage et l'élimination des polluants atmosphériques, de la mousse et des algues (entretien normal) et, d'autre part, la réparation d'éventuelles dégradations telles que des fissures, des boursouffures et des dégâts mécaniques.

Avant toute intervention, il est essentiel de déterminer avec précision les causes des dégâts et d'y remédier. Une réparation ne s'impose que si les critères de performance ne sont plus satisfaits, à moins qu'il ne s'agisse d'un rafraîchissement global, par exemple (tel qu'une mise en peinture de la façade).

Nous examinons ci-après brièvement quelques interventions à entreprendre selon le type de dégâts constatés.

### 8.1 ENTRETIEN

Une fois l'ETICS mis en œuvre, le maître d'ouvrage doit veiller à ce que celui-ci soit bien entretenu. En effet, au fil du temps, ce système subira inévitablement la pollution de l'atmosphère et se recouvrira de mousse et d'algues. Son aspect peut également varier de manière générale ou locale à la suite d'infiltrations d'humidité provoquant des changements de couleur, un encrassement plus prononcé, des dégâts, etc. Ces infiltrations d'humidité peuvent être dues notamment à une conception inappropriée ou à la présence de fissures. Avant de procéder à un traitement de surface, il convient d'identifier et de pallier les causes des problèmes observés, mais aussi de réparer les dégâts (fissures, parties désolidarisées, etc.).

L'altération de l'aspect par des salissures (pollution urbaine, mousses, algues, moisissures) et la fréquence d'entretien sont fonction de divers facteurs tels que l'environnement de l'ouvrage, son exposition (à l'humidité, par exemple), l'orientation de la façade, le soin apporté à la conception et à la réalisation des détails, le type de système (comportement à l'humidité), mais aussi la capillarité, la porosité, l'alcalinité

et la rugosité de l'enduit. C'est pourquoi il est primordial de bien choisir le type d'enduit à utiliser. À défaut de méthode d'évaluation reconnue [D2], on conseille de s'informer auprès du fabricant.

On peut nettoyer la façade par brossage à sec et/ou par jet d'eau après un traitement des algues et des mousses à l'aide d'un biocide et un brossage des matières mortes (à répéter si nécessaire).

On pourra ensuite appliquer sur l'enduit un produit hydrofuge adapté ou un produit antimousse et/ou anti-algues, ou encore un système de peinture (voir § 2.2.2.4, p. 13). Il va de soi que le traitement choisi doit convenir au type d'enduit entretenu et doit être réalisé selon les prescriptions du fabricant. La mise en œuvre d'une couche d'enduit supplémentaire n'est possible que si la couche sous-jacente possède les caractéristiques mécaniques requises et permet une adhérence suffisante. Par ailleurs, il y a lieu de s'assurer que les éventuels traitements hydrofuges antérieurs ou l'encrassement ne nuisent pas à l'adhérence.

Il est parfois recommandé de procéder à une imprégnation d'hydrofuges incolores. Ces traitements peuvent toutefois avoir des répercussions sur le comportement à l'humidité du mur et engendrer (si leur perméabilité à la vapeur d'eau est insuffisante) la formation de condensation ainsi que des dégâts dus à l'humidité au sein de l'ETICS.

Il est conseillé d'effectuer un contrôle annuel de l'aspect du système. La remise en peinture des enduits décoratifs à base de résines synthétiques n'est généralement pas requise pendant les six premières années suivant la mise en œuvre. Un contrôle régulier permettra de juger de la nécessité d'une nouvelle application de peinture. Une remise à neuf complète peut être envisagée tous les dix ans, si nécessaire.

On veillera en outre à l'entretien des ouvrages de raccord. Les parties endommagées ou non adhérentes (joints de mastic, seuils de fenêtre, rejets d'eau, etc.) doivent être réparées, refixées ou remplacées dès que possible en vue de garantir l'étanchéité à l'eau.

Les ouvrages de raccord entre l'enduit et les menuiseries sont souvent réalisés avec des joints souples. Selon les STS 56.1 'Mastics d'étanchéité des façades' [S4], ces derniers doivent être entretenus au moins une fois tous les trois ans, et même chaque année s'ils ont une fonction d'étanchéité à

l'eau. Durant l'entretien, on procédera non seulement à un examen visuel des joints de mastic, mais également à un contrôle de l'adhérence et au remplacement des parties endommagées.

## 8.2 RÉPARATION

Avant toute intervention, il est essentiel de déterminer avec précision les causes des dégâts et d'y remédier. Les éventuelles dégradations de l'enduit requièrent, si possible, une réparation immédiate. Des réparations partielles de l'ETICS sont envisageables, mais la zone à traiter doit de préférence être circonscrite par des lignes architecturales. Cette zone est délimitée en fonction de :

- l'étendue de la zone dégradée
- l'homogénéité de l'enduit (épaisseur, planéité, etc.)
- la distance entre les joints de mouvement.

Il convient de déterminer au préalable quelles parties du système (couche de finition, couche de base renforcée, isolant) sont abîmées ou non.

Lorsque seule la couche de finition est endommagée, il suffit parfois de la réparer. Les fines fissures ( $\leq 0,2$  mm) ne requièrent pas de mesures particulières. Pour les fissures plus larges, on vérifiera si l'enduit se décolle. Si tel est le cas, l'enduit doit être décapé et restauré dans les zones concernées. Sinon, les fissures peuvent être comblées et

colmatées grâce à l'application d'une peinture adaptée ou d'une couche d'enduit mince.

Si la couche de base renforcée ou l'isolant sont également abîmés, les parties dégradées doivent être éliminées et renouvelées. Les zones altérées de faible superficie (jusqu'à environ  $400 \text{ cm}^2$ ) peuvent être enlevées et remplacées par un bloc de composition et de dimensions identiques à celles de la zone enlevée, et les bords seront colmatés. Les parties endommagées plus étendues doivent, quant à elles, être retirées sur une zone rectangulaire supérieure d'environ 10 cm à la zone abîmée. Le treillis d'armature situé aux bords de cette zone doit, dans la mesure du possible, rester intact et être désolidarisé au mieux. L'ETICS doit ensuite être restauré dans cette zone conformément aux prescriptions du fabricant. Par ailleurs, les bords du treillis d'armature existant doivent recouvrir ceux du nouveau treillis.

Après la réparation, on applique généralement une couche de finition superficielle (décorative). Les réparations partielles comportent toujours le risque de voir apparaître des disparités de couleur ou de texture. Les différences de couleur peuvent être rectifiées en appliquant une couche de peinture appropriée sur l'ensemble de la surface. Pour corriger les défauts de la texture, on peut recouvrir toute la surface soit d'une nouvelle couche de finition, soit d'une nouvelle couche de base renforcée et d'une couche de finition. Le choix du ou des produits doit être conforme aux instructions du fabricant.

# 9

## PATHOLOGIES

Ce chapitre vise à prévenir l'apparition de pathologies dès le stade de la conception et de l'exécution en exposant les risques encourus en cas de non-respect de certaines recommandations.

Soulignons que le recours à un système non éprouvé (voir chapitre 3, p. 33) peut également mener à de telles pathologies.

### 9.1 PATHOLOGIES LES PLUS FRÉQUENTES

Les pathologies les plus fréquemment rencontrées dans la pratique peuvent être réparties en cinq catégories, dont les causes potentielles sont décrites ci-après :

- fissuration
- décollements et boursouflures
- défauts de planéité
- défauts d'aspect et salissures
- dégâts mécaniques.

#### 9.1.1 FISSURATION

La fissuration de l'ETICS peut être due aux phénomènes suivants :

- mouvement des panneaux d'isolation
- mise en œuvre des panneaux d'isolation
- retrait plastique des enduits hydrauliques
- mouvements hygrothermiques au droit des détails
- corrosion des profilés
- mouvement différentiel entre profilés et/ou déformation de ces derniers
- exécution peu soignée.

#### 9.1.2 DÉCOLLEMENTS ET BOURSOUFLURES

En règle générale, les décollements et les boursouflures sont liés à l'infiltration d'eau derrière l'enduit. En cas de gel notamment, l'enduit de base peut en effet perdre sa cohésion ou repousser l'enduit de finition lors du séchage. Notons que l'adhérence initiale ainsi que la perméabilité à la vapeur d'eau du système d'enduit jouent également un rôle dans ce phénomène. L'humidification peut provenir des détails (jonctions ouvertes, anomalie dans les joints souples, etc.), de fissures, de l'absorption d'eau de l'enduit lui-même, ou encore d'intempéries de durée et d'intensité extraordinaires.

#### 9.1.3 DÉFAUTS DE PLANÉITÉ

Les défauts de planéité peuvent résulter des problèmes suivants :

- planéité et verticalité du support inadaptées (d'où l'importance du choix de la technique de fixation des panneaux isolants)
- manque de soin apporté au placement des profilés (profilés d'angle en particulier)
- recouvrement des armatures
- manque de soin apporté à la mise en œuvre de l'enduit de base et de l'enduit de finition.

#### 9.1.4 DÉFAUTS D'ASPECT ET SALISSURES

Les facteurs énumérés ci-après peuvent être à l'origine de défauts d'aspect ou de salissures :

- sensibilité de l'enduit
- comportement hygrothermique (absorption capillaire, etc.)
- rugosité de l'enduit
- conception inadaptée des seuils et des couvre-murs
- débords de toiture insuffisants
- exposition favorable au développement de mousses, d'algues et de moisissures (présence de végétation dans l'environnement)
- exposition à la pollution atmosphérique
- absence d'entretien adapté.

#### 9.1.5 DÉGÂTS MÉCANIQUES

Des dégâts mécaniques peuvent être occasionnés par :

- un choix inadapté du type de système en fonction de l'exposition aux chocs
- des chocs imprévisibles ou inhabituels
- l'absence de réparation immédiate de petits dégâts localisés (ce qui aura également une influence sur l'apparition d'autres types de pathologies).

### 9.2 SYNTHÈSE DES PATHOLOGIES RECENSÉES ET DES RISQUES ENCOURUS

Le présent paragraphe synthétise les pathologies recensées et les risques encourus sous la forme d'un tableau illustré d'exemples concrets pour chaque phase des travaux (voir tableau 24, p. 114 à 120).

Tableau 24 Pathologies recensées et risques encourus.

Travaux préparatoires	
Contrôles préalables du support (voir § 6.5.1, p. 78, chapitre 4, p. 43, et chapitre 5, p. 49)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le non-respect des tolérances du support peut mener au non-respect des tolérances de l'enduit et/ou à des difficultés de mise en œuvre.</li> <li>Le choix de la technique de pose est essentiel.</li> <li>Les défauts de planéité peuvent engendrer des défauts de collage (colle insuffisamment pressée, par exemple) et amoindrir l'adhérence des panneaux au support.</li> <li>L'encollage sur des supports inadaptés (support peint ou présentant une humidité anormale ou des efflorescences, par exemple) peut nuire à la durabilité du système (décollement).</li> <li>Les structures en bois doivent être stables d'un point de vue dimensionnel.</li> </ul>	
	
Support instable inadapté à la mise en œuvre d'un ETICS, qui serait instable à son tour.	Désaffleurement important du support, qui aura une influence sur la technique de pose.
	
Support présentant une humidité anormale (risque de décollement, etc.).	Support inadapté à l'encollage vu la présence d'efflorescences (risque de décollement).
	
Nœud constructif non conforme (pont thermique entre le seuil en aluminium et la maçonnerie, d'où l'impossibilité de respecter l'épaisseur de contact) et absence de 'U' formant la rehausse latérale du seuil.	Nœud constructif non conforme (pont thermique entre le seuil en aluminium et le remplissage sous le châssis).

(suite du tableau page 115)

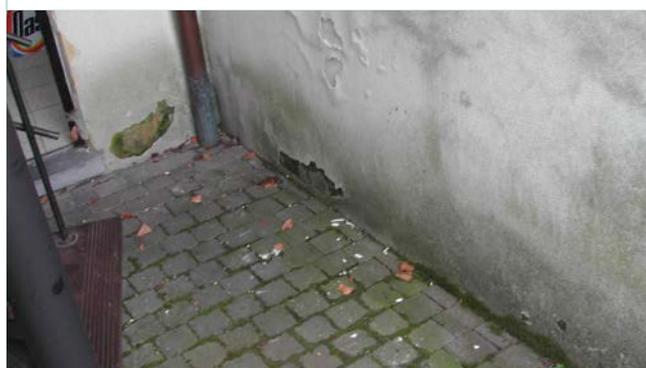


ETICS sur structure en bois (lamellé-cloué) : fissurations qui se manifestent principalement à l'horizontale au droit des nez de plancher, mais également aux angles de baies, et qui sont dues à des déformations de la construction en bois (tassement) ainsi qu'à la présence, dans la structure, d'éléments visant à améliorer le comportement acoustique.

### Pose de l'isolation

#### Pieds du mur (voir § 6.6, p. 81, et chapitre 5, p. 49)

Dégradation rapide de l'ETICS si les détails de référence du pied de mur (soubassement) et les recommandations générales ne sont pas respectés (chocs, rejet d'eau, etc.).



ETICS sensible à l'humidité qui descend jusque sous le niveau du sol fini extérieur.



ETICS sensible à l'humidité et choix inadapté du profilé de départ, dont le larmier n'est pas efficace.

#### Profilés de socle (voir § 6.6, p. 81, et chapitre 5, p. 49)

- Les joints entre panneaux isolants et les joints entre profilés ne peuvent pas coïncider.
- Le plan de l'ETICS doit se situer à 2 cm en débord de la plinthe.
- Le larmier du profilé de départ doit être efficace.



Fissure verticale partant de la jonction entre des profilés et larmier inefficace (l'évolution dépendra des caractéristiques de l'enduit et de l'isolant).



ETICS qui n'est pas situé en débord de 2 cm par rapport à la plinthe et larmier inefficace entraînant la stagnation d'eau et l'humidification de la plinthe (risque de verdissement prématuré).

(suite du tableau page 116)

## Pose de l'isolant (voir § 6.6, p. 81, chapitre 5, p. 49, et § 2.3, p. 15)

Les fissures rectilignes (horizontales et verticales) le long des joints entre les panneaux peuvent être dues aux problèmes suivants :

- instabilité dimensionnelle de l'isolant
- panneaux non jointifs et joint rempli de manière inappropriée
- désaffleurement entre panneaux
- pourtour des panneaux d'isolation insuffisamment encollé
- panneau dans les angles de baie en plusieurs morceaux.



Pourrissement de l'isolant en fibre de bois observé lors du sondage au droit d'une fissure.



Panneaux d'isolation non jointifs donnant lieu à une fissuration de l'enduit.



Fissuration de l'enduit aux angles de baie due à l'assemblage de plusieurs morceaux d'isolant et/ou à l'absence de renfort.



Apparition de la trame des joints entre panneaux d'isolation en surface de l'ETICS révélant l'instabilité dimensionnelle de l'isolant.



ETICS (isolant en fibre de bois) sur structure à ossature en bois avec panneaux supports d'ETICS. Façade très exposée aux intempéries et dépourvue de mesures de protection spécifiques (absence de débord de toiture, par exemple) et apparition de salissures.



Désaffleurement entre panneaux d'isolation et résistance limitée de l'enduit provoquant la fissuration de ce dernier au droit des jonctions entre panneaux.

(suite du tableau page 117)

## Application du système d'enduit

## Conditions climatiques inadaptées lors de la mise en œuvre (voir § 6.4, p. 78, § 6.7, p. 94, chapitre 5, p. 49, et § 2.2, p. 11)

- Conditions de séchage inadéquates des enduits organiques (par temps humide, par exemple).
- Retrait plastique des enduits minéraux (hydrauliques) (évaporation prématurée de l'eau nécessaire à l'hydratation par grand vent ou en cas d'ensoleillement important, etc.) qui se manifeste dans les premières heures après la mise en œuvre et provoque l'apparition d'un réseau de fissures à larges mailles, généralement de plusieurs dixièmes de millimètre de largeur.
- Comportement mécanique de l'enduit inapproprié.



Durcissement insuffisant de l'enduit de finition organique et décollement.



Fissuration de l'enduit minéral (retrait) en raison des conditions de prise et de durcissement ainsi que des caractéristiques de l'enduit.

## Pose des accessoires (voir § 6.7, p. 94, et chapitre 5, p. 49)

Lorsque les renforts au droit des zones de concentration de contraintes sont absents ou déficients, les sollicitations hygrothermiques donnent lieu à une fissuration.



Fissuration de l'enduit à la jonction entre l'enduit et le seuil (l'évolution dépend des caractéristiques de l'enduit et de l'isolant).



Fissuration de l'enduit à la jonction entre des profilés (l'évolution dépend des caractéristiques de l'enduit et de l'isolant).

## Choix du type de profilés (voir § 2.5, p. 26)

Des fissures rectilignes peuvent apparaître au droit des profilés. Elles peuvent être dues à la corrosion de ces derniers à la suite d'une humidification ainsi qu'à leur sensibilité. On peut empêcher l'apparition de fissures en :

- utilisant des profilés adaptés (métalliques ou synthétiques) selon l'enduit et l'environnement
- évitant l'humidification grâce à une réalisation soignée des détails
- excluant les profilés galvanisés.



Corrosion d'un profilé de départ (inadapté, car dépourvu de larmier) en acier galvanisé.



Corrosion d'un profilé d'angle en acier galvanisé.

(suite du tableau page 118)

### Application de l'enduit de base armé (voir § 6.7, p. 94)

Le non-respect des recommandations peut entraîner la fissuration de l'enduit résultant :

- d'une position incorrecte de l'armature
- de l'absence de recouvrement des bandes d'armature
- d'épaisseurs inégales de l'enduit en raison des recouvrements moins soignés des bandes d'armature
- de la pose moins soignée des panneaux (désaffleurements significatifs, joints 'ouverts', etc.).



Apparition de la trame du recouvrement des armatures.



Fissuration et décollement dus à l'armature trop courte qui n'est pas solidarisée au profilé de départ.

### Détails techniques spécifiques

#### Raccords aux châssis et aux portes (voir chapitre 5, p. 49)

Risque d'infiltration en cas de non-respect des recommandations, avec pour conséquence des boursouflures et des décollements, voire des infiltrations à l'intérieur du bâtiment.



Infiltration d'eau à l'intérieur du bâtiment due à la jonction non étanche entre l'ETICS et la menuiserie.



Défaillance du détail au droit du seuil menant à des infiltrations d'eau dans l'enduit, des boursouflures et des décollements.

#### Raccords aux rives de toitures plates (voir chapitre 5, p. 49)

Afin d'éviter des infiltrations, un écoulement préférentiel de l'eau de pluie ou des salissures, il convient d'assurer l'étanchéité à l'eau de la partie supérieure du système d'isolation et de prévoir un dépassant suffisant et efficace afin d'écarter l'eau ruisselante du parement. Le larmier doit se situer à au moins 30 mm du plan de la façade parachevée et protéger l'enduit sur une hauteur minimale de 50 mm.



Larmier du couvre-mur inefficace.



Écoulement et salissure en raison de la dégradation du mortier de joint.

(suite du tableau page 119)



Écoulement d'eau chargée en tanin dû au choix inadapté du couvre-mur et à son humidification.

#### Autres détails (voir chapitre 5, p. 49)

Tous les percements de l'enduit doivent être pourvus d'un joint souple. Les objets fixés contre l'enduit doivent permettre un rejet d'eau en dehors du plan de la façade.



Écoulement localisé des eaux de pluie ruisselant sur la façade (absence de rejet d'eau).



Écoulement du condensat issu d'une ventilation des égouts sanitaires en surface de l'enduit (absence de rejet d'eau).

#### Nœuds constructifs

#### Impact des nœuds constructifs (voir chapitre 5, p. 49)

La conception et l'exécution de nœuds constructifs qui sont conformes à la PEB et/ou qui limitent les ponts thermiques ont pour premier objectif de réduire les déperditions énergétiques. Par ailleurs, elles permettent d'atténuer l'impact des processus d'humidification et de séchage de l'enduit qui sont différents à certains endroits du système (en fonction de son exposition et de ses propriétés), notamment :

- au droit des fixations mécaniques (apparition de la trame des fixations)
- au droit des jonctions avec les menuiseries extérieures, par exemple.



Apparition de la trame des fixations à la surface de l'enduit liée à un pont thermique et aux caractéristiques hydriques de l'enduit.



Processus d'humidification et de séchage de l'enduit différents à certains endroits résultant du non-respect des épaisseurs de contact minimales à la jonction entre l'ETICS et les menuiseries.

(suite du tableau page 120)

## Choix de la technique et du système

## Résistance aux chocs (voir § 3.3, p. 33)

Choix d'un ETICS inadapté à sa destination.



Choix inadapté d'un ETICS dans une zone publique soumise au vandalisme.



Dégradation mécanique d'un ETICS dans une zone d'accès destinée aux camions.

## Environnement très vert ou environnement urbain très pollué, défaut d'entretien (voir chapitre 8, p. 111)

Vieillessement de l'ETICS en fonction de sa sensibilité (rugosité, etc.), de l'environnement, de l'exposition à l'humidité, de la présence de dispositifs limitant cette exposition (débords de toiture) et du bon entretien.



Vieillessement prématuré de l'enduit.



Vieillessement de l'enduit en zone urbaine.

## ANNEXE A

# Calcul du coefficient de transmission thermique

Le calcul détaillé de la résistance thermique (valeur R) et du coefficient de transmission thermique (valeur U) des éléments de construction est décrit dans la norme NBN B 62-002 [B4]. Les calculs effectués dans le cadre des réglementations régionales sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) doivent être conformes aux Documents de référence en matière de transmission (DRT) [M2, S1, V1] intégrés aux arrêtés PEB des différentes Régions.

Ces documents sont disponibles sur les sites Internet régionaux :

- Région de Bruxelles-Capitale : [www.bruxellesenvironnement.be](http://www.bruxellesenvironnement.be)
- Région wallonne : [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be)
- Région flamande : [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be)

Selon la réglementation PEB, le coefficient de transmission thermique global U de la paroi recouverte par l'ETICS ne peut pas dépasser une valeur limite (valeur  $U_{max}$ ) fixée par chaque Région (voir sites Internet mentionnés ci-avant).

Ce coefficient est calculé suivant l'équation :

$$U = U_{courant} + \Delta U_f + \Delta U_{cor} \text{ [W/(m}^2\text{.K)]}$$

dans laquelle :

- U = le coefficient de transmission thermique global de la paroi recouverte par l'ETICS, en W/(m<sup>2</sup>.K)
- $U_{courant}$  = le coefficient de transmission thermique en partie courante de la paroi recouverte par l'ETICS (hors nœuds constructifs), exprimé en W/(m<sup>2</sup>.K) et déterminé à l'aide de la formule :

$$U_{courant} = \frac{1}{R_{tot}}$$

avec :

$$R_{tot} = \Sigma R_i + R_{isol\ ETICS} + R_{se} + R_{si}$$

où :

- $R_{tot}$  = la résistance thermique totale de la paroi, en (m<sup>2</sup>.K)/W
- $R_{isol\ ETICS}$  = la résistance thermique de l'isolant de l'ETICS, en (m<sup>2</sup>.K)/W

- $\Sigma R_i$  = la somme des résistances thermiques des autres couches (\*), en (m<sup>2</sup>.K)/W
- $R_{se}$  = la résistance thermique superficielle extérieure (0,04 (m<sup>2</sup>.K)/W)
- $R_{si}$  = la résistance thermique superficielle intérieure (0,13 (m<sup>2</sup>.K)/W)
- $\Delta U_f$  = le facteur d'augmentation pour les fixations mécaniques ponctuelles réparties de façon homogène sur la paroi, calculé à l'aide de l'équation :

$$\Delta U_f = n_f \times X_p \text{ (pour les chevilles de fixation)}$$

où :

- $n_f$  = le nombre de fixations par mètre carré
- $X_p$  = le coefficient de transmission thermique ponctuelle de la cheville de fixation, en W/K
- $\Delta U_{cor}$  = le facteur de correction pour les tolérances de mesure et de pose lors de l'exécution de l'élément de construction, exprimé en W/(m<sup>2</sup>.K), qui est nul selon les Documents de référence en matière de transmission régionaux [M2, S1, V1] et calculé comme suit selon la norme NBN B 62-002 [B4] :

$$\Delta U_{cor} = \frac{1}{(R_{tot} - R_{cor})} - \frac{1}{R_{tot}}$$

où  $R_{cor} = 0,1$  (m<sup>2</sup>.K)/W (diminution de la résistance totale de l'élément de construction due aux tolérances de mesure et de pose).

Notons que si l'on utilise des profilés ou des rails de pose répartis de manière homogène sur la paroi, les valeurs U et  $R_{tot}$  doivent en outre tenir compte des pertes par transmission thermique linéaire de ces profilés (éventuellement par le biais de calculs numériques) grâce à la formule suivante :

$$\Delta U = \Sigma \Psi_i l_i \text{ (pour les profilés ou les rails)}$$

dans laquelle :

- $\Psi_i$  = le coefficient de transmission thermique linéaire du profilé, en W/(m.K)
- $l_i$  = la longueur du profilé par mètre carré, en mètre.

(\*) La résistance thermique de l'enduit ( $R_{enduit}$ ) est d'environ 0,02 (m<sup>2</sup>.K)/W.



# ANNEXE B

## Nœuds constructifs conformes à la PEB

### B1 Objet

La réglementation sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) distingue :

- les interruptions linéaires et ponctuelles propres à une paroi, qui doivent être prises en considération dans le calcul du coefficient de transmission thermique ou valeur U (fixations mécaniques de l'isolation, par exemple)
- les nœuds constructifs, c'est-à-dire les discontinuités de l'enveloppe du bâtiment par lesquelles peuvent se produire des pertes de chaleur, sans que celles-ci soient nécessairement excessives ou ne donnent lieu à des problèmes de condensation ou de moisissure.

Il convient également d'établir une distinction entre les nœuds constructifs linéaires et ponctuels.

Les nœuds constructifs linéaires peuvent se rencontrer dans trois situations :

- à la jonction de deux parois de séparation appartenant à la surface de déperdition
- à la jonction entre une paroi de la surface de déperdition et une paroi située à la limite d'une parcelle voisine
- aux endroits où la couche d'isolation d'une paroi de la surface de déperdition est interrompue de façon linéaire (sur toute son épaisseur ou non) par un matériau de conductivité thermique supérieure (largeur limitée à 400 mm).

Un nœud constructif ponctuel correspond, quant à lui, à tout point de l'enveloppe du bâtiment où la couche d'isolation

d'une paroi de la surface de déperdition est interrompue de façon ponctuelle (sur toute son épaisseur ou non) par un matériau présentant une conductivité thermique supérieure. Les discontinuités ponctuelles et linéaires de la couche d'isolation qui sont inhérentes à la structure et qui sont déjà incluses dans le calcul de la valeur U ne doivent donc plus être prises en compte (voir ci-avant).

Pour de plus amples informations à ce sujet, on consultera les sites Internet [energie.wallonie.be](http://energie.wallonie.be), [www.ibgebim.be](http://www.ibgebim.be) et [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be).

L'annexe VIII de cette réglementation décrit la manière de déterminer l'impact des nœuds constructifs sur le coefficient de transmission thermique. Trois options sont proposées : un calcul détaillé, la méthode des nœuds 'PEB-conformes' ou une pénalité forfaitaire applicable au niveau K (voir figure B1).

La méthode détaillée (option A) permet de calculer de manière très précise l'influence des nœuds constructifs sur le transfert de chaleur total. Tous les nœuds linéaires et ponctuels doivent dès lors être pris en compte de façon individuelle.

La méthode des nœuds constructifs conformes à la PEB (option B) consiste à appliquer au niveau K un petit supplément forfaitaire pour les nœuds dits à pont thermique négligeable (c'est-à-dire des nœuds réputés conformes). Il n'est pas nécessaire d'en déterminer le nombre et la longueur, de sorte que le calcul s'en trouve simplifié. Les nœuds constructifs non conformes doivent, quant à eux, être calculés indi-

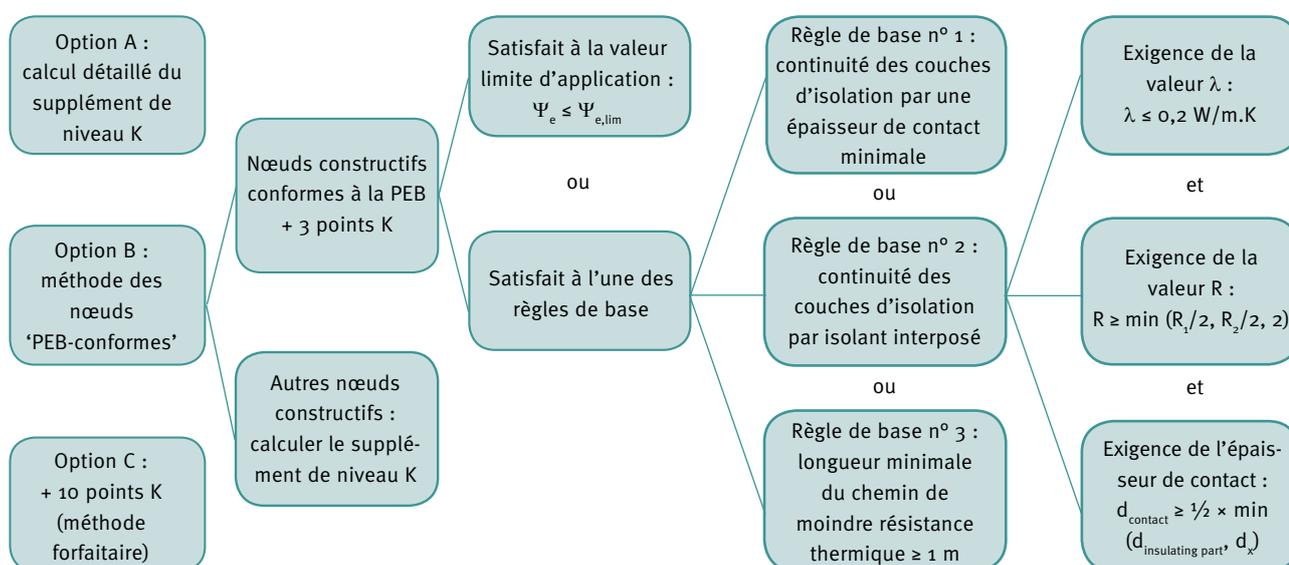


Fig. B1 Options permettant de déterminer l'impact des nœuds constructifs.

viduellement ou peuvent être pris en compte via une valeur  $\Psi$  forfaitaire supplémentaire.

L'option C est appliquée lorsqu'on ne souhaite pas prendre en compte l'influence des nœuds constructifs. Dans ce cas, une pénalité forfaitaire est prévue.

## B2 Nœuds constructifs conformes à la PEB – option B

Un nœud constructif est réputé conforme à la PEB s'il répond au moins à l'une des conditions suivantes (figure B1, p. 123) :

- soit sa valeur  $\Psi_e$  est inférieure ou égale à la valeur limite d'application  $\Psi_{e,lim}$
- soit il satisfait à l'une des règles de base relatives aux détails 'à pont thermique négligeable'.

### B2.1 Comment satisfaire à la valeur limite $\Psi_{e,lim}$ ?

Il convient de s'assurer que la valeur  $\Psi_e$  soit inférieure à la valeur  $\Psi_{e,lim}$ . La valeur  $\Psi_e$  peut être calculée ou extraite d'une base de données (pour autant que le nœud constructif considéré ait la même géométrie et que les matériaux aient la même valeur  $\Psi$  que celle renseignée dans la base de données).

### B2.2 Comment satisfaire aux règles de base ?

Pour qu'un nœud constructif puisse être considéré comme un détail 'à pont thermique négligeable', il doit répondre à l'une des trois règles de base suivantes :

- soit assurer la continuité des couches isolantes grâce à une épaisseur de contact minimale (voir § B2.2.1)
- soit assurer la continuité des couches isolantes grâce à l'interposition d'éléments isolants (voir § B2.2.2)
- soit encore présenter un long chemin de moindre résistance thermique (voir § B2.2.3, p. 125).

#### B2.2.1 Règle de base n° 1

L'épaisseur de contact  $d_{contact}$  (mesurée entre la face chaude et la face froide) des couches isolantes (d'épaisseur  $d_1$  et  $d_2$ ) de deux parois de la surface de déperdition au droit d'un raccord doit être supérieure ou égale à la moitié de la plus petite des valeurs entre  $d_1$  et  $d_2$  (moitié de l'épaisseur de la couche la moins épaisse), ce qui s'exprime par la condition suivante :  $d_{contact} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_1, d_2)$ .

#### Remarque

Pour les châssis sans coupure thermique, on considère l'épaisseur du cadre fixe ('dormant') mesurée perpendiculairement à la surface vitrée. Dans le cas de châssis à coupure thermique, la couche isolante doit être en contact direct avec la coupure thermique, et ce, sur toute l'épaisseur de la coupure thermique.

#### B2.2.2 Règle de base n° 2

Pour répondre à la règle de base n° 2, les éléments isolants interposés devront satisfaire à la fois à l'exigence de la valeur  $\lambda$ , de la valeur R et de l'épaisseur de contact.

##### B2.2.2.1 Exigence relative à la valeur $\lambda$

La valeur lambda de l'élément isolant interposé doit être inférieure ou égale à 0,2 W/m.K, soit  $\lambda_{insulating part} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$ .

#### Remarques

- Les fixations mécaniques d'une conductivité thermique supérieure à 0,2 W/m.K reliant directement la face froide et la face chaude d'un élément isolant sont admises pour autant que la somme de leur section ne dépasse pas 1 cm<sup>2</sup> par mètre courant de nœud constructif linéaire.
- Les interruptions locales de l'élément isolant par un matériau d'une conductivité thermique inférieure ou égale à 0,2 W/m.K sont autorisées si le volume du matériau n'excède pas 10 % du volume total de l'élément isolant.

##### B2.2.2.2 Exigence de la valeur R

La résistance thermique de l'élément isolant  $R_{insulating part}$  doit être suffisamment grande par rapport aux résistances thermiques  $R_1$  et  $R_2$  des couches isolantes, soit  $R_{insulating part}$  doit être supérieure ou égale à la plus petite des valeurs entre  $R_1/2$ ,  $R_2/2$  et 2. Cette exigence s'exprime par la condition suivante :  $R_{insulating part} \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2)$

avec  $R_{insulating part} = \frac{d_{insulating part}}{\lambda_{insulating part}}$ .

#### Remarques

- L'épaisseur de l'élément isolant doit être mesurée perpendiculairement à la ligne de coupure thermique. Si cette dernière traverse l'élément isolant dans deux directions, il y a lieu d'appliquer à l'élément isolant deux valeurs  $R_{insulating part}$  distinctes, qui doivent chacune satisfaire aux conditions précitées.
- Lorsqu'on interpose un élément isolant entre une couche d'isolation thermique (de résistance thermique  $R_i$ ) et une menuiserie, la valeur R de cette dernière ne doit pas être prise en compte. L'exigence devient donc, dans ce cas particulier,  $R_{insulating part}$  supérieure ou égale à la plus petite des valeurs entre  $R_i/2$  et 1,5, soit  $R_{insulating part} \geq \min(R_i/2, 1,5)$ .

### B2.2.2.3 Exigence relative à l'épaisseur de contact

Un élément isolant doit au moins couvrir la moitié de l'épaisseur de la couche d'isolation adjacente ( $d_x$ ) ou de sa propre épaisseur ( $d_{\text{insulating part}}$ ), soit  $d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$ .

### B2.2.3 Règle de base n° 3

Le plus court trajet entre l'environnement intérieur et l'environnement extérieur (ou un espace adjacent non chauffé) qui ne coupe en aucun point une couche d'isolation ou un élément isolant doit être supérieur ou égal à un mètre.

## B3 Principaux nœuds constructifs

### B3.1 Raccords en pied de mur

#### B3.1.1 Volume protégé non enterré – raccord avec bloc constructif isolant

Voir tableau B1, p. 126, § 5.1.4.1, p. 51, et figure 48, p. 52.

#### B3.1.2 Volume protégé non enterré – raccord sans bloc constructif isolant

Voir tableaux B2 et B3, p. 126, mais aussi § 5.1.4.2, p. 51, et figure 49, p. 52.

#### B3.1.3 Volume protégé partiellement enterré

Voir tableau B4, p. 126, § 5.1.5, p. 53, et figure 50, p. 53.

### B3.2 Raccords aux fenêtres et aux portes

#### B3.2.1 Châssis posés dans l'alignement de la couche d'isolation de façade (pose excentrée)

Voir tableau B5, p. 127, § 5.2.3.1, p. 58, et figure 59, p. 58.

#### B3.2.2 Châssis posés dans le plan du mur porteur sans bloc constructif isolant

Voir tableau B6, p. 127, § 5.2.3.2, p. 59, et figure 61, p. 59.

#### B3.2.3 Châssis posés dans le plan du mur porteur avec bloc constructif isolant

Voir tableau B7, p. 128, ainsi que § 5.2.3.2, p. 59, et figure 60, p. 59.

#### B3.2.4 Exigences relatives à l'alignement de l'ETICS au droit d'un soubassement

Voir tableau B8, p. 129, § 5.2.4.2, p. 60, et figure 63, p. 61.

### B3.3 Raccords aux rives de toitures plates

#### B3.3.1 Départs de toitures plates

Voir tableau B9, p. 129, mais aussi § 5.3.1, p. 61, et figure 65, p. 62.

#### B3.3.2 Rives de toitures plates – utilisation d'un bloc constructif thermiquement isolant

Voir tableau B10, p. 130, § 5.3.2.1, p. 64, et figure 71, p. 65.

#### B3.3.3 Rives de toiture plate – recouvrement de l'acrotère par des couches d'isolation thermique

Voir tableau B11, p. 131, § 5.3.2.2, p. 66, et figure 72, p. 65.

### B3.4 Raccords aux rives de toitures à versants

#### B3.4.1 Bas de versants

Voir tableaux B12, p. 131 et B13, p. 132, ainsi que § 5.4.1, p. 66 et figure 75, p. 67.

#### B3.4.2 Rive latérale (pignon)

Voir tableau B15, p. 133, § 5.4.2, p. 66, et figure 76, p. 67.

### B3.5 Raccords aux murs coulisses

Voir tableau B14, p. 132, § 5.6, p. 70, et figure 83, p. 70.

**Tableau B1** Transition entre le mur extérieur (socle) et le plancher isolé avec isolant interposé : option B, règle de base n° 2 (voir figure 48, p. 52).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Bloc de maçonnerie isolant	
Condition 2 : valeur R		satisfaite
$R_{\text{insulating part}} \geq \min(R_{\text{isol socle}}/2, R_{\text{isol plancher}}/2, 2)$	Avec $R_{\text{insulating part}} = \frac{d_{\text{insulating part}}}{\lambda_{\text{insulating part}}}$	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol socle}} = 0,05 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol socle}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol plancher}} = 0,1 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol plancher}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol socle}} = 0,83</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol plancher}} = 1,67</math></li> <li>Min = 0,83 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 0,83</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,04 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,08 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,15 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,13 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,20 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,17 \text{ m}</math></li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol socle}} = 0,15 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol socle}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol plancher}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol plancher}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol socle}} = 2,50</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol plancher}} = 3,33</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 2</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,10 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,20 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,15 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,30 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,20 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,40 \text{ m}</math></li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact},x} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$		
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol socle}} = 0,05 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{isol plancher}} = 0,1 \text{ m}</math></li> </ul> <p>Si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{insulating part}} = 0,04 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact},i} \geq 0,02 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{insulating part}} = 0,17 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact},\text{socle}} \geq 0,03 \text{ m}</math> <math>\rightarrow d_{\text{contact},\text{plancher}} \geq 0,05 \text{ m}</math></li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol socle}} = 0,15 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{isol plancher}} = 0,2 \text{ m}</math></li> </ul> <p>Si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact},i} \geq 0,05 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{insulating part}} = 0,40 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact},\text{socle}} \geq 0,08 \text{ m}</math> <math>\rightarrow d_{\text{contact},\text{plancher}} \geq 0,10 \text{ m}</math></li> </ul>	
Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)		conforme

**Tableau B2** Transition entre le mur extérieur et le plancher isolé sans bloc constructif isolant : option B, règle de base n° 3 (longueur minimale du chemin de moindre résistance thermique) – cas 1 : plancher sur terre-plein (voir figure 49A, p. 52).

Condition : $L \geq 1 \text{ m}$		satisfaite
Environnement extérieur et volume protégé	$L1 + L2 + L3 \geq 1 \text{ m}$	
Conformité du nœud, règle de base n° 3 de l'option B		conforme

**Tableau B3** Transition entre le mur extérieur et le plancher isolé sans bloc constructif isolant : option B, règle de base n° 3 (longueur minimale du chemin de moindre résistance thermique) – cas 2 : plancher sur espace adjacent non chauffé (cave, vide sanitaire) (voir figure 49B, p. 52).

Condition : $L \geq 1 \text{ m}$		satisfaite
Environnement extérieur et volume protégé	$L1 + L2 + L3 \geq 1 \text{ m}$	
Volume protégé et espace adjacent non chauffé	$L'1 + L'2 \geq 1 \text{ m}$ $L''1 + L''2 \geq 1 \text{ m}$	
Conformité du nœud, règle de base n° 3 de l'option B		conforme

**Tableau B4** Transition entre l'isolation du mur extérieur (socle) et celle du mur enterré : option B, règle de base n° 1 (continuité de l'isolation assurée grâce à une épaisseur de contact minimale) (voir figure 50, p. 53).

Condition : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{isol socle}}, d_{\text{isol mur enterré}})$	Cette condition est généralement satisfaite.	
Conformité du nœud, règle de base n° 1 de l'option B		conforme

**Tableau B5** Transition entre l'isolation du mur extérieur (ETICS) et le châssis (pose excentrée) : option B, règle de base n° 1 (la continuité de l'isolation est assurée grâce à une épaisseur de contact minimale; voir figure 59, p. 58) (\*).

Condition : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{épaisseur dormant}}, d_{\text{isol ETICS}})$	En général, $d_{\text{épaisseur dormant}} < d_{\text{isol ETICS}}$ . La condition la plus contraignante est donc : $d_{\text{contact}} \geq d_{\text{épaisseur dormant}}/2$ .	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit épaisseur du dormant <math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 8</math> cm</p> <p>Condition satisfaite si <math>d_{\text{contact}} \geq 4</math> cm</p>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit épaisseur du dormant <math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 12</math> cm</p> <p>Condition satisfaite si <math>d_{\text{contact}} \geq 6</math> cm</p>	
Conformité du nœud, règle de base n° 1 de l'option B		conforme
(*) Pour les châssis à coupure thermique, la couche isolante doit être en contact direct avec la coupure thermique, et ce, sur toute l'épaisseur de cette dernière.		

**Tableau B6** Transition entre l'isolation du mur extérieur (ETICS) et le châssis (dans le plan du mur) : option B, règle de base n° 1 (pour les châssis sans coupure thermique, la continuité de l'isolation est assurée grâce à une épaisseur de contact minimale; voir figure 61, p. 59).

Condition : épaisseur de contact		satisfaite/non satisfaite (*)
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{épaisseur dormant}}, d_{\text{isol ETICS}})$	En général, $d_{\text{épaisseur dormant}} < d_{\text{isol ETICS}}$ . La condition la plus contraignante est donc : $d_{\text{contact}} \geq d_{\text{épaisseur dormant}}/2$ .	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit épaisseur du dormant <math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 8</math> cm</p> <p>Condition satisfaite si la battée = <math>d_{\text{contact}} \geq 4</math> cm</p>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit épaisseur du dormant <math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 10</math> cm</p> <p>Condition satisfaite si la battée = <math>d_{\text{contact}} \geq 5</math> cm</p> <p>Si la largeur du dormant <math>&lt; 5</math> cm, condition non satisfaite</p>	
Conformité du nœud, règle de base n° 1 de l'option B		conforme/non conforme (*)
(*) Il convient de veiller en particulier à la longueur et à la position du seuil ainsi qu'au raccord de la plinthe isolée au cadre dormant des portes.		

Tableau B7 Transition entre l'isolation du mur extérieur (ETICS) et le châssis (dans le plan du mur avec bloc isolant) : option B, règle de base n° 2 (voir figure 60, p. 59).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Bloc de maçonnerie isolant	
Condition 2 : valeur R		satisfaite/non satisfaite (1)
$R_{\text{insulating part}} \geq \min (R_{\text{isol ETICS}}/2, 1,5) \text{ (2) (3)}$	Avec $R_{\text{insulating part}} = \frac{d_{\text{insulating part}}}{\lambda_{\text{insulating part}}}$	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,25</math></li> <li>Min = 1,25 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 1,25</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,06 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,13 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,15 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,19 \text{ m (4)}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,20 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,25 \text{ m (4)}</math></li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,50</math></li> <li>Min = 1,5 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 1,5</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,08 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,15 \text{ m (4)}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,15 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,23 \text{ m (4)}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,20 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,30 \text{ m (4)}</math></li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact,x}} \geq \frac{1}{2} \times \min (d_{\text{insulating part}}, d_x)$		
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 0,08 \text{ m}</math></li> </ul> <p>Si :</p> <p><math>d_{\text{insulating part}} = 0,14 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} \geq 0,05 \text{ m}</math>, condition satisfaite  <math>\rightarrow d_{\text{contact,dormant}} \geq 0,04 \text{ m}</math>, condition satisfaite</p>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 0,08 \text{ m}</math></li> </ul> <p>Si :</p> <p><math>d_{\text{insulating part}} = 0,14 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} \geq 0,07 \text{ m}</math>, condition satisfaite  <math>\rightarrow d_{\text{contact,dormant}} \geq 0,04 \text{ m}</math>, condition satisfaite</p>	
Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)		conforme/non conforme (1)
<p>(1) Condition remplie ou non en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> et de l'épaisseur du mur.</p> <p>(2) À noter que dans le cas d'un mur de 14 cm (ou de 19 cm) d'épaisseur isolé de telle manière que <math>\frac{1}{2} \times R_{\text{isol ETICS}} \geq 1,5</math> (12 cm d'isolant avec une valeur <math>\lambda</math> de 0,04, par exemple), la valeur <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> obtenue en utilisant un isolant interposé de 14 cm (ou de 19 cm) doit être inférieure ou égale à 0,09 (ou à 0,13).</p> <p>(3) À respecter dans la direction perpendiculaire à la ligne de coupure thermique, donc dans deux directions.</p> <p>(4) Condition non remplie si mur de 14 cm d'épaisseur.</p>		

**Tableau B8** Transition entre l'isolation du mur extérieur (ETICS) et le châssis de porte en présence d'un retour de plinthe : option B, règle de base n° 1 (pour les châssis sans coupe thermique posés à fleur du mur, la continuité de l'isolation est garantie par une épaisseur de contact minimale; voir figure 63, p. 61).

Condition : épaisseur de contact		satisfaite/non satisfaite
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{épaisseur dormant}}, d_{\text{isol ETICS}})$	En général, $d_{\text{épaisseur dormant}} < d_{\text{isol ETICS}}$ . La condition la plus contraignante est donc : $d_{\text{contact}} \geq d_{\text{épaisseur dormant}}/2$ (*).	
<b>Exemple</b>		
<p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>épaisseur de l'enduit = 0,5 à 2 cm</li> <li>largeur du dormant <math>\geq d_{\text{contact},1}</math> + épaisseur enduit + environ 1 cm</li> <li><math>d_{\text{contact},2} = d_{\text{contact},1} - 5</math> cm (environ)</li> <li><math>d_{\text{contact},2} \geq</math> épaisseur dormant/2</li> </ul> <p>Si :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 6</math> cm <math>\rightarrow</math> largeur dormant <math>\geq 9,5 - 11,0</math> cm</li> <li><math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 8</math> cm <math>\rightarrow</math> largeur dormant <math>\geq 10,5 - 12,0</math> cm</li> <li><math>d_{\text{épaisseur dormant}} = 10</math> cm <math>\rightarrow</math> largeur dormant <math>\geq 11,5 - 13,0</math> cm</li> </ul>		
<b>Conformité du nœud, règle de base n° 1 de l'option B</b>		<b>conforme/non conforme</b>
(*) Parfois problématique au droit du socle en raison de la position en retrait de la plinthe isolée et de l'épaisseur de cette dernière.		

**Tableau B9** Transition entre l'isolant de la toiture plate et l'isolant de l'ETICS (départ) avec isolant interposé : option B, règle de base n° 2 (voir figure 65, p. 62).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Matériau isolant	
Condition 2 : valeur R		satisfaite (*)
$R_{\text{insulating part}} \geq \min(R_{\text{isol toiture}}/2, R_{\text{isol ETICS}}/2, 2)$	Avec $R_{\text{insulating part}} = \frac{d_{\text{insulating part}}}{\lambda_{\text{insulating part}}}$	
<b>Exemple 1</b>	<b>Exemple 2</b>	
<p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1</math> m, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04</math> W/m.K</li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,1</math> m, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,03</math> W/m.K</li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,25</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 1,67</math></li> <li>Min = 1,25 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 1,25</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05</math> W/m.K <math>\rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,06</math> m, condition satisfaite</li> <li>(si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,2</math> W/m.K <math>\rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,25</math> m, condition non satisfaite)</li> </ul>	<p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2</math> m, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04</math> W/m.K</li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,2</math> m, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,03</math> W/m.K</li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,50</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 3,33</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 2</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05</math> W/m.K <math>\rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,10</math> m, condition satisfaite</li> <li>(si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,2</math> W/m.K <math>\rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,4</math> m, condition non satisfaite)</li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite (*)
$d_{\text{contact},x} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$	$d_{\text{insulating part}} < d_{\text{isol ETICS}}$ $d_{\text{contact},1} = d_{\text{insulating part}} \geq d_{\text{insulating part}}/2$ : condition satisfaite $d_{\text{contact},2} = d_{\text{insulating part}}$	
<b>Exemple 1</b>	<b>Exemple 2</b>	
<p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1</math> m</li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,1</math> m</li> </ul> <p>Si :</p> $d_{\text{insulating part}} = 0,06 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} = 0,06 \text{ m} \geq 0,03 \text{ m}$ $\rightarrow d_{\text{contact,toiture}} = 0,06 \text{ m} \geq 0,03 \text{ m}$	<p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,20</math> m</li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,20</math> m</li> </ul> <p>Si :</p> $d_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} = 0,10 \text{ m} \geq 0,05 \text{ m}$ $\rightarrow d_{\text{contact,toiture}} = 0,10 \text{ m} \geq 0,05 \text{ m}$	
<b>Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)</b>		<b>conforme (*)</b>
(*) À condition que la valeur $\lambda_{\text{insulating part}}$ soit comparable aux valeurs $\lambda_{\text{isol ETICS}}$ et $\lambda_{\text{isol toiture}}$ .		
(**) On ne tient pas compte du profilé en PVC ni de la membrane (voir § 3.6, p. 37).		

Tableau B10 Transition entre les rives de toiture plate et l'ETICS avec bloc thermiquement isolant : option B, règle de base n° 2 (voir figure 71, p. 65).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$		Bloc constructif isolant
Condition 2 : valeur R		satisfaite
$R_{\text{insulating part}} \geq \min (R_{\text{isol ETICS}}/2, R_{\text{isol toiture}}/2, 2)$		Avec $R_{\text{insulating part}} = \frac{d_{\text{insulating part}}}{\lambda_{\text{insulating part}}}$
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1 \text{ m}, \lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,1 \text{ m}, \lambda_{\text{isol toiture}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,25</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 1,67</math></li> <li>Min = 1,25 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 1,25</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,06 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,13 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,15 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,19 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,20 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,25 \text{ m}</math></li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}, \lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,2 \text{ m}, \lambda_{\text{isol toiture}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,50</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 3,33</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 2</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,10 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,10 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,20 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,15 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,30 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,20 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,40 \text{ m}</math></li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact},x} \geq \frac{1}{2} \times \min (d_{\text{insulating part}}, d_x)$		$d_{\text{contact},1} = d_{\text{insulating part}}$ $d_{\text{contact},2} = d_{\text{isol toiture}} \text{ ou } d_{\text{insulating part}}$
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,1 \text{ m}</math></li> </ul> <p>Si :</p> <p><math>d_{\text{insulating part}} = 0,06 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} = 0,06 \text{ m} \geq 0,03 \text{ m}</math> <math>\rightarrow d_{\text{contact,toiture}} = 0,06 \text{ m} \geq 0,03 \text{ m}</math></p>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,2 \text{ m}</math></li> </ul> <p>Si :</p> <p><math>d_{\text{insulating part}} = 0,2 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} = 0,1 \text{ m}</math> <math>\rightarrow d_{\text{contact,toiture}} = 0,1 \text{ m}</math></p>	
Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)		conforme

Tableau B11 Rive de toiture plate – isolation thermique de l'acrotère : option B, règle de base n° 2 (figure 72, p. 65).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part A}}$ et $\lambda_{\text{insulating part B}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Isolants adaptés	
Condition 2 : valeur R		satisfaite
$R_{\text{insulating part A}}$ et $R_{\text{insulating part B}} \geq \min(R_{\text{isol ETICS}}/2, R_{\text{isol toiture}}/2, 2)$	Avec $R_{\text{insulating part A}} = \frac{d_{\text{insulating part A}}}{\lambda_{\text{insulating part A}}}$ $R_{\text{insulating part B}} = \frac{d_{\text{insulating part B}}}{\lambda_{\text{insulating part B}}}$	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,10 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,10 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,25</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 1,67</math></li> <li>Min = 1,25 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part A}}</math> et <math>R_{\text{insulating part B}} \geq 1,25</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part A}}</math> et <math>d_{\text{insulating part B}}</math> minimaux en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part A}}</math> et <math>\lambda_{\text{insulating part B}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part A}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part A}} \geq 0,06 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,04 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part B}} \geq 0,05 \text{ m}</math></li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,20 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,20 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,03 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,50</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 3,33</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part A}}</math> et <math>R_{\text{insulating part B}} \geq 2</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part A}}</math> et <math>d_{\text{insulating part B}}</math> minimaux en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part A}}</math> et <math>\lambda_{\text{insulating part B}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part A}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part A}} \geq 0,10 \text{ m}</math></li> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,04 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part B}} \geq 0,08 \text{ m}</math></li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact},x} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$ 3 contacts à vérifier	Cette condition est généralement satisfaite.	
<b>Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)</b>		<b>conforme (*)</b>
(*) À condition que : <ul style="list-style-type: none"> <li>les interruptions locales de l'élément isolant interposé (face supérieure de l'acrotère) par le gîtage en bois (de conductivité thermique inférieure à 0,2 W/m.K) soient telles que le volume du gîtage soit inférieur ou égal à 10 % par mètre courant de nœud constructif linéaire (gîtage de 5 cm de large tous les 50 cm, par exemple)</li> <li>les fixations mécaniques métalliques (<math>\lambda &gt; 0,2 \text{ W/m.K}</math>) soient telles que la section totale par mètre courant de nœud linéaire ne dépasse pas 1 cm<sup>2</sup> (2 fixations de 5 mm de diamètre tous les 50 cm, par exemple).</li> </ul>		

Tableau B12 Transition entre l'isolant de la toiture à versants (bas de versant) et l'isolant de l'ETICS – cas 1 : ETICS en butée contre l'habillage du dépassant (voir figure 75, p. 67) : option B, règle de base n° 2 (†).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Contact entre isolants	
Condition 2 : valeur R		satisfaite
$R_{\text{insulating part}} \geq \min(R_{\text{isol ETICS}}/2, R_{\text{isol toiture}}/2, 2)$ Insulating part = contact (‡) $\lambda_{\text{insulating part}} = \lambda_{\text{contact}} = \max(\lambda_{\text{isol ETICS}}, \lambda_{\text{isol toiture}})$	Avec $R_{\text{insulating part}} = \frac{d_{\text{insulating part}}}{\lambda_{\text{insulating part}}}$ Soit $R_{\text{contact}} = \frac{d_{\text{contact}}}{\lambda_{\text{contact}}}$	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,08 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,05 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,0</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 2,5</math></li> <li>Min = 1,0 <math>\rightarrow R_{\text{contact}} \geq 1,0</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{contact}}</math> en fonction de <math>\lambda_{\text{isol ETICS}}</math> et <math>\lambda_{\text{isol toiture}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{contact}} \geq 0,05 \times 1,0 = 0,05</math>, condition satisfaite (‡)</li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,20 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,30 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,5</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 3,75</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{contact}} \geq 2</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{contact}}</math> en fonction de <math>\lambda_{\text{isol ETICS}}</math> et <math>\lambda_{\text{isol toiture}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{contact}} \geq 0,04 \times 2 = 0,08</math>, condition satisfaite</li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$	$d_{\text{contact}} = d_{\text{insulating part}} (< d_x) > \frac{1}{2} \times d_{\text{insulating part}}$	
<b>Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)</b>		<b>conforme</b>
(†) En raison de la présence de l'habillage du dépassant qui interrompt partiellement les couches d'isolation, le contact entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant de toiture est vérifié en tant qu'élément isolant interposé. (‡) On constate que la condition $d_{\text{contact}} \geq d_{\text{isol ETICS}}/2$ n'est pas assez stricte dans certains cas.		

**Tableau B13** Transition entre l'isolant de la toiture à versants (bas de versant) et l'isolant de l'ETICS – cas 2 : habillage du dépassant en butée contre l'ETICS : option B, règle de base n° 1.

Condition : épaisseur de contact		satisfaite
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{isol ETICS}}, d_{\text{isol toiture}})$	En général, $d_{\text{isol ETICS}} < d_{\text{isol toiture}}$ La condition la plus contraignante est donc $d_{\text{contact}} \geq d_{\text{isol ETICS}}/2$ .	
Conformité du nœud, règle de base n° 1 de l'option B		conforme

**Tableau B14** Transition entre l'isolant du mur coulisse et l'isolant de l'ETICS avec isolant interposé : option B, règle de base n° 2 (voir figure 83, p. 70).

Condition 1 : valeur $\lambda$		satisfaite
$\lambda_{\text{insulating part}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Matériau isolant	
Condition 2 : valeur R		satisfaite (1) (2)
$R_{\text{insulating part}} \geq \min(R_{\text{isol ETICS}}/2, R_{\text{isol mur coulisse}}/2, 2)$	Avec $R_{\text{insulating part}} = \frac{d_{\text{insulating part}}}{\lambda_{\text{insulating part}}}$	
<p><b>Exemple 1</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol mur coulisse}} = 0,1 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol mur coulisse}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol mur coulisse}} = 1,25</math></li> <li>Min = 1,25 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 1,25</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,06 \text{ m}</math>, condition satisfaite</li> <li>(si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,2 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,25 \text{ m}</math>, condition non satisfaite)</li> </ul>	<p><b>Exemple 2</b></p> <p>Soit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol mur coulisse}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol mur coulisse}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> <p>On a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol mur coulisse}} = 2,50</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part}} \geq 2</math></li> </ul> <p><math>d_{\text{insulating part}}</math> minimal en fonction de <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,10 \text{ m}</math>, condition satisfaite</li> <li>(si <math>\lambda_{\text{insulating part}} = 0,2 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part}} \geq 0,4 \text{ m}</math>, condition non satisfaite)</li> </ul>	
Condition 3 : épaisseur de contact		satisfaite (2)
$d_{\text{contact},x} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$	$d_{\text{insulating part}} < d_x$ $d_{\text{contact},\text{ETICS}} = d_{\text{insulating part}} \geq d_{\text{insulating part}}/2$ , condition satisfaite $d_{\text{contact},\text{coulisse}} = d_{\text{insulating part}} \geq d_{\text{insulating part}}/2$ , condition satisfaite	
Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)		conforme (1) (2) (3)
<p>(1) À condition que la section des fixations mécaniques de la console ou les équerres ponctuelles traversant l'isolant interposé ne dépassent pas 1 cm<sup>2</sup> par mètre courant (2 fixations de 5 mm de diamètre tous les 50 cm, équerre d'une section de 1,5 × 30 mm tous les 50 cm, par exemple).</p> <p>(2) On ne tient pas compte du profilé en PVC ni de la membrane (voir § 3.6, p. 37).</p> <p>(3) À condition que la valeur <math>\lambda_{\text{insulating part}}</math> soit comparable aux valeurs <math>\lambda_{\text{isol ETICS}}</math> et <math>\lambda_{\text{isol toiture}}</math>.</p>		

Tableau B15 Transition entre l'isolant de la toiture à versants (rive latérale) et l'isolant de l'ETICS : option B, règle de base n° 2 (voir figure 76, p. 67) (1).

Insulating part A : contact entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant interposé	
<b>Condition 1 : valeur <math>\lambda</math></b>	
$\lambda_{\text{insulating part A}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Contact entre isolants
<b>Condition 2 : valeur R</b>	
$R_{\text{insulating part A}} \geq \min(R_{\text{isol ETICS}}/2, R_{\text{isol toiture}}/2, 2)$ Insulating part = contact $\lambda_{\text{insulating part A}} = \lambda_{\text{contact}} = \max(\lambda_{\text{isol ETICS}}, \lambda_{\text{insulating part B}})$	Avec $R_{\text{insulating part A}} = \frac{d_{\text{insulating part A}}}{\lambda_{\text{insulating part A}}}$ Soit $R_{\text{contact}} = \frac{d_{\text{contact}}}{\lambda_{\text{contact}}}$
<b>Exemple 1</b> Soit : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,08 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,05 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,05 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> On a : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,0</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 2,5</math></li> <li>Min = 1,0 <math>\rightarrow R_{\text{contact}} \geq 1,0</math></li> </ul> $d_{\text{contact}}$ en fonction de $\lambda_{\text{isol ETICS}}$ , $\lambda_{\text{insulating part B}}$ et $\lambda_{\text{isol toiture}}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{contact}} \geq 0,05 \times 1,0 = 0,05</math>, condition satisfaite (2)</li> </ul>	<b>Exemple 2</b> Soit : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,05 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,3 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> On a : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,5</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 3,75</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{contact}} \geq 2</math></li> </ul> $d_{\text{contact}}$ en fonction de $\lambda_{\text{isol ETICS}}$ , $\lambda_{\text{insulating part B}}$ et $\lambda_{\text{isol toiture}}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{contact}} \geq 0,05 \times 2 = 0,10</math>, condition satisfaite</li> </ul>
<b>Condition 3 : épaisseur de contact</b>	
$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$	$d_{\text{contact},1} = d_{\text{contact},2} = d_{\text{insulating part A}} (\ll d_{\text{isol ETICS}}) > \frac{1}{2} \times d_{\text{insulating part A}}$ (condition toujours satisfaite)
Insulating part B : isolant interposé de la rive de toiture	
<b>Condition 1 : valeur <math>\lambda</math></b>	
$\lambda_{\text{insulating part B}} \leq 0,2 \text{ W/m.K}$	Matériau isolant
<b>Condition 2 : valeur R (3)</b>	
$R_{\text{insulating part B}} \geq \min(R_{\text{isol ETICS}}/2, R_{\text{isol toiture}}/2, 2)$	Avec $R_{\text{insulating part B}} = \frac{d_{\text{insulating part B}}}{\lambda_{\text{insulating part B}}}$
<b>Exemple 1</b> Soit : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,1 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,15 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> On a : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 1,25</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 1,88</math></li> <li>Min = 1,25 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part B}} \geq 1,25</math></li> </ul> $d_{\text{insulating part B}}$ minimal en fonction de $\lambda_{\text{insulating part B}}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part B}} \geq 0,06 \text{ m}</math></li> <li>(si <math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,2 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part B}} \geq 0,25 \text{ m}</math>, condition non satisfaite)</li> </ul>	<b>Exemple 2</b> Soit : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,2 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol ETICS}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,3 \text{ m}</math>, <math>\lambda_{\text{isol toiture}} = 0,04 \text{ W/m.K}</math></li> </ul> On a : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>\frac{1}{2} R_{\text{isol ETICS}} = 2,50</math> et <math>\frac{1}{2} R_{\text{isol toiture}} = 3,75</math></li> <li>Min = 2 <math>\rightarrow R_{\text{insulating part B}} \geq 2</math></li> </ul> $d_{\text{insulating part B}}$ minimal en fonction de $\lambda_{\text{insulating part B}}$ : <ul style="list-style-type: none"> <li>si <math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,05 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part B}} \geq 0,10 \text{ m}</math></li> <li>(si <math>\lambda_{\text{insulating part B}} = 0,2 \text{ W/m.K} \rightarrow d_{\text{insulating part B}} \geq 0,40 \text{ m}</math>, condition non satisfaite)</li> </ul>
<b>Condition 3 : épaisseur de contact</b>	
$d_{\text{contact},x} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$	$d_{\text{insulating part B}} < d_{\text{isol toiture}}$ $d_{\text{contact},3} = d_{\text{insulating part B}} \geq d_{\text{insulating part B}}/2$ , condition satisfaite
<b>Exemple 1</b> Soit : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol contact}} = 0,06 \text{ m}</math> (<math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,10 \text{ m}</math>)</li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,15 \text{ m}</math></li> </ul> Si : $d_{\text{insulating part B}} = 0,06 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} = 0,06 \text{ m} \geq 0,03 \text{ m}$ $\rightarrow d_{\text{contact,toiture}} = 0,06 \text{ m} \geq 0,03 \text{ m}$	<b>Exemple 2</b> Soit : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{\text{isol contact}} = 0,12 \text{ m}</math> (<math>d_{\text{isol ETICS}} = 0,20 \text{ m}</math>)</li> <li><math>d_{\text{isol toiture}} = 0,30 \text{ m}</math></li> </ul> Si : $d_{\text{insulating part B}} = 0,10 \text{ m} \rightarrow d_{\text{contact,ETICS}} = 0,12 \text{ m} \geq 0,05 \text{ m}$ $\rightarrow d_{\text{contact,toiture}} = 0,10 \text{ m} \geq 0,05 \text{ m}$
<b>Conformité du nœud, règle de base n° 2 de l'option B (trois conditions à remplir simultanément)</b>	
conforme (4) (5)	
(1) Utilisation d'une succession d'éléments isolants interposés : - Insulating part A : en raison de la présence de l'habillage du dépassant qui interrompt partiellement les couches d'isolation, le contact entre l'isolant de l'ETICS et l'isolant interposé de la rive de toiture est vérifié en tant qu'élément isolant interposé. - Insulating part B : isolant interposé de la rive de toiture. (2) On constate que la condition $d_{\text{contact}} \geq d_{\text{isol ETICS}}/2$ n'est pas toujours assez stricte. (3) Critère à vérifier dans deux directions, puisque la ligne de coupure thermique traverse l'isolant interposé dans deux directions. (4) À condition que la valeur $\lambda_{\text{insulating part B}}$ soit comparable aux valeurs $\lambda_{\text{isol ETICS}}$ et $\lambda_{\text{isol toiture}}$ . (5) À condition que le volume de la structure en bois (échelle) soit inférieur ou égal à 10 % par mètre courant de nœud constructif linéaire (maximum 2 gîtes de 50 mm de largeur par mètre courant, par exemple).	



## ANNEXE C

# Aide-mémoire : travaux d'enduits sur isolation extérieure (ETICS)

Cette annexe énumère les différents points auxquels il convient de prêter attention à chaque étape des travaux d'enduit sur isolation extérieure, que ce soit avant, pendant ou après les travaux ou encore au stade de l'entretien.

Informations générales concernant le chantier		
Entreprise chargée des travaux (façadier) : ..... .....		
Lieu d'exécution des travaux : ..... ..... .....	Période d'exécution : ..... ..... .....	N° ATE et ATG de l'ETICS : ..... ..... ..... Type/nom des composants : ..... .....
Donneur d'ordre : ..... .....	Entrepreneur général : ..... .....	Architecte : ..... .....

Liste des annexes		
Phases d'exécution	Façadier	Donneur d'ordre
Avant les travaux (voir cadre A, p. 136) : • ..... • ..... • .....	Lu et approuvé  Date : .....	Lu et approuvé  Date : .....
Pendant les travaux (voir cadre B, p. 138) : • ..... • ..... • .....	Lu et approuvé  Date : .....	Lu et approuvé  Date : .....
Après les travaux (voir cadre C, p. 139) : • ..... • ..... • .....	Lu et approuvé  Date : .....	Lu et approuvé  Date : .....
Au stade de l'entretien (voir cadre D, p. 139) : • ..... • ..... • .....	Lu et approuvé  Date : .....	Lu et approuvé  Date : .....

A. Avant les travaux	
Objet	Éléments à contrôler
<b>A1. Caractéristiques générales du bâtiment</b>	
Nature de la construction	Bâtiment neuf, transformation, restauration ou extension
Affectation	Logement, bureaux, bâtiment industriel, autre : ..... .....
Localisation	Zone résidentielle, industrielle, urbaine ou rurale
Hauteur du bâtiment	Le système d'enduit doit-il répondre à certaines exigences compte tenu de la hauteur du bâtiment et de sa localisation ?
<b>A2. Support</b>	
Type de support	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maçonnerie (terre cuite, béton, béton cellulaire, etc.)</li> <li>• Béton (coulé sur place ou non)</li> <li>• Enduit</li> <li>• Ossature en bois (+ panneaux supports)</li> <li>• Autre : ..... ..... .....</li> </ul> Date d'achèvement (gros œuvre) : .....
Cohésion du support/adhérence de la finition existante	En présence d'un bâtiment ancien, contrôler, si nécessaire, l'adhérence/la cohésion de la finition existante.
Compatibilité/adhérence de la colle au support	En cas de doute, procéder à un essai d'adhérence et/ou s'informer auprès du fabricant.
Homogénéité	Des hétérogénéités ont-elles été constatées sur plan ? Quelle est la situation réelle sur place ?
Orientation/exposition	Environnement boisé, risque de verdissement, autres : ..... ..... .....
Salissures/dégâts existants	Salissures, encrassements, efflorescences, mousse, écaillage, fissures, autres : ..... ..... .....
Humidité	Y a-t-il de l'humidité/une barrière à l'humidité ? En cas de doute, procéder à des mesures d'humidité (obligatoire pour les supports en bois).
Température	La température est-elle conforme aux consignes du fabricant ?
Tolérances sur le support	Vérifier la planéité, la verticalité, l'horizontalité (plafond), l'équerrage, la rectitude et la largeur des raccords éventuels avec la menuiserie. Examiner la nécessité d'appliquer une couche d'égalisation.
Joints	Les joints de mouvement prévus sur plan ont-ils été réalisés ?
<b>A3. Calculs thermiques effectués par l'architecte</b>	
Bâtiment neuf/bâtiment existant	Les résultats de calcul sont-ils conformes à la réglementation sur la performance énergétique ?
<b>A4. Réalisation des détails d'exécution prévus</b>	
Dispositions constructives	Conformité pour l'application d'un ETICS ?

(suite du tableau p. 137)

Finition du pied de mur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La finition des plinthes fait-elle saillie par rapport à l'isolation ? Cette dernière est-elle suffisamment résistante aux chocs ?</li> <li>• Le matériau isolant est-il hydrofuge ?</li> <li>• Le système d'étanchéité est-il performant ?</li> <li>• Le profilé de départ est-il situé à 30 cm minimum du niveau du sol extérieur ?</li> <li>• Des mesures ont-elles été prises pour réduire les ponts thermiques éventuels ?</li> </ul>
Jonctions avec les châssis de fenêtre et les portes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La fixation de la menuiserie au gros œuvre est-elle stable ?</li> <li>• L'étanchéité des raccords au vent et à la pluie est-elle assurée ?</li> <li>• Les raccords sont-ils parallèles au nu du gros œuvre ?</li> <li>• Des profilés d'arrêt et des joints de mastic (souples) sont-ils présents ?</li> <li>• Le seuil répond-il aux exigences requises en matière d'étanchéité à l'eau (profilé en U sur les bords latéraux) et présente-t-il un dépassant suffisant ?</li> <li>• L'étanchéité est-elle adaptée à la nature du bâtiment et aux risques qui y sont liés ?</li> </ul>
Jonctions aux rives de toitures plates	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un profilé de rive est-il présent en toiture ?</li> <li>• La pose d'un couvre-mur est-elle prévue ?</li> <li>• La hauteur de protection est-elle suffisante ?</li> </ul>
Jonctions aux rives de toitures à versants	L'isolation ne peut pas être interrompue.
Raccord avec un balcon	Les ponts thermiques sont à éviter. L'étanchéité du raccord doit être assurée.
Joints de mouvement	Le support doit être pourvu des profilés d'arrêt, joints de mastic et joints d'étanchéité nécessaires.
Percements	Tous les percements doivent être couverts d'une bande compressible et d'un joint de mastic.
Autres détails : ..... .....	..... ..... .....
<b>A5. Protection contre l'incendie</b>	
Réglementation	S'assurer de l'applicabilité de la réglementation (*).
<b>A6. Protection contre le vent</b>	
Action du vent	Vérifier si les directives du fabricant ont été respectées.
<b>A7. Installation de chantier</b>	
Cabines de chantier et services	..... .....
Matériaux et appareillage	Les matériaux et l'appareillage doivent être entreposés dans un endroit sec et à l'abri du gel.
Échafaudages	Les échafaudages doivent prendre appui sur une surface stable et de taille suffisante.
Gestion des déchets	Des possibilités d'évacuation et/ou de tri des déchets ont-elles été prévues ?
(*) Pour de plus amples informations à ce sujet, on consultera la série de normes NBN EN 13501 'Classement au feu des produits et éléments de construction' et l'arrêté royal fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion.	

B. Pendant les travaux		
Objet	Éléments à contrôler	Fréquence ou moment du contrôle
<b>B1. Organisation</b>		
Documents disponibles sur chantier	Permis d'urbanisme, cahiers général et spécial des charges, plans, consignes du fabricant, ATE, ATG, autres : .....	Avant et pendant l'exécution
<b>B2. Matériaux de construction</b>		
Colle	Lors de la livraison, l'entrepreneur doit vérifier pour chacun de ces éléments : <ul style="list-style-type: none"> <li>le bon de livraison</li> <li>l'étiquetage</li> <li>le numéro de fabrication</li> <li>la durée et les conditions de conservation</li> <li>l'aspect (déformations, consistance, etc.)</li> <li>la conformité aux spécifications d'ATE et/ou d'ATG.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>À chaque fourniture</li> <li>Avant la pose</li> </ul>
Fixations mécaniques		
Panneaux d'isolation		
Enduit de base		
Treillis d'armature		
Couche primaire/couche d'apprêt		
Enduit de finition		
Peinture		
Accessoires (profilés, bandes d'étanchéité comprimées, etc.)		
<b>B3. Matériel</b>		
Doseur	Contrôle des fonctions et des quantités envisagées.	Avant la première utilisation
Malaxeur	Contrôle des fonctions, du parfait état de fonctionnement et de l'absence de rouille.	Avant le début des travaux
Outils utilisés pour l'application	Contrôle des fonctions, du parfait état de fonctionnement et de l'absence de rouille.	Avant le début des travaux
Instruments de contrôle et de mesure	Contrôle des fonctions et de la précision des mesures.	Avant l'exécution des mesures
<b>B4. Mise en œuvre (voir également le point A4, p. 136 et 137)</b>		
Conditions climatiques	Contrôler si les conditions climatiques sont conformes aux consignes du fabricant.	Au moins deux fois par jour (et plusieurs jours après les travaux)
Fixation des panneaux isolants	La fixation doit être effectuée selon les instructions de pose.	Avant la fixation
Étanchéité des joints entre panneaux isolants ou de toute autre ouverture non désirée	Les joints doivent être fermés à l'aide d'un matériau approprié.	Pendant les travaux et avant application de l'enduit de base
Planéité des panneaux d'isolation et désaffleurement	Les surfaces des panneaux doivent être planes. Les désaffleurements doivent être éliminés par ponçage, si possible.	Pendant les travaux et avant l'application de l'enduit de base
Pose des profilés et des renforts éventuels	..... .....	..... .....
Mélange des matériaux	Les instructions relatives au mélange doivent être respectées scrupuleusement.	Pendant le malaxage
Quantité de matériau/épaisseur des couches	Contrôler la consommation pour chaque surface et vérifier les quantités de matériau nécessaires.	Après la fixation
Réalisation des raccords et des joints	Les joints doivent être étanches à l'eau.	Lors de la réalisation de chaque joint
<b>B5. Déblaiement de chantier</b>		
Surplus de matériaux isolants, déchets de construction, métaux, emballages, autres déchets : .....	Les déchets doivent être évacués et/ou triés selon les exigences requises.	Pendant et après la mise en œuvre

C. Après les travaux	
Objet	Éléments à contrôler
<b>C1. Caractéristiques géométriques</b>	
Planéité	Contrôler, pour ces différents points, le respect de la classe de tolérance exigée (en cas de réclamation).
Aplomb/verticalité	
Horizontalité	
Rectitude	
Équerrage	
<b>C2. Aspect</b>	
Texture superficielle	L'uniformité de la rugosité doit être examinée à une distance de 3 m et sous lumière naturelle (pas sous lumière rasante). Il n'existe toutefois aucun critère objectif à ce sujet.
Couleur	Avant de procéder à l'appréciation, on respectera un délai suffisant (durcissement, séchage, etc.). Le contrôle peut s'effectuer visuellement à une distance de 3 m (sous lumière naturelle et pas sous lumière rasante) ou par une mesure colorimétrique.
<b>C3. Ouvrages de raccord</b>	
Finition du pied de mur	Vérifier la conformité de ces différents nœuds (voir également le point A4, p. 136 et 137).
Jonctions avec les châssis de fenêtre et les portes	
Jonctions aux rives de toitures plates	
Jonctions aux rives de toitures à versants	
Raccord avec un balcon	
Joints de mouvement	

D. Entretien			
<p>Le maître d'ouvrage doit veiller à l'entretien de la façade afin d'en préserver l'aspect et la durabilité. Les enduits doivent par conséquent être inspectés régulièrement (au moins une fois par an) et, si nécessaire, être traités en concertation avec une firme spécialisée. La fréquence d'entretien d'un enduit dépend dans une large mesure du système appliqué, de l'environnement de l'ouvrage, de son exposition (humidité, par exemple) ainsi que du soin apporté à la conception et à la réalisation des détails. Le cas échéant, il est conseillé de procéder à une remise à neuf approfondie tous les dix ans.</p>			
Objet	Éléments à contrôler	Mesures à prendre (en concertation avec une firme spécialisée)	Fréquence des interventions
Mousse et algues	A-t-on constaté une formation de mousse et/ou d'algues ?	Le cas échéant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• brossage à sec</li> <li>• nettoyage à l'eau, à l'aide d'un détergent ou à l'eau de Javel</li> <li>• traitement hydrofuge et/ou traitement antimousse et algicide</li> <li>• application d'une couche de peinture (éventuellement par dessus une nouvelle finition adaptée).</li> </ul>	Lorsque cela s'avère nécessaire
Polluants atmosphériques	Y a-t-il des dépôts de saleté ?		Lorsque cela s'avère nécessaire
Variations de couleur	A-t-on constaté des différences de couleur visibles ?		Tous les dix ans (le délai peut être plus long selon le type d'enduit et l'environnement dans lequel il se trouve)
Dégâts	Y a-t-il des fissures (> 0,2 mm), des cloques ou des dégradations mécaniques ?	Les dégâts éventuels seront réparés au plus vite par un professionnel.	Lorsque cela s'avère nécessaire
Détails de raccord (joints de mastic, jonctions, rejets d'eau, etc.)	A-t-on détecté des joints ou des raccords endommagés et/ou non adhérents ?	Les parties endommagées devront être remplacées dès que possible.	Lorsque cela s'avère nécessaire (en général, tous les 1 à 3 ans)



## ANNEXE D

# Principe du dimensionnement au vent (cas simples)

La présente annexe est reprise à titre indicatif. Nous rappelons que le dimensionnement au vent est du ressort du concepteur (éventuellement par le biais d'un bureau d'étude) et non du façadier.

La stabilité au vent d'un ETICS est garantie si la résistance de calcul ( $R_d$ , compte tenu des coefficients de sécurité fixés au niveau national) est égale ou supérieure à la valeur de calcul de l'action du vent ( $F_d$ ) selon l'expression générale :

$$R_d \geq F_d.$$

### D1 Coefficients partiels de sécurité

Les coefficients partiels de sécurité  $\gamma_Q$  pour les charges de vent et les coefficients partiels de sécurité  $\gamma_M$  applicables aux résistances mécaniques des matériaux sont repris dans le tableau D1.

### D2 Action du vent

#### D2.1 Paramètres

L'action du vent est déterminée selon la NBN EN 1991-1-4 [B9] et son annexe nationale [B10] qui définissent notamment les zones de vent en Belgique (voir figure D1, p. 143) et les caté-

gories de rugosité de terrain décrites brièvement dans le tableau D2 (p. 142).

Les cas simples décrits ici (voir figures D2 et D3, p. 144 et 145) concernent les bâtiments de surface rectangulaire pour lesquels le rapport entre la hauteur de référence et la longueur de la façade considérée est inférieur à 5 (soit  $h/d < 5$ ; si  $d = 10$  m, alors  $h < 50$  m, par exemple).

L'action du vent dans une direction donnée (sur une façade de longueur  $b$ ) crée une succion sur les trois autres façades. L'importance de cette dernière varie en fonction de la façade et de la zone sur laquelle elle s'exerce. Lors du dimensionnement de la façade de longueur  $d$ , on définit la grandeur  $e$  comme étant le minimum entre  $b$  et  $2h$ , afin de déterminer la longueur ( $e/5$ ) de la zone de bord :

- si  $e/5 \geq d$ , la zone de bord s'étend à toute la façade de longueur  $d$
- si  $e/5 < d$ , on distingue une zone de bord et une zone centrale (moins sollicitée).

En considérant, par souci de simplification, que les vents de directions opposées surviennent avec la même intensité, ces deux équations deviennent :

- si  $e/5 \geq d/2$ , la zone de bord s'étend à toute la façade de longueur  $d$
- si  $e/5 < d/2$ , on distingue une zone de bord et une zone centrale (moins sollicitée).

Tableau D1 Synthèse des coefficients partiels de sécurité.

Caractéristiques		Action du vent <sup>(1)</sup>	Résistance
		Coefficient partiel de sécurité pour les charges de vent ( $\gamma_Q$ )	Coefficient partiel de sécurité applicable aux résistances mécaniques des matériaux ( $\gamma_M$ )
Fixation dans le support et déboutonnage des fixations hors des rails		1,25 <sup>(2)</sup>	2,0
Connexions à l'isolant (déboutonnage, adhérence de l'enduit de base, adhérence de la colle, etc.)	EPS, XPS, PF, PU, CG, ICB, MF		2,0
	MW, WF		2,5

<sup>(1)</sup> Application selon la norme NBN EN 1991-1-4 ANB [B10] pour les charges variables et permanentes appliquées aux structures secondaires.

<sup>(2)</sup> En ce qui concerne les connexions à l'isolant, un coefficient  $\gamma_Q$  de 1,1 n'est pas exclu (valable pour les charges variables et permanentes appliquées aux éléments de remplissage et à leurs fixations).

Tableau D2 Catégories de rugosité du terrain.

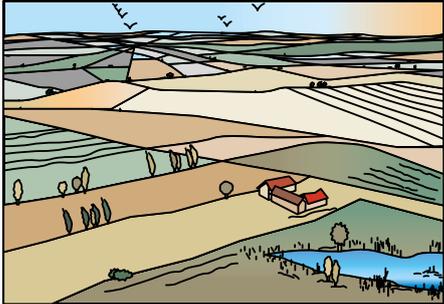
	Catégorie de rugosité du terrain	Illustration
0	Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer	
I	Lacs ou zone à végétation négligeable et libre de tout obstacle	
II	Zone à végétation basse telle que de l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins 20 fois leur hauteur	
III	Zones avec une couverture régulière, des bâtiments, ou des obstacles isolés séparés d'au plus 20 fois leur hauteur (par exemple, village, zone suburbaine, forêt permanente)	
IV	Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m	



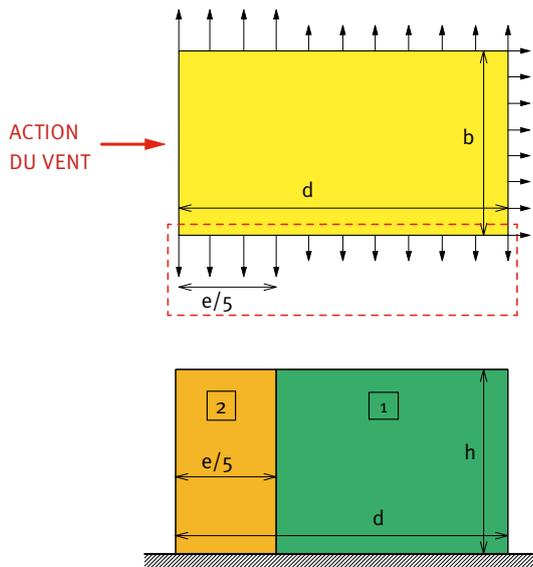
Fig. D1 Carte des zones de vent en Belgique.

Source : NGI  
Bruxelles, 2001

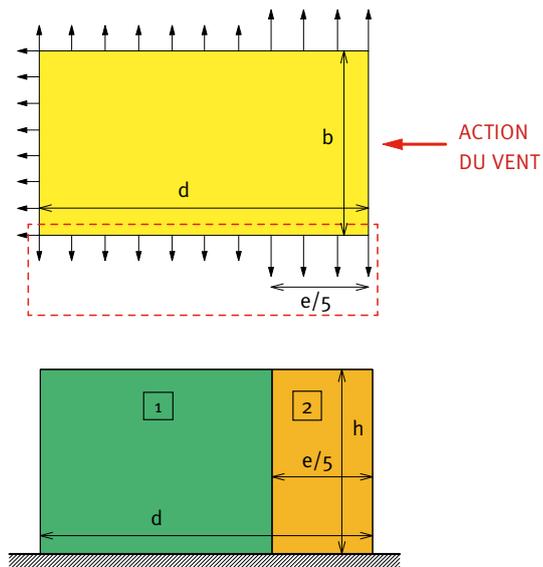
Tableau D3 Exemples de détermination de la zone de bord et de la zone centrale d'une façade.

Exemple n°	Longueur de la façade exposée au vent $b$ [m]	Hauteur de référence du bâtiment $h = z_e$ [m]	Longueur de la façade étudiée $d$ ( $> h/5$ ) [m]	$e$ (min entre $b$ et $2h$ ) [m]	Longueur de la zone de bord $e/5$ [m]	Longueur de l'éventuelle zone centrale [m] (*)
1	50	25	10 ( $> 5$ )	50	10	0
2	30	20	10 ( $> 4$ )	30	6	0
3	20	12	12 ( $> 2,4$ )	20	4	4
4	15	10	10 ( $> 2$ )	15	3	4
5	10	12	16 ( $> 2,4$ )	10	2	12

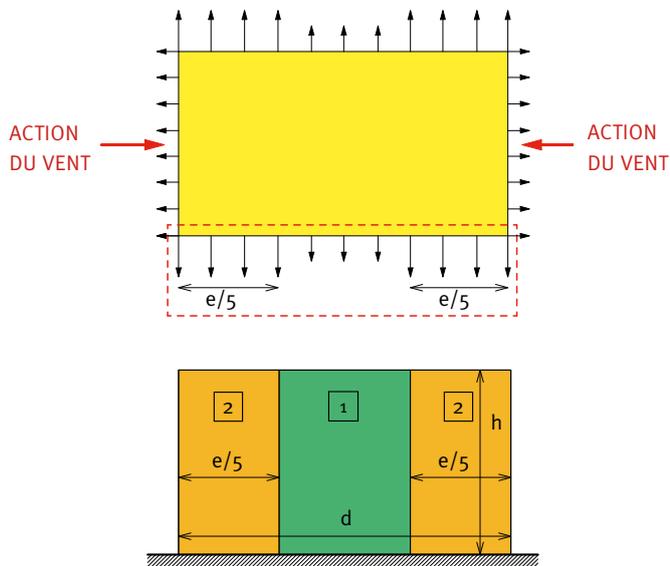
(\*) En considérant que des vents de directions opposées surviennent avec la même intensité (simplification).



A. Action du vent dans la direction de gauche à droite



B. Action du vent dans la direction de droite à gauche



C. Prise en compte de l'action du vent la plus importante agissant dans l'une ou l'autre direction pour simplifier le dimensionnement

Fig. D2 Action du vent sur une façade (en dépression) de longueur  $d$  (vue en 2D : en plan au-dessus et en élévation en dessous).

Tableau D4 Coefficients de pression intérieur et extérieur pour  $h/d < 5$ .

Coefficients de pression	Comparaison entre $e/5$ et $d$	Zone de la façade	
		Zone de bord	Zone centrale
$C_{pe,1}$	$e/5 < d$ (*)	-1,40	-1,10
	$e/5 \geq d$ (*)	-1,40	-1,40
$C_{pi}$	le plus défavorable entre +0,2 et -0,3, soit +0,2		
$C_p = C_{pe,1} - C_{pi}$	$e/5 < d$ (*)	-1,60	-1,30
	$e/5 \geq d$ (*)	-1,60	-1,60

(\*) En cas de symétrie de l'action du vent,  $e/5 < ou \geq d/2$  à la place de  $e/5 < ou \geq d$ .

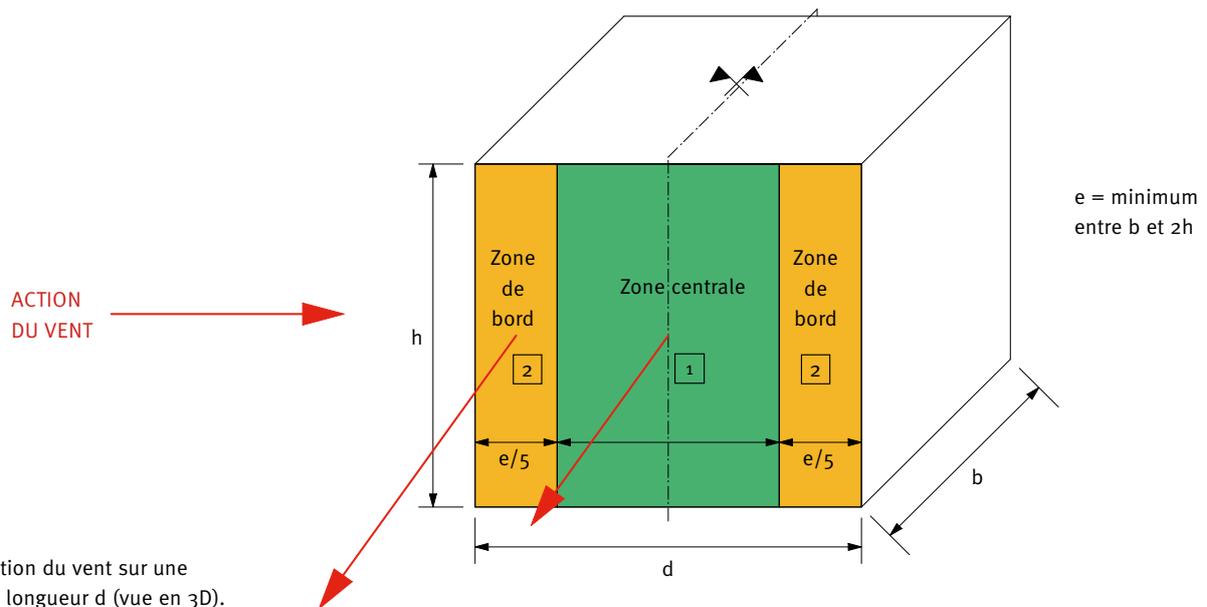


Fig. D3 Action du vent sur une façade de longueur d (vue en 3D).

## D2.2 Valeur de calcul

La valeur de calcul  $F_d$  de l'action du vent dans chacune des zones de la façade (zone de bord et zone centrale) est donnée par la formule suivante :

$$F_d = \gamma_Q \times q_p(z_e) \times c_{prob}^2 \times c_p \text{ [N/m}^2 \text{ ou Pa]}$$

dans laquelle :

- $\gamma_Q$  = le coefficient partiel de sécurité de charge (voir tableau D1, p. 141)
- $q_p(z_e)$  = la pression dynamique de pointe
- $z_e$  = la hauteur de référence du vent (= hauteur 'h' du bâtiment sauf dans certains cas; voir **CSTC-Rapport n° 11** [C14])
- $c_{prob}$  = le coefficient de probabilité (pour une période de retour de 25 ans,  $c_{prob} = 0,9597$ )
- $c_p$  = le coefficient de pression.

Le coefficient de pression est calculé comme suit (voir tableau D4, p. 144) :

$$c_p = c_{p,e} - c_{p,i}$$

où :

- $c_{p,e}$  = le coefficient de pression extérieure ( $c_{p,e,1}$  pour une aire de charge  $\leq 1 \text{ m}^2$ )
- $c_{p,i}$  = le coefficient de pression intérieure.

Sur la base de ces hypothèses, le tableau D5 (p. 146) indique les valeurs de calcul de l'action du vent  $F_d$  en fonction des différents paramètres.

## D3 Dimensionnement au vent en fonction du mode de fixation

### D3.1 Fixation par collage

La stabilité au vent est évaluée selon le tableau D6 (p. 147). En cas d'exposition sévère au vent (valeur de calcul de l'action du vent  $F_d > 2.000 \text{ Pa}$ ), le donneur d'ordre peut en outre exiger une étude approfondie du comportement au vent comprenant, entre autres, un essai de résistance à l'arrachement sous l'action dynamique du vent.

Tableau D5 Valeurs de calcul de l'action du vent ( $F_d$  en N/m<sup>2</sup> ou en Pa) pour un bâtiment rectangulaire avec  $h/d \leq 5$ .

Vitesse de référence du vent [m/s] (°)	Rugosité du terrain (°)	Hauteur de référence du vent $z_e$ [m]											
		$\leq 5$		$\leq 10$		$\leq 15$		$\leq 20$		$\leq 25$		$\leq 30$	
		Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale
		Action du vent $F_d$ [N/m <sup>2</sup> ou Pa]											
26	0	2026	1646	2323	1887	2505	2035	2636	2142	2741	2227	2829	2299
	I	1842	1497	2155	1751	2347	1907	2489	2022	2601	2113	2695	2190
	II	1501	1220	1831	1488	2035	1654	2187	1777	2308	1875	2408	1956
	III	962	781	1286	1045	1492	1212	1645	1337	1768	1437	1872	1521
	IV	812	660	812	660	1002	814	1146	931	1262	1025	1359	1105
25	I	1702	1383	1991	1618	2170	1763	2301	1869	2406	1955	2490	2023
	II	1389	1128	1693	1375	1883	1530	2023	1643	2133	1733	2225	1808
	III	888	721	1188	965	1380	1121	1522	1236	1636	1329	1730	1405
	IV	752	611	752	611	927	753	1059	861	1166	947	1256	1021
24	I	1569	1275	1837	1492	2000	1625	2120	1723	2216	1800	2295	1865
	II	1280	1040	1560	1268	1735	1410	1864	1515	1965	1597	2052	1667
	III	820	666	1096	891	1271	1033	1402	1139	1507	1224	1595	1296
	IV	693	563	693	563	853	693	976	793	1074	873	1159	941
23	I	1440	1170	1685	1369	1837	1492	1947	1582	2035	1654	2109	1714
	II	1175	955	1433	1164	1593	1295	1711	1390	1805	1467	1884	1531
	III	752	611	1006	817	1168	949	1288	1046	1383	1124	1464	1190
	IV	636	516	636	516	785	638	897	729	987	802	1063	864

(°) Voir figure D1 (p. 143).

(°) Voir tableau D2 (p. 142).

Tableau D6 Adhérence de la colle à l'isolant : principe de l'évaluation de la stabilité au vent.

Adhérence de la colle à l'isolant (B) et traction perpendiculaire (TR) de l'isolant	Surface minimale d'encollage (S) (1)	Adhérence moyenne	Valeur caractéristique $N_{Rk}$ (soit $0,6 \times$ valeur moyenne)	Coefficient partiel de sécurité des matériaux ( $\gamma_M$ )	Limite de la valeur de calcul de l'action du vent ( $F_d$ ) selon la valeur de calcul de la résistance ( $N_{Rk}/\gamma_M$ )	Commentaires (2)
$\geq 80$ kPa	$\geq 40$ %	$\geq 30$ kPa	$\geq 18$ kPa	2,5	$\leq 7.200$ Pa	Sécurité suffisante
$80$ kPa > ... $\geq 30$ kPa	de $40$ % à $100$ %	Résistance insuffisante pour la fixation par collage uniquement (3)				Pose par collage à exclure (3) (4)
$< 30$ kPa	$> 100$ % Impossible					

(1) Voir ETAG 004 [E3].  
 (2) Voir aussi tableau D5 (p. 146).  
 (3) Cette exigence est plus sévère que celle de l'ETAG 004 [E3].  
 (4) La technique de pose par fixation à rosace nécessite un encollage complémentaire de minimum  $40$  % qui n'est pas pris en compte dans le calcul de la résistance au vent.

### D3.2 Fixation mécanique au moyen de fixations à rosace

Ce paragraphe concerne les systèmes fixés mécaniquement au moyen de fixations à rosace avec encollage complémentaire de minimum  $40$  %. Soulignons que dans ce cas, l'encollage n'est pas pris en compte dans le calcul de la résistance au vent.

#### D3.2.1 Principe du dimensionnement

Le dimensionnement permet de calculer le nombre minimal de fixations par mètre carré (voir tableau D7, p. 148) :

$$n = n_a + n_b$$

où :

- $n_a$  est le nombre de fixations par mètre carré placées à la surface des panneaux d'isolation
- $n_b$  est le nombre de fixations par mètre carré placées à la jonction entre les panneaux d'isolation.

Les valeurs de calcul de l'action du vent ( $F_d$ ) et de la résistance de la fixation ( $N_{Rd}$ ) doivent vérifier l'équation générale :

$$n \times N_{Rd} \geq F_d.$$

Les valeurs de calcul de l'action du vent  $F_d$  sont déterminées selon la méthode décrite au § D2.2 (p. 145, pour les cas simples).

Les valeurs de calcul de la résistance de la fixation ( $N_{Rd}$ ) sont calculées selon la méthode décrite ci-après. Étant donné les mécanismes de rupture potentiels, les caractéristiques

pertinentes sont :

- mécanisme n° 1 : la résistance à la traction de la fixation hors du support (valeur de calcul  $N_{Rd1}$ )
- mécanisme n° 2 – fixations traversant uniquement l'isolant : la résistance au déboutonnage (valeurs de calcul  $N_{Rd2a}$  et  $N_{Rd2b}$  selon la position des fixations par rapport aux panneaux d'isolation)
- mécanisme n° 2 – fixations posées par-dessus l'armature : la résistance à l'arrachement statique (valeur de calcul  $N_{Rd2}$ ).

La plus faible des valeurs de calcul de ces résistances est la plus contraignante et sera utilisée pour le calcul.

La valeur moyenne et la valeur caractéristique de la résistance ( $N_{Rk}$ ) sont déterminées sur la base d'essais de laboratoire. Cette dernière, une fois divisée par un coefficient partiel de sécurité ( $\gamma_M$ ), donne la valeur de calcul de la résistance ( $N_{Rd}$ ) suivant la formule :

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}.$$

Dès lors, le nombre minimal de fixations par mètre carré ( $n$ ) est donné par les équations :

$$n \geq \frac{F_d}{N_{Rd1}}$$

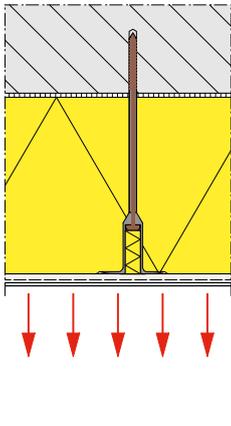
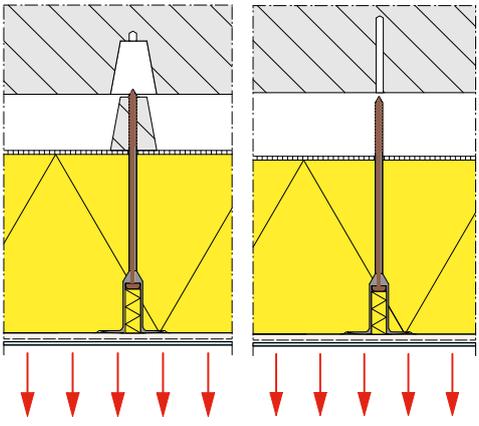
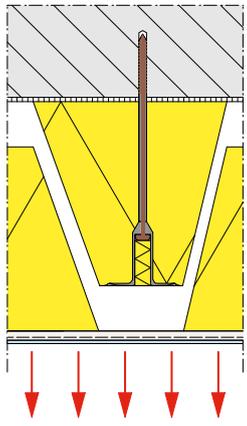
arrondi à l'unité supérieure (voir mécanisme n° 1, résistance à la traction hors du support)

$$\text{et} \quad n_a N_{Rd2a} + n_b N_{Rd2b} \geq F_d \text{ (1)}$$

avec  $n = n_a + n_b$ , arrondis à l'unité supérieure (voir mécanisme n° 2, résistance au déboutonnage pour les fixations placées uniquement au travers de l'isolant).

(1) ou  $n \geq \frac{F_d}{N_{Rd2}}$ , arrondi à l'unité supérieure (voir mécanisme n° 2, résistance à l'arrachement statique pour les fixations posées au travers de l'armature).

Tableau D7. Principe du dimensionnement des systèmes posés au moyen de fixations à rosace.

Mécanismes	Illustrations	Valeurs caractéristiques $X_k$	Coefficient partiel de sécurité $\gamma$	Valeurs de calcul $X_d$
Action	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	$F_k$ [N/m <sup>2</sup> ou Pa] <sup>(2)</sup>	$\gamma_Q = 1,25$	$F_d = \gamma_Q \times F_k$ [N/m <sup>2</sup> ou Pa]
Résistance	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	$N_{Rk1}$ [N] <sup>(2)</sup>	$\gamma_M = 2$	$N_{Red1} = \frac{N_{Rk1}}{\gamma_M}$ [N]
	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	Pose à la surface du panneau : $N_{Rk2a}$ [N] <sup>(4)</sup> Pose dans les joints entre panneaux : $N_{Rk2b}$ [N] <sup>(4)</sup> $N_{Rk2}$ [N] <sup>(4)</sup>	$\gamma_M = 2$ ou 2,5	$N_{Red2a} = \frac{N_{Rk2a}}{\gamma_M}$ [N] $N_{Red2b} = \frac{N_{Rk2b}}{\gamma_M}$ [N] $N_{Red2} = \frac{N_{Rk2}}{\gamma_M}$ [N]

<sup>(1)</sup> Déterminés au niveau national; voir tableau D1 (p. 141).

<sup>(2)</sup> Fonction de la zone de vent, de la rugosité du terrain, de la hauteur et des dimensions du bâtiment, de la zone de la façade, etc.

<sup>(3)</sup> Voir déclaration du fabricant selon l'ETAG 014 [E4] (annexe D). Pour les essais réalisés *in situ*,  $N_{Rk1} = 0,6 N_i$  ( $N_i$  est la valeur moyenne de la série d'essais).

<sup>(4)</sup> Voir déclaration du fabricant selon l'ETAG 004 [E3], qui mentionne comme valeurs déclarées la valeur moyenne et la valeur individuelle minimale.

### D3.2.2 Exemples de limites de l'action du vent en fonction du plan de pose

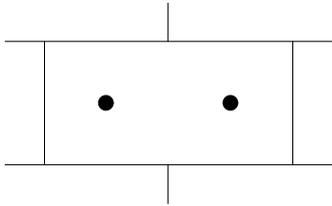
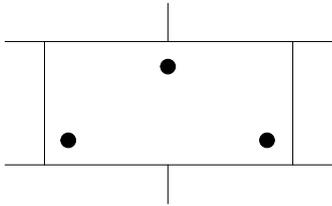
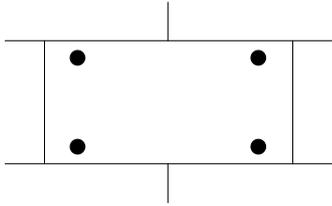
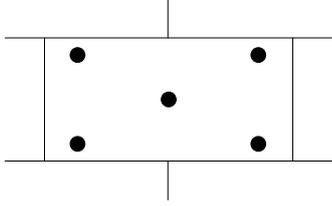
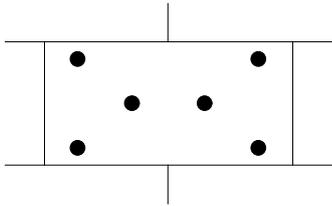
Le tableau D8 et le tableau D9 (p. 150) donnent les limites des valeurs de calcul de l'action du vent  $F_d$  en fonction du plan de pose (panneaux de 0,5 m<sup>2</sup>) et de la résistance des fixations  $N_{rd}$ . On suppose que la résistance au déboutonnage est la plus contraignante. Pour un même nombre de fixations  $n$ , le mode de fixation à la surface de l'isolant (voir tableau D8) et celui à la surface de l'isolant et au niveau des joints entre panneaux (voir tableau D9, p. 150) montrent des résultats différents.

### D3.2.3 Exemples du nombre de fixations en fonction de l'action du vent

Lorsque la valeur de calcul de la résistance de la fixation (soit la valeur la plus défavorable entre la résistance au déboutonnage et la résistance à la traction hors du support) est connue, on calcule le nombre de fixations en fonction de la valeur de calcul de l'action du vent.

Le tableau D10 (p. 151) donne le nombre de fixations à placer à la surface de l'isolant selon l'exposition au vent pour une valeur de calcul de la résistance égale à 150 N.

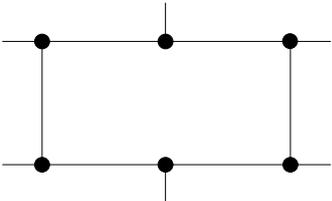
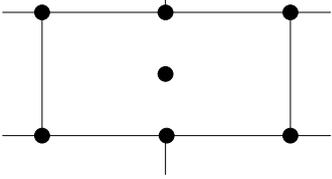
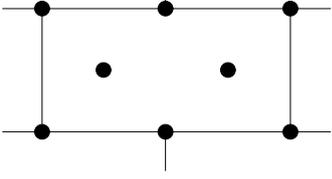
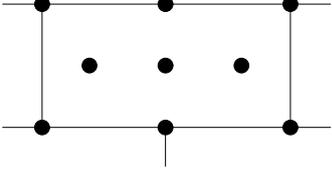
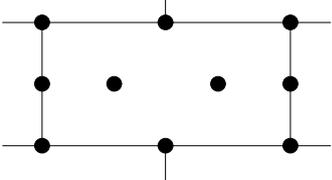
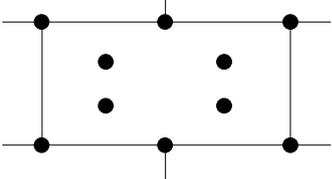
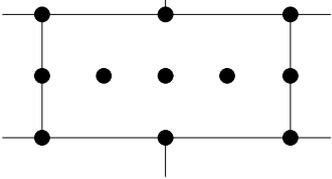
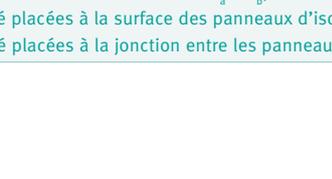
Tableau D8 Exemples de fixations placées uniquement à la surface des panneaux d'isolation (surface de 0,5 m<sup>2</sup>).

Nombre de fixations $n$ (*)	$n_b = 0$ $n = n_a$	Positionnement des fixations à la surface de l'isolant	Résistance des fixations $N_{rd}$ [N]	Action du vent $F_d$ [N/m <sup>2</sup> ]
4/m <sup>2</sup>	$n_a = 4$		$\geq 100$ $\geq 150$ $\geq 200$	$\leq 400$ $\leq 600$ $\leq 800$
6/m <sup>2</sup>	$n_a = 6$		$\geq 100$ $\geq 150$ $\geq 200$	$\leq 600$ $\leq 900$ $\leq 1.200$
8/m <sup>2</sup>	$n_a = 8$		$\geq 100$ $\geq 150$ $\geq 200$	$\leq 800$ $\leq 1.200$ $\leq 1.600$
10/m <sup>2</sup>	$n_a = 10$		$\geq 100$ $\geq 150$ $\geq 200$	$\leq 1.000$ $\leq 1.500$ $\leq 2.000$
12/m <sup>2</sup>	$n_a = 12$		$\geq 100$ $\geq 150$ $\geq 200$	$\leq 1.200$ $\leq 1.800$ $\leq 2.400$

(\*) Le nombre de fixations par mètre carré est calculé selon la formule  $n = n_a + n_b$ , où :

- $n_a$  est le nombre de fixations par mètre carré placées à la surface des panneaux d'isolation
- $n_b$  est le nombre de fixations par mètre carré placées à la jonction entre les panneaux d'isolation ( $n_b = 0$  dans les exemples de ce tableau).

Tableau D9 Exemples de fixations placées à la surface des panneaux d'isolation et sur les joints entre panneaux (surface de 0,5 m²).

Nombre de fixations n (*)	$n_b \geq 4$ $n = n_a + n_b$	Fixations à la surface et sur les joints entre panneaux d'isolation	Résistance des fixations [N]		Action du vent $F_d$ [N/m²]
			$N_{Rd2a}$	$N_{Rd2b}$	
4/m²	$n_a = 0$ $n_b = 4$		-	$\geq 50$	$\leq 200$
				$\geq 80$	$\leq 320$
6/m²	$n_a = 2$ $n_b = 4$		$\geq 100$	$\geq 50$	$\leq 400$
			$\geq 150$	$\geq 80$	$\leq 520$
			$\geq 200$	$\geq 75$	$\leq 600$
8/m²	$n_a = 4$ $n_b = 4$		$\geq 100$	$\geq 75$	$\leq 900$
			$\geq 150$	$\geq 80$	$\leq 720$
			$\geq 200$	$\geq 120$	$\leq 1.080$
10/m²	$n_a = 6$ $n_b = 4$		$\geq 100$	$\geq 50$	$\leq 800$
			$\geq 150$	$\geq 80$	$\leq 920$
			$\geq 200$	$\geq 75$	$\leq 1.200$
	$n_a = 4$ $n_b = 6$		$\geq 100$	$\geq 75$	$\leq 1.200$
			$\geq 150$	$\geq 80$	$\leq 880$
			$\geq 200$	$\geq 120$	$\leq 1.380$
12/m²	$n_a = 8$ $n_b = 4$		$\geq 100$	$\geq 50$	$\leq 1.000$
			$\geq 150$	$\geq 80$	$\leq 1.120$
			$\geq 200$	$\geq 75$	$\leq 1.500$
	$n_a = 6$ $n_b = 6$		$\geq 100$	$\geq 120$	$\leq 1.680$
			$\geq 150$	$\geq 100$	$\leq 2.000$
			$\geq 200$	$\geq 160$	$\leq 2.240$
12/m²	$n_a = 6$ $n_b = 6$		$\geq 100$	$\geq 50$	$\leq 900$
			$\geq 150$	$\geq 80$	$\leq 1.080$
			$\geq 200$	$\geq 75$	$\leq 1.350$
				$\geq 120$	$\leq 1.620$
				$\geq 100$	$\leq 1.800$
				$\geq 160$	$\leq 2.160$

(\*) Le nombre de fixations par mètre carré est calculé selon la formule  $n = n_a + n_b$ , où :  
 -  $n_a$  est le nombre de fixations par mètre carré placées à la surface des panneaux d'isolation  
 -  $n_b$  est le nombre de fixations par mètre carré placées à la jonction entre les panneaux d'isolation.

**Tableau D10** Exemple du nombre de fixations nécessaire par mètre carré (placées à la surface des panneaux d'isolation) en fonction de la sollicitation du vent pour une valeur de calcul de la résistance de la fixation ( $N_{Rd}$ ) de 150 N.

Vitesse de référence du vent [m/s] (¹)	Rugosité du terrain (²)	Hauteur de référence du vent $z_e$ [m]											
		≤ 5		≤ 10		≤ 15		≤ 20		≤ 25		≤ 30	
		Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale	Zone de bord	Zone centrale
		Nombre de fixations nécessaires par m²											
26	0	14	11	16	13	17	14	18	15	19	15	19	16
	I	13	10	15	12	16	13	17	14	18	15	18	15
	II	11	9	13	10	14	12	15	12	16	13	17	14
	III	7	6	9	7	10	9	11	9	12	10	13	11
	IV	6	5	6	5	7	6	8	7	9	7	10	8
25	I	12	10	14	11	15	12	16	13	17	14	17	14
	II	10	8	12	10	13	11	14	11	15	12	15	13
	III	6	5	8	7	10	8	11	9	11	9	12	10
	IV	6	5	6	5	7	6	8	6	8	7	9	7
24	I	11	9	13	10	14	11	15	12	15	13	16	13
	II	9	7	11	9	12	10	13	11	14	11	14	12
	III	6	5	8	6	9	7	10	8	11	9	11	9
	IV	5	4	5	4	6	5	7	6	8	6	8	7
23	I	10	8	12	10	13	10	13	11	14	12	15	12
	II	8	7	10	8	11	9	12	10	13	10	13	11
	III	6	5	7	6	8	7	9	7	10	8	10	8
	IV	5	4	5	4	6	5	6	5	7	6	8	6

(¹) Voir figure D1 (p. 143).

(²) Voir tableau D2 (p. 142).

### D3.3 Fixation mécanique au moyen de rails

#### D3.3.1 Principe du dimensionnement

Le dimensionnement permet de calculer si une configuration donnée est capable de résister à l'action du vent (voir tableau D11, p. 153). Les valeurs de calcul de l'action du vent ( $F_d$ ) et de la résistance du système ( $N_{Rd}$ ) doivent vérifier l'équation générale :

$$N_{Rd} \geq F_d.$$

Les valeurs de calcul de l'action du vent ( $F_d$ ) sont déterminées selon la méthode décrite au § D2.2 (p. 145, pour les cas simples).

Les valeurs de calcul de la résistance de la fixation ( $N_{Rd}$ ) sont calculées selon la méthode décrite ci-après. Étant donné les mécanismes de rupture potentiels, les caractéristiques pertinentes sont :

- mécanisme n° 1 : la résistance à la traction de la fixation hors du support (valeur de calcul  $N_{Rd1}$ )
- mécanisme n° 1B : la résistance au déboutonnage de la fixation hors du profilé (valeur de calcul  $N_{Rd1B}$ )
- mécanisme n° 2 : la résistance à l'arrachement statique (valeur de calcul  $N_{Rd2}$ ).

Les deux premières résistances ( $N_{Rd1}$  et  $N_{Rd1B}$ ) permettent de vérifier si le nombre de fixations est suffisant. La plus faible de ces trois résistances  $N_{Rd}$  est la plus contraignante et sera déterminante pour le calcul.

La valeur moyenne et la valeur caractéristique de la résistance ( $N_{Rk}$ ) sont déterminées sur la base d'essais de laboratoire. Cette dernière, une fois divisée par un coefficient partiel de sécurité ( $\gamma_M$ ), donne la valeur de calcul de la résistance ( $N_{Rd}$ ) suivant la formule :

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_M}.$$

Dès lors, le dimensionnement est régi par les équations suivantes, où  $n$  est le nombre de fixations par mètre carré (²) :

$$n \geq \frac{F_d}{N_{Rd1}}$$

arrondi à l'unité supérieure (voir mécanisme n° 1, résistance à la traction hors du support)

et 
$$n \geq \frac{F_d}{N_{Rd1B}}$$

arrondi à l'unité supérieure (voir mécanisme n° 1B, résistance au déboutonnage de la cheville hors du profilé)

et 
$$N_{Rd2} \geq F_d$$

(voir mécanisme n° 2, résistance à l'arrachement statique).

#### D3.3.2 Exemple de limites de l'action du vent en fonction de la configuration

Le tableau D12 (p. 154) donne un exemple de vérification d'une configuration.

### D4 Dimensionnement en fonction de l'adhérence de l'enduit à l'isolant

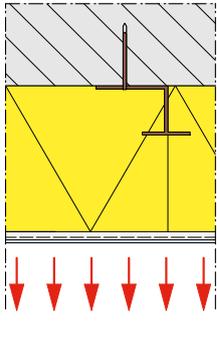
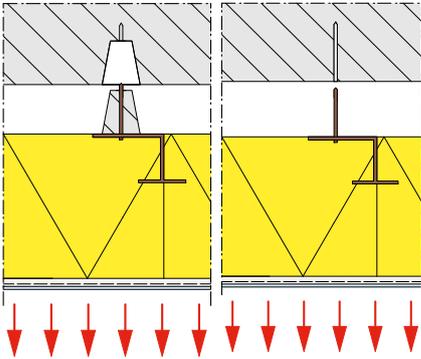
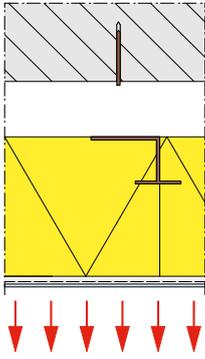
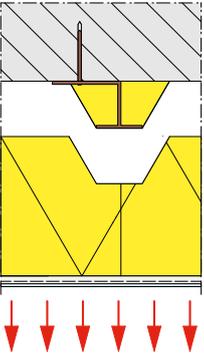
La stabilité au vent est évaluée selon le tableau D13 (p. 154). En cas d'exposition sévère au vent (valeur de calcul de l'action du vent  $F_d > 2.000$  Pa), le donneur d'ordre peut en outre exiger une étude approfondie du comportement au vent comprenant, entre autres, un essai de résistance à l'arrachement sous l'action dynamique du vent.

Lorsque l'adhérence de l'enduit à l'isolant est inférieure à  $0,08$  N/mm<sup>2</sup> (80 kPa), la résistance au vent doit être vérifiée comme dans l'exemple du tableau D13 (p. 154).

Ainsi, dans l'exemple où l'adhérence mesurée est supérieure ou égale à 5 kPa, l'exposition doit être limitée à une action du vent maximale de 1.200 Pa (valeur de calcul). Cette limitation exclut l'usage du système pour des valeurs supérieures à 1.200 Pa (voir tableau D5, p. 146).

(²) Le nombre de fixations par mètre courant est en général renseigné (tous les 30 cm, par exemple).

Tableau D.11 Principe du dimensionnement des systèmes posés à l'aide de rails.

Mécanismes	Illustrations	Valeurs caractéristiques $X_k$	Coefficient partiel de sécurité ( $\gamma$ )	Valeurs de calcul $X_d$
<b>Action</b>	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	$F_k$ [N/m <sup>2</sup> ou Pa] (2)	$\gamma_Q = 1,25$	$F_d = \gamma_Q \times F_k$ [N/m <sup>2</sup> ou Pa]
<b>Résistance</b>	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	$N_{Rk1}$ [N] (3)	$\gamma_M = 2$	$N_{Rd1} = \frac{N_{Rk1}}{\gamma_M}$ [N]
	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	$N_{Rk1B}$ [N] (4)	$\gamma_M = 2$ OU 2,5	$N_{Rd1B} = \frac{N_{Rk1B}}{\gamma_M}$ [N]
	 <p style="text-align: center;">ACTION DU VENT</p>	$N_{Rk2}$ [N] (5)		$N_{Rd2} = \frac{N_{Rk2}}{\gamma_M}$ [N]

(1) Déterminé au niveau national; voir tableau D1 (p. 141).

(2) Fonction de la zone de vent, de la rugosité du terrain, de la hauteur et des dimensions du bâtiment, de la zone de la façade, etc.

(3) Voir déclaration du fabricant selon l'ETAG 014 [E4]. Pour les essais réalisés *in situ*,  $N_{Rk1} = 0,6 N_i$  ( $N_i$  est la valeur moyenne de la série d'essais).

(4) Le fabricant déclare une valeur minimale qui doit être supérieure ou égale à 500 N.

(5) Voir déclaration du fabricant selon l'ETAG 004 [E3], qui mentionne comme valeurs déclarées la valeur moyenne et la valeur individuelle minimale.

Tableau D12 Exemple de vérification d'une configuration.

Exemple de configuration	Valeur caractéristique de la résistance	Coefficient partiel de sécurité ( $\gamma_M$ )	Limite de la valeur de calcul de l'action du vent $F_d$ [Pa]
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profilés horizontaux fixés tous les 30 cm + profilé de jonction</li> <li>• Surface des panneaux d'isolation : 50 × 50 cm</li> <li>• n = 6 fixations/m<sup>2</sup></li> <li>• Données valables pour un panneau d'isolation tel que :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– épaisseur de l'isolant ≥ 60 mm</li> <li>– résistance à la traction perpendiculaire TR ≥ 150 kPa</li> </ul> </li> </ul>	Arrachement de la fixation hors du support : 1.000 N (par fixation)	2	≤ 3.000
	Déboutonnage de la fixation hors du profilé : ≥ 500 N (par fixation)		≤ 1.500
	Arrachement statique du système : 4.800 N/m <sup>2</sup> (1.200 N/0,5 m × 0,5 m)	2 (EPS)	≤ 2.400
<b>Tenant compte de la résistance la plus contraignante :</b>			<b>≤ 1.500</b>

Tableau D13 Exemple de limite de la valeur de calcul de l'action du vent en fonction de l'adhérence mesurée.

Adhérence de l'enduit à l'isolant		Valeur caractéristique $N_{Rk}$ (soit 0,6 × valeur moyenne)	Coefficient partiel de sécurité des matériaux ( $\gamma_M$ )	Limite de la valeur de calcul de l'action du vent ( $F_d$ ) selon la valeur de calcul de la résistance ( $N_{Rk}/\gamma_M$ )	Commentaires (comparaison avec les valeurs de calcul de l'action du vent) (¹)
≥ 80 kPa		≥ 48 kPa	2,5 (²)	≤ 19.200 Pa	Sécurité suffisante (pas de vérification nécessaire)
Rupture cohésive	≥ 10 kPa	≥ 6 kPa		≤ 2.400 Pa	Limitation du domaine d'application en fonction de l'exposition au vent
	≥ 5 kPa	≥ 3 kPa		≤ 1.200 Pa	Forte limitation du domaine d'application en fonction de l'exposition au vent
(¹) Voir tableau D5 (p. 146). (²) Valeur donnée à titre illustratif; voir tableau D1 (p. 141).					

# BIBLIOGRAPHIE

## B

Bureau de normalisation (Bruxelles, NBN, [www.nbn.be](http://www.nbn.be))

- B1 NBN B 14-210:1969 Essais des mortiers. Adhérence par arrachement.
- B2 NBN B 15-400:2012 Exécution des structures en béton. Supplément national à la NBN EN 13670:2010.
- B3 NBN B 21-600:2009 Règles communes pour les produits préfabriqués en béton. Complément national à la NBN EN 13369:2004(+A1:2006+AC:2006).
- B4 NBN B 62-002:2008 Performances thermiques de bâtiments. Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments. Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur H<sub>t</sub>) et par ventilation (valeur H<sub>v</sub>).
- B5 NBN B 62-400:2016 Hygrothermie des bâtiments. Détermination de la résistance aux sollicitations hygrothermiques des parements rigides encollés sur isolation extérieure. Méthode d'essai.
- B6 NBN D 50-001:1991 Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation.
- B7 NBN EN 206:2014 Béton. Partie 1 : spécification, performances, production et conformité.
- B8 NBN EN 998-1:2010 Définitions et spécifications des mortiers pour maçonnerie. Partie 1 : mortiers d'enduits minéraux extérieurs et intérieurs.
- B9 NBN EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1 : actions sur les structures. Partie 1-4 : actions générales. Actions du vent (+AC:2010).
- B10 NBN EN 1991-1-4 ANB:2010 Eurocode 1 : actions sur les structures. Partie 1-4 : actions générales. Actions du vent. Annexe nationale.
- B11 NBN EN 1992-1-1:2005 Eurocode 2. Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (+AC:2010).
- B12 NBN EN 1992-1-1 ANB:2010 Eurocode 2. Calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. Annexe nationale.
- B13 NBN EN 1996-2:2006 Eurocode 6. Calcul des ouvrages en maçonnerie. Partie 2 : conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries (+AC:2009).
- B14 NBN EN 1996-2 ANB:2010 Eurocode 6. Calcul des ouvrages en maçonnerie. Partie 2 : conception, choix des matériaux et mise en œuvre des maçonneries. Annexe nationale.
- B15 NBN EN 12865:2001 Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments. Détermination de la résistance à la pluie battante des systèmes de murs extérieurs sous pression d'air pulsatoire.
- B16 NBN EN 13162:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en laine minérale (MW). Spécification.
- B17 NBN EN 13163:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en polystyrène expansé (EPS). Spécification.
- B18 NBN EN 13164:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse de polystyrène extrudé (XPS). Spécification.
- B19 NBN EN 13165:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse rigide de polyuréthane (PU). Spécification.
- B20 NBN EN 13166:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse phénolique (PF). Spécification (+A1:2015).
- B21 NBN EN 13167:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en verre cellulaire (CG). Spécification (+A1:2015).
- B22 NBN EN 13170:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en liège expansé (ICB). Spécification (+A1:2015).
- B23 NBN EN 13171:2013 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en fibres de bois (WF). Spécification (+A1:2015).
- B24 NBN EN 13225:2013 Produits préfabriqués en béton. Éléments de structure linéaires.
- B25 NBN EN 13369:2013 Règles communes pour les produits préfabriqués en béton.
- B26 NBN EN 13501-1+A1:2010 Classement au feu des produits et éléments de construction. Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu.
- B27 NBN EN 13658-2:2005 Lattis et cornières métalliques. Définitions, exigences et méthodes d'essai. Partie 2 : enduits extérieurs.
- B28 NBN EN 13670:2010 Exécution des structures en béton.
- B29 NBN EN 13914-1:2005 Conception, préparation et mise en œuvre des enduits extérieurs et intérieurs. Partie 1 : enduits extérieurs.
- B30 NBN EN 14992:2007 Produits préfabriqués en béton. Éléments de mur (+A1:2012).

- B31 NBN EN 15651-1:2012 Mastics pour joints pour des usages non structuraux dans les constructions immobilières et pour chemins piétonniers. Partie 1 : mastics pour éléments de façade.
- B32 NBN EN 15804+A1:2014 Contribution des ouvrages de construction au développement durable. Déclarations environnementales sur les produits. Règles régissant les catégories de produits de construction.
- B33 NBN EN 15824:2009 Spécifications pour enduits de maçonnerie organiques extérieurs et intérieurs.
- B34 NBN EN 15978:2012 Contribution des ouvrages de construction au développement durable. Évaluation de la performance environnementale des bâtiments. Méthode de calcul.
- B35 NBN ISO 7892:1992 Ouvrages verticaux des constructions. Essais de résistance aux chocs. Corps de chocs et modalités des essais de choc.
- B36 NBN ISO 7976-1:1992 Tolérances pour le bâtiment. Méthodes de mesure des bâtiments et des produits pour le bâtiment. Partie 1 : méthodes et instruments.

## C

### Centre scientifique et technique de la construction (Bruxelles, CSTC, [www.cstc.be](http://www.cstc.be))

- C1 NIT 146 Les revêtements extérieurs verticaux en matériaux pierreux naturels de mince épaisseur (partiellement remplacée par la NIT 228 en ce qui concerne les méthodes d'essais et les critères de résistance au gel) (1983).
- C2 NIT 175 Toitures en tuiles de terre cuite. Conception. Mise en œuvre (remplacée par la NIT 240, sauf pour ce qui concerne les ouvrages de raccord) (1989).
- C3 NIT 186 Toitures en tuiles plates : conception et mise en œuvre (+ Addendum 1997) (remplacée par la NIT 240, sauf pour ce qui concerne les ouvrages de raccord) (1992).
- C4 NIT 188 La pose des menuiseries extérieures (1993).
- C5 NIT 202 Toitures en tuiles de béton. Conception et mise en œuvre (remplacée par la NIT 240, sauf pour ce qui concerne les ouvrages de raccord) (1996).
- C6 NIT 215 La toiture plate : composition - matériaux - réalisation - entretien (la NIT 215 remplace les NIT 151 et 183) (2000).
- C7 NIT 219 Toitures en ardoises : conception et exécution des ouvrages de raccord (2001).
- C8 NIT 240 Toitures en tuiles (remplace les NIT 175, 186 et 202, sauf pour ce qui concerne les ouvrages de raccord) (2011).
- C9 NIT 244 Les ouvrages de raccord des toitures plates : principes généraux (remplace la NIT 191) (+ correctifs de février 2015) (2012).
- C10 NIT 246 Postisolation des murs creux par remplissage de la coulisse (2012).
- C11 NIT 249 Guide de bonne pratique pour l'exécution des travaux de peinture (révision de la NIT 159) (2013).
- C12 NIT 250 Détails de référence pour les constructions enterrées (2014).
- C13 NIT 251 L'isolation thermique des toitures à versants (2014).
- C14 Application des Eurocodes à la conception des menuiseries extérieures (disponible en ligne uniquement). Bruxelles, CSTC, CSTC-Rapport, n° 11, 2009.
- C15 Édition spéciale : la construction en bois. Bruxelles, CSTC, CSTC-Contact n° 1, 2013.
- C16 PEB – Enveloppe du bâtiment : isolation thermique, surchauffe, étanchéité à l'air – Isolation thermique des façades et autres murs délimitant le volume protégé. Bruxelles, CSTC, Infofiche, n° 69.01, 2014.

### Charron S., Martin Y. et Lassoie L.

- C17 Les panneaux de bois et leurs applications. Bruxelles, CSTC, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 20, 2015 (remplace le Dossier du CSTC n° 2009/3.8).

## D

### Dirx I. et Grégoire Y.

- D1 Evaluation of the durability of ETICS: additional requirements in Belgium. Bruxelles, CSTC, 4<sup>e</sup> congrès de l'AFPAC (Coimbra), 2012.
- D2 Evaluation of the resistance to algae growth of ETICS. Bruxelles, CSTC, 4<sup>e</sup> congrès de l'AFPAC (Coimbra), 2012.

# E

## European Association for External Thermal Insulation Composite Systems (EAE, [www.ea-etics.eu](http://www.ea-etics.eu))

E1 European Guideline for the Application of ETICS (mars 2011).

## European Organisation for Technical Assessment (Bruxelles, EOTA, [www.eota.eu](http://www.eota.eu))

E2 European Assessment Document (EAD) for ETICS on timber frame substrates (à paraître).

E3 ETAG 004 Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering (2013).

E4 ETAG 014 Guideline for European Technical Approval of Plastic Anchors for ETICS (2011).

E5 TR001 Technical Report: Determination of impact resistance of panels and panels assemblies (février 2003).

E6 TR025 Technical Report: Determination of point thermal transmittance of plastic anchors for the anchorage of external thermal insulation composite systems (ETICS) (juin 2007).

E7 TR026 Technical Report: Evaluation of plate stiffness from plastic anchors for fixing of external thermal insulation composite systems with rendering (ETICS) (juin 2007).

## Europrofiles — Association professionnelle européenne des fabricants de profilés ([www.europrofiles.com](http://www.europrofiles.com))

E8 Recommandations pour l'emploi des profilés de finition dans les travaux avec des enduits intérieurs et extérieurs. France, Europrofiles, mai 2014.

# G

## Godderis E. et Grégoire Y.

G1 De CE-markering van buitengevelisolatiesystemen en de Belgische Annex. Bruxelles, SECO/BCCA/CSTC, exposé donné lors de la journée d'étude du KVIV, 17 février 2004.

## Grégoire Y.

G2 Revêtements durs encollés sur isolant. Bruxelles, CSTC, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 11, 2011.

## Grégoire Y., Dirx I. et Mertens S.

G3 ETICS avec revêtements durs. Bruxelles, CSTC, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 9, 2015.

# I

## IVP ETICS (Bruxelles, [etics.ivp-coatings.be](http://etics.ivp-coatings.be))

I1 Manuel ETICS. Système d'isolation thermique extérieure. Information technique pour la construction neuve et la rénovation (février 2012).

# J

## Janssen A., Wastiels L. et Delem L.

J1 Analyse du cycle de vie ou LCA. Bruxelles, CSTC, Infofiche, n° 64, 2013.

# M

## Mahieu E.

M1 Évaluation objective des variations de teinte. Bruxelles, CSTC, Infofiche, n° 25, 2007.

## Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale ([www.be.brussels](http://www.be.brussels))

M2 Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 21 décembre 2007 déterminant des exigences en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments. Bruxelles, Moniteur belge, 5 février 2008.

M3 Arrêté ministériel du 26 novembre 2012 modifiant l'arrêté ministériel du 24 juillet 2008 déterminant les règles pour le calcul des pertes par transmission. Bruxelles, Moniteur belge, 28 décembre 2012.

# P

## Pollet V.

P1 Tolérances admises sur les ouvrages en béton coulé *in situ* : évolution des spécifications. Bruxelles, CSTC, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 4, 2004.

# S

## Service public de Wallonie ([www.wallonie.be](http://www.wallonie.be))

S1 Document de référence pour les pertes par transmission. Annexe VII de l'arrêté du Gouvernement wallon du 10 mai 2012 modifiant, en ce qui concerne la performance énergétique des bâtiments, le code wallon de l'Aménagement du territoire, de l'urbanisme, du patrimoine et de l'énergie. Bruxelles, Moniteur belge, 22 juin 2012.

## Service public fédéral Économie, PME, classes moyennes et énergie ([www.economie.fgov.be](http://www.economie.fgov.be))

S2 STS 22 Maçonnerie pour constructions basses. Spécifications techniques unifiées, 1989 (version révisée à paraître).

S3 STS 23 Constructions en ossature bois. Spécifications techniques unifiées, 2015.

S4 STS 56.1 Mastics d'étanchéité des façades. Spécifications techniques unifiées, 1999.

S5 STS 71.1 Postisolation des murs creux par remplissage *in situ* de la coulisse ayant une largeur nominale d'au moins 50 mm, 2012.

S6 STS 71.2 Systèmes d'isolation extérieure de façade. Spécifications techniques unifiées (à paraître).

## Service public fédéral Emploi, travail et concertation sociale ([www.emploi.belgique.be](http://www.emploi.belgique.be))

S7 Code sur le bien-être au travail (1993 et modifications).

S8 Règlement général pour la protection du travail (1947 et modifications).

## Service public fédéral Intérieur ([www.ibz.be](http://www.ibz.be))

S9 Arrêté royal du 12 juillet 2012 modifiant l'arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire. Bruxelles, Moniteur belge, 21 septembre 2012.

## Service public fédéral Santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement ([www.health.belgium.be](http://www.health.belgium.be))

S10 Arrêté royal du 22 mai 2014 fixant les exigences minimales pour les affichages environnementaux sur les produits de construction et pour l'enregistrement des déclarations environnementales de produits dans la base de données fédérale. Bruxelles, Moniteur belge, 14 juillet 2014.

# U

Union belge pour l'agrément technique dans la construction (Bruxelles, UBAtc, [www.ubatc.be](http://www.ubatc.be))

U1 Méthode d'essai de l'UBAtc BA-521-1 pour les systèmes d'isolation extérieure de façades.

Union européenne ([www.europa.eu](http://www.europa.eu))

U2 Directive 89/106/CEE du Conseil du 21 décembre 1988 relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres concernant les produits de construction.

U3 Règlement n° 305/2011 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2011 établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction et abrogeant la directive 89/106/CEE du Conseil.

# V

Vlaamse overheid ([www.vlaanderen.be](http://www.vlaanderen.be))

V1 Transmissiereferentiedocument. Bijlage 3 bij besluit van 1 december 2010 houdende aanpassing van de regelgeving inzake het energiebeleid. Bruxelles, Moniteur belge, 8 décembre 2010.



Éditeur responsable : Jan Venstermans  
CSTC, Rue du Lombard 42  
1000 Bruxelles

## Recherche • Développe • Informe

Principalement financé par les redevances de quelque 85.000 entreprises belges représentant la quasi-majorité des métiers de la construction, le CSTC incarne depuis plus de 50 ans le centre de référence en matière scientifique et technique, contribuant directement à l'amélioration de la qualité et de la productivité.

### Recherche et innovation

L'introduction de techniques innovantes est vitale pour la survie d'une industrie. Orientées par les professionnels de la construction, entrepreneurs ou experts siégeant au sein des Comités techniques, les activités de recherche sont menées en parfaite symbiose avec les besoins quotidiens du secteur.

Avec l'aide de diverses instances officielles, le CSTC soutient l'innovation au sein des entreprises, en les conseillant dans des domaines en adéquation avec les enjeux actuels.

### Développement, normalisation, certification et agréation

A la demande des acteurs publics ou privés, le CSTC réalise divers développements sous contrat. Collaborant activement aux travaux des instituts de normalisation, tant sur le plan national (NBN) qu'europpéen (CEN) ou international (ISO), ainsi qu'à ceux d'instances telles que l'Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBATc), le Centre est idéalement placé pour identifier les besoins futurs des divers corps de métier et les y préparer au mieux.

### Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

Pour mettre le fruit de ses travaux au service de toutes les entreprises du secteur, le CSTC utilise largement l'outil électronique. Son site Internet adapté à la diversité des besoins des professionnels contient les ouvrages publiés par le Centre ainsi que plus de 1.000 normes relatives au secteur.

La formation et l'assistance technique personnalisée contribuent au devoir d'information. Aux côtés de quelque 650 sessions de cours et conférences thématiques impliquant les ingénieurs du CSTC, plus de 26.000 avis sont émis chaque année par la division Avis techniques.

### SIÈGE SOCIAL

Rue du Lombard 42, B-1000 Bruxelles  
Tél. 02/502 66 90  
Fax 02/502 81 80  
E-mail : [info@bbri.be](mailto:info@bbri.be)  
Site Internet : [www.cstc.be](http://www.cstc.be)

### BUREAUX

Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe  
Tél. 02/716 42 11  
Fax 02/725 32 12

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

### STATION EXPÉRIMENTALE

Avenue Pierre Holoffe 21, B-1342 Limelette  
Tél. 02/655 77 11  
Fax 02/653 07 29

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

### CENTRE DE DÉMONSTRATION ET D'INFORMATION

Marktplein 7 bus 1, B-3550 Heusden-Zolder  
Tél. 011/79 95 11  
Fax 02/725 32 12

- Centre de compétence TIC pour les professionnels de la construction (ViBo)
- Centre d'information et de documentation numérique pour le secteur de la construction et du béton (Betonica)

### BRUSSELS MEETING CENTRE

Boulevard Poincaré 79, B-1060 Bruxelles  
Tél. 02/529 81 29



### **Buildwise Zaventem** **Siège social et bureaux**

Kleine Kloosterstraat 23  
B-1932 Zaventem  
Tél. 02/716 42 11

E-mail : [info@buildwise.be](mailto:info@buildwise.be)  
Site Internet : [buildwise.be](http://buildwise.be)

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

### **Buildwise Limelette**

Avenue Pierre Holoffe 21  
B-1342 Limelette  
Tél. 02/655 77 11

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

### **Buildwise Brussels**

Rue Dieudonné Lefèvre 17  
B-1020 Bruxelles  
Tél. 02/233 81 00

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) fait désormais place à Buildwise. Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée. Buildwise étant principalement financé par les redevances de quelque 100.000 entreprises de construction belges, celles-ci contribuent ainsi à motiver son action, notamment en définissant ses priorités et en pilotant ses travaux par le biais des Comités techniques.

## **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

Fort des connaissances qu'il a acquises au fil des années, Buildwise s'est imposé comme le centre de référence et d'expertise du secteur de la construction. Buildwise se tient aux côtés de tous les acteurs impliqués dans l'acte de bâtir. Notre objectif ? Transmettre des connaissances qui améliorent réellement la qualité, la productivité et la durabilité, et ouvrir la voie à l'innovation sur chantier et dans l'entreprise.

## **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

Compte tenu de la grande complexité et de la forte fragmentation du processus de construction, Buildwise se doit de renforcer son rôle fédérateur. Nous ne pourrions relever les défis sectoriels et sociétaux qu'en mobilisant le secteur tout entier et en repensant nos modèles d'entreprise et notre façon de collaborer.

## **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

Notre spécificité tient à notre approche pragmatique et multidisciplinaire. Pour trouver des solutions solides, il faut une stratégie globale et intégrée. C'est pourquoi nos ambitions s'articulent autour de trois piliers : les technologies numériques, la durabilité et le métier (représenté par les entrepreneurs au sein des Comités techniques).