

STS 22

MACONNERIE pour CONSTRUCTION BASSE

Partie 3

STS 22-3: Maçonnerie pour construction basse-
Thermique, acoustique, feu et étanchéité à l'air

Version mai 2020

La mission du SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie consiste à créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. Dans ce cadre, la Direction générale de la Qualité et de la Sécurité a édité cette publication ayant pour but de mettre à la disposition des pouvoirs publics et des acteurs de la construction un instrument visant à optimiser et/ou à normaliser la qualité des constructions.

SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie

Direction générale de la Qualité et de la Sécurité

Division Qualité et Innovation

Service Spécifications dans la Construction

North Gate

Boulevard Albert II 16

1000 Bruxelles

Tél. : 02 277 81 76

Fax : 02 277 54 44

2

Numéro d'entreprise : 0314.595.348

<https://economie.fgov.be>

Editeur responsable

Chris Van der Cruyssen

Directeur général a.i.

Direction générale de la Qualité et de la Sécurité

North Gate

Boulevard du Roi Albert II 16

1000 Bruxelles

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Avant-propos

Ces STS ont été établies conformément à la procédure BURTCB/CTC-2013-002 par le groupe de travail qui a été mis en place à cet effet par l'organisme mandaté, à savoir le Bureau de Contrôle technique pour la Construction (SECO).

Elles ont été approuvées le 21.01.2020 par le groupe de travail. Le projet des STS a été évalué par le Service Spécifications dans la Construction, Division Qualité et Innovation de la Direction générale de la Qualité et de la Sécurité du Service public fédéral Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. Cette évaluation a été soumise à la Commission Technique de la Construction, qui a validé le projet par procédure écrite du 8/04/2020, conformément à l'article 9 de l'arrêté royal du 1^{er} février 2018 relatif aux statuts et à la procédure pour l'établissement de Spécifications techniques.

L'organisme qui a obtenu le mandat pour la rédaction des STS est responsable de son contenu technique.

Cinq ans après leur date de publication, la nécessité de réviser ces STS devra être évaluée. Le cas échéant, le texte de ces STS sera adapté, conformément à l'arrêté royal précité.

Les prescriptions types ne dispensent pas les concepteurs, acheteurs et vendeurs de leur responsabilité. Elles ne comprennent aucune garantie des autorités ou des rédacteurs des STS et elles ne donnent aucun droit exclusif sur la fabrication ou la vente.

Les STS validées sont publiées sur le site internet du [SPF Economie \(https://economie.fgov.be/fr/themes/entreprises/secteurs-specifiques/qualite-dans-la-construction/specifications-techniques-sts\)](https://economie.fgov.be/fr/themes/entreprises/secteurs-specifiques/qualite-dans-la-construction/specifications-techniques-sts).

Ces STS remplacent les parties relatives à la thermique, l'acoustique, le feu et l'étanchéité à l'air des « STS 22 – Maçonnerie pour constructions basses : tome 3 : mise en œuvre - édition 1989 ».

Bruxelles,

27.05.2020

Chris Van der Cruyssen

Directeur général a.i.

Table des matières

1	Introduction	8
1.1	Généralités	8
1.2	Dispositions générales concernant les STS	8
1.2.1	Signification, rôle et statut des STS	8
1.2.2	Processus d'établissement	9
1.2.3	Composition du groupe de travail	9
1.2.4	Validité et actualisation	9
1.2.5	Références aux autres spécifications	9
2.	Propriétés thermiques	10
2.1.	Généralités	10
2.1.1.	Définitions	10
2.2.	Détermination de la transmission thermique / résistance thermique dans les parois maçonneries	11
2.2.1.	Matériaux	12
2.2.2.	Couches d'air dans des murs creux.....	18
2.2.3.	Résistance thermique d'espaces d'air non chauffés à l'intérieur du volume protégé	20
2.2.4.	Détermination de la résistance thermique totale des murs	21
2.2.5.	Calcul d'éléments constitués de couches homogènes et non homogènes	21
2.2.6.	Calcul de couches de construction collées ou maçonneries.....	22
2.2.7.	Coefficient de transmission thermique des murs.....	23
2.2.8.	Influence des grilles de ventilation	26
2.3.	Traitement des noeuds constructifs.....	28
2.3.1.	Flux de chaleur par transmission	28
2.3.2.	Noeuds constructifs	29
2.3.3.	Flux thermique par transmission à travers les nœuds constructifs	35
2.3.4.	Méthodes des nœuds PEB conformes	36
2.4.	Niveau K ou niveau d'isolation thermique globale	46
3	Isolation acoustique	49
3.1	Critères de performances de la norme belge	49
3.2	Définitions et symboles	49
3.3	Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation (NBN S 01-400-1)	51
3.3.1	Introduction	51

3.3.2	Critères pour l'isolation aux bruits aériens d'immeubles d'habitation	53
3.3.3	Critères pour la limitation des bruits de choc dans des immeubles d'habitation 54	
3.3.4	Critères pour l'isolation de façade d'immeubles d'habitation.....	55
3.4	Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires (NBN S01-400-2)	57
3.4.1	Introduction.....	57
3.4.2	Critères pour l'isolation aux bruits aériens de bâtiments scolaires.....	57
3.4.3	Critères pour la limitation des bruits de choc dans des bâtiments scolaires....	59
3.4.4	Critères pour l'isolation de façade de bâtiments scolaires	61
3.5	Critères acoustiques pour des bâtiments non résidentiels	62
3.5.1	Annexe 1.1. Isolation aux bruits d'éléments de construction (l'indice d'affaiblissement acoustique r).....	64
3.5.2	Annexe 1.2. Isolation acoustique entre deux locaux (isolation aux bruits aériens standardisée DnT).....	68
3.6	Annexe 2: Concepts de construction pour répondre à la NBN S 01-400-1:2008 ...	69
3.6.1	Annexe 2.1. Introduction	69
3.6.2	Annexe 2.2. Directives particulières applicables aux fondations	70
3.6.3	Annexe 2.3. Impact des divers concepts de gros oeuvre sur la transmission horizontale des bruits aériens	72
3.6.4	Annexe 2.4. Impact des divers concepts de gros oeuvre sur la transmission verticale du bruit aérien	76
3.6.5	Annexe 2.5. Directives particulières pour la réalisation de la jonction avec la toiture	76
3.6.6	Annexe 2.6. Directives particulières applicables aux murs intérieurs non porteurs	78
3.6.7	Annexe 2.7. Directives particulières pour la mise en oeuvre de bandes acoustiques et points d'attention techniques	79
3.6.8	Annexe 2.8. Directives particulières pour la réalisation de la jonction avec les façades	81
3.6.9	Annexe 2.9. Directives particulières applicables aux murs d'attente et aux murs creux sans ancrages	82
3.6.10	Annexe 2.10. Cages d'escaliers et ascenseurs	83
4	Résistance au feu.....	84
4.1	Réglementation et notifications européennes	84
4.2	Réglementation fédérale sur la sécurité en cas d'incendie en Belgique	85

4.2.1	Généralités	85
4.2.2	Dérogations	85
4.2.3	Sécurité au travail.....	86
4.2.4	Autre réglementation fédérale.....	86
4.3	Réglementation régionale.....	86
4.4	Informations supplémentaires.....	87
4.5	Domaine d'application.....	88
4.6	Hypothèses	89
4.7	Définitions.....	89
4.7.1	Définitions générales conformément aux normes de base, l'Annexe 1 (qui se rapportent à la maçonnerie)	89
4.7.2	Définitions relatives au bâtiment et à sa distribution.....	90
□	Hauteur h d'un bâtiment	90
4.7.3	Définitions relatives au compartimentage.....	91
4.7.4	Définitions relatives aux éléments de construction.....	91
4.7.5	Définitions relatives à la résistance au feu et à la réaction au feu.....	93
4.8	Evaluation des éléments de construction.....	93
4.9	Termes spéciaux relatifs au calcul du comportement au feu en général	94
4.10	Principes et règles de base.....	95
4.11	Feu nominal.....	95
4.12	Feu paramétrique (ou naturel).....	96
4.13	Méthodes d'évaluation	96
4.14	Matériaux.....	97
4.14.1	Unités.....	97
4.14.2	Mortier.....	97
4.15	Informations générales sur la conception et le calcul des murs	97
4.15.1	Types de murs par fonction.....	97
4.15.2	Murs creux et murs non liés comprenant des parois indépendantes.....	98
4.15.3	Finitions de surface	99
4.15.4	Prescriptions supplémentaires pour les murs en maçonnerie	100
4.16	Dispositions de détail	100
4.16.1	Liaisons et joints	100
4.16.2	Fixations, tuyaux et câbles	102

4.17	Evaluation à l'aide de valeurs tabulées	103
4.18	Valeurs tabulées pour la résistance au feu de murs en maçonnerie.....	104
4.19	Tableaux	104
4.19.1	Brique en terre cuite	105
4.19.2	Briques silico-calcaires.....	107
4.19.3	Briques en béton	109
4.19.4	Briques en béton cellulaire.....	110
4.20	Exigences.....	113
4.21	Règles pour les traversées des parois	121
4.21.1	Domaine d'application	121
4.21.2	Définitions.....	121
4.21.3	Conditions supplémentaires.....	122
4.21.4	Solutions types	123
5	Etanchéité à l'air	130
5.1	Généralités.....	130
5.2	Conception étanche à l'air	131
5.3	Choix et la nature de l'écran à l'air	131
5.4	Choix adapté des installations, de leur positionnement dans le bâtiment et maîtrise des percements de l'écran à l'air	131
5.5	Exécution soignée et bonne coordination des travaux	132
5.5.1	Conception et exécution du pied de mur.....	132
5.5.2	Placement et exécution des blochets et conduites	133
5.5.3	Portes intérieures à proximité d'une façade	133
5.5.4	Raccords aux toitures à versants.....	134
5.5.5	Raccord aux toitures plates.....	135
5.5.6	Raccords à la menuiserie.....	137
5.5.7	Réalisation de percements	137

1 Introduction

1.1 Généralités

Les STS 22 comprennent 4 tomes :

- Partie 1 : STS 22-1 : Maçonnerie pour construction basse-Matériaux
- Partie 2 : STS 22-2 : Maçonnerie pour construction basse-Stabilité
- Partie 3 : STS 22-3 : Maçonnerie pour construction basse-Thermique, acoustique, feu et étanchéité à l'air
- Partie 4 : STS 22-4 : Maçonnerie pour construction basse-Exécution générale de la maçonnerie

Ces STS se rapportent aux prescriptions pour la maçonnerie réalisée avec :

- des éléments de maçonnerie faisant partie des normes de produit harmonisées NBN EN 771-partie 1 à 6 ;
- des mortiers qui font partie de la norme de produit harmonisée NBN EN 998-2 et des mortiers fabriqués sur place ;
- des composants accessoires comme décrits dans les normes de produit harmonisées NBN EN 845-partie 1 à 3.

et suivant les prescriptions de l'Eurocode 6, de l'Eurocode 8, des arrêtés royaux, des arrêtés ministériels et des normes belges pertinents.

Ces prescriptions décrivent les exigences pouvant être imposées aux produits, ainsi qu'aux exécutants et aux méthodes de mise en œuvre. Elles sont complétées par des précisions, des règles et usages locaux, et les règles de l'art, au profit de la résistance mécanique et de la stabilité, la sécurité incendie et les exigences relatives à la performance énergétique et acoustique des bâtiments.

1.2 Dispositions générales concernant les STS

1.2.1 Signification, rôle et statut des STS

Les STS sont des prescriptions-types relatives aux caractéristiques de produits de construction, systèmes de construction, éléments de construction ou aux performances de constructions ou bâtiments intégraux, mises à la disposition des autorités et des acteurs du secteur de la construction pour l'élaboration de prescriptions ciblées et concrètes dans le cadre du processus de construction.

Les STS peuvent être utilisées comme document de référence, de guide ou de modèle pour l'élaboration de prescriptions concrètes. Les STS ne sont pas juridiquement contraignantes en soi mais peuvent le devenir lorsqu'elles sont utilisées comme document de référence dans des contrats, des cahiers des charges et des réglementations.

Dans ce sens, les STS peuvent être considérées comme une forme de normalisation des prescriptions de construction. Elles sont basées sur des connaissances issues de l'expérience et d'études.

Les prescriptions de construction visées peuvent se rapporter aux propriétés des produits, des systèmes de construction et des procédés, à la conception, à la mise en œuvre ou à l'exécution.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

1.2.2 Processus d'établissement

Ces STS sont établies conformément à l'arrêté ministériel du 6 septembre 1991 relatif à l'établissement de spécifications-types dans la construction, modifié par l'arrêté ministériel du 28 septembre 2009.

1.2.3 Composition du groupe de travail

Pour les présentes STS, le groupe de travail est composé comme suit :

- Belgian Construction Certification Association (BCCA)
- Fédération Belge de la Brique (FBB)
- Centre de Recherches de l'Industrie Cimentière belge (CRIC-OCCN)
- BE-CERT
- Bureau de Contrôle Technique pour la Construction en Belgique (SECO)
- Fédération de l'Industrie du béton préfabriqué (FEBE)
- Fédération belge Béton Cellulaire (FEBECEL)
- Fédération des producteurs belges de mortiers de ciment industriels (FEMO)
- Service public fédéral Economie
- Probeton – Organisme de gestion pour le contrôle des produits en béton
- Université de Liège (Département d'Architecture, Géologie, Environnement et Constructions)
- Université de Mons (Service de Génie architectural et urbain)
- Commission miroir belge NBN E 25006
- Netwerk Architecten Vlaanderen (NAV)
- Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC)

9

En complément à la constitution de ce groupe de travail et pour pallier l'absence des associations représentatives de certaines catégories de parties intéressées, des entreprises représentatives individuelles ont également apporté leur collaboration.

1.2.4 Validité et actualisation

Le contenu de ces STS sera régulièrement actualisé en fonction de la réglementation et de l'évolution des normes et des règles de l'art.

1.2.5 Références aux autres spécifications

Lorsque c'est pertinent, les STS renvoient aux spécifications normatives officielles, telles qu'elles sont en vigueur à la date de la publication de ces STS. Si après la publication de ces STS de nouvelles éditions paraissent, celles-ci seront d'application et, si nécessaire et dans le cas où il y a contradiction, les paragraphes concernés remplaceront ceux de ces STS.

2. Propriétés thermiques

2.1. Généralités

2.1.1. Définitions

Dimension intérieure : dimension mesurée d'une paroi à l'autre ou du sol au plafond à l'intérieur d'une pièce d'un bâtiment.

Dimension extérieure : dimension mesurée à l'extérieur du bâtiment.

Partie de construction, élément de construction : partie d'un bâtiment tel que mur, sol, toit.

Température sèche résultante : valeur moyenne calculée de la température intérieure de l'air mesurée à sec et de la température moyenne de rayonnement de toutes les parois qui entourent l'environnement intérieur.

Valeur (thermique) déclarée : valeur attendue d'une propriété thermique d'un matériau ou d'un produit de construction, obtenue sur la base de valeurs mesurées aux conditions de référence de température et d'humidité, pour une fraction et un degré de fiabilité déterminés et conformément à une durée de vie raisonnable dans des conditions normales.

Cave : partie utilisable d'une construction située entièrement ou partiellement sous le niveau du sol. Cet espace peut être chauffé ou non.

Matériau : partie d'un produit, peu importe la forme et les dimensions et sans revêtement ou coating.

Produit : forme finale d'un matériau, prêt à l'emploi, ayant certaines formes et dimensions et pourvue d'un revêtement ou d'un coating.

Température extérieure de référence : la température de l'air de l'environnement extérieur lors d'un ciel complètement couvert.

Température intérieure de référence : température sèche résultante dans un local.

Valeur (thermique) de calcul : valeur d'une propriété thermique d'un matériau ou d'un produit de construction sous certaines conditions intérieures et extérieures spécifiques de température et d'humidité, qui peuvent être considérées comme typiques pour ce matériau ou produit quand il est placé dans une partie de la construction. (*Note : un produit peut avoir différentes valeurs de calcul selon les applications*).

Couche thermiquement homogène : couche de construction avec une épaisseur constante qui a des propriétés thermiques uniformes ou qui peuvent être considérées comme telles.

Espace chauffé (refroidi) : locaux ou espaces qui sont chauffés (refroidis) à une température déterminée.

Plancher sur vide sanitaire : Construction de plancher situé complètement au-dessus du niveau du sol, grâce à laquelle une couche d'air est créée entre le plancher et la terre. (*Note : cette couche d'air, aussi appelée vide sanitaire, peut être ou non ventilée et ne fait généralement pas partie du volume protégé d'un bâtiment*).

Plancher sur terre-plein : construction de plancher en contact direct avec la terre sur toute sa superficie.

Coefficient de transmission thermique (U) [W/m²K] : quantité de chaleur, en régime stationnaire, qui traverse un élément de construction par unité d'aire (ou de surface) divisée par la différence de température entre l'environnement intérieur et extérieur des deux côtés de l'élément de construction concerné.

Conductivité thermique (λ_u) [W/mK] : valeur de calcul de la densité du flux thermique qui, en régime stationnaire, passe dans un matériau ou un produit de construction sous certaines conditions intérieures et extérieures spécifiques, qui peuvent être considérées comme typiques pour les prestations du produit ou du matériel considéré s'il est intégré dans un élément de construction.

Flux thermique Φ [W] : la quantité de chaleur apportée ou évacuée d'un système par unité de temps.

Densité du flux thermique (q) [W/m²] : flux thermique par unité d'aire.

Résistance thermique (R) [m²K/W] : valeur inverse du coefficient de transmission thermique d'un élément de construction sous certaines conditions intérieures et extérieures spécifiques qui peuvent être considérées comme typiques pour les prestations de l'élément de construction considéré.

Coefficient de transfert thermique par transmission (H_T) [W/K] : le flux thermique total par transmission qui se produit en régime stationnaire entre un espace intérieur (chauffé) et l'environnement extérieur, divisé par la différence de température entre l'environnement intérieur et extérieur (les deux températures étant considérées comme uniformes).

Coefficient de transfert thermique par ventilation (H_V) [W/K] : le flux thermique par ventilation entre l'espace intérieur et l'environnement extérieur, divisé par la différence de température entre l'environnement intérieur et extérieur.

2.2. Détermination de la transmission thermique / résistance thermique dans les parois maçonnées

La détermination de la résistance thermique des couches de construction dans un élément de construction se fait de la manière suivante :

- d'abord déterminer la résistance thermique de chaque couche homogène de construction de l'élément de bâtiment ;
- ensuite, faire la somme des résistances thermiques individuelles des couches de construction pour obtenir la résistance thermique totale de l'élément, y compris les résistances thermiques d'échange aux surfaces intérieure et extérieure de l'élément de bâtiment.

Pour les surfaces planes et en absence de toute information spécifique concernant les résistances thermiques d'échange, les valeurs du tableau 2.1 peuvent être utilisées.

Tableau 2.1 : Résistances thermiques d'échange

R _{si}	0,13	m ² K/W
R _{se}	0,04	m ² K/W

La résistance thermique des couches homogènes d'un élément de bâtiment peut être calculée sur la base de la formule suivante :

$$R_u = d / \lambda_U$$

où :

- d = épaisseur du matériau [m]
- λ_U = valeur de calcul de la conductivité thermique du matériau [W/m.K]

2.2.1. Matériaux

Pour le calcul des coefficients de transmission thermique des parois des bâtiments (valeur U), la réglementation PEB fait référence au « **Document de référence pour les pertes par transmission** ». Ce calcul est réalisé sur la base des valeurs déclarées de la conductivité thermique (λ_D) ou de la résistance thermique (R_D) d'un matériau.

En général, la valeur déclarée (λ_D or R_D) est définie selon les principes mentionnés dans la norme NBN EN ISO 10456 et pour laquelle les conditions suivantes sont d'application :

- valeurs mesurées dans des conditions données de température et d'humidité de référence, déterminées à 10°C et mesurées selon les méthodes de mesurage des NBN EN 1934, NBN EN ISO 8990, NBN EN 12664, NBN EN 12667, NBN EN 12939 ;
- un fractile d'ordre avec un niveau de fiabilité fixé à 90/90 (autrement dit avec une fiabilité de 90 % il est supposé que 90 % de la production a une valeur λ qui est plus petite ou égale à la valeur déclarée) ;
- correspondant à une durée de vie raisonnable dans des circonstances normales. Dans ce cas, l'échantillon préalable au mesurage sera conditionné comme il est indiqué dans les spécifications techniques correspondantes.

12

Les valeurs déclarées λ_D ou R_D , calculées en tenant compte des valeurs susmentionnées, sont déclarées par le fabricant sur la base de la norme de produit (NBN EN) ou d'une ETA (European Technical Assessment/ Evaluation Technique Européenne), pour autant qu'elles soient disponibles et publiées. A défaut de ces documents, les autorités peuvent fixer des spécifications supplémentaires.

Lors de la détermination des valeurs déclarées d'éléments de la maçonnerie, il faut également prendre en compte la norme NBN EN 1745.

Ceci signifie que les méthodes de mesure susmentionnées se limitent à la NBN EN 12664 et la NBN EN 1934 à la température de référence de 10°C et en conditions sèches.

Les normes de produit susmentionnées pour les éléments de maçonnerie (NBN EN 771-1 à 6) et pour le mortier (NBN EN 998-2) déterminent que : « *En fonction des utilisations pour lesquelles le produit est mis sur le marché et, dans tous les cas, pour les éléments de maçonnerie et mortiers destinés à être utilisés dans des constructions soumises à des exigences thermiques, le fabricant doit déclarer la valeur moyenne de $\lambda_{10,sec,elt}$ ou $\lambda_{10,sec,mortier}$ et le modèle de détermination comme prescrit dans la EN 1745.* »

En plus, un autre fractile peut être déclaré. Dans ce cas, ce fractile sera clairement mentionné avec la valeur $\lambda_{10,sec,elt}$ or $\lambda_{10,sec,mortier}$ déclarée.

Ceci signifie qu'en Belgique, le fabricant doit également déclarer la valeur $\lambda_{10,sec,elt}$ (90/90) ou $\lambda_{10,sec,mortier}$ (90/90), étant la valeur de la limite supérieure du fractile à 90 % avec un niveau de confiance de 90% et le modèle de détermination comme prescrit dans la EN 1745.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Le fabricant a le choix de déclarer des caractéristiques pour un produit qui sont dérivées de la masse volumique apparente sèche ou masse volumique absolue sèche et la configuration, combinées avec :

- les valeurs tabulées mentionnées dans la norme NBN EN 1745 ;
- les valeurs obtenues par des essais sur des éléments de maçonnerie, du mortier ou des parois ;
- les valeurs obtenues par un calcul sur la base des caractéristiques des matériaux et une méthode de calcul de référence.

Dans tous les cas, il faut partir d'un calcul statistique de :

- la masse volumique absolue sèche des matériaux sur plusieurs productions ; ou
- la masse volumique apparente sèche des matériaux sur plusieurs productions et leur configuration.

Si la valeur déclarée λ_D des matériaux est basée sur :

- une analyse statistique des masses volumiques ; et
- les valeurs obtenues des essais sur les éléments de maçonnerie, le mortier ou les parois.

Ces essais doivent être réalisés selon la méthode de référence déterminée dans la NBN EN 1745, c'est-à-dire :

- la méthode de la plaque chaude selon la NBN EN 12664 à 10°C et en conditions sèches dans le cas d'essais sur mortier ou éléments de maçonnerie ; ou
- la NBN EN 1934 dans le cas d'essais sur des parois.

La valeur déclarée peut également être dérivée de l'analyse statistique des résultats de mesure directs de la conductivité thermique sur les différentes productions.

Note : Qu'il soit clair à cet égard que la fractile à 90 % de la masse volumique absolue ou apparente sèche avec une fiabilité de 90 %, n'est pas la masse volumique absolue ou apparente sèche qui est déclarée sous CE par le fabricant.

Les valeurs déclarées doivent être converties vers les conditions d'utilisation, comme fixées pour la Belgique à 23°C et 50 % d'humidité relative pour les conditions intérieures et 75 % du taux critique de saturation à 20°C pour les conditions extérieures. Ces valeurs sont définies comme les Valeurs de calcul λ_{Ui} et λ_{Ue} .

La valeur de calcul de la conductivité thermique λ_{Ui} correspond aux conditions intérieures et doit être utilisée pour les matériaux dans des parois intérieures et extérieures, pour autant que ces matériaux ne puissent être humidifiés ni par la pénétration d'eau de pluie, ni par une condensation interne ou superficielle permanente, ni par l'humidité ascensionnelle. La valeur λ_{Ui} ne peut être utilisée pour les matériaux incorporés de manière étanche à la vapeur et susceptibles de contenir de l'humidité (p.ex. eau de construction ou eau pluviale).

La valeur de calcul de la conductivité thermique λ_{Ue} correspond aux conditions extérieures et doit être utilisée pour tous les matériaux dans des parois extérieures qui peuvent être humidifiés par la pluie, par la condensation interne ou superficielle permanente ou par l'humidité ascensionnelle. C'est également valable pour les parois extérieures pourvues d'un enduit extérieur, à moins que cet enduit est suffisamment durable et imperméable. La valeur λ_{Ue} doit également s'utiliser pour les matériaux incorporés de manière étanche à la vapeur d'eau alors qu'ils sont mouillés au moment de la mise en œuvre.

La conversion se fait au moyen d'essais ou via les formules ci-dessous :

Valeur de calcul : $\lambda_{U_i} = \lambda_D \cdot e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)}$
 ou $\lambda_{U_i} = \lambda_D \cdot e^{f_\Psi \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)}$
 à 23°C et HR 50%

Valeur de calcul : $\lambda_{U_e} = \lambda_D \cdot e^{f_u \cdot (u_2 - u_1)}$
 Ou $\lambda_{U_e} = \lambda_D \cdot e^{f_\Psi \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)}$
 à 75 % du taux critique de saturation à 20°C.

Les valeurs des facteurs u et Ψ et des facteurs de conversion f_u et f_Ψ sont indiqués dans le document de référence pour les pertes par transmission, annexe C, tableau C1, comme indiqué dans le tableau 2.2 :

Tableau 2.2. Tableau C.1 annexe C du Document de référence pour les pertes par transmission

Teneurs en humidité et facteurs de conversion pour les matériaux pierreux							
Matériau	Masse Volumique ρ (kg/m ³)	Teneur en humidité à 23°C et 50% HR		Teneur en humidité à 20°C et 75% du taux de saturation critique		Facteur de conversion pour l'humidité	
		U_{2i} (kg/kg)	Ψ_{2i} (m ³ /m ³)	U_{2e} (kg/kg)	Ψ_{2e} (m ³ /m ³)	f_u (kg/kg)	f_Ψ (m ³ /m ³)
Terre cuite	700-2100		0,007		0,075		10
Silico-calcaire	900-2200		0,012		0,090		10
Béton avec granulats normaux	1600-2400		0,025		0,090		4
Béton avec argile expansée	400-1700	0,020		0,090		4	
Béton avec autres granulats légers	500-1800		0,030		0,090		4
Béton cellulaire	300-1000	0,026		0,150		4	
Béton de polystyrène	500-800		0,015		0,090		5
Mortier	250-2000		0,040		0,150		4

Note: Les taux d'humidité et les facteurs de conversion des matériaux non mentionnés dans ce tableau sont donnés dans la norme NBN ISO 10456, pour autant qu'ils soient disponibles

14

Les valeurs déclarées et les valeurs de calcul sont arrondies à l'unité supérieure à :

- $\lambda_D \leq 0,08$ → 0,001 W/mK
- $0,08 < \lambda_D \leq 0,20$ → 0,005 W/mK
- $0,20 < \lambda_D \leq 2,00$ → 0,01 W/mK
- $2,00 < \lambda_D$ → 0,1 W/mK

Pour la valeur R_D déclarée, il faut arrondir à l'unité inférieure jusqu'aux deux décimales.

Pour toutes les valeurs de calcul λ_U ou R_U , dérivées des valeurs déclarées, les mêmes règles sont valables en ce qui concerne les arrondis que pour les valeurs déclarées.

Pour la valeur de calcul de la paroi, il faut tenir compte de l'influence du mortier qui ne peut être négligée, surtout s'il s'agit de blocs de construction légers. (voir §2.2.6 : Calcul de couches de construction collées ou maçonnées).

Note : Il est encore une fois précisé que le fractile à 90 % à utiliser de la masse volumique absolue ou apparente sèche avec une fiabilité de 90 %, n'est pas la masse volumique absolue ou apparente sèche qui est déclarée sous CE par le fabricant. Si le fabricant n'a pas déclaré de $\lambda_D = \lambda_{10,sec,elt}$ ou $\lambda_{10,sec,mortier}$ (90/90), il faut s'adresser au fabricant livrant pour obtenir les valeurs exactes de la valeur (90/90) de la masse volumique absolue ou de la masse volumique apparente et la configuration, qui permet à l'auteur de projeter de calculer la valeur $\lambda_{10,sec,elt}$ ou $\lambda_{10,sec,mortier}$ (90/90) correspondante.

On peut négliger l'incidence des armatures de joint habituelles.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

S'il n'y a pas d'informations sur les éléments de maçonnerie et le mortier (p.ex. pendant la phase de projet), on peut utiliser les valeurs de λ_{U_i} et λ_{U_e} pour les calculs de transmission dans le cadre de la réglementation de performance énergétique pour les éléments de maçonnerie creux ou perforés comme mentionnés dans les tableaux A3 à A8 du document de référence pour les pertes par transmission (voir tableaux 2.3 à 2.9). Cependant, il faut se baser sur la valeur 90/90 de la masse volumique apparente sèche des éléments de maçonnerie. Ces valeurs ne sont valables que pour des températures de matériaux situées entre -10°C et +30°C. Par contre elles ne sont pas automatiquement valables pour le calcul de l'isolation d'installations techniques.

Tableau 2.3. Tableau A3 de l'annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

Briques en terre cuite		
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>		
Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{U_i} W/(mK)	λ_{U_e} W/(mK)
$\rho \leq 700$	0,22	0,43
700 < $\rho \leq 800$	0,25	0,49
800 < $\rho \leq 900$	0,28	0,56
900 < $\rho \leq 1000$	0,32	0,63
1000 < $\rho \leq 1100$	0,35	0,70
1100 < $\rho \leq 1200$	0,39	0,77
1200 < $\rho \leq 1300$	0,42	0,84
1300 < $\rho \leq 1400$	0,47	0,93
1400 < $\rho \leq 1500$	0,51	1,00
1500 < $\rho \leq 1600$	0,55	1,09
1600 < $\rho \leq 1700$	0,60	1,19
1700 < $\rho \leq 1800$	0,65	1,28
1800 < $\rho \leq 1900$	0,71	1,40
1900 < $\rho \leq 2000$	0,76	1,49
2000 < $\rho \leq 2100$	0,81	1,61

Tableau 2.4. Tableau A4 de l'annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

Briques/blocs silico-calcaires		
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>		
Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(mK)	λ_{Ue} W/(mK)
$\rho \leq 900$	0,36	0,78
$900 < \rho \leq 1000$	0,37	0,81
$1000 < \rho \leq 1100$	0,40	0,87
$1100 < \rho \leq 1200$	0,45	0,97
$1200 < \rho \leq 1300$	0,51	1,11
$1300 < \rho \leq 1400$	0,57	1,24
$1400 < \rho \leq 1500$	0,66	1,43
$1500 < \rho \leq 1600$	0,76	1,65
$1600 < \rho \leq 1700$	0,87	1,89
$1700 < \rho \leq 1800$	1,00	2,19
$1800 < \rho \leq 1900$	1,14	2,49
$1900 < \rho \leq 2000$	1,30	2,84
$2000 < \rho \leq 2100$	1,49	3,25
$2100 < \rho \leq 2200$	1,70	3,71

Tableau 2.5. Tableaux A5 de l'annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

16

Blocs de béton avec granulats ordinaires		
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>		
Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(mK)	λ_{Ue} W/(mK)
$\rho \leq 1600$	1,07	1,39
$1600 < \rho \leq 1700$	1,13	1,47
$1700 < \rho \leq 1800$	1,23	1,59
$1800 < \rho \leq 1900$	1,33	1,72
$1900 < \rho \leq 2000$	1,45	1,88
$2000 < \rho \leq 2100$	1,58	2,05
$2100 < \rho \leq 2200$	1,73	2,24
$2200 < \rho \leq 2300$	1,90	2,46
$2300 < \rho \leq 2400$	2,09	2,71

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Tableau 2.6. Tableau A6 de l'annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

Blocs de béton d'argile expansé		
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>		
Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(mK)	λ_{Ue} W/(mK)
$\rho \leq 400$	0,14	(1)
400 < $\rho \leq 500$	0,18	(1)
500 < $\rho \leq 600$	0,21	0,28
600 < $\rho \leq 700$	0,25	0,33
700 < $\rho \leq 800$	0,30	0,39
800 < $\rho \leq 900$	0,33	0,44
900 < $\rho \leq 1000$	0,38	0,50
1000 < $\rho \leq 1100$	0,43	0,57
1100 < $\rho \leq 1200$	0,49	0,65
1200 < $\rho \leq 1300$	0,55	0,73
1300 < $\rho \leq 1400$	0,61	0,80
1400 < $\rho \leq 1500$	0,67	0,88
1500 < $\rho \leq 1600$	0,75	0,99
1600 < $\rho \leq 1700$	0,83	1,10
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est en règle générale pas recommandée		

Tableau 2.7. Tableaux A7 de l'annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

Blocs de béton avec d'autres granulats légers		
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>		
Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(mK)	λ_{Ue} W/(mK)
$\rho \leq 500$	0,30	(1)
500 < $\rho \leq 600$	0,33	0,43
600 < $\rho \leq 700$	0,37	0,47
700 < $\rho \leq 800$	0,41	0,52
800 < $\rho \leq 900$	0,46	0,58
900 < $\rho \leq 1000$	0,51	0,65
1000 < $\rho \leq 1100$	0,57	0,73
1100 < $\rho \leq 1200$	0,64	0,82
1200 < $\rho \leq 1300$	0,72	0,91
1300 < $\rho \leq 1400$	0,82	1,04
1400 < $\rho \leq 1500$	0,92	1,17
1500 < $\rho \leq 1600$	1,03	1,31
1600 < $\rho \leq 1800$	1,34	1,70
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est en règle générale pas recommandée		

Tableau 2.8. Tableau A8 de l'annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

Blocs d béton cellulaire autoclavés		
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>		
Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(mK)	λ_{Ue} W/(mK)
$\rho \leq 300$	0,10	(1)
$300 < \rho \leq 400$	0,13	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0,16	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0,20	0,32
$600 < \rho \leq 700$	0,22	0,36
$700 < \rho \leq 800$	0,26	0,42
$800 < \rho \leq 900$	0,29	0,48
$900 < \rho \leq 1000$	0,32	0,52
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est en règle générale pas recommandée		

Tableau 2.9. Tableau A12 de l'Annexe A du Document de référence pour les pertes par transmission

Mortiers et enduits			
<i>La chaleur massique c vaut 1000 J/(kg.K)</i>			
Mortiers et enduits	Masse volumique ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} W/(mK)	λ_{Ue} W/(mK)
Mortier de ciment	$\rho \leq 1800$	1,00	1,55
Mortier de chaux	$1600 < \rho \leq 1800$	0,80	1,24
Plâtre	$\rho \leq 600$	0,18	(1)
	$600 < \rho \leq 1000$	0,40	(1)
	$1000 < \rho \leq 1300$	0,57	(1)
(1) L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures, avec entre autre un risque d'humidification par la pluie, n'est en règle pas recommandée, à moins qu'un agrément technique n'ait été délivré pour une application appropriée indiquant la valeur de calcul à utiliser			

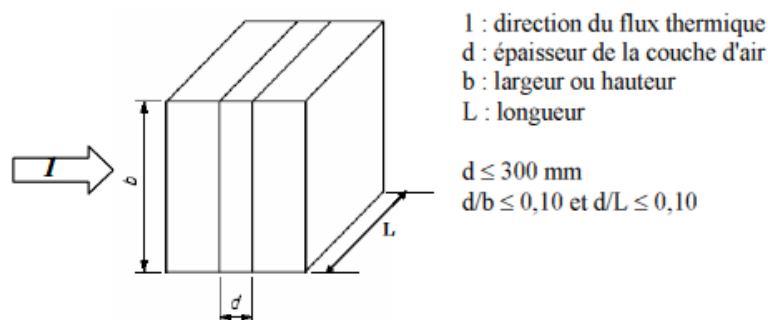
2.2.2. Couches d'air dans des murs creux

Les couches d'air des murs creux répondent aux conditions suivantes :

- la couche d'air doit être délimitée par deux plans parallèles qui sont perpendiculaires au flux thermique et dont les surfaces ont une émissivité élevée (non réfléchissant, la plupart des matériaux de construction répondent à cette exigence) ;
- la couche d'air doit avoir une épaisseur $d < 300$ mm ;

- le rapport entre l'épaisseur et la longueur (d/L) et le rapport entre l'épaisseur à la largeur (d/b) de la couche d'air sont inférieurs ou égaux à 0,1 ;
- il ne doit y avoir aucune possibilité d'échange d'air entre la couche d'air et l'environnement intérieur : s'il y a un échange d'air, la résistance thermique de la paroi intérieure entre la couche d'air et l'environnement intérieur ne peut être prise en compte (p.ex. en cas de joints verticaux ouverts et d'absence d'enduit).

Figure 2.1. Couches d'air dans des murs creux



Note : Les couches d'air qui ne sont pas hermétiquement isolées de l'environnement intérieur sont considérées comme faisant partie de l'environnement intérieur chauffé avec lequel elles sont en liaison au travers des ouvertures, des fentes ou des joints. La résistance thermique des éléments de construction compris entre ces couches d'air et l'environnement intérieur n'est donc pas prise en considération.

2.2.2.1 Coulisse non ventilée

- Il n'y a pas de couche d'isolation entre la couche d'air et l'environnement extérieur.
- Il n'y a pas de possibilité de flux d'air à travers la couche d'air.
- La superficie totale des ouvertures éventuelles $\leq 500 \text{ mm}^2/\text{m}$ de longueur (également pour les ouvertures de drainage).

Tableau 2.10. Résistance thermique des couches d'air non ventilées

Épaisseur de la couche d'air (mm)	Direction du flux thermique		
	ascendant	horizontal (1)	descendant
$0 \leq d < 5$	0,00	0,00	0,00
$5 \leq d < 7$	0,11	0,11	0,11
$7 \leq d < 10$	0,13	0,13	0,13
$10 \leq d < 15$	0,15	0,15	0,15
$15 \leq d < 25$	0,16	0,17	0,17
$25 \leq d < 50$	0,16	0,18	0,19
$50 \leq d < 100$	0,16	0,18	0,21
$100 \leq d < 300$	0,16	0,18	0,22
$300 \leq d$	0,16	0,18	0,23

(1) Pour flux thermique que dévie de $\pm 30^\circ$ du plan horizontal

Résistance thermique R_g (en $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$) de couches d'air non ventilées délimitées par des surfaces à émissivité élevée (cas ordinaires)

2.2.2.2 Coulisse peu ventilée

- 500 mm²/m de longueur < Av ≤ 1500 mm²/m de longueur
- $R_T = \left(\frac{1500-A_V}{1000}\right) \times R_{T,u} + \left(\frac{A_V-500}{1000}\right) \times R_{T,v}$

avec:

- R_{T,u} : coulisse non-ventilée
- R_{T,v} : coulisse fortement ventilée

Si aucune information n'est connue en ce qui concerne l'aire réelle des orifices de ventilation, la résistance thermique d'une couche d'air peu ventilée peut être prise égale à la moitié des valeurs correspondantes dans le tableau 2.10.

Par contre, la valeur de la résistance thermique globale entre la couche d'air et l'environnement extérieur reste limitée à 0,15 m²K/W.

2.2.2.3 Coulisse fortement isolée

- Av > 1500 mm²/m de longueur : R_g = 0

La résistance thermique globale d'un élément de construction pourvu d'une couche d'air fortement ventilée est calculée en négligeant la résistance thermique totale de la couche d'air et de toutes les couches de l'élément se trouvant entre la couche d'air et l'environnement extérieur et où la valeur R_{se} peut être remplacée par R_{si}.

2.2.3. Résistance thermique d'espaces d'air non chauffés à l'intérieur du volume protégé

20

Pour les bâtiments à espaces non chauffés, situés à l'intérieur du volume protégé du bâtiment et avoisinant l'environnement extérieur (tels garage, débarras...), la transmission thermique entre les locaux chauffés du volume protégé et l'environnement extérieur via ces espaces non chauffés, peut être obtenue en considérant l'espace non chauffé et ses parois extérieures comme un espace d'air homogène additionnel avec résistance thermique R_u. Si toutes les valeurs U des parois entre les locaux chauffés et l'espace non chauffé sont identiques, cette résistance thermique R_u est calculée par :

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 n_{ue} V_u} \quad \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

où :

- A_i [m²] : aire totale de toutes les parois entre l'environnement intérieur (chauffé) et l'espace non chauffé concerné ;
- A_{e,k} [m²] : aire de la paroi k entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur ;
- U_{e,k} [W/m².K] : la valeur U de la paroi k correspondante ;
- n_{ue} [h⁻¹] : le taux de ventilation du local non chauffé selon le tableau 2.11 ;
- V_u [m³] : le volume d'air de l'espace non chauffé.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Tableau 2.11. Tableau 4 du Document de référence pour les pertes par transmission/Taux de ventilation conventionnel entre l'espace non chauffé et l'environnement

Type	Description de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure de l'espace non chauffé	n_{ue} [h^{-1}]
1	Absence de portes ou de fenêtres, tous les raccordements entre éléments de construction étanches, absence d'ouvertures de ventilation	0,1
2	Tous les raccordements entre éléments de construction étanches, absence d'ouvertures de ventilation	0,5
3	Tous les raccordements entre éléments de construction étanches, petites ouvertures de ventilation prévues	1
4	Pas d'étanchéité en raison d'inétanchéités locales ou d'ouvertures de ventilation permanentes	3
5	Pas d'étanchéité en raison d'inétanchéités nombreuses ou de grandes ou nombreuses d'ouvertures de ventilation	10

Si la composition exacte des parois extérieures de l'espace non chauffé n'est pas connue, selon la NBN B 62-002, on peut accepter que $U_{e,k} = 2$ [$W/m^2.K$] et que le taux de ventilation $n_{ue} = 3$ [h^{-1}]. Dans ce cas, l'équation ci-dessus est réduite à l'expression suivante :

$$R_u = \frac{A_i}{2 \sum_k A_{e,k} + V_u} \frac{m^2 K}{W}$$

Remarques :

- si plusieurs parois se trouvent entre l'environnement intérieur et l'espace non chauffé, la valeur U de chaque paroi peut être prise en compte pour le calcul ;
- pour des méthodes de calcul plus spécifique, on fait référence à la NBN B62-002, §5.5.

2.2.4. Détermination de la résistance thermique totale des murs

La résistance thermique totale des parois est calculée au moyen de l'équation suivante :

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Elle est valable pour la résistance thermique totale de l'environnement intérieur à l'environnement extérieur où les règles suivantes doivent être appliquées :

- si la valeur R_T est un résultat intermédiaire, le résultat doit être arrondi jusqu'à 3 décimales. Si R_T est présenté comme résultat final, il doit être arrondi à 2 décimales ;
- si la résistance thermique s'applique aux murs intérieurs, R_{se} est remplacé dans l'équation par R_{si} . Si la résistance thermique totale de surface à surface doit être calculée, les deux valeurs de R_s disparaissent dans l'équation ;
- on part du principe que les parois sont planes. L'aire d'un mur non plane correspond à l'aire transformée en mur plane, ayant la même aire (développée) projetée. Il est tenu compte des dimensions extérieures de l'élément de bâtiment non plan.

2.2.5. Calcul d'éléments constitués de couches homogènes et non homogènes

Voir Document de référence pour les pertes par transmission §6.2.

2.2.6. Calcul de couches de construction collées ou maçonnées

L'exemple simplifié ci-dessous montre le calcul de la résistance thermique d'une paroi constituée d'éléments de maçonnerie collés ou maçonnés, y compris l'impact du joint. Les interruptions autres que le mortier ou les joints collés ne sont pas considérées ci-dessous et doivent être considérées séparément dans le cadre de l'application de la réglementation relative aux nœuds constructifs ou comme supplément sur le coefficient de transmission thermique calculé.

La résistance thermique d'une paroi $R = d/\lambda_U$ en $m^2.K/W$,

où

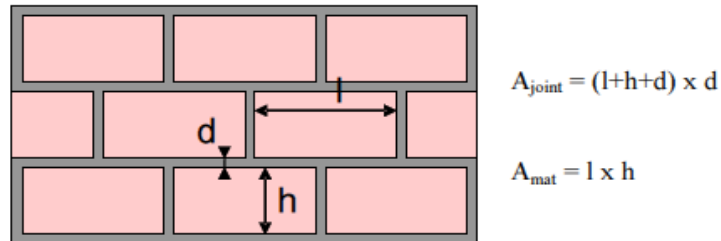
- d = l'épaisseur de la paroi ;
- λ_U = la valeur moyenne pondérée des éléments de maçonnerie et du mortier.

$$\lambda_U = \frac{\lambda_{U\text{ mat}} \times A_{\text{mat}} + \lambda_{U\text{ joint}} \times A_{\text{joint}}}{A_{\text{mat}} + A_{\text{joint}}}$$

$$\lambda_U = \lambda_{U\text{ mat}}(1 - f_{\text{joint}}) + \lambda_{U\text{ joint}} \times f_{\text{joint}}$$

où f_{joint} = la fraction de joint (voir tableau indicatif 2.12)

Figure 2.2. Paramètres pour la détermination de la fraction de joint de la maçonnerie



« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Tableau 2.12. Fraction de joint f_{joint} en fonction de la longueur et de la hauteur de l'élément de maçonnerie

d = 12 mm (épaisseur de joint)		l (mm) : longueur brique									
		180	190	210	215	220	240	290	390	590	600
h(mm) : hauteur brique	40	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25
	48	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,22
	50	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,21
	60	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18
	65	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17
	90	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13
	140	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10
	190	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08
	250	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06

Remarques :

- en cas de joints collés avec une épaisseur comprise entre 0,5 et 3 mm, il est autorisé de ne pas prendre l'influence du joint en considération et d'uniquement prendre en compte l'élément de maçonnerie ;
- lorsqu'il n'y a que des joints horizontaux (éléments de maçonnerie à rainure et languette) (ou ouverture de joint < 0,5mm), il ne faut prendre en considération que les joints horizontaux (voir également le tableau indicatif 2.13) ;
- quand $\lambda_{\text{joint}} \leq \lambda_{\text{mat}}$, on ne peut prendre en considération que l'élément de maçonnerie ($\lambda_U = \lambda_{U,\text{mat}}$);
- quand il n'y a pas d'autres données disponibles, on peut utiliser pour la maçonnerie intérieure : $f_{\text{joint}} = 0,16$ et pour la maçonnerie extérieure : $f_{\text{joint}} = 0,28$.

Tableau 2.13. Fraction de joint f_{joint} pour éléments de maçonnerie à rainure et languette avec joints debout secs

d = 12 mm (épaisseur de joint)	Hauteur de la brique h (mm)								
	40	48	50	60	65	90	140	190	250
f_{joint}	0,23	0,20	0,19	0,17	0,16	0,12	0,08	0,06	0,05

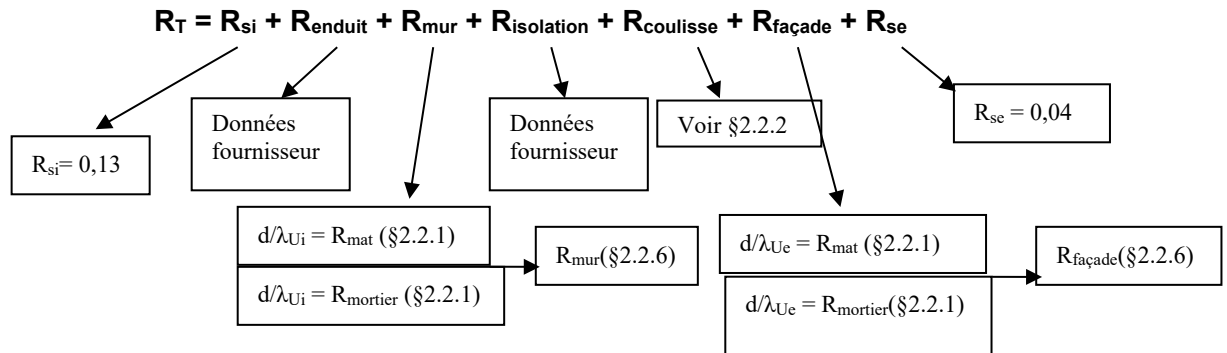
2.2.7. Coefficient de transmission thermique des murs

Le coefficient de transmission thermique de murs maçonnés est obtenu par :

$$U = 1/R_T$$

Note : Si U est présenté comme résultat final, il doit être arrondi à 2 décimales.

Par exemple, pour un mur creux vertical :



Par contre, il faut encore appliquer des corrections sur cette valeur. La valeur U corrigée est définie comme suit :

$$U_c = U + \Delta U$$

où ΔU est défini par :

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f$$

avec :

- ΔU_g [W/m²K] : terme de correction pour les fentes d'air et les cavités ;
- ΔU_f [W/m²K] : terme de correction pour les fixations mécaniques.

2.2.7.1 Influence des fentes d'air et des cavités dans ou entre les couches d'isolation

La valeur de ΔU_g peut être retrouvée dans le Document de référence pour les pertes par transmission auquel la réglementation PEB fait référence. A la date de publication de ces STS, la valeur de $\Delta U_g = 0$.

Note : En général, les lames d'air ne peuvent être évitées dans des éléments de construction en raison des irrégularités (tolérances dimensionnelles) qui surgissent pendant le processus de construction même. Les fentes d'air dans les couches d'isolation sont provoquées par de petites déviations des dimensions des produits d'isolation (tolérances dimensionnelles) ou par des modifications des dimensions occasionnées lors de la coupe et de la pose du produit.

Seules les fentes d'air qui engendrent une liaison directe entre le côté chaud et le côté froid de la couche d'isolation thermique justifient une majoration ou correction sur la valeur U, qui de plus est relativement petite dans la plupart des cas. La pose de l'isolation en une ou deux couches et dont les joints se chevauchent est suffisante pour ne pas appliquer la correction.

Les trous d'air sont la conséquence de surfaces non planes des couches dans un élément de construction. La couche d'isolation est trop rigide, trop flexible ou trop incompressible afin de dissimuler toutes les irrégularités. Des irrégularités telles les barbes de mortier créent par exemple des trous d'air entre la couche d'isolation et le mur intérieur. Si ces trous d'air sont discontinus (aucune communication avec d'autres trous ou de fentes d'air ou même l'environnement intérieur ou extérieur) il suffit de prévoir seulement un petit supplément.

Une bonne correspondance est visée entre les corrections calculées et les corrections mesurées de tous les types de lames d'air. La combinaison de deux types de lames d'air mène toujours à des plus grandes pertes de chaleur lesquelles nécessitent une plus grande correction. Dans le cadre de

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

cette norme, il est en tout cas supposé que la pose de l'isolation est réalisée selon les règles minimales d'un bon savoir-faire.

2.2.7.2 Influence des fixations mécaniques et des crochets sur l'isolation thermique

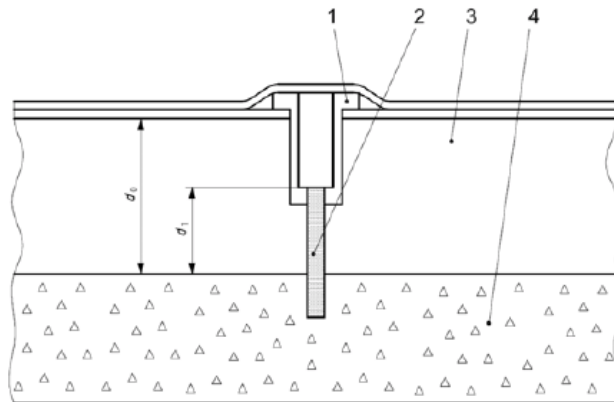
Méthode simplifiée

La correction sur la valeur U est donnée dans le Document de référence pour les pertes par transmission par :

$$\Delta U_f = \alpha \left(\frac{\lambda_f A_f n_f}{d_1} \right) \times \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \quad \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

- d_{ins} : l'épaisseur de la couche d'isolation ;
- d_1 : la longueur de la fixation de l'isolation, à déterminer comme suit :
 - dans le cas de fixations traversant complètement la couche d'isolation (sous un angle droit ou oblique), la longueur est égale à l'épaisseur de la couche d'isolation d_{ins} (ceci est le cas pour des crochets qui vont jusque dans la paroi intérieure) ;
 - dans le cas de fixations noyées, la longueur est égale à la partie de la fixation qui traverse la couche d'isolation, c.à.d. plus petite que l'épaisseur de la couche d'isolation.
- λ_f : la conductivité thermique de la fixation mécanique ;
- n_f : le nombre de fixations mécaniques (crochets) par m^2 ;
- A_f : la section d'une fixation mécanique ;
- α : un coefficient correctif, déterminé comme suit :
 - $\alpha = 0,8$ si la fixation mécanique traverse complètement la couche d'isolation (crochets) ;
 - $\alpha = 0,8 (d_1/d_{ins})$ si la fixation est noyée dans la couche d'isolation (voir figure 2.3) ;
- $R_1 (m^2.K/W)$: la résistance thermique (valeur de calcul) de la couche d'isolation qui est traversée par la fixation mécanique ($R_1 = d_1/\lambda_{ins}$) ;
- $R_{T,h}(m^2.K/W)$: la résistance thermique totale de l'élément de construction, sans tenir compte d'un pont thermique quelconque, calculée selon le 2.2.4.

Figure 2.3. Fixation mécanique noyée



1 : chapeau en matière synthétique – 2 : fixation noyée – 3 : couche d'isolation – 4 : dalle toiture

Remarques

- a) si aucune isolation thermique n'est prévue, il ne faut pas tenir compte du facteur de correction susmentionné ;
- b) si la conductivité thermique du crochet $< 1 \text{ W/m.K}$ (crochets synthétiques), le facteur de correction ne doit pas être appliqué ;
- c) si aucune information relative à la nature des crochets n'est donnée, on peut utiliser les valeurs suivantes pour le calcul :
 - nombre de crochets : $5/\text{m}^2$;
 - section du crochet ($\text{Ø}4 \text{ mm}$) : $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$;
 - conductivité thermique du crochet : $\lambda_f : 50 \text{ W/mK}$ (acier) ;
 - longueur du crochet = épaisseur de la couche d'isolation.

2.2.8. Influence des grilles de ventilation

Les valeurs des dimensions des grilles de ventilation, de l'aire de grille et du périmètre visible de telles grilles, sont indiquées dans la figure 2.4.

Figure 2.4. Valeurs pratiques pour déterminer les dimensions des grilles de ventilation

	<p><u>Valeurs pratiques pour déterminer les dimensions :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • hauteur H_r (m) = hauteur d'encastrement de l'ouverture, vue de la face extérieure ; • longueur L_r (m) = largeur d'encastrement de l'ouverture, vue de la face extérieure ; • superficie de la grille : A_r (m^2) = $H_r \times L_r$; • périmètre visible : l_r (m) = $2 \times (H_r + L_r)$
--	--

Le coefficient de transmission thermique U_r d'une grille de ventilation réglable, encastrée dans un élément de paroi est déterminé comme suit :

- pour les grilles de ventilation, dont la marque et le type sont connus, la valeur U_r déclarée par le fabricant peut être acceptée. Elle est déterminée comme suit :
 - à partir d'essais selon la norme NBN EN 12412-2, où la grille de ventilation est soumise à un test en position de fermeture ; ou
 - selon la méthode de calcul extraite de la norme NBN EN ISO 10077-2, annexe C ;
- pour les grilles de ventilation réglables non connues, la valeur suivante par défaut peut être utilisée : $U_r = 6,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ (toutes les grilles) ; si cette valeur par défaut est utilisée, il ne faut plus tenir compte de l'effet de bord du raccordement entre la grille de ventilation et l'élément de paroi.

Note :

Pour les grilles de ventilation qui sont incluses dans des profilés de fenêtre ou de porte, on renvoie aux prescriptions concernées du Document de référence pour les pertes par transmission, §9.4.

2.3. Traitement des noeuds constructifs

2.3.1. Flux de chaleur par transmission

Pour le calcul du flux thermique par transmission des parois, on utilise en pratique des méthodes unidimensionnelles normalisées telles que décrites dans le document de référence pour les pertes par transmission. Dans celui-ci, la méthode de calcul est basée sur les valeurs U.

Ces valeurs U tiennent aussi compte de l'effet des interruptions linéaires et/ou ponctuelles qui sont propres à la paroi et qui sont réparties sur sa surface, p.ex. : crochets de mur, etc.

La valeur U [W/m²K] d'un élément de construction représente le flux de chaleur, d'ambiance à ambiance, qui se produit à travers 1 m² de l'élément de construction pour une différence de température de 1 K. Cela signifie que le flux de chaleur par transmission Q [W] à travers un élément de construction d'une surface A [m²] pour une différence de température ΔT [K] est caractérisée de manière univoque par la valeur U :

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \text{ [W]}$$

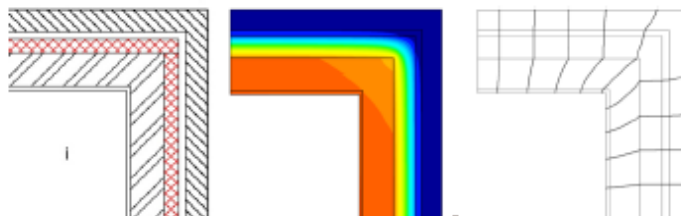
Lorsqu'on considère un plan de façade avec une structure homogène et une valeur U bien déterminée, alors les isothermes (= lignes d'égale température) seront toujours parallèles au plan de la façade et les lignes de flux de chaleur perpendiculaires à celui-ci.

Figure 2.5. Un plan de façade avec une structure homogène présente des isothermes parallèles au plan de façade (au milieu) et des lignes de flux perpendiculaires au plan de façade (à droite).



Dans les nœuds constructifs, les isothermes et les lignes de flux diffèrent de ce modèle unidimensionnel et la méthode de calcul sur la base des valeurs U n'est plus correcte (voir figure 2.6).

Figure 2.6. Différences du modèle unidimensionnel



A certains endroits de l'enveloppe, les isothermes et les lignes de flux diffèrent du modèle unidimensionnel.

En principe, un calcul numérique bi- ou tridimensionnel validé est nécessaire pour pouvoir déterminer le flux thermique par transmission à l'endroit des nœuds constructifs. A partir de là, on peut déduire le coefficient de transmission thermique linéaire ou ponctuel des nœuds constructifs, par lequel le flux thermique par transmission, calculé de manière unidimensionnelle, est corrigé. Pour les nœuds constructifs, la détermination des pertes par transmission est effectuée via un supplément individuel sur la perte totale par transmission, comme déterminé dans l'annexe IV de l'arrêté PEB.

Dans les chapitres suivants, on décrira d'abord quelques termes relatifs aux nœuds constructifs. Ensuite, la méthode simplifiée dite « méthode des nœuds PEB-conformes » est clarifiée pour pouvoir prendre en compte l'influence des nœuds constructifs. Pour la méthode détaillée, on renvoie à l'arrêté PEB, annexe VII : Document de référence pour les pertes par transmission et annexe V : Traitement des nœuds constructifs.

2.3.2. Nœuds constructifs

Ce terme couvre l'ensemble des endroits de l'enveloppe du bâtiment où peuvent apparaître des pertes thermiques supplémentaires sans pour autant qu'on ait affaire à des pertes thermiques excessives et/ou à des problèmes de condensation ou de moisissures. La définition dans l'annexe IV de l'arrêté PEB conduit à une liste des localisations possibles d'un nœud constructif, mais ne préjuge pas si un nœud constructif est « bon » ou « mauvais » du point de vue de la physique du bâtiment.

Le terme pont thermique, connu et utilisé généralement, n'est volontairement plus utilisé dans la réglementation afin d'éviter la connotation négative qui y est attachée. Dans le domaine du bâtiment, un pont thermique est la plupart du temps considéré comme un endroit où se produisent des pertes de chaleur excessives et où des problèmes de condensation et de moisissures peuvent apparaître comme, par exemple, des planchers qui sont en contact avec le parement extérieur d'un mur creux, des linteaux en béton coulés jusqu'à l'extérieur, ... Lorsqu'on fait attention à traiter correctement le détail d'exécution du point de vue thermique, les problèmes cités peuvent être réduits à un minimum et on ne peut plus, en principe, parler de pont thermique.

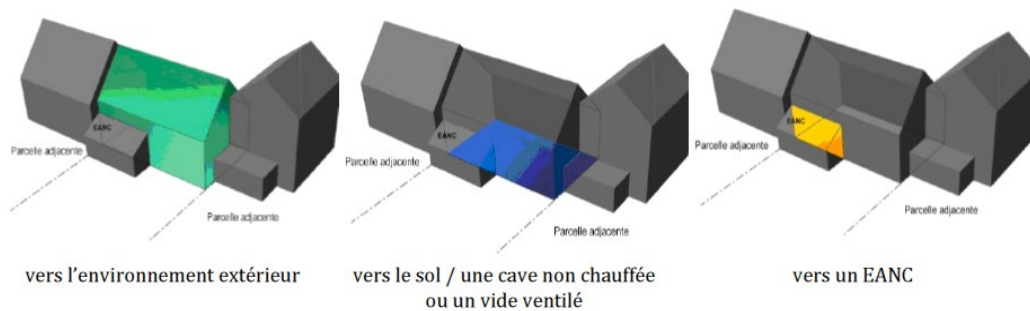
La définition d'un nœud constructif est étroitement liée au concept de « paroi de la surface de déperdition ». C'est pourquoi, dans un premier temps, on traitera plus en profondeur ce concept.

2.3.2.1 Paroi de la surface de déperdition

Par parois de la surface de déperdition, on entend : les ouvrages qui forment la séparation entre l'environnement intérieur et :

- l'environnement extérieur ;
- le sol, les caves ou des vides techniques non chauffés ;
- des espaces adjacents non chauffés (EANC).

Figure 2.7. Parois de la surface de déperdition



Ce sont donc les parois qui enveloppent le volume protégé du bâtiment, à l'exception des parois de séparation d'un volume protégé adjacent. Ainsi, par exemple, un mur mitoyen qui se trouve en contact avec une habitation sur une parcelle adjacente, n'est pas une paroi de la surface de déperdition. Les nœuds constructifs ne sont pris en compte que s'ils se manifestent dans les parois de la surface de déperdition.

Dès qu'une paroi déterminée de la surface de déperdition diffère d'une autre paroi par l'épaisseur des couches de matériaux, les matériaux utilisés, leur succession de l'intérieur vers l'extérieur, l'orientation, la pente et/ou l'environnement extérieur, il s'agit d'une autre paroi. Toute partie construite de la surface de déperdition pour laquelle une valeur U spécifique, et donc aussi une surface A , doit être déterminée, correspond à une paroi de la surface de déperdition.

2.3.2.2 Nœud constructif linéaire

Un nœud constructif linéaire peut se présenter aux deux endroits suivants :

- là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent ;
- là où, dans une même paroi de la surface de déperdition, la couche isolante est interrompue.

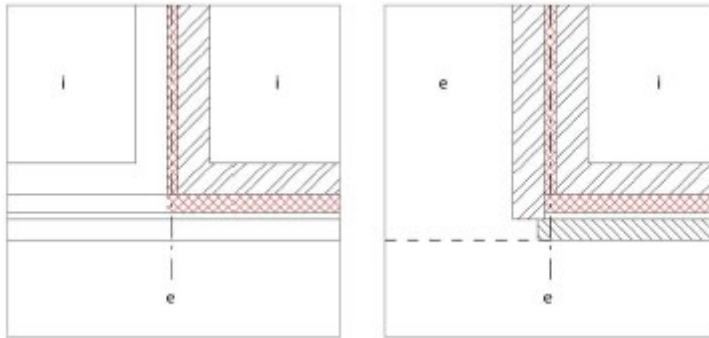
a) Rencontre de deux parois

A chaque endroit où deux parois se coupent ou se rejoignent, on est TOUJOURS en présence d'un nœud constructif. Il faut remarquer que l'identification de ce type de nœud constructif linéaire est, de ce fait, indépendante de la présence ou non de la coupure thermique au niveau du détail : là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent, il s'agit toujours d'un nœud constructif, même si la coupure thermique est assurée dans le détail.

En plus, partout où une paroi de séparation de la surface de déperdition rencontre une paroi à la limite d'une parcelle adjacente, il s'agit également d'un nœud constructif linéaire, même si cette paroi n'est pas une paroi de la surface de déperdition.

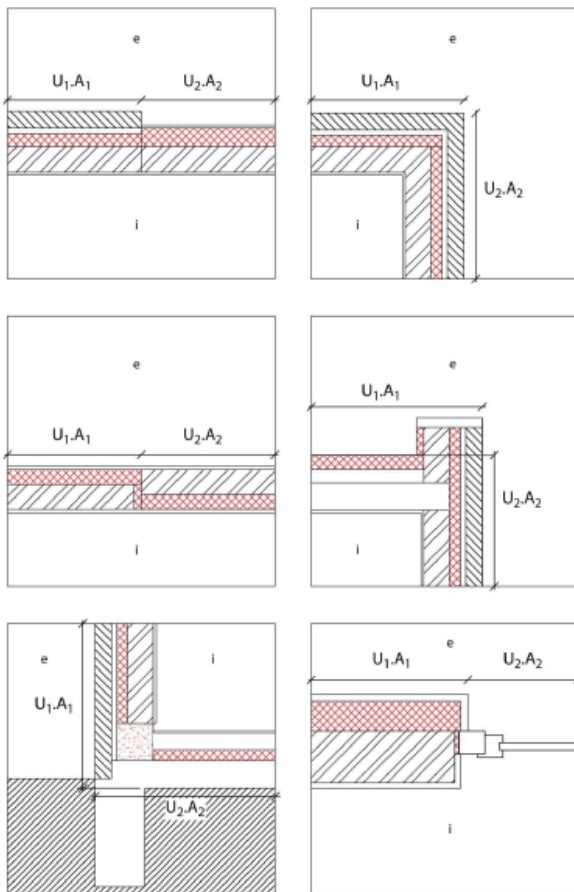
« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Figure 2.8. Exemples de nœuds constructifs linéaires 1



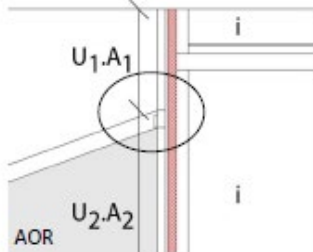
Exemples : acrotères, appuis de fondation, raccords de fenêtres ou portes, deux façades qui se joignent.

Figure 2.9. Exemples de nœuds constructifs linéaires 2



Une jonction à l'intersection entre l'environnement intérieur, l'environnement extérieur et un EANC constitue toujours un nœud constructif, même si la couche isolante est continue. Il est en effet toujours question de la jonction de deux parois différentes de la surface de déperdition : une paroi avec l'environnement extérieur comme limite et une paroi avec un EANC comme limite, chacune avec sa propre valeur U.

Figure 2.10. Jonction à l'intersection entre l'environnement intérieur, extérieur et EANC



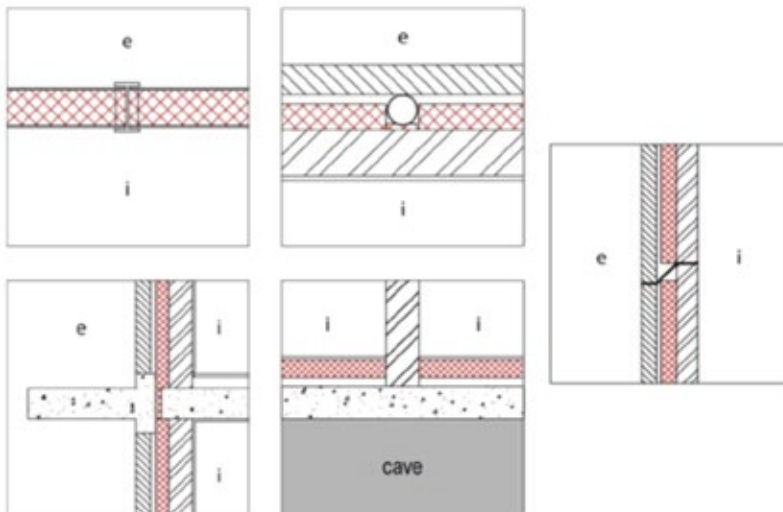
b) Interruption linéaire de la couche isolante d'une paroi

Là où une couche isolante d'une paroi est entièrement ou partiellement interrompue linéairement par un matériau avec une conductivité thermique plus élevée, on parle d'un nœud constructif linéaire.

Ceci est le cas quand, par exemple :

- la couche isolante est interrompue par un profilé en acier ou diminuée par une conduite d'eau pluviale incorporée ;
- l'épaisseur de la couche isolante est diminuée à l'endroit du raccord de balcon ;
- la couche isolante du plancher au-dessus d'une cave est complètement interrompue par le mur intérieur ;
- le raccord de la couche isolante par une étanchéité dont l'exécution négligente interrompt l'isolation par une couche d'air et fait apparaître un nœud constructif linéaire.

Figure 2.11. Interruption linéaire de la couche isolante



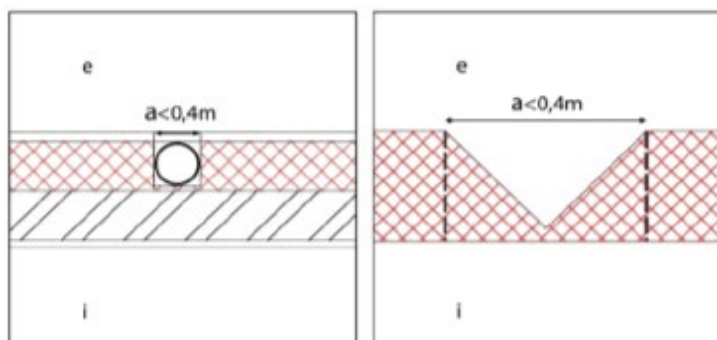
Note 1 : L'étanchéité (et les membranes de construction en général) qui interrompent localement la couche isolante, ne doivent pas être considérées comme nœud constructif, à condition que suffisamment de soin ait été apporté à l'exécution et que l'isolation reste en contact continu avec les deux faces de l'étanchéité.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Note 2 : Si la paroi est entièrement en contact avec le sol et non avec la cave, comme dans la figure ci-dessus, une interruption de la couche isolante ne doit pas être considérée comme un nœud constructif, puisque la perte de chaleur supplémentaire est négligeable.

Important : pour être considéré comme nœud constructif linéaire, la couche isolante complète ne peut être interrompue que sur une distance maximale de 0.40 m.

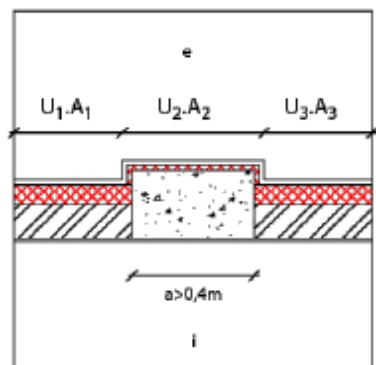
Figure 2.12. La couche isolante ne peut être interrompue que sur une distance maximale de 0.40 m



Si cette distance est plus grande que 0.4 m, alors l'interruption doit être considérée comme une paroi à part entière avec son propre coefficient de transmission thermique U et une superficie A déterminée à partir des dimensions extérieures. Dans ce cas, deux nœuds constructifs linéaires apparaissent le long des deux côtés de la nouvelle paroi.

33

Figure 2.13. Exemple d'une interruption > 0.4m



Ce qui est mentionné ci-dessus n'est valable que pour les nœuds constructifs linéaires dont la couche isolante d'une même paroi est interrompue et ne concerne donc pas les nœuds constructifs linéaires qui sont le résultat de deux parois de la surface de déperdition qui se rejoignent.

2.3.2.3 Nœud constructif ponctuel

On parle seulement de nœuds constructifs ponctuels lorsque la couche isolante d'une paroi est interrompue ponctuellement, p.ex. :

- colonnes qui traversent la couche isolante d'un plancher au-dessus de l'extérieur, d'un parking, d'une cave ;
- poutres perpendiculaires à une paroi qui en interrompent la couche isolante ;
- ancrages ponctuels de supports de maçonneries utilisés localement pour soutenir des maçonneries.

Ne sont pas considérés comme des nœuds constructifs ponctuels :

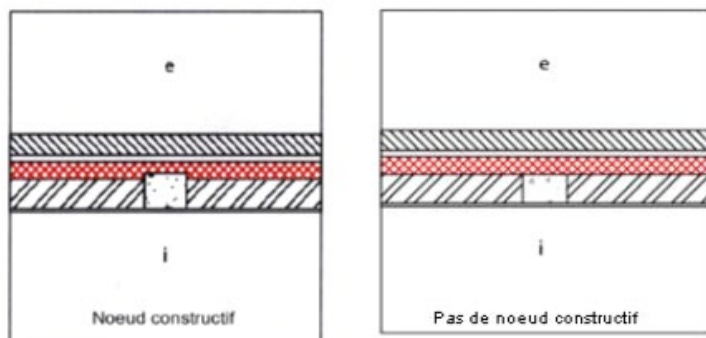
- les interruptions propres à une paroi des surfaces de déperdition et dont l'influence est déjà prise en compte dans les pertes par transmission, comme p.ex. des crochets, ou dont leur influence sur les pertes de chaleur est limitée ;
- les percements de parois par des passages de canalisations, hors plan de paroi de la surface de déperdition, comme des cheminées, des conduits d'évacuation des fumées, conduits d'alimentation et d'évacuation de systèmes de ventilation, une pénétration d'impétrants, un tuyau de descente d'eau de pluie qui traverse la façade ;
- une intersection de deux ou trois nœuds constructifs linéaires à cause d'une perte thermique supplémentaire négligeable ;
- les fondations sur pieux qui supportent un plancher sur sol ;
- les membranes, à condition que le contact entre la membrane et la couche d'isolation soit assuré.

*Note : Ce qui est mentionné ci-dessus ne change rien au fait que deux parois qui se rejoignent, même si la jonction se trouve complètement enterrée, constituent **toujours** un nœud constructif. Un appui de fondation ou le passage d'un plancher sur cave ou vide technique restent toujours des nœuds constructifs.*

- Lorsqu'une paroi est interrompue localement par un matériau différent, mais que la couche isolante reste entièrement conservée (pas d'interruption, pas d'amincissement/élargissement, pas de changement de direction de la couche isolante), alors la déperdition thermique supplémentaire est négligeable, raison pour laquelle cela ne doit pas être pris en compte comme un nœud constructif.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Figure 2.14. Considérations supplémentaires pour le nœud constructif

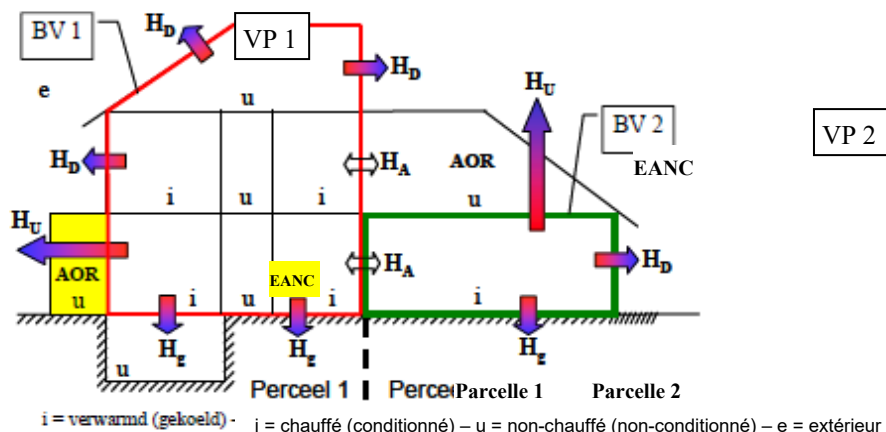


2.3.3. Flux thermique par transmission à travers les nœuds constructifs

Le flux thermique total qui se produit par transmission, pour une différence de température d'un Kelvin entre les environnements intérieur et extérieur, est exprimé par le *coefficient de transfert thermique par transmission*, dont le symbole est H_T [W/K]. Ce flux thermique total comprend 4 composantes: un flux thermique directement vers l'environnement extérieur (H_D), un flux thermique via le sol et via les caves et vides techniques non-chauffés en contact avec le sol (H_g) et un flux thermique via les espaces adjacents non-chauffés (H_U) et le flux thermique entre espaces chauffés et un bâtiment adjacent (H_A). Ce dernier égale 0.

Figure 2.15. Flux thermique par transmission

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A$$



Note : conventions relatives à des murs mitoyens

Des murs mitoyens sont des murs qui se situent sur, à côté ou à quelques centimètres de la limite de la parcelle ou de la propriété. Chaque partie d'un mur mitoyen par laquelle un VP considéré est exposé à l'environnement extérieur, fait toujours partie de la surface de déperdition totale AT du VP considéré. Le transfert thermique à travers ces éléments de paroi est pris en compte dans H_D (le coefficient de transfert thermique direct par transmission vers l'extérieur).

Des éléments de construction qui constituent une séparation entre un VP et l'espace chauffé ou non d'un autre VP (autre destination dans le même bâtiment), ne font pas partie de la surface de déperdition totale AT du VP considéré. Cette convention est également valable pour des murs mitoyens avec (des espaces chauffés ou non) un autre bâtiment existant sur une parcelle adjacente,

parce qu'on ne peut pas être certain de la destination et/ou l'utilisation des espaces dans l'autre bâtiment et on ne peut donc pas savoir s'il s'agit d'un VP ou d'un EANC.

Par contre, cette convention n'est PAS valable quand on est le premier à construire avec un mur mitoyen (façade provisoire) sur ou à côté de la limite de la parcelle adjacente non construite. Dans ce cas, on ne peut pas être certain si, quand et sur quelle surface on construira contre la façade provisoire.

C'est pour cette raison que toute la surface de cette façade provisoire appartient à la surface de déperdition totale AT du bâtiment qui est construit en premier.

Chacune de ces composantes comprend un flux thermique à travers les parois ($H_x^{\text{constructions}}$) et un flux thermique à travers les nœuds constructifs ($H_x^{\text{junctions}}$).

Le flux thermique à travers les parois (*constructions*) se produit de manière unidimensionnelle et est caractérisé par les valeurs U des parois. Ces valeurs U peuvent être calculées comme mentionné dans la première partie de ce chapitre (ou selon la NBN B62-002).

Le flux thermique à travers les nœuds constructifs (*junctions*) diffère du transport de chaleur à travers les parois. Cela conduit localement à une surestimation ou à une sous-estimation du transfert thermique qui se produit réellement, et qui est représenté par les coefficients de transmission thermique linéaires et ponctuels.

Le flux thermique total par transmission à travers les nœuds constructifs est décrit par le terme $H_T^{\text{junctions}}$. Ce terme doit être considéré comme le flux thermique qui se manifesterà à travers tous les nœuds constructifs d'un volume protégé quand on impose une différence de température de 1 Kelvin entre le volume protégé et l'environnement extérieur.

36

L'annexe VII de l'arrêté PEB prévoit trois options possibles pour déterminer le terme $H_T^{\text{junctions}}$ et son impact sur le niveau K :

- 1- Option A : la méthode détaillée. Comme déjà mentionné ci-avant, pour cette méthode, on renvoie à l'annexe VII de l'arrêté PEB.
- 2- Option B : la méthode des nœuds de construction PEB-conformes. Cette méthode simplifiée signifie un supplément au niveau K de 3 points K pour les nœuds constructifs PEB-conformes et un supplément variable au niveau K pour les nœuds constructifs non-PEB-conformes (+ nœuds plus performants que les nœuds PEB-conformes). Cette méthode est détaillée ci-dessous.
- 3- Option C : on tient compte d'un supplément forfaitaire au niveau K de 10 points K.

Note :

- 1- Une des trois options **doit** être choisie par volume K. Il n'est donc pas possible de ne pas tenir compte des nœuds constructifs. Une fois qu'une option est retenue pour le volume K, chaque unité PEB y afférent doit tenir compte des nœuds constructifs suivant cette option.
- 2- Pour la **définition et la détermination du niveau K** : voir remarque à la fin de ce chapitre.

2.3.4. Méthodes des nœuds PEB conformes

Comme mentionné ci-dessus, cette méthode signifie un supplément au niveau K de 3 points K pour les nœuds constructifs PEB-conformes. Si on peut montrer que les nœuds constructifs sont effectivement bien étudiés, alors un supplément forfaitaire équivalant à 3 points K est prévu pour ces nœuds constructifs. Les nœuds constructifs qui ne satisfont pas les critères sont comptabilisés séparément. Pour le reste, aucun calcul supplémentaire n'est nécessaire

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

pour ces nœuds constructifs. Le terme $H_{T,1}^{junctions}$ est automatiquement déterminé à partir de la compacité du volume de niveau K et de la surface de déperdition.

Lorsqu'un nœud constructif n'est pas conforme, alors son influence sur la déperdition thermique doit être ajoutée. Cela se fait de la même façon que dans l'option A sauf que dans ce cas, c'est la différence entre les valeurs Ψ_e et $\Psi_{e,lim}$ qui est prise en compte.

$$H_{T,2}^{junctions} = \sum l_k b_k (\psi_e - \psi_{e,k,lim}) + \sum b_l \chi_{e,l} \quad [W/K]$$

Il faut encore prendre en compte l'influence du nombre de secteurs d'énergie.

Il est important de constater que la formule ci-dessus permet de réduire les 3 points K de supplément. C'est le cas lorsqu'on prend en compte en détail, suivant la formule ci-dessus, des nœuds linéaires PEB-conformes dont on connaît la valeur Ψ_e (avec $\Psi_e \leq \Psi_{e,lim}$). Etant donné que Ψ_e est plus petit que $\Psi_{e,lim}$, on obtient dès lors un terme négatif dans $H_{T,2}^{junctions}$. La somme :

$$H_{T, junctions} = H_{T,1}^{junctions} + H_{T,2}^{junctions}$$

donne le total de l'influence des nœuds constructifs pour l'option B, avec comme limite qu'elle ne peut jamais être négative. Autrement dit : le soin apporté à la conception et à l'exécution des ponts thermiques ne peut jamais, dans l'option B, entraîner un niveau K avec prise en compte des nœuds constructifs, inférieur au niveau K sans cette prise en compte. Si on veut améliorer le résultat, on doit choisir l'option A.

Vu que l'option B prévoit une possibilité de démontrer d'une manière simple et particulièrement visuelle qu'un nœud constructif est bien étudié, cette option a pour avantage que le calcul total pour la prise en compte des nœuds constructifs est réduit à un minimum. Il n'est pas nécessaire ici de déterminer les valeurs Ψ_e et χ_e ni les longueurs des nœuds constructifs linéaires ou le nombre des nœuds constructifs ponctuels.

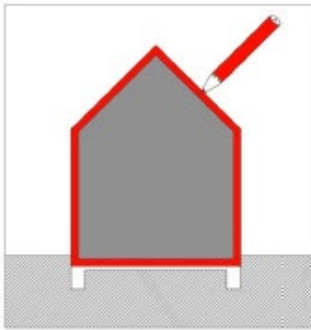
Il y a deux manières pour déterminer qu'un nœud constructif est PEB-conforme :

- le nœud constructif répond à une des règles de base pour qu'un détail soit à pont thermique négligeable ;
- le nœud constructif répond à la valeur limite d'application; c.-à-d. pour le nœud constructif : $\Psi_e \leq \Psi_{e,lim}$.

2.3.4.1 Le nœud constructif satisfait à une des règles de base pour qu'un détail soit à pont thermique négligeable

Les règles de base pour un détail à pont thermique négligeable sont basées sur le principe de la « coupure thermique » garantie. Cela signifie que les couches isolantes de 2 parois jointives de la surface de déperdition doivent s'accoler de manière toujours continue. Cela signifie au moins qu'on peut parcourir à l'aide d'un crayon les couches isolantes et les parties isolantes intercalées sans devoir relever ce crayon.

Figure 2.16. Principe de la continuité de la coupure thermique



Ceci signifie qu'il faut répondre à une des règles de base :

- **Règle de base 1** : les couches isolantes sont jointes directement l'une à l'autre. Il faut donc prévoir une continuité des couches isolantes grâce à une épaisseur de contact minimale entre les couches isolantes.
- **Règle de base 2** : les couches isolantes ne se joignent pas directement. Dans ce cas, la continuité des couches isolantes doit être garantie grâce à l'interposition d'éléments isolants de sorte que la coupure thermique est conservée.
- **Règle de base 3** : les couches isolantes ne se joignent pas directement et la coupure thermique ne peut pas être assurée. Dans ce cas, le chemin de moindre résistance est suffisamment long.

38

Un nœud constructif qui répond à une des trois règles de base, est considéré comme un nœud PEB-conforme.

Note : Il est important de définir clairement ce qu'on entend par couche isolante d'une paroi de la surface de déperdition. La couche isolante d'une paroi de la surface de déperdition est par définition la couche de matériau avec la plus grande résistance thermique. Dans la plupart des cas ce qu'on entend par là est clair, par exemple dans le cas d'un mur creux classique ou d'un mur massif en maçonnerie avec isolation extérieure. La couche isolante peut également être constituée de plusieurs couches de matériaux (les membranes doivent être négligées, à condition que l'exécution soit faite correctement comme mentionné ci-dessus, à condition :

- *que les couches accolées de matériaux se succèdent **et***
- *qu'il n'y ait aucune couche d'air intercalée **et***
- *que chacune des couches de matériaux ait une valeur λ inférieure ou égale à 0,2 W/mK.*

Si ces conditions sont remplies, les couches isolantes doivent être considérées comme une couche isolante « homogène », avec une épaisseur d , égale à la somme des épaisseurs de chacune des couches d_i et la résistance thermique R , égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches R_i . Pour une couche isolante non homogène, la résistance thermique totale R est déterminée à l'aide de la méthode combinée, comme expliqué dans la première partie de ce chapitre.

*Note : Une succession ininterrompue de couche de matériaux qui satisfont aux conditions ci-dessus, **doit** être considérée comme une couche isolante assemblée. On ne peut donc pas considérer une seule des couches de matériaux comme la couche isolante ! Ceci pour éviter que les règles de base, dont la rigueur est liée à la qualité isolante des couches isolantes au droit du nœud, ne soient*

appliquées de manière trop laxiste. Cela signifie que dans les règles de base la somme des épaisseurs d et la somme des résistances thermiques R doivent toujours être utilisées.

2.3.4.1.1 Règle de base 1

Un nœud constructif est considéré comme un nœud PEB-conforme lorsque les couches isolantes de deux parois de la surface de déperdition à l'endroit d'un raccord se raccordent au moins partiellement et directement l'une à l'autre. L'épaisseur de contact des couches isolantes doit au moins satisfaire aux conditions suivantes :

Règle de base 1

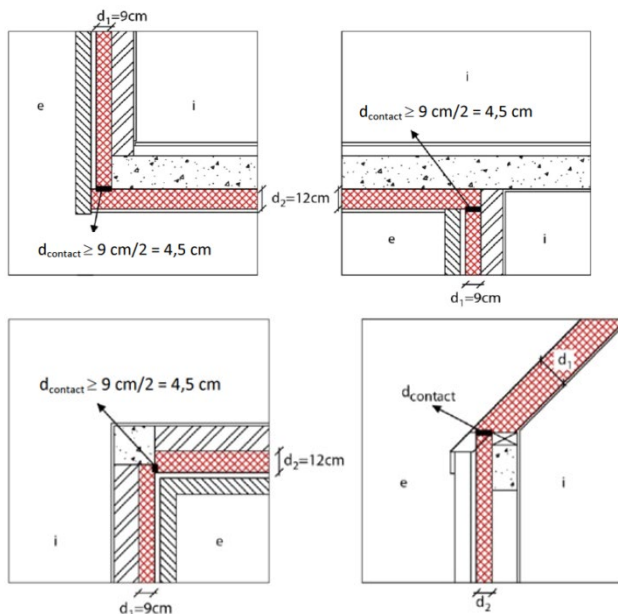
$$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} \times \min(d_1; d_2)$$

avec

d_{contact} = l'épaisseur de contact des couches isolantes entre les faces froide et chaude;

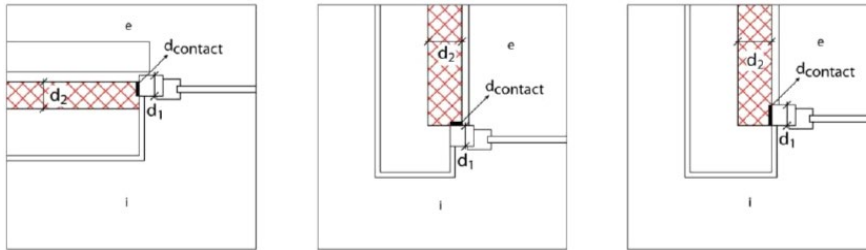
d_1 et d_2 = les épaisseurs respectives des couches isolantes de 2 parois qui se joignent

Figure 2.17. Epaisseur de contact



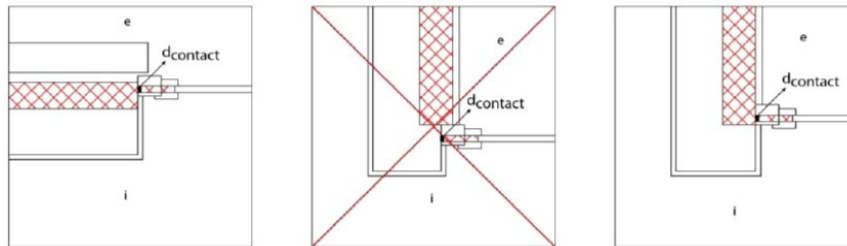
Dans le cas des châssis de fenêtre ou de porte **sans coupure thermique**, la formule de base 1 reste valable mais l'épaisseur d_i du châssis de fenêtre ou de porte doit être interprétée comme l'épaisseur du cadre fixe du châssis de fenêtre ou de porte – mesuré perpendiculairement au plan du vitrage.

Figure 2.18. Épaisseur de contact pour châssis de fenêtre ou de porte



Dans le cas de châssis de porte ou de fenêtre **avec coupure thermique**, on n'utilise pas la formule générale de la règle de base 1, mais la couche isolante doit nécessairement être en contact direct avec la coupure thermique et ce sur toute l'épaisseur de la coupure thermique.

Figure 2.19. Épaisseur de contact pour châssis de fenêtre ou de porte à coupure thermique



2.3.4.1.2 Règle de base 2

Si les couches isolantes ne se raccordent pas directement l'une à l'autre mais que la coupure thermique peut être garantie par l'interposition d'éléments isolants, ils doivent répondre simultanément aux trois conditions suivantes :

- 1) $\lambda_{\text{élément isolant}} \leq 0,2\text{W/mK}$;
- 2) toutes les épaisseurs de contact doivent répondre à l'exigence sur l'épaisseur de contact (voir règle de base 1) ;
- 3) la valeur R doit répondre à l'exigence de valeur R.

Ceci signifie que :

- 1) **La valeur λ** de chacun des éléments isolants doit être $\leq 0,2\text{W/mK}$. Cette conductivité thermique doit être déterminée en conformité avec les méthodes expliquées dans la première partie de ce chapitre ou avec l'Annexe A du document de référence pour les pertes par transmission.

Note :

1. Il est parfois nécessaire de placer des fixations mécaniques qui percent localement l'élément isolant, telles que des ancrages de fenêtres, des chevilles... Si ces fixations mécaniques ont une valeur $\lambda > 0,2\text{ W/mK}$ et si elles relient les faces chaude et froide de l'isolant, la superficie totale de ces fixations mécaniques ne peut dépasser 1 cm^2 par mètre courant de nœud constructif.

2. Des coupures locales de la partie isolante par un autre matériau d'une conductivité thermique inférieure ou égale à $0,2\text{W/mK}$, ne sont autorisées que si la superficie totale de l'autre matériau est inférieure ou égale à 10 % par mètre courant de nœud constructif.

2) L'exigence sur l'épaisseur de contact

Cette exigence de la règle de base 2 est étroitement liée à la règle de base 1. La situation dans laquelle deux couches isolantes se joignent directement est en effet

très comparable à la situation dans laquelle un élément isolant joint directement une couche isolante ou un autre élément isolant. Dans les deux situations, les épaisseurs des éléments ou couches qui se joignent jouent un rôle dans la formulation de l'exigence :

Exigence sur l'épaisseur de contact

$$d_{contact,i} \geq \min\left(\frac{d_{insulating\ part}}{2}; \frac{d_x}{2}\right)$$

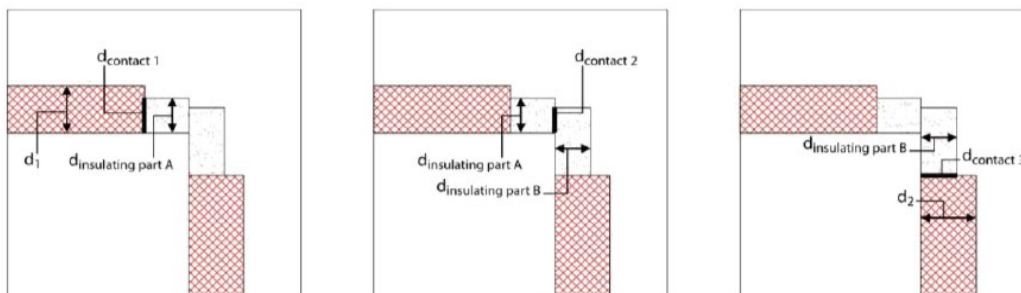
avec

$d_{contact,i}$ = l'épaisseur de contact à l'endroit du raccord i ;

$d_{insulating\ part}$ = l'épaisseur d'un élément isolant;

d_x = l'épaisseur, soit de la couche isolante en contact, soit d'un autre élément en contact

Figure 2.20. Exigence sur l'épaisseur de contact de la règle de base 2



Si un élément isolant joint un châssis de fenêtre ou de porte **sans coupure thermique**, alors d_x est égal à l'épaisseur du cadre fixe du châssis de fenêtre ou de porte, mesurée perpendiculairement au plan du vitrage.

Si un élément isolant joint un châssis de fenêtre ou de porte **avec coupure thermique**, alors il faut que l'élément isolant soit en contact direct avec la coupure thermique et ce sur toute l'épaisseur de la coupure thermique.

3) Exigence sur la valeur R

L'exigence sur la valeur R impose que la résistance thermique de chaque élément isolant ne peut être inférieure à la moitié de la plus petite des valeurs R_1 et R_2 . Pour que l'exigence de valeur R reste supportable dans le cas de fortes isolations, une limite a été fixée pour R, à savoir 2 m²K/W. Sous forme de formule, cela donne ceci :

Exigence de valeur de R : $R \geq \min\left(\frac{R_1}{2}; \frac{R_2}{2}; 2\right)$

avec

R = la résistance thermique d'un élément isolant;

R₁ en R₂ = les résistances thermiques des couches isolantes des parois

Lorsqu'un châssis de fenêtre ou de porte joint le nœud constructif, l'exigence sur la valeur R de la règle de base 2 est légèrement adaptée. Il n'est notamment pas tenu compte de la valeur U_f du châssis de fenêtre ou de porte mais uniquement de la résistance thermique de la couche isolante de la paroi opaque. En même temps la limite supérieure est abaissée à 1.5 m²K/W dans le cas de fortes isolations.

Exigence de valeur de R : $R \geq \min\left(\frac{R_1}{2}; 1,5\right)$

avec

R = la résistance thermique d'un élément isolant;

R₁ = la résistance thermique de la couche isolante de la paroi opaque

42

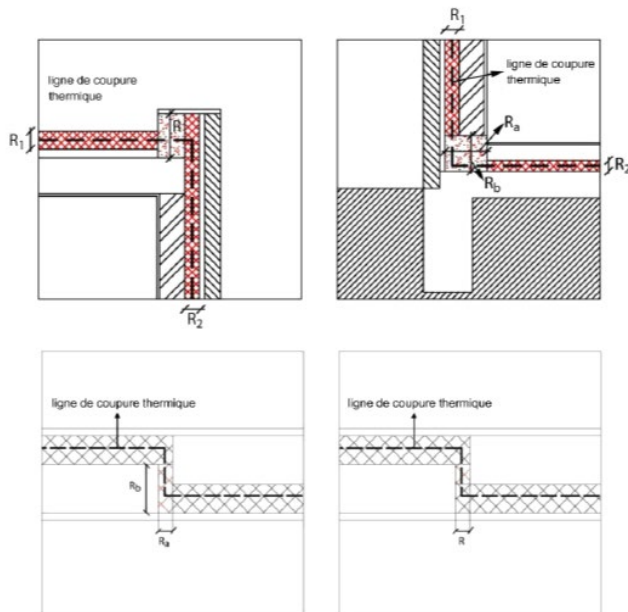
Comme déjà mentionné dans la première partie de ce chapitre, la valeur R (m²K/W) est déterminée de la manière suivante :

$$R = d / \lambda$$

avec d = l'épaisseur, exprimée en m, et λ = la conductivité thermique de l'élément isolant, exprimée en W/mK. Pour la détermination de l'épaisseur, une distinction doit être faite entre éléments isolants orthogonaux et non orthogonaux.

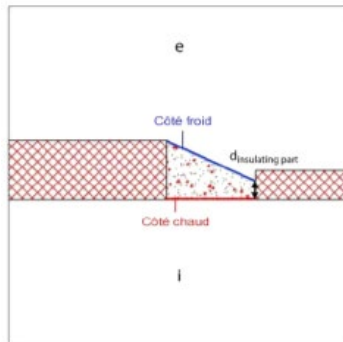
Dans le cas d'**éléments isolants orthogonaux**, (cas le plus fréquent) l'épaisseur d doit toujours être mesurée perpendiculairement à la ligne de coupure thermique qui les traverse. La manière de tracer une ligne de coupure thermique est expliquée dans la prochaine note. Lorsque la ligne de coupure thermique traverse l'élément isolant suivant deux directions, alors il y a deux valeurs R pour un même élément isolant. Dans ce cas les deux valeurs R doivent forcément répondre à l'exigence de valeur R.

Figure 2.21. Coupure thermique



Dans le cas plus particulier des **éléments isolants non orthogonaux**, il ne faut pas mesurer en fonction de la ligne de coupure thermique mais il faut uniquement relever la plus courte distance qui sépare la face chaude de la face froide de l'élément isolant. Cette plus courte distance constitue notamment le point faible de l'élément isolant et détermine de ce fait la valeur minimale de la résistance thermique R de l'élément isolant.

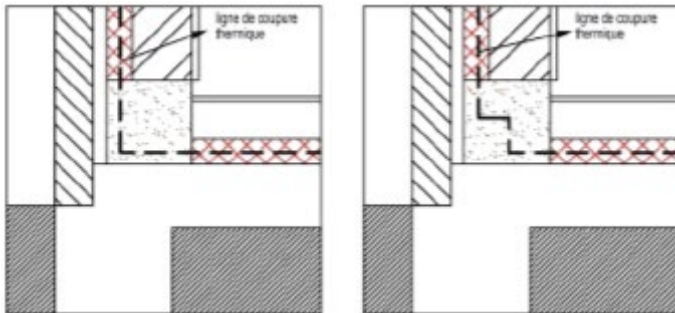
Figure 2.22. Eléments isolants non orthogonaux



Note : Ligne de coupure thermique. Lorsqu'une ligne ininterrompue peut être tracée d'une couche isolante à une autre en passant à travers les éléments isolants, alors il est toujours possible de tracer une ligne de coupure thermique. Pour éviter autant que possible les lignes courbes et obliques, il a été imposé qu'une ligne de coupure thermique doit être le plus possible parallèle aux limites des couches isolantes et des éléments isolants qu'elle traverse.

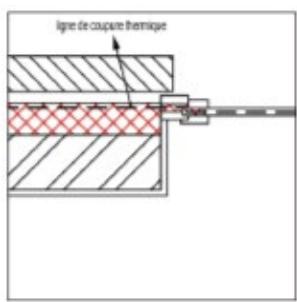
La position de ligne de coupure thermique n'est pas importante, tant qu'elle répond à la définition (ligne ininterrompue à travers et si possible parallèle aux couches isolantes et éléments isolants). Si l'exigence de valeur R est respectée pour une ligne de coupure thermique, alors elle l'est pour toutes les lignes de coupure thermique.

Figure 2.23. Variantes de lignes de coupure thermique



Dans le cas de châssis de fenêtre et de porte avec coupure thermique, une ligne de coupure thermique doit passer par la coupure thermique du châssis.

Figure 2.24. La ligne de coupure thermique doit passer à travers la coupure thermique de ce châssis



2.3.4.1.3 Règle de base 3

La règle de base 3 suppose que le flux thermique suivra toujours le chemin le plus facile de l'intérieur vers l'extérieur. Si la coupure thermique n'est pas présente, alors cela signifie que le flux thermique suit le chemin vers l'extérieur qui passe par l'interruption des couches isolantes, ce qu'on appelle le « chemin de moindre résistance ».

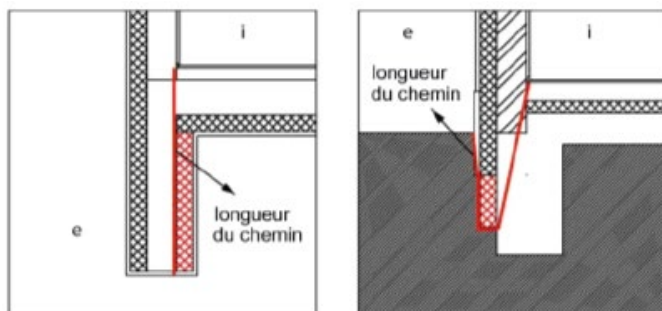
Le chemin de moindre résistance est strictement défini comme le **plus court trajet** entre l'environnement intérieur, et l'environnement extérieur ou un espace adjacent non chauffé, et qui ne coupe nulle part une couche d'isolant ou un élément isolant d'une résistance thermique supérieure ou égale à la plus petite des deux résistances R_1 et R_2 , avec R_1 et R_2 = les résistances thermiques des couches isolantes des parois adjacentes à la surface de déperdition, déterminées suivant les spécification du ministre, en m^2K/W .

La longueur totale l_i du chemin de moindre résistance doit répondre à la condition suivante :

$$l_i \geq 1 \text{ m}$$

Si la longueur totale de cette ligne est inférieure à 1 mètre, il est alors recommandé d'ajouter de l'isolant, à condition que cet isolant présente une résistance thermique supérieure ou égale à la plus petite des valeurs R_1 et R_2 .

Figure 2.25. La longueur du chemin de moindre résistance (ligne rouge) ≥ 1 m



2.3.4.2 Coefficient de transmission thermique du nœud constructif $\Psi_e \leq \Psi_{e,lim}$

Lorsqu'à l'aide d'un calcul numérique validé, il peut être démontré que la valeur Ψ_e d'un nœud constructif est plus petite ou égale à la valeur correspondante, alors le nœud constructif est PEB-conforme. Les valeurs limites pour le coefficient de transmission linéique $\Psi_{e,lim}$ sont définies par type de nœud constructif suivant le tableau 2.14.

Pour un nœud constructif linéaire qui se situe à la limite de deux volumes protégés ou plus, chaque part propre de la valeur Ψ_e du nœud constructif linéaire, obtenue uniquement à l'aide de calculs numériques validés, doit être inférieure ou égale à la valeur limite correspondante divisée par le nombre de volumes protégés dans lesquels le nœud constructif linéaire est impliqué.

Si une combinaison se manifeste de plusieurs types de nœuds constructifs linéaires dont les différentes typologies sont difficiles à distinguer, il est permis de déterminer une seule valeur totale Ψ_e pour cette combinaison à l'aide d'un calcul numérique validé. Cette valeur doit être inférieure ou égale à la somme des valeurs $\Psi_{e,lim}$ des différentes typologies qui s'y présentent.

Tableau 2.14. Valeurs limites des coefficients de conductivité linéique

	$\Psi_{e,lim}$
.1. angle sortant (1)(2)	
○ 2 murs	-0,10 W/m.K
○ Autres angles sortants	0,00 W/m.K
.2. angle rentrant (3)	0,15 W/m.K
.3. raccords aux fenêtres et aux portes	0,10 W/m.K
.4. appui de fondation	0,05 W/m.K
.5. balcons - auvents	0,10 W/m.K
.6. raccords de parois d'un même volume protégé ou entre 2 volumes protégés différents avec une paroi de a surface de déperdition	0,05 W/m.K
.7. tous les nœuds qui n'entrent pas dans les catégories 1 à 6	0,00 W/m.K
(1) À l'exception d'appui de fondation.	
(2) Pour un angle sortant, l'angle α – mesuré entre les deux faces extérieures de la paroi de la surface de déperdition - doit satisfaire à $180^\circ < \alpha < 360^\circ$.	

(3) Pour un angle entrant, l'angle α – mesuré entre les deux faces extérieures de la paroi de la surface de déperdition - doit satisfaire à $0^\circ < \alpha < 180^\circ$.

Remarque : pour les nœuds constructifs, on peut également utiliser les valeurs conservatives par défaut. Elles doivent être appliquées séparément dans le calcul et ne font pas partie du scope de ce qui est mentionné ci-dessus, comme nœud constructif acceptable. Les valeurs par défaut sont mentionnées dans les tableaux 2.15. et 2.16.

Tableau 2.15. Valeurs par défaut pour les nœuds constructifs linéaires

.1. Nœuds constructifs sans coupure thermique avec liaisons structurelles linéaires en acier ou en béton armé	$0,90 + \Psi_{e,lim}$ (*) W/m.K
.2. Nœuds constructifs avec coupure thermique avec liaisons structurelles ponctuelles en métal	$0,40 + \Psi_{e,lim}$ (*) W/m.K
.3. Autres	$0,15 + \Psi_{e,lim}$ (*) W/m.K
(*) $\Psi_{e,lim}$ du Tableau 2.1.4	

Tableau 2.16. Valeurs par défaut pour les nœuds constructifs ponctuels

.1. Coupure de la couche isolante par des éléments en métal (z = longueur du côté du carré dans lequel s'inscrit le percement, en m)	$4,7 * z + 0,03$ W/K
.2. Coupure de la couche isolante par d'autres matériaux que le métal (A = surface du percement, en m ²)	$3,8 * A + 0,1$ W/K

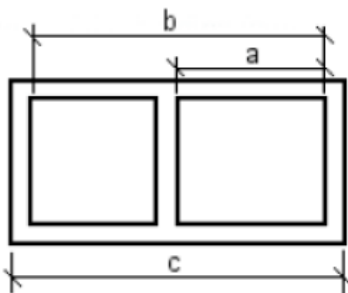
2.4. Niveau K ou niveau d'isolation thermique globale

a) Détermination des aires et des volumes

La partie du bâtiment (volume protégé, espace adjacent non-chauffé...) pour laquelle le coefficient de transfert thermique doit être calculé, doit être définie univoquement.

- Calcul des aires des **parois extérieures**

Figure 2.26. Dimensions d'un bâtiment



Légende :

- a dimension intérieure
- b dimension intérieure complète
- c dimension extérieure

Pour le calcul des aires des éléments de l'enveloppe d'un bâtiment (c.-à-d. les éléments de construction qui séparent le volume protégé d'un bâtiment de l'environnement extérieur, du sol et des espaces adjacents non-chauffés), il faut utiliser les dimensions extérieures (dimension c de la figure ci-dessus), de sorte que l'enveloppe complète du bâtiment puisse être considérée comme une surface enveloppante fermée. Pour les fenêtres et les portes, les dimensions des ouvertures de jour (vues de l'extérieur) sont prises comme dimensions.

Cette méthode doit être utilisée systématiquement pour tous les calculs qui touchent aux prestations thermiques des bâtiments.

- Les aires de toutes les **parois intérieures** sont déterminées sur la base des dimensions intérieures (dimension a de la figure ci-dessus).
- Les aires des **parois courbées** sont déterminées à l'aide de l'aire réelle extérieure, sauf si d'autres conditions spécifiques sont d'application.
- Le volume d'un bâtiment ou d'une partie de celui-ci est déterminé sur la base des dimensions extérieures, avec le volume des parois intérieures compris. Les parois mitoyennes entre deux volumes protégés appartiennent pour moitié à l'un et pour l'autre moitié à l'autre volume protégé.

b) Niveau d'isolation thermique globale

Dans ce paragraphe, le terme « bâtiment » désigne aussi bien le bâtiment dans son ensemble qu'une partie d'un bâtiment pour lequel un niveau K distinct est d'application.

- La **compacité** d'un bâtiment est donnée par le rapport du volume sur la superficie totale de déperdition :

$$C = V/A_T \text{ [m}^3/\text{m}^2 = \text{m]}$$

avec :

V : le volume du bâtiment basé sur les dimensions extérieures ;

A_T : la superficie de déperdition du bâtiment sur la base des dimensions extérieures.

- Le **coefficient de transfert thermique moyen** U_m d'un bâtiment est le rapport entre le coefficient de transfert thermique total H_T et la superficie de déperdition A_T

$$U_m = H_T/A_T \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

avec :

H_T : le coefficient de transfert thermique du bâtiment ;

A_T : la superficie de déperdition totale du bâtiment sur la base des dimensions extérieures.

- Le **niveau de l'isolation thermique globale** d'un bâtiment est donné par le rapport entre le coefficient de transfert thermique moyen et une valeur de référence, multiplié par 100

$$K = (U_m / U_{m,ref}) \times 100$$

avec :

U_m : le coefficient de transfert thermique moyen du bâtiment, comme défini ci-dessus

$U_{m,ref}$: la valeur de référence du coefficient de transfert thermique moyen, comme définie ci-dessous.

- Pour $C \leq 1m$: $U_{m,ref} = 1$ W/m^2K
- Pour $1m < C < 4m$: $U_{m,ref} = (C+2)/3$ W/m^2K
- Pour $4m \leq C$: $U_{m,ref} = 2$ W/m^2K

La valeur K doit être arrondie à un nombre entier, et lorsque la partie derrière la virgule est égale ou supérieure à un demi (...5000...), on arrondit vers le haut. Dans les rapports, il faut placer la lettre K avant l'entier ainsi obtenu.

3 Isolation acoustique

3.1 Critères de performances de la norme belge

En 2008, la première partie de la nouvelle série de normes NBN S 01-400-1 à x a été publiée. Elles remplacent les anciens critères de performance mentionnés dans les normes NBN S 01-400:1977 et NBN S 01-401:1987. Les parties suivantes sont déjà disponibles :

- *NBN S 01-400-1: 2008 Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation ;*
- *NBN S 01-400-2: 2012 Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires.*

En ce moment, la commission de normalisation « acoustique » (NBN TC 126) travaille sur la troisième partie, c'est-à-dire « *NBN S 01-400-3 : Critères acoustiques pour les bâtiments non résidentiels* ».

Toutefois, dans la NBN S 01-400-2, il a été choisi d'utiliser des unités de mesure qui tiennent en partie compte de l'évolution possible au niveau européen et international par l'ajout d'un terme d'adaptation au spectre « C » aux valeurs uniques qui sont utilisées dans la partie 1.

En plus des exigences relatives à l'isolation aux bruits aériens et de choc, et à l'isolation de façade, les normes susmentionnées imposent également des exigences relatives aux bruits des installations et de réverbération dans des bâtiments. Ces dernières ne relèvent pas du domaine d'application visé par ces STS. Des plus amples informations peuvent être obtenues auprès du fabricant de l'élément de maçonnerie choisi.

3.2 Définitions et symboles

Étant donné la spécificité du sujet, quelques définitions et symboles supplémentaires pour une bonne compréhension sont donnés ci-dessous :

Isolation aux bruits aériens

$D_{nT,w}$ [dB] : L'isolement acoustique standardisé pondéré entre deux locaux calculé selon la NBN EN ISO 717-1:1997 à partir du spectre D_{nT} . L'isolement acoustique standardisé D_{nT} est mesuré in situ entre deux locaux selon la NBN EN ISO 140 4:1998, par bandes de tiers d'octave, sur la base de la formule suivante :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10\lg(T/T_0) \text{ [dB]}$$

avec

- L_1 [dB] : Niveau de pression acoustique moyen mesuré dans le local d'émission en bandes de tiers d'octave selon la NBN EN ISO 140-4 :1998 ;
- L_2 [dB] : Niveau de pression acoustique moyen mesuré dans le local de réception en bandes de tiers d'octave selon la NBN EN ISO 140-4 :1998 ;
- T [s] : le temps de réverbération mesuré dans le local de réception ;
- T_0 [s] : le temps de réverbération de référence dans le local de réception : $T_0 = 0,3$ s pour les volumes inférieurs ou égaux à 20 m^3 , $T_0 = 0,02V-0,1$ s pour les volumes de 20 m^3 jusqu'à y compris 30 m^3 et $T_0 = 0,5$ s pour les volumes supérieurs à 30 m^3 .

D_A [dB] : L'isolement acoustique standardisé pondéré mesuré in situ entre deux locaux et adapté pour une source de bruit possédant un spectre de bruit rose : $D_A = D_{nT,w} + C$. La procédure de pondération et la procédure d'application du terme d'adaptation spectral C sont expliqués dans la NBN EN ISO 717-1. Elle se base sur les valeurs en bandes de tiers d'octave de l'isolement acoustique standardisé D_{nT} mesuré entre deux locaux (voir ci-avant).

Remarque : La valeur $D_{nT,w}$ est utilisée pour déterminer les critères de performance de l'isolation aux bruits aériens d'immeubles d'habitation, D_A est utilisée pour les critères de performance de bâtiments scolaires.

Isolation aux bruits de choc

$L'_{nT,w}$ [dB] : Niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé, calculé selon la NBN EN ISO 717-2:1997 à partir du spectre L'_{nT} . Le niveau du bruit de choc standardisé L'_{nT} est mesuré in situ selon la NBN EN ISO 140-7:1998, par bandes de tiers d'octave, sur la base de la formule suivante :

$$L'_{nT} = L_2 + 10 \lg(T_0/T) \text{ [dB]}$$

avec

- L_2 [dB] : niveau de pression acoustique moyen mesuré dans le local de réception en bandes de tiers d'octave selon la NBN EN ISO 140-7:1998 ;
- T et T_0 : voir ci-avant.

L'_i [dB] : Le niveau de pression du bruit de choc standardisé pondéré mesuré in situ et augmenté du terme d'adaptation pour le bruit des pas : $L'_i = L'_{nT,w} + C_i$. La procédure de pondération et la procédure d'application du terme d'adaptation spectral C_i sont expliqués dans la NBN EN ISO 717-2. Elle se base sur les valeurs mesurées en bandes de tiers d'octave du niveau de bruit de choc standardisé L'_{nT} .

Remarque : La valeur $L'_{nT,w}$ est utilisée pour déterminer les critères de performance de l'isolation aux bruits aériens d'immeubles d'habitation, L'_i est utilisée pour les critères de performance de bâtiments scolaires.

Isolation de façade

D_{Attr} [dB] : L'isolement acoustique standardisé pondéré du pan de façade augmenté du terme d'adaptation pour le bruit du trafic urbain calculé selon la NBN EN ISO 717-1:1997 à partir du spectre $D_{2m,nT}$. $D_{Attr} = D_{2m,nT,w} + C_{tr}$. L'isolement acoustique standardisé $D_{2m,nT}$ en rapport avec l'isolation du pan de façade est mesuré in situ selon la NBN EN ISO 140-5:1998, par bandes de tiers d'octave, sur la base de la formule de suivante :

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \lg(T/T_0) \text{ [dB]}$$

avec :

- $L_{1,2m}$ [dB] : Niveau moyen de pression acoustique par bandes de tiers d'octave mesuré à une distance normale de 2 m du centre du pan de façade lorsqu'on applique la procédure de mesure décrite dans la NBN EN ISO 140-5 pour évaluer $D_{2m,nT}$. Il est recommandé de le mesurer simultanément avec L_2 ;
- L_2 [dB] : Le niveau de pression acoustique moyen mesuré en bandes de tiers d'octave dans le local de réception selon la NBN EN ISO 140-5 pour déterminer $D_{2m,nT}$. L_2 provient seulement de la transmission du bruit au travers du pan de façade. Il est recommandé de le mesurer simultanément avec $L_{1,2m}$;

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

- C ; $C_{tr}[dB]$: Terme d'adaptation spectral qui tient compte du spectre de source spécifique tel que décrit dans la NBN EN ISO 717-1:1997 pour les bruits aériens ;
- T et T_0 : voir ci-avant.

$L_A[dB]$: La grandeur pondérée A qui est calculée à partir de la grandeur L_{Aref} selon la méthode décrite dans l'annexe normative E pour chaque pan de façade du local à protéger. Les exigences pour l'isolation d'un pan de façade sont déduites de cette grandeur.

$L_{Aref}[dB]$: L_{Aref} est déterminé à partir de mesures effectuées à l'extérieur en un point de référence situé à 2 m de hauteur au-dessus du niveau du sol et à 2 m de distance perpendiculairement au milieu de la façade la plus exposée au bruit (d'une partie) du bâtiment dans lequel se trouve le local à protéger. Dans le cas où ce point de référence ne se situe pas devant le pan de façade le plus exposé (p.ex. quand la source de bruit est masquée), le point de mesure doit être choisi à 2 m devant le milieu du pan de façade le plus exposé. L_{Aref} est égal au niveau de pression acoustique équivalent pondéré $L_{Aeq,Tm}$ du bruit extérieur mesuré sur une période T_m d'au moins 30 minutes à un moment représentatif des nuisances possibles dues au bruit extérieur. L_{Aref} peut également être déduit d'un tableau dans la norme, en fonction d'une description de l'environnement. Ceci mène toutefois généralement à une surestimation de L_{Aref} et donc des exigences définies.

3.3 Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation (NBN S 01-400-1)

3.3.1 Introduction

Les critères acoustiques des immeubles d'habitation sont définis dans la norme NBN S 01-400-1. Les critères de cette norme servent de règles de bonne pratique pour des bâtiments destinés en tout ou en partie au logement.

Cette norme détermine les performances acoustiques exigées du bâtiment fini pour obtenir un « confort acoustique normal » ou « supérieur » dans des bâtiments destinés en tout ou en partie au logement. Les mesures d'évaluation ne peuvent être faites que si toutes les circonstances pertinentes pour la mesure ont été réalisées.

Les exigences postulées pour le bâtiment achevé constituent également les points de départ de l'élaboration d'un projet. On doit donc en tenir compte lors de la conception, lors de l'élaboration des détails de construction et dans les méthodes d'exécution.

Il existe des exigences de performance pour l'isolation de façade, l'isolation aux bruits aériens et aux bruits de choc entre habitations et l'isolation de bruit des installations techniques. Dans la norme, il y a deux niveaux de performances par rapport à une charge normale de bruit pour les bruits aériens et les bruits de choc :

- *les exigences relatives à un confort acoustique normal ;*
- *les exigences relatives à un confort acoustique supérieur.*

Le confort acoustique normal est le niveau de qualité minimum dont les exigences visent à assurer la satisfaction d'une grande majorité des occupants, estimée à plus de 70 % des occupants pour l'isolation aux bruits aériens et de choc pour une charge de bruit normale.

Le confort acoustique supérieur est le plus haut critère de qualité acoustique de cette norme. Il est sensé satisfaire plus de 90 % des occupants pour l'isolation aux bruits aériens et de choc

pour une charge de bruit normale. Les exigences relatives à un confort acoustique supérieur s'appliquent lorsque les initiateurs du projet de construction (maître de l'ouvrage, acheteur...) expriment explicitement des souhaits spéciaux en ce sens ou quand cette caractéristique de confort supérieur est mentionnée par le vendeur (ou par le propriétaire en vue d'une location).

Remarque : Suite aux développements dans la normalisation européenne et internationale, 3 normes récentes seront adaptées. Par le développement des méthodes de construction plus légères, l'isolation acoustique à basse fréquence devient de plus en plus importante. Les méthodes de mesurage normalisées internationales et les calculs des valeurs uniques tiendront compte de cette évolution dans le futur proche. Étant donné que les exigences de performance sont basées sur ces valeurs uniques internationales, les normes belges doivent également être adaptées. Par conséquent, trois niveaux de performance acoustique seront introduits à l'avenir : A, B et C. Cela conduira à différents critères de performance.

La charge normale de bruits aériens : on entend par charge acoustique normale de bruit aérien dans une pièce voisine, les niveaux de pression acoustique pondérés A inférieurs à 80 dB.

La charge normale de bruits de choc : on entend par charge acoustique normale de bruit de choc dans une pièce voisine, les bruits qui résultent de l'impact sur un plancher ou sur des marches d'escalier de bruits de pas normaux, du déplacement de meubles légers qui peuvent être facilement déplacés et de l'impact de jouets légers.

Dans tous les cas, une grande attention est exigée de la part des auteurs de projet et des exécutants. Mais l'obtention d'un confort acoustique supérieur demande une mention explicite dans le descriptif technique, des solutions spécifiques et un traitement spécialisé.

Les exigences d'isolation aux bruits aériens et aux bruits de choc entre appartements et maisons mitoyennes neuves de la norme sont listées dans les tableaux 3.1 et 3.2.

La présence de voisins aux étages supérieurs et inférieurs rend la situation des appartements nettement plus complexe car il convient de tenir compte du transfert des bruits en sens vertical, horizontal et même diagonal. L'isolation aux bruits de choc entre appartements superposés est également plus délicate ; quant à la réduction du bruit produit par les installations, elle requiert une attention particulière. Autrement dit, on risque davantage d'être dérangé par le bruit lorsqu'on vit en appartement que dans une maison mitoyenne. Heureusement, les occupants d'appartements ont tendance à se montrer un peu moins exigeants sur le plan du confort acoustique que les personnes habitant une maison mitoyenne. C'est la raison pour laquelle l'isolation aux bruits aériens est moins sévère lorsqu'il s'agit d'immeubles à appartements.

Lors des mesures, les essais seront réalisés dans un degré de finition des espaces, pertinent à l'essai.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

3.3.2 Critères pour l'isolation aux bruits aériens d'immeubles d'habitation

Le tableau suivant donne les exigences de l'isolation aux bruits aériens pour des maisons mitoyennes (tableau 3.1.) et des appartements (tableau 3.2.) pour les deux niveaux de qualité du confort :

Tableau 3.1. Critères d'isolation aux bruits aériens pour des maisons mitoyennes

LOCAL D'EMISSION hors de l'habitation	LOCAL DE RECEPTION dans l'habitation	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Tout type de local	Tout type de local sauf un local technique ou un hall d'entrée	$D_{nT,w} \geq 58$ dB	$D_{nT,w} \geq 62$ dB
LOCAL D'EMISSION dans l'habitation	LOCAL DE RECEPTION dans l'habitation	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Chambre à coucher, cuisine, living, salle à manger et salle de bain (n'appartenant pas à la chambre/pièce de réception)	Chambre à coucher, bureau	$D_{nT,w} \geq 35$ dB	$D_{nT,w} \geq 43$ dB

Tableau 3.2. Critères d'isolation aux bruits aériens pour des appartements

LOCAL D'EMISSION hors de l'habitation	LOCAL DE RECEPTION dans l'habitation	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Tout type de local	Tout type de local sauf un local technique ou un hall d'entrée	$D_{nT,w} \geq 54$ dB	$D_{nT,w} \geq 58$ dB
LOCAL D'EMISSION dans l'habitation	LOCAL DE RECEPTION dans l'habitation	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Chambre à coucher, cuisine, living, salle à manger et salle de bain (n'appartenant pas à la chambre/pièce de réception)	Chambre à coucher, bureau	$D_{nT,w} \geq 35$ dB	$D_{nT,w} \geq 43$ dB

Note :

- Si des activités autres que des activités de séjour (p.ex. commerce, bureau, salle de réunions, horeca...) se déroulent dans un local (d'émission) hors de l'habitation, la valeur d'isolation exigée est augmentée de $(L_{Aeq,T} - 80)$ dB si cette dernière valeur est positive (p.ex. pour un café avec $L_{Aeq} = 87$ dB(A) et qui avoisine une autre habitation, l'exigence pour la maison mitoyenne pour un confort acoustique normal $D_{nT,w} : \geq 58 + (87 - 80) = 65$ dB) En cas de charge de bruit aérien intense de type impulsif ou de courte durée, la valeur d'isolation doit être augmentée de $(L_{AF5,T} - 80)$ dB si cette dernière valeur est positive. $L_{Aeq,T}$ et $L_{AF5,T}$ sont les valeurs probables ou mesurées à l'intérieur du local (d'émission) hors de l'habitation. Celles-ci concernent un intervalle de temps T représentatif, en relation avec

la gêne supposée dans le local de réception. Ces valeurs doivent être mesurées ou doivent être indiquées comme point de départ dans le dossier de construction au moment de l'introduction de la demande de permis de bâtir. Des dispositions complémentaires sont exigées quand la charge de bruit contient d'importantes composantes dans les basses fréquences.

- Lors du contrôle *in situ*, un résultat est considéré satisfaisant s'il est supérieur ou égal à la valeur de la norme moins 2 dB. Cette tolérance tient compte des incertitudes de prédiction et de la précision limitée des techniques de mesure.
- Aucune exigence n'est appliquée s'il n'y a pas de charge de bruit aérien dans le local (d'émission) hors de l'habitation (p.ex. grenier non-habité...).

3.3.3 Critères pour la limitation des bruits de choc dans des immeubles d'habitation

Le tableau 3.3 donne les exigences de l'isolation aux bruits de choc pour des maisons mitoyennes et des appartements pour les deux niveaux de qualité du confort.

Les exigences en matière du niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé $L'_{nT,w}$ sont des valeurs maximales admissibles à ne pas dépasser pour le sol avec ou sans revêtement.

Tableau 3.3. Critères pour la limitation des bruits de choc dans des maisons mitoyennes et des appartements

LOCAL D'EMISSION hors de l'habitation	LOCAL DE RECEPTION dans l'habitation	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Tout type de local	Tout type de local sauf un local technique ou un hall d'entrée	$L'_{nT,w} \leq 58$ dB	$L'_{nT,w} \leq 50$ dB
Tout type de local sauf une chambre à coucher	Une chambre à coucher	$L'_{nT,w} \leq 54$ dB	$L'_{nT,w} \leq 50$ dB
LOCAL D'EMISSION dans l'habitation	LOCAL DE RECEPTION dans l'habitation	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Chambre à coucher, cuisine, living, salle à manger et salle de bain (n'appartenant pas à la chambre/pièce de réception)	Chambre à coucher, bureau	/	$L'_{nT,w} \leq 58$ dB

Note :

- Lors du contrôle de ces valeurs dans le bâtiment fini, un résultat est considéré satisfaisant s'il est inférieur ou égal à la valeur de la norme plus 2 dB. Cette tolérance tient compte des incertitudes de prédiction et de la précision limitée des techniques de mesure.
- Ces exigences portent sur des bruits de choc normaux sur des planchers et des marches d'escalier des habitations. Si des activités autres que des activités d'habitation se déroulent dans le local (d'émission) hors de l'habitation (p. ex. commerce, bureau, salle de réunions, horeca...), l'isolation aux bruits de choc doit être adaptée à la situation spécifique.
- Aucune exigence n'est appliquée s'il n'y a pas de charge de bruit de choc dans le local (d'émission) hors de l'habitation (p.ex. grenier non-habité).

3.3.4 Critères pour l'isolation de façade d'immeubles d'habitation

a) Exigences générales pour un pan de façade d'un espace à protéger

Les exigences pour la protection d'un local contre le bruit environnant sont satisfaites si les valeurs de D_{Atr} pour chaque pan de façade du local à protéger sont conformes aux valeurs du tableau 3.4.

Tableau 3.4. Critères relatives à l'isolation de façade contre le bruit environnant

	Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
Living, salle à manger, cuisine, bureau et chambre à coucher	$D_{Atr} \geq L_A - 34 + m$ dB (1) et $D_{Atr} \geq 26$ dB	$D_{Atr} \geq L_A - 30 + m$ dB (1) et $D_{Atr} \geq 30$ dB
Chambre à coucher	$D_{Atr} \geq 34 + m$ dB (1)(2)	

Note :

- (1) La valeur m est égale à 3 dB si l'espace à protéger possède encore un autre pan de façade, si les valeurs L_A pour les deux pans de façades sont supérieures ou égales à 60 dB et si les deux pans de façades contiennent au moins un élément de façade avec un indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_{Atr} < 48$ dB. Dans tous les autres cas : $m = 0$ dB.
- (2) L'exigence (2) n'est d'application qu'en cas de bruit nocturne important dû au trafic régulier aérien ou ferroviaire provoquant entre 22h et 6h du matin en un point de mesure à 2m à l'extérieur devant le pan de façade d'une chambre à coucher un $L_{Aeq,1s,max,T} \geq 70$ dB et dont on peut raisonnablement supposer que ce dépassement peut survenir au moins trois fois par nuit durant au moins une nuit par semaine.
- En cas de bruits importants dus au trafic régulier aérien ou ferroviaire, les exigences demandées ne mèneront pas forcément au confort acoustique normal (70 % de satisfaits) et au confort acoustique supérieur (90 % de satisfaits) selon les termes de la norme. La norme se limite nécessairement à ces exigences minimales. Si un confort adapté aux circonstances est souhaité, une étude spécifique et des dispositions adéquates seront nécessaires.

b) Exigences pour les éléments de façade

Un pan de façade est composé de plusieurs éléments de façade qui peuvent être réalisés par différents entrepreneurs. Ce n'est qu'avec une exécution précise, des détails de finition corrects et une performance acoustique suffisante de chaque élément de façade qu'on peut satisfaire aux exigences générales, telles que mentionnées ci-avant.

La détermination des exigences pour chaque élément de façade peut se faire selon la NBN EN 12354-3:2000. En l'absence d'exigence pour chaque élément de façade dans le dossier de construction, les exigences par défaut suivant le tableau 3.5, qui définissent les responsabilités de chacun des intervenants, sont d'application :

Tableau 3.5. Performances acoustiques exigées pour les éléments de façade (y compris leurs détails de connexion avec l'élément voisin) qui font partie d'un pan de façade

Performances acoustiques exigées pour les éléments de façade (y compris leurs détails de connexion avec l'élément voisin) qui font partie d'un pan de façade d'un living, d'une salle à manger, d'une cuisine, d'un bureau ou d'une chambre à coucher	
Tous les éléments de façade excepté les grilles de ventilation	$R_{Atr} \geq D_{Atr} + 3 + 10 \lg[3(S_{netto} + 5n)/V]$ [dB]
Les grilles de ventilation si elles sont présentes	$D_{neAtr} \geq R_{Atr} + 3$ [dB]
n	: le nombre de grilles de ventilation [-] ou la (valeur de) longueur totale [m] de toutes les grilles de ventilations du pan de façade ayant des performances acoustiques identiques $D_{neAtr} \geq R_{Atr} + 3$ dB. S'il n'y a pas d'équipement de ventilation, n=0
D_{Atr} [dB]	: la valeur de l'isolation nécessaire pour le pan de façade suivant les exigences générales ci-avant.
V [m ³]	: le volume du local à protéger
S_{netto} [m ²]	: la surface totale des éléments composant le pan de façade, qui possèdent un $R_{Atr} < 48$ dB

Note :

- Si l'isolement acoustique standardisé D_{Atr} mesuré satisfait aux exigences du pan de façade, les exigences relatives aux performances acoustiques des éléments de façade ne sont pas d'application. Dans le cas contraire il faut vérifier pour ces éléments de façade les responsabilités des différentes parties en rapport à ces exigences.
- Lors d'une mise en œuvre correcte et des détails de finition soignés, les exigences de performances acoustiques pour les différents éléments de façade repris dans le tableau 5.5 mènent à une isolation sonore D_{Atr} pour le pan de façade qui correspond aux exigences. On considère dans cette hypothèse que le centre des grilles de ventilation doit toujours être à une distance d'au moins 30 cm de tout élément en saillie (un balcon et/ou une paroi ressortant vers l'extérieur) par rapport au pan de façade dans lequel sont installées les grilles. Si ce n'est pas le cas, l'exigence relative aux grilles de ventilation doit être renforcée. Lorsque l'exigence est de $D_{Atr} \geq 40$ dB, il faut alors tenir compte des transmissions latérales du bruit.

REMARQUE :

Les exigences suivantes ne relèvent pas spécifiquement de la maçonnerie, mais elles peuvent être retrouvées dans la NBN S 01-400-1 :

- Exigences concernant le dossier de construction ;
- Exigences relatives au contrôle de l'isolation des façades ;
- Exigences relatives au bruit des installations dans les différents locaux ;
- Exigences relatives à la limitation du niveau de bruit de fond dans les chambres à coucher et les espaces de séjour ;
- Exigences relatives au temps de réverbération et l'absorption.

3.4 Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires (NBN S01-400-2)

3.4.1 Introduction

Les exigences d'isolation acoustique pour les bâtiments scolaires sont définies dans la norme NBN S01-400-2 : 2012 : Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires. L'AR du 30 septembre 2012 (Arrêté royal portant sur l'homologation de normes belges élaborées par le Bureau de Normalisation) déclare d'application la norme pour la construction ou les parties transformées de bâtiments scolaires à partir du **1^{er} janvier 2013**.

Les critères ne s'appliquent pas pour les parties éventuelles des bâtiments scolaires ayant principalement une fonction résidentielle (comme p.ex. dans un internat) ni pour les constructions temporaires ⁽¹⁾.

Cette norme fixe les performances acoustiques requises pour les bâtiments scolaires parachevés. En conséquence, les mesures en question ne peuvent être effectuées que si toutes les conditions nécessaires pour la mesure sont remplies. Les exigences postulées pour le bâtiment achevé constituent également les points de départ de l'élaboration d'un projet. On doit donc en tenir compte lors de la conception, lors de l'élaboration des détails de construction et dans les méthodes d'exécution.

D'une part, cette présente norme stipule les méthodes de caractérisation de l'isolation aux bruits aériens et aux bruits de choc, du bruit des équipements de service du bâtiment et de la réverbération dans les bâtiments scolaires.

Les exigences établies par la présente norme ne sont pas d'application quand des dispositions légales spécifiques existent. Par exemple, cela peut être le cas en matière d'isolation de façade aux alentours des aéroports.

Les exigences relatives à l'isolation aux bruits aériens et de choc sont exprimées, conformément aux règles en vigueur ⁽²⁾, par des indicateurs à valeur unique. Leur détermination fait l'objet d'une norme particulière : NBN EN ISO 717-1 et 2.

La relation entre les exigences imposées au bâtiment achevé et les caractéristiques acoustiques des éléments du bâtiment, telles que déterminées en laboratoire, fait l'objet de la série de normes NBN EN 12354.

3.4.2 Critères pour l'isolation aux bruits aériens de bâtiments scolaires

Les exigences pour l'isolement acoustique standardisé pondéré entre deux locaux D_A sont les valeurs minimales à respecter. Celles-ci sont spécifiées dans le tableau 5.6 *pour quelques combinaisons courantes de fonctions dans des bâtiments scolaires*. Quand des exigences

¹ Des constructions temporaires sont des constructions pour l'occupation temporaire d'activités d'éducation pour une période de 5 ans ou moins.

² La pondération, comme par exemple la pondération A, appliquée sur un niveau acoustique ne doit plus être mentionnée. Il s'agit là d'une convention internationale (NBN EN ISO 80000-8:2007 Quantities and units - Part 8 : Acoustics) qui précise que la pondération est reprise dans la grandeur et non plus dans l'unité. Par exemple: $L_{Aeq,T}$ s'exprime en [dB].

acoustiques plus sévères s'appliquent, par exemple, dans le cas où le local de réception doit être utilisé par des enfants/élèves/étudiants ayant des limitations de communication ou d'audition, les exigences doivent être augmentées de 4 dB. Cependant, les valeurs requises restent limitées à 62 dB. Des mesures d'évaluation doivent être réalisées dans la direction spécifiée dans le tableau 3.6.

Tableau 3.6. Critères d'isolation des bruits aériens (exprimée en isolement acoustique standardisé pondéré D_A) entre des locaux courants de bâtiments scolaires

$D_A = D_{nT,w} + C$ [dB]	local d'émission										
local de réception	Salle de cours	Classe de maternelle	Classe de musique	Salle d'étude / salle de documentation	Zone de récréation intérieure / atelier	Salle de sports / salle de gymnastique	Salle des professeurs	Sanitaires	Espace de circulation (utilisé entre les	Espace de circulation (utilisé pendant les	Espace de rencontre
Salle de cours	44 ⁽⁶⁾	48	56 ⁽³⁾	(1)	56	56	48	48	32	36	44 ⁽⁵⁾
Classe de maternelle	(1)	44 ⁽⁶⁾	52 ⁽³⁾	(1)	32	52	44	44	32	36	44 ⁽⁵⁾
Classe de musique	(1)	(1)	52 ⁽³⁾	(1)	56	56	(1)	48	32	36 ⁽³⁾	44 ⁽⁵⁾
Salle d'étude / salle de documentation	48	52	60 ⁽³⁾	40	60	60	52	52	32	36	44 ⁽⁵⁾
Salle de sports / salle de gymnastique / zone de récréation intérieure / atelier	(1)	(1)	(1)	(1)	32	32	(1)	32	p.e.	p.e.	p.e.
Salle des professeurs	(1)	44	52 ⁽³⁾	(1)	52	52	44	44	(1)	(1)	(1)
Sanitaires	(1)	(1)	(1)	(1)	32	32	(1)	32	p.e.	p.e.	p.e.
Espace de circulation / espace de rencontre	(1)	(1)	(1)	(1)	p.e.	p.e.	38 ⁽⁴⁾	p.e.	p.e.	p.e.	p.e.

(1) Pour cette combinaison de fonctions, l'exigence est donnée dans l'autre direction.
 (2) Les zones de récréation intérieures sont considérées comme espaces de circulation utilisés entre les cours si elles ne sont jamais utilisées pendant des cours se donnant dans les locaux adjacents.
 (3) En cas d'utilisation d'instruments particulièrement puissants, il est conseillé au maître d'ouvrage d'augmenter cette exigence.
 (4) Cette exigence doit être atteinte pour des raisons de confidentialité.
 (5) Evitez des portes entre ces deux espaces dans le projet. Si cependant une porte de liaison est nécessaire, celle-ci doit être étudiée spécifiquement sur ses aspects acoustiques.
 (6) Cette exigence n'est habituellement pas respectée quand une porte ou une fenêtre est présente dans la paroi de séparation entre deux classes. Pour pouvoir quand même garantir dans ce cas une qualité minimale, une valeur D_A de 40 dB est exigée.
 p.e. = pas d'exigences

Pour des combinaisons de fonctions non mentionnées dans le tableau 3.6., des exigences sont données dans le tableau 10 de la NBN S 01-400-2 en fonction de la production normalement attendue de bruit aérien dans le local d'émission et en fonction de la sensibilité acoustique dans le local de réception. Le tableau 9 de la NBN S 01-400-2 fournit la classification des espaces selon leur production potentielle de bruit aérien et leur sensibilité acoustique. Si des espaces ne sont pas classifiés d'un point de vue acoustique dans le dossier de construction, il est supposé qu'ils sont classifiés selon le tableau 9 de la NBN S 01-400-2.

L'isolement acoustique standardisé pondéré DA minimum requis entre un espace du bâtiment scolaire et un espace d'un volume supérieure à 25 m³ appartenant à un autre bâtiment est de 56 dB (dans les deux directions). Cette exigence est basée sur une production normale de bruits aériens. Dans les trois cas suivants une étude acoustique séparée est nécessaire pour adapter les valeurs requises à la situation spécifique :

- l'espace de réception dans le bâtiment scolaire a une très haute sensibilité acoustique selon le tableau 9 de la NBN S 01-400-2 ;
- l'espace d'émission dans le bâtiment scolaire a une très haute production de bruits aériens selon le tableau 9 de la NBN S 01-400-2 ;
- dans un espace appartenant à un bâtiment voisin où des niveaux de pression acoustique équivalents pondérés A plus élevés que 80 dB ou des bruits importants de courte durée sont logiquement attendus.

Particularités

- Pour des locaux d'émission dans lesquels des bruits/sons de considérablement basses fréquences sont attendus (comme des salles de musique, ateliers, parkings couverts...) des mesures complémentaires doivent être prises afin de fournir l'isolation acoustique basse fréquence effective vers les espaces avoisinants.
- Lorsqu'on vérifie ces valeurs dans le bâtiment scolaire terminé, l'exigence est satisfaite lorsque la valeur mesurée est au moins la valeur requise moins 2 dB. Cette marge est introduite pour prendre en compte l'incertitude de la prédiction et les limites de précision des mesures.
- Les valeurs des exigences dans le tableau 3.6 peuvent différer des valeurs que l'on obtiendrait sur la base de la classification du local d'émission et du local de réception du tableau 9 de la NBN S 01-400-2 et des exigences s'y rapportant données au tableau 10 de la NBN S 01-400-2. Cependant, pour les combinaisons de fonctions du tableau 3.6, seules les exigences du tableau 3.6 sont d'application.

3.4.3 Critères pour la limitation des bruits de choc dans des bâtiments scolaires

Les mesures acoustiques doivent être exécutées en accord avec la norme NBN EN ISO 140-7 dans des locaux inoccupés, finis et suffisamment équipés pour que la mesure soit pertinente. La direction de la mesure est spécifiée dans le tableau 3.7.

Les exigences portant sur le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé L' constituent des valeurs maximales permises à ne pas dépasser. Ces dernières sont spécifiées dans le tableau 3.7 *pour quelques combinaisons fréquentes de fonctions dans des bâtiments scolaires*. Quand des exigences acoustiques plus sévères s'appliquent, par ex., dans le cas où le local de réception doit être utilisé par des enfants/élèves/étudiants ayant des limitations de communication ou d'audition, ces valeurs maximales doivent être diminuées de 4 dB. Cependant, les valeurs requises ne sont jamais inférieures à 45 dB. Des mesures d'évaluation doivent être réalisées dans la direction spécifiée dans le tableau.

Tableau 3.7 : Critères d'isolation des bruits de choc pour des locaux courants de bâtiments scolaires. Niveau de pression acoustique du bruit de choc standardisé pondéré L'_i maximum permis

$L'_i = L'_{nT,w} + C_i$ [dB]	Local d'émission							
Local de réception	Salle de cours / salle des professeurs / sanitaire	Classe de maternelle / classe de musique ⁽¹⁾	Salle d'étude	Salle de documentation	Salle de sports / salle de gymnastique / zone de récréation intérieure ⁽²⁾ / atelier	Espace de circulation (utilisé entre les cours)	Espace de circulation (utilisé pendant les cours)	Espace de rencontre
Classe de musique / salle d'étude	55	50	60	55	45 (situation à éviter)	60 ⁽³⁾	55 ⁽³⁾	50
Salle de cours / classe de maternelle	60	55	65	60	45 (situation à éviter)	65 ⁽³⁾	60 ⁽³⁾	55
Salle de documentation / salle des professeurs	60	55	65	60	55	65 ⁽³⁾	60 ⁽³⁾	55
Salle de sports / salle de gymnastique	65	65	p.e.	p.e.	60	p.e.	65 ⁽³⁾	60
Atelier / zone de récréation intérieure ⁽²⁾ / sanitaire / espace de circulation / espace de rencontre	p.e.	p.e.	p.e.	p.e.	65	p.e.	p.e.	p.e.

(1) Instruments à percussion et pianos nécessitent des montages locaux spécifiquement conçus pour réduire les vibrations. Si ce n'est pas le cas, les locaux d'émission contenant ces instruments sont à classer comme présentant un très haut niveau de production de bruits de choc (cf. salles de sports)

(2) Les zones de de récréation intérieures sont à considérer comme espaces de circulation utilisés entre les cours si elles ne sont jamais utilisées pendant des cours se donnant dans les locaux adjacents

(3) D'application uniquement dans le cas où le local de réception se situe un étage plus bas ou quand l'espace de circulation est une cage d'escalier.

p.e. = pas d'exigence

Pour des combinaisons de fonctions non mentionnées au tableau 3.7, les exigences sont données au tableau 11 de la NBN S01-400-2 en fonction de la production normalement attendue de bruit de choc dans le local d'émission et en fonction de la sensibilité acoustique du local de réception. La classification des espaces en fonction de leur production potentielle de bruit de choc et de leur sensibilité acoustique se trouve au tableau 9 de la NBN S01-400-2. Si des espaces ne sont pas classifiés d'un point de vue acoustique dans le dossier de construction, il est supposé qu'ils sont classifiés selon le tableau 9 de la NBN S01-400-2.

Le niveau de pression acoustique du bruit de choc standardisé pondéré L'_i maximum permis entre un espace du bâtiment scolaire et un espace d'un volume supérieur à 25 m³ appartenant à un autre bâtiment est de 50 dB (dans les deux directions). Cette exigence est basée sur des charges normales de bruits de choc causées par des activités humaines normales. Dans les cas suivants une étude acoustique séparée est nécessaire pour adapter les valeurs requises à la situation spécifique :

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

- l'espace de réception dans le bâtiment scolaire a une très haute sensibilité acoustique selon le tableau 9 de la NBN S01-400-2 ;
- l'espace d'émission dans le bâtiment scolaire a une très haute production de bruits d'impacts selon le tableau 9 de la NBN S01-400-2 ;
- dans un espace appartenant à un bâtiment voisin où des bruits de choc anormalement élevés peuvent logiquement être attendus.

Particularités

- Lorsqu'on vérifie ces valeurs dans le bâtiment scolaire achevé, on peut considérer que l'exigence est satisfaite lorsque la valeur mesurée n'excède pas la valeur mentionnée majorée de 2 dB. Cette marge est introduite pour prendre en compte l'incertitude de la prédiction et les limites de précision des mesures.
- Les valeurs des exigences du tableau 3.7 peuvent différer des valeurs que l'on obtiendrait sur la base de la classification du local d'émission et du local de réception du tableau 9 de la NBN S01-400-2 et des exigences s'y rapportant données au tableau 11 de la NBN S01-400-2. Cependant pour les combinaisons des fonctions du tableau 3.7, seules les exigences du tableau 3.7 sont d'application.

3.4.4 Critères pour l'isolation de façade de bâtiments scolaires

a) Exigences générales pour un pan de façade d'un espace à protéger

La protection d'un espace contre les bruits extérieurs est satisfaisante si l'isolement acoustique standardisé pondéré D_{Atr} pour chacun de ses pans de façades satisfait aux valeurs suivantes :

61

Tableau 3.8. Exigences relatives à l'isolation des pans de façades pour des bâtiments scolaires

Confort acoustique normal	Confort acoustique supérieur
$D_{Atr} \geq L_A - L_{Aeq,nT,stat} + m$ dB (1) et $D_{Atr} \geq 26$ dB (2)	$D_{Atr} \geq L_A - L_{Aeq,nT,stat} + 4 + m$ dB (1) et $D_{Atr} \geq 30$ dB (2)
<p>(1) La valeur m est égale 3 dB si l'espace à protéger possède un autre pan de façade, si les valeurs L_A pour les deux pans de façades sont supérieures ou égales à 60 dB et si les deux pans de façades contiennent au moins un élément de façade avec un indice d'affaiblissement acoustique $R_{Atr} < 48$ dB. Dans tous les autres cas : $m = 0$ dB.</p> <p>(2) Cette exigence est à majorer de 8 dB si le pan de façade est face à une aire de jeux utilisée pendant les leçons données dans l'espace à protéger. Si l'aire de jeux est de plus partiellement ou complètement couverte par une toiture reliée à la façade à laquelle appartient le pan de façade, cette exigence doit être majorée de 12 dB, si le pan de façade est situé en-dessous de cette toiture</p>	

Note : Au stade de la conception, des pans de façade avec un D_{Atr} exigé supérieur à 38 dB sont à éviter.

Cela peut être le cas dans des environnements très bruyants ou pour des espaces acoustiquement très sensibles. La création d'espaces tampons est une solution possible.

b) Exigences pour les éléments de façade

Un pan de façade est composé de plusieurs éléments de façade qui peuvent être réalisés par différents entrepreneurs. Ce n'est qu'avec une exécution précise, des détails de finition

corrects et une performance acoustique suffisante de chaque élément de façade qu'on peut satisfaire aux exigences générales, mentionnées ci-avant.

La détermination des exigences pour chaque élément de façade peut se faire selon la NBN EN 12354-3:2000. En l'absence d'exigence de performance acoustique pour chaque élément de façade dans le dossier de construction, les exigences par défaut suivantes sont d'application :

Tableau 3.9. Exigences pour les performances acoustiques d'éléments de façade (y compris leurs détails de connexion avec l'élément voisin) qui font partie d'un pan de façade

Performances acoustiques exigées pour les éléments de construction de façade (y compris leurs détails de connexion avec l'élément voisin) qui font partie d'un pan de façade	
Tous les éléments de façade excepté les grilles de ventilation	$R_{Atr} \geq D_{Atr} + 10\lg[3(S_{netto} + 5n)/V]$ [dB]
Les grilles de ventilation si elles sont présentes	$D_{neAtr} \geq R_{Atr} + 3$ [dB]
<p>n : le nombre de grilles de ventilation [-] ou la (valeur de) longueur totale [m] de toutes les grilles de ventilations du pan de façade ayant des performances acoustiques identiques $D_{neAtr} \geq R_{Atr} + 3$ dB. S'il n'y a pas d'équipement de ventilation, n=0</p> <p>D_{Atr} [dB] : la valeur exigée de l'isolation de façade pour le pan de façade suivant les exigences générales ci-avant.</p> <p>V [m³] : le volume de l'espace à protéger</p> <p>S_{netto} [m²] : la surface totale des éléments de façade du pan de façade ayant une valeur de conception $R_{Atr} < 48$ dB</p>	

3.5 Critères acoustiques pour des bâtiments non résidentiels

En ce moment (2020), la commission technique acoustique NBN TC 126 travaille sur le développement de la norme NBN S 01-400-3 : *Critères acoustiques pour des bâtiments non résidentiels*. Tant que cette nouvelle norme n'entre pas en vigueur, les anciennes exigences des normes suivantes s'appliquent :

- *NBN S 01-400:1977 : Acoustique – Critères de l'isolation acoustique ;*
- *NBN S 01-401:1987 : Acoustique – Valeurs limites des niveaux de bruit en vue d'éviter l'inconfort dans les bâtiments.*

Les exigences de performance mentionnées dans ces normes sont exprimées dans les anciennes catégories belges au lieu des catégories internationales en vigueur comme définies dans les NBN EN ISO 717-1 et 2. Vu le caractère encore très temporaire de ces anciennes normes, ses exigences de performance ne sont pas listées ici.

Il n'y a pas de relation univoque entre ces anciennes catégories belges et les unités de mesure internationales. Les tolérances sont également différentes dans les deux méthodes. La relation approximative suivant peut être utilisée, avec la prudence nécessaire :

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Tableau 3.10. Relation approximative entre les anciennes catégories belges et les nouvelles valeurs uniques européennes

Isolation aux bruits entre locaux (in situ)				Isolation aux bruits de contacts (in situ et labo)			Isolation des façades (in situ) et d'éléments de façade (labo)					Indice d'affaiblissement acoustique pondéré (labo)			
	$D_{nT,w}$	C	C_{tr}		$L_{nT,w}$	C_l		D_{Atr}	$D_{2m, nT,w}$	C	C_{tr}		R_w	C	C_{tr}
Ia	59	-1	-5	I a	53	-2	V a	38	41	-1	-3	I a	62	-1	-5
I b	54	-1	-5	I b	56	-2	V b	32	36	-1	-4	I b	57	-1	-5
II a	52	-1	-5	II a	61	-2	V c	27	31	-1	-4	II a	54	-1	-5
II b	47	-1	-5	II b	64	-2	V d	22	26	-1	-4	II b	49	-1	-5
III a	44	-1	-5	III a	71	-2						III a	45	-1	-5
III b	39	-1	-5	III b	74	-2						III b	40	-1	-5
IV a	35	-1	-5									IV a	35	-1	-5
IV b	30	-1	-5									IV b	30	-1	-5

Annexe 1 : Notions de base pour l'isolation aux bruits aériens

3.5.1 Annexe 1.1. Isolation aux bruits d'éléments de construction (l'indice d'affaiblissement acoustique r)

3.5.1.1 L'indice d'affaiblissement acoustique (pondéré) d'un élément de construction

L'indice d'affaiblissement acoustique R caractérise la résistance qu'un élément de construction exerce contre la transmission acoustique et est mesuré dans une structure de laboratoire spécifique. Plus élevée est la valeur, moins l'élément de construction laisse passer de bruit :

$$R = 10 \text{Log} \left(\frac{W_{\text{in}}}{W_{\text{door}}} \right) \quad [\text{dB}]$$

avec

W_{in} = la puissance acoustique sous incidence diffuse,

W_{door} = la puissance acoustique transmise par l'élément de construction.

Un indice d'affaiblissement acoustique de 20 dB signifie donc qu'uniquement 1/100^e du bruit incident est transmis, à 30 dB ce n'est que 1/1.000^e, à 40 dB c'est 1/10.000^e, à 50 dB ceci se limite à 1/100.000^e et pour un mur idéal séparant des maisons de 60 dB, ceci signifie qu'il n'y a que 1/1.000.000^e du bruit incident qui est transmis.

La résistance qu'un élément de construction exerce contre la transmission acoustique dépend de la hauteur tonale du bruit environnant : il existe donc un indice d'affaiblissement acoustique par bande de fréquence, ceci se fait au moins pour les 16 bandes de tierce à partir de 100 Hz (tons plus bas) à 3150 Hz (tons plus hauts). Tout comme la masse volumique d'un élément de maçonnerie n'est pas égale au poids d'un mur mitoyen maçonné avec ces éléments de maçonnerie, l'indice d'affaiblissement acoustique d'un élément de construction n'est pas égal à l'isolation aux bruits entre deux locaux (voir ci-après). Ceci est une caractéristique acoustique importante pour un élément de construction.

Parfois, il est compliqué de travailler avec un spectre de 16 indices d'affaiblissement acoustique pour les bandes de fréquence de 100 Hz à 3150 Hz. L'indice d'affaiblissement acoustique représente une valeur unique : la norme européenne EN ISO 717 prévoit une méthode qui permet de caractériser l'élément de construction de manière plus concise via un *indice d'affaiblissement acoustique pondéré* $R_w(C;C_{tr})$ [dB], une valeur dite unique avec ses deux termes de correction. Le système permet de classer les performances isolantes d'éléments de construction en fonction de la nature de la charge acoustique, de la moins efficace à la meilleure, en déterminant :

- la somme R_w+C pour chaque élément de construction quand il s'agit d'une charge acoustique sans sons dominants à fréquence basse (des bruits ambiants dominés par du trafic à grande vitesse, de la musique classique, du bruit dans les bureaux...);
- la somme R_w+C_{tr} pour chaque élément de construction quand il s'agit bien d'une charge acoustique dominante à basse fréquence (par exemple des bruits ambiants dominés par la circulation ralentie et/ou le trafic aérien, des bruits provenant d'une discothèque, de la musique moderne à partir de 1980

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

(« house », « dance », « techno »,...), le son de systèmes home cinéma, des bruits des installations de pompe..).

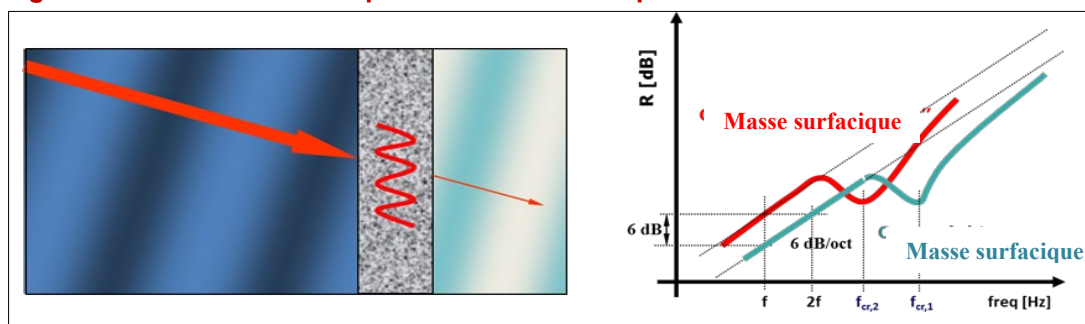
Ce classement peut fortement varier en fonction du type de bruit ! Pour une seule valeur R_w , la valeur R_w+C_{tr} pour des doubles cloisons légères sera bien moins élevée que pour des cloisons massives et lourdes.

Note : La valeur R_w donne une impression globale vis-à-vis d'une charge acoustique qui donne autant d'énergie dans toutes les bandes de tierce. La valeur R_w+C fait quasiment la même chose mais adaptée à l'oreille humaine (avec une plus petite correction pour les basses fréquences). La valeur R_w+C_{tr} donne une impression d'isolation pour l'oreille humaine, mais avec comme source de bruit, une source typique à basse fréquence, comme le spectre de la circulation.

3.5.1.2 L'indice d'affaiblissement acoustique de cloisons simples

L'isolation acoustique des cloisons simples est le résultat de la mesure dans laquelle la cloison se met à trembler et de l'efficacité avec laquelle la cloison tremblante retransforme ce tremblement en un son rayonné du côté émetteur. Pour une même cloison, cela demande plus d'efforts pour faire trembler la cloison de plus en plus vite (hautes fréquences), ce qui entraîne une augmentation de l'isolation acoustique avec la fréquence (courbe verte). En théorie, l'augmentation dans ce domaine de fréquence s'élève à 6 dB par doublage de la fréquence (loi de masse).

Figure 3.1. Isolation acoustique d'une cloison simple



Toutefois, dans un domaine de fréquence autour de la fréquence limite (ou la fréquence critique), la transformation du tremblement en un son rayonné se fait excessivement bien. Cela donne lieu à une faiblesse locale dans l'isolation du bruit, appelée le creux de coïncidence. Son emplacement est audible quand on frappe sur le matériau. Plus le matériau est souple, plus haute est la fréquence dans laquelle le creux de coïncidence se produit. Dans le cas de plaques en béton massives, il se produit dans la zone de très basse fréquence ; dans le cas de plaques de plâtre souples, il se produit dans la zone de haute fréquence.

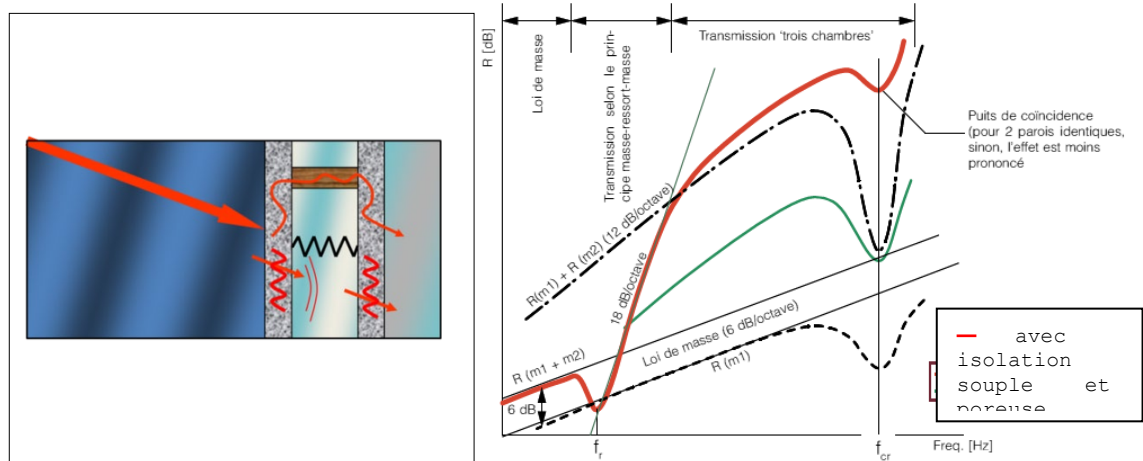
Quand ce même mur est dédoublé, la masse surfacique augmente et pour une même fréquence, l'isolation acoustique monte de 6 dB dans le domaine avant le creux de coïncidence (loi de masse). Par contre, s'il y a une plus grande rigidité, le creux de coïncidence descend dans les fréquences plus basses.

3.5.1.3 L'indice d'affaiblissement de doubles cloisons

Avec des doubles murs, des isolations acoustiques plus élevées que celles de murs simples du même poids, peuvent être atteintes. Pour que ce soit le cas, quelques conditions doivent être remplies. Dans ce cas, on parle d'une « double cloison acoustique », dans laquelle les

différentes transmissions à travers la double cloison sont limitées le plus possible. La transmission du bruit total à travers une double cloison est la somme de trois transmissions séparées via trois voies de transmission :

Figure 3.2. Isolation acoustique d'un double mur



(1) La **transmission « trois chambres »** : le bruit incident met en vibration la paroi côté émission, se diffuse dans la cavité (2^e chambre), fait ensuite vibrer la paroi côté réception, qui rayonne alors du bruit dans le local de réception (3^e chambre). L'isolation acoustique contre la transmission « trois chambres » est quasi égale à la somme des isolations acoustiques des deux parois, corrigée par une éventuelle amplification ou un affaiblissement dans la coulisse. Cette transmission n'est possible que pour les ondes de bruit pour lesquelles la longueur d'onde est suffisamment courte (fréquences moyennes à élevées) pour que la coulisse fasse fonction de chambre.

(2) La **transmission structurelle** : elle est comparable à un court-circuit. Via un contact rigide, les vibrations se transmettent directement à la deuxième paroi et ne perdent qu'un degré limité d'énergie. Les contacts rigides doivent donc être évités si on veut obtenir une bonne isolation acoustique.

(3) La **transmission selon le principe masse ressort masse** : même en l'absence d'un contact rigide, les deux parois sont reliées par une lame d'air piégée dans la cavité qui agit comme un ressort entre les deux parois. La caractéristique résiliente de l'air piégé donne lieu à un phénomène de résonance qui amplifie et transmet la vibration autour de la fréquence de résonance du système. L'isolation acoustique y devient très faible.

La transmission totale est la somme de toutes les transmissions, pour laquelle il faut appliquer les règles d'addition de niveaux de pression acoustique. Dès qu'une des trois transmissions est plus importante que les autres, l'efficacité des mesures pour améliorer l'indice d'affaiblissement acoustique en limitant les autres transmissions, diminue. Par contre, l'impact des mesures reste encore perceptible jusqu'à ce que la voie de transmission dominante soit 10 dB supérieure à la transmission qu'on voulait diminuer.

De ces points résultent quelques règles simples pour optimiser le plus possible l'isolation acoustique d'une double cloison :

- 1) *Évitez ou limitez les contacts entre les deux parois (transmission structurelle). L'impact sur l'isolation acoustique des contacts devient de plus en plus négative au fur et à*

mesure que les parois deviennent plus rigides (important pour les parois en pierre, parfois moins grave pour les matériaux souples comme les plaques de plâtre) ; pour les parois plus souples, le degré de contact joue un rôle : la surface du contact et la nature du contact (un contact réduit à un point est moins grave qu'un contact de ligne, un profil métallique léger est moins grave qu'un montant en bois...).

- 2) Prévoyez une coulisse suffisamment large en fonction de la masse surfacique des deux parois. Cela peut diminuer la fréquence de résonance. Globalement, ceci donne lieu à une augmentation de l'isolation acoustique dans tout le domaine de fréquence. La situation idéale est de diminuer la fréquence de résonance 1,5 x à 2 x en dessous de la première fréquence pour laquelle on souhaite avoir une bonne isolation acoustique.*
- 3) Réalisez des parois les plus lourdes possibles. Cela est avantageux pour la transmission selon le principe masse-ressort-masse (fréquence de résonance plus basse) et pour la transmission « trois chambres » (puisque la loi de masse est d'application pour les deux parois). Pour les parois d'un matériau léger en plaques, ceci signifie donc qu'il vaut mieux avoir le plus de plaques possible par paroi.*
- 4) Prévoyez un matériau d'absorption acoustique dans la coulisse, puisque dans une coulisse vide, le bruit s'intensifie (caisse de résonance), ce qui amplifie la transmission « trois chambres » et diminue donc l'isolation acoustique. En pratique, ce matériau peut être de la laine minérale, des fibres de cellulose, des mousses souples à cellules ouvertes... On utilise couramment de la laine minérale. Dans ce cas, on peut supposer que la densité ne joue aucun rôle. C'est lors de l'ajout du premier cm de remplissage de la coulisse qu'on gagne le plus. Un remplissage de coulisse complet continue toutefois à mener à une amélioration acoustique qui est plus intéressante à réaliser du point de vue économique que via d'autres moyens.*
- 5) Si les deux parois sont composées du même matériau et si le creux de coïncidence se trouve dans une zone de fréquence basse ou moyenne : prévoyez une épaisseur différente pour les deux parois. Lors d'une épaisseur égale, les creux de coïncidence des deux parois tombent ensemble et la transmission « trois chambres » y est amplifiée. Par contre, une épaisseur différente mène à une rigidité différente et donc aussi une position différente du creux de coïncidence dans le spectre d'isolation. Ainsi, un effet compensatoire se crée. Le creux du matériau le plus rigide est tempéré par la performance (encore bonne) de la deuxième paroi, et inversement. Lors de constructions avec des plaques de plâtre d'une épaisseur maximale de 12.5 mm (fréquence limite supérieure à 2500 Hz), ceci ne s'applique pas : la possible plus-value pour l'isolation ne vaut pas les problèmes organisationnels sur le chantier relatif au travail avec des épaisseurs différentes.*
- 6) Réalisez des constructions acoustiquement étanches !*

3.5.2 Annexe 1.2. Isolation acoustique entre deux locaux (isolation aux bruits aeriens standardisee D_{nT})

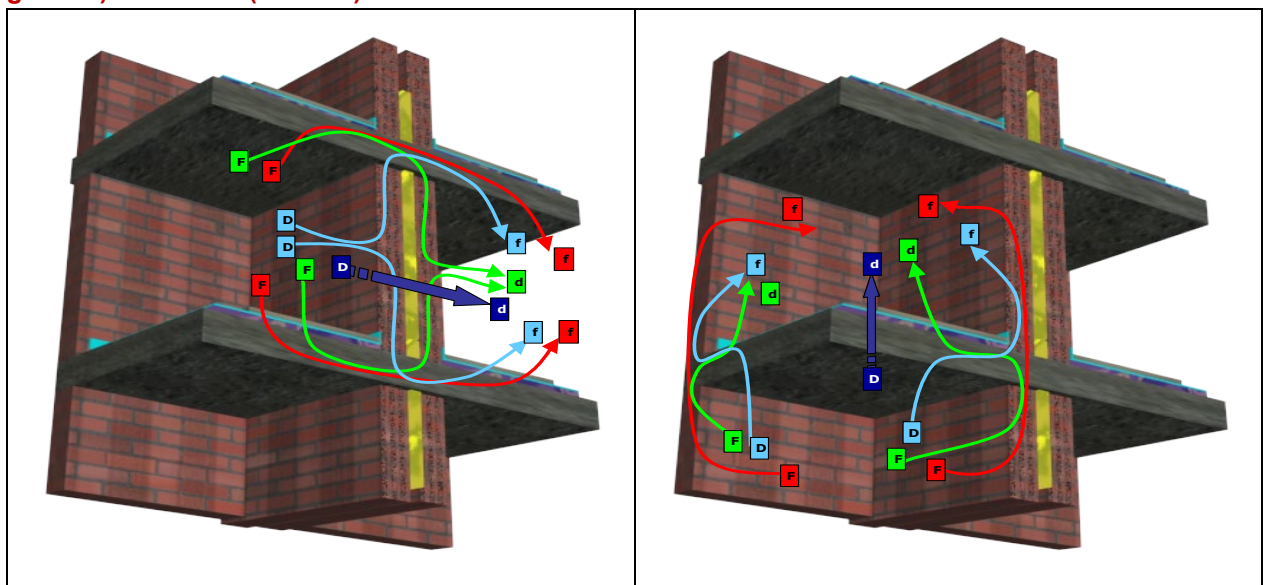
La transmission totale du bruit entre deux locaux est déterminée par la *transmission directe du bruit et la transmission latérale du bruit*. La transmission directe du bruit a lieu à travers le mur ou plancher mitoyen. La transmission latérale connaît un grand nombre de voies de transmission : entre deux locaux rectangulaires, il y a typiquement 12 voies de transmission (c'est-à-dire 3 voies par nœud de construction, 4 nœuds de construction, voir figure 3.3).

Pour faciliter la compréhension, nous avons désigné les parois émettrices au moyen de lettres capitales et les parois réceptrices au moyen de minuscules (selon les normes de la série EN 12354). Les murs mitoyens (et les planchers séparatifs pour la transmission verticale ; voir ci-dessous) sont représentés par les lettres « D » et « d » (en fonction du local d'émission ou de réception), les parois latérales par les lettres « F » et « f ». Outre la transmission directe à travers le mur mitoyen ou le plancher « Dd » évoquée ci-avant, on distingue à chaque nœud (c'est-à-dire à chaque point d'intersection d'un mur de refend avec le mur mitoyen) trois voies de transmission latérale :

- la voie « Ff », qui transfère le bruit depuis la paroi latérale « F » du local d'émission vers la paroi latérale « f » du local de réception; cette transmission résulte de la mise en vibration de la paroi du local d'émission, qui communique à son tour les vibrations à la paroi du local de réception dans lequel le bruit est diffusé ;
- de même, la voie « Fd » transmet le bruit depuis la paroi latérale « F » du local d'émission vers le mur mitoyen « d » du local de réception ;
- enfin, la voie « Df » diffuse le bruit depuis le mur mitoyen « D » du local d'émission vers la paroi « f » du côté réception.

Un local délimité par quatre parois se prolongeant dans le local voisin présente donc 4 x 3 voies de transmission latérales du bruit aérien et une voie de transmission directe (Dd).

Figure 3.3. Voies de transmission latérale du bruit entre deux locaux en sens horizontal (à gauche) et vertical (à droite).



A chaque nœud, trois voies de transmission latérale peuvent être distinguées : Ff, Fd et Df. Dans la NBN EN 12354-1:2000, les parois émettrices sont désignées au moyen de lettres capitales. F et f représentent les parois latérales, D et d représentent le mur mitoyen direct du côté émetteur et du côté récepteur.

L'isolement des bruits transmis par l'une ou l'autre voie latérale ('Ff', par exemple) augmente avec la masse surfacique de la paroi émettrice (paroi transversale F) et de la paroi réceptrice (paroi f) ainsi qu'avec l'atténuation K_{Ff} produite par la jonction avec la dalle dans la voie de transmission considérée. Pour de plus amples détails au sujet de l'atténuation K_{Ff} par les jonctions, le lecteur se référera à l'article Isolation acoustique entre locaux : notions préliminaires, paru dans CSTC-Magazine 1/2001.

Cet isolement acoustique latéral peut, en cas de locaux latéraux, être amélioré en plaçant une cloison de doublage sur la paroi émettrice, ainsi que sur la paroi réceptrice. Mais les performances seront encore meilleures si l'on réalise une véritable coupure entre les deux parois, comme c'est le cas dans un mur creux sans ancrages (concepts de gros œuvre 1 et 2 dans l'annexe 2). Cette solution permettra d'entraver toute possibilité de transmission latérale du bruit aérien entre maisons mitoyennes ou entre appartements voisins. En cas de locaux superposés, ceci peut se faire de la même manière en installant un faux plafond (moins fréquent) et surtout en installant un plancher flottant correctement placé.

L'isolation acoustique entre deux locaux peut être calculée au moyen de la méthode de calcul de la NBN EN 12354:2000.

L'isolation acoustique entre deux locaux dépend de l'indice d'affaiblissement acoustique R [dB] et de la surface S [m²] du mur ou sol mitoyen, du volume du local de réception V [m³] et la part de la transmission latérale du bruit :

$$D_{nT} = R - (\text{diminution par la transmission latérale du bruit}) + 10 \log[V/(3S)]$$

De cette expression suit que l'isolation acoustique standardisée D_{nT} est toujours plus grande dans le sens d'un petit local vers un grand qu'inversement. C'est pour cette raison que dans la série de normes NBN S01-400, un sens est donné selon lequel les critères s'appliquent.

Le terme $10 \log[V/(3S)]$ devient négatif quand V/S descend en dessous de 3 m. Généralement, ceci est le cas en sens vertical, quand V/S représente la hauteur moyenne du local, qui est généralement inférieure à 3 m. En sens horizontal, V/S représente la profondeur moyenne vis-à-vis du mur mitoyen. Celle-ci est généralement supérieure à 3 m, ce qui signifie que ce terme a souvent un impact positif sur l'isolation acoustique standardisée. Rien que pour cette raison, il sera souvent plus facile d'isoler en sens horizontal que vertical.

3.6 Annexe 2: Concepts de construction pour répondre à la NBN S 01-400-1:2008

3.6.1 Annexe 2.1. Introduction

Afin de satisfaire à la fois aux critères de confort acoustique normaux ou supérieurs et à la réglementation sur la performance énergétique, il faut tenir compte du concept de construction total. A ce sujet, nous faisons référence aux codes de bonne pratique sur 'Les concepts de gros œuvre pour répondre à la NBN S01-400-1 :2008.

Dans la suite de ce texte, des explications supplémentaires seront données sur les aspects suivants :

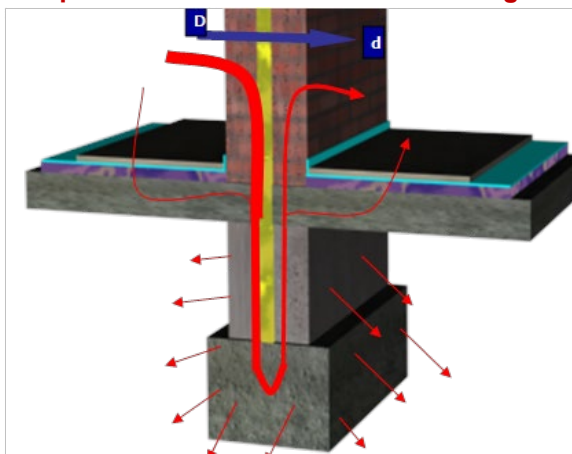
- Annexe 2.2. Les directives particulières applicables aux fondations
- Annexe 2.3. La transmission des bruits aériens entre maisons mitoyennes et appartements juxtaposés
- Annexe 2.4. La transmission des bruits aériens entre appartements superposés
- Annexe 2.5. Les directives particulières pour la réalisation de la jonction avec la toiture
- Annexe 2.6. Les directives particulières applicables aux murs intérieurs non porteurs
- Annexe 2.7. Les directives particulières pour la mise en œuvre des bandes acoustiques et contraintes techniques
- Annexe 2.8. Les directives particulières pour la réalisation de la jonction avec les façades
- Annexe 2.9. Les directives particulières applicables aux murs d'attente et aux murs creux sans ancrages
- Annexe 2.10. Les directives particulières applicables aux cages d'escaliers et d'ascenseurs

3.6.2 Annexe 2.2. Directives particulières applicables aux fondations

70

Pour optimiser l'isolement acoustique d'un système à double paroi, il convient, en théorie, de réduire au minimum le nombre de points de contact structurels entre les parois rigides (murs en maçonnerie, par exemple). Pour des raisons constructives, certaines jonctions sont cependant inévitables au niveau des fondations.

Figure 3.4. Transmission structurelle du bruit par les fondations dans une structure comportant des murs creux sans ancrages.



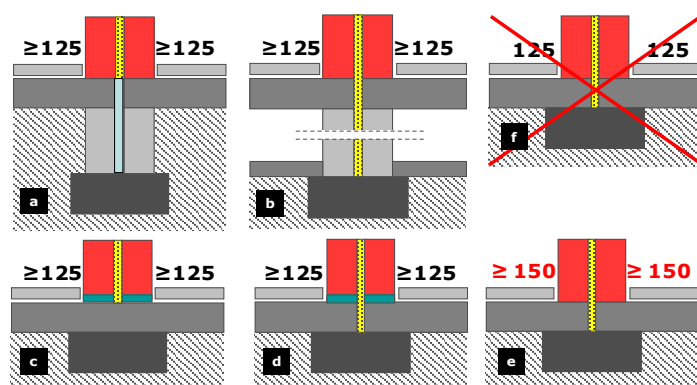
Une conception judicieuse et une mise en œuvre soignée permettront d'atténuer fortement ces voies de transmission structurelles (flèches rouges à la figure 3.4.) et d'atteindre malgré tout d'excellentes valeurs d'isolement.

En présence d'une cave, d'un vide sanitaire ou d'une semelle de fondation profonde, les dalles de fondation prennent appui sur les parois du mur creux, ce qui permet d'amortir sensiblement les vibrations à la jonction avec les murs émetteurs et récepteurs. Cette configuration est représentée à la figure 3.4. par une flèche rouge amincie à chaque nœud avec la dalle. Dans le cas de fondations profondes, une grande part de l'énergie vibratoire est en outre déviée dans le sol jouxtant les murs et le radier. La masse surfacique différente des fondations et des murs permet, elle aussi, d'atténuer les vibrations. De même, la mise en œuvre de murs massifs peut encore offrir un gain supplémentaire et diminuer davantage la transmission directe des bruits. Enfin, il est possible de réduire la transmission structurelle des vibrations en créant une coupure au moyen d'une bande acoustique (lors de la mise en œuvre de murs semi-légers, par exemple).

Si, pour diverses raisons, la situation illustrée à la figure 3.4. n'est pas toujours envisageable, des recherches ont démontré que des solutions similaires permettent de répondre aux exigences de confort acoustique supérieur dans les immeubles à appartements (figure 3.5.). Quelques principes conduisant à des performances encore accrues ($D_{nT,w} \geq 62$ dB) sont énoncés dans les schémas de la figure 3.6.

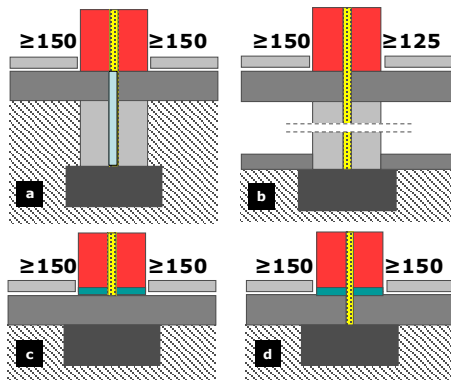
Figure 3.5. Détails de fondations conduisant à l'obtention d'un niveau d'isolement $D_{nT,w} \geq 58$ dB

(c'est-à-dire le confort acoustique supérieur pour les appartements et le confort normal pour les maisons mitoyennes). Les murs mitoyens ont une masse surfacique minimum de 125 kg/m^2 et dépassent même les 150 kg/m^2 dans le cas de la solution E.



- fondation profonde de type traditionnel
- fondation profonde avec cave ou vide sanitaire
- solution avec dalle continue (ou de fondation générale) sur laquelle les murs doivent être placés avec des bandes acoustiques (ligne verte)
- analogue à c mais avec une dalle discontinue, ce qui permet de gagner encore quelques dB d'isolation acoustique. L'interruption entre les deux dalles peut être remplie avec une plaque d'isolation thermique rigide (PU, EPS, ...) comme alternative pour la laine minérale.
- cette solution sans bande acoustique demande une dalle discontinue et des parois avec une masse surfacique $>150 \text{ kg/m}^2$. L'interruption entre les deux dalles peut être remplie avec une plaque d'isolation thermique rigide (PU, EPS ...) comme alternative pour la laine minérale.
- cette solution ne répond PAS au confort acoustique supérieur, à cause de parois trop légères

Figure 3.6. : Détails de fondations conduisant à l'obtention d'un niveau d'isolement $D_{nT,w} \geq 62$ dB



- fondation profonde de type traditionnel
- fondation profonde avec cave ou vide sanitaire
- solution avec dalle continue (ou de fondation générale) sur laquelle les murs doivent être placés avec des bandes acoustiques (ligne verte)
- analogue à c mais avec une dalle discontinue, ce qui permet de gagner encore quelques dB d'isolation acoustique. L'interruption entre les deux dalles peut être remplie avec une plaque d'isolation thermique rigide (PU, EPS ...) comme alternative pour la laine minérale.

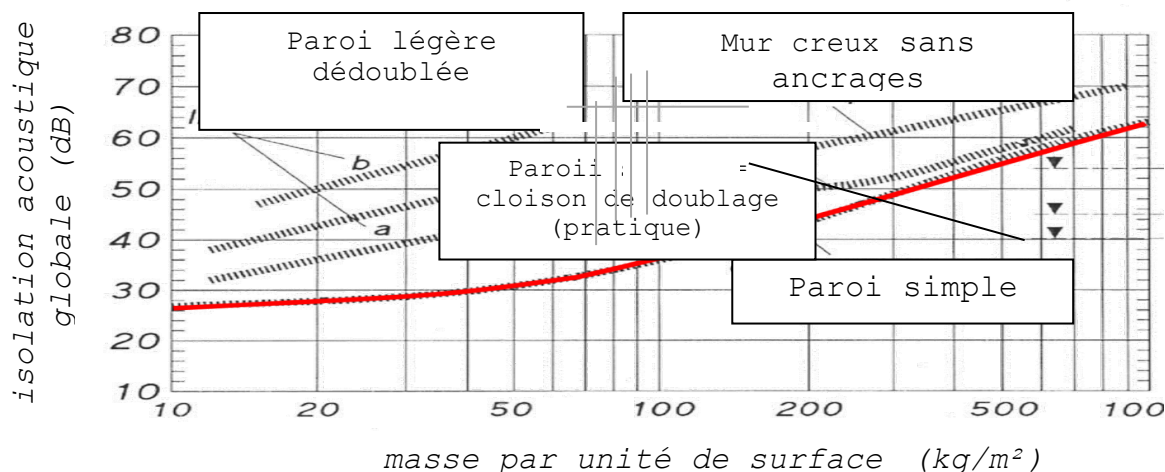
Ce détail correspond au confort acoustique supérieur dans les maisons mitoyennes et dépasse de 4 dB celui des appartements. Les solutions sont analogues à celles représentées à la figure 3.5, mais requièrent des murs mitoyens dont les parois présentent une masse surfacique d'au moins 150 kg/m^2 .

3.6.3 Annexe 2.3. Impact des divers concepts de gros oeuvre sur la transmission horizontale des bruits aériens

3.6.3.1 Transmission directe du bruit

Dans la figure 3.7. ci-dessous, la ligne rouge donne une idée de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi en fonction de sa masse surfacique [kg/m^2]. Ces valeurs ne sont valables que si les surfaces sont complètement fermées. Ceci signifie que les éléments de maçonnerie poreux, ou la maçonnerie avec des joints verticaux ouverts, ne peuvent y satisfaire que s'ils sont finis avec un enduit. En plus, les passages des canalisations doivent être évités. Si les murs doivent quand même être percés, ces passages doivent être bien fermés.)

Figure 3.7. Calcul théorique de l'indice d'affaiblissement acoustique des parois



Source : "Bouwakoestiek", prof dr. Ir. G. Vermeir, Acco, Leuven

La figure 3.7. illustre également qu'avec une paroi dédoublée, on peut obtenir un indice d'affaiblissement acoustique bien supérieur à celui d'une paroi simple du même poids. Pour la maçonnerie, ces avantages possibles dépendent fortement d'un nombre de conditions :

- (1) S'il existe des connexions rigides entre les deux parois (par exemple, lorsqu'elles sont fixées l'une à l'autre au moyen de crochets ou de tirants classiques, qu'elles sont mises en contact par des déchets ou des balèvres de mortier ou encore qu'elles sont reliées par des dalles de sol continues), le mur double se comporte d'un point de vue acoustique comme une paroi simple. L'isolation acoustique est alors déterminée en grande partie par la masse surfacique totale des deux parois : plus celle-ci est élevée, meilleur sera l'isolement aux bruits aériens directs.
- (2) Lorsque les deux parois sont totalement indépendantes l'une de l'autre, le mur creux se comporte comme une structure à double paroi très efficace sur le plan acoustique. L'isolement aux bruits aériens directs est sensiblement plus élevé que dans la configuration précédente. Lorsqu'en plus les dalles sont interrompues (discontinues) au niveau du vide des murs creux et que tous les autres connecteurs rigides sont évités (pas de parois intérieure continue, ...), il ne subsiste que le raccord au niveau des fondations. L'incidence de ce raccord peut toutefois être atténuée en appliquant les directives spécifiques de construction concernant la fondation et la dalle inférieure.

Lorsque les dalles ne sont pas interrompues, le mur dédoublé peut également bénéficier d'un certain effet de double paroi, en dépit du fait que les dalles se prolongent d'un logement à l'autre. La pose de bandes acoustiques au niveau de la jonction du double mur avec les dalles continues, sépare ces parois suffisamment des dalles, afin de maintenir en grande partie « l'effet double paroi ». Il convient toutefois de respecter un certain nombre de conditions :

- on limitera autant que possible les déchets et balèvres de mortier qui risquent de former des connexions rigides entre la dalle et le mur ;
- la bande périphérique qui assure la désolidarisation entre la chape flottante et le mur devra être mise en place avant la couche de nivellement, afin d'éviter que cette dernière ne crée un contact rigide (voir figure 3.9. exemple 1) ;
- dans l'angle entre le mur porteur et le plafond, il y a lieu d'interrompre l'enduit jusqu'à la bande acoustique, le raccord pouvant être réalisé ultérieurement au moyen d'un produit élastique -à élasticité permanente- (voir figure 3.9. exemple 2).

3.6.3.2 Transmission latérale du bruit dans un sens horizontal

Lorsque les murs creux sont sans ancrage et que les dalles sont discontinues, on parvient à éliminer toutes transmissions latérales du bruit aérien entre appartements juxtaposés. Cette performance exige néanmoins une mise en œuvre très minutieuse (voir figure 3.8.).

Lorsque seules les dalles s'étendent d'un appartement à l'autre, les murs mitoyens étant tous interrompus par une cavité intercalaire. La transmission latérale à travers la dalle est fortement atténuée par la présence, dans chaque appartement, d'une chape flottante qui remplit la même fonction qu'une cloison de doublage. Le choix de matériaux suffisamment massifs pour la dalle et le mur creux permet d'atténuer les voies de transmission latérale F_f , D_f et F_d à tel point qu'on peut prétendre au confort acoustique normal applicable aux appartements. Ce type de gros œuvre ne sera cependant pas suffisant dans une maison mitoyenne, où les exigences acoustiques sont supérieures de 4 dB.

Lorsque des bandes acoustiques disposées entre le mur porteur et la dalle (tant au-dessus qu'en-dessous) font obstacle à la plupart des bruits aériens transmis latéralement dans la maison ou l'appartement d'à côté. Divers détails de jonction doivent cependant être réalisés avec soin (voir figure 3.9.).

Figure 3.8. Détails d'exécutions de murs creux sans ancrage



Exemple 1 : D'excellentes valeurs d'isolement peuvent être atteintes ($R_w > 65$ dB) avec un mur creux massif en blocs silico-calcaires (masse surfacique > 250 kg/m²) dont les parois sont exemptes de tout contact rigide. (Photo CSTC)



Exemple 2 : On se gardera de créer des ponts acoustiques au niveau des appuis de hourdis, en particulier lors de la mise en œuvre de la couche de compression. Ces ponts acoustiques peuvent être évités grâce à des profils de rive que l'on insère dans la coulisse du mur et qui servent de coffrages pour la couche de compression. On veillera également à ne pas laisser du coulis de béton s'introduire dans la coulisse du mur creux (par exemple, par des interstices entre la laine minérale et les profils de rive). Pour ce faire, on obturera soigneusement l'espace entre profilés contigus. (Photo CSTC)

75

Figure 3.9.. Détails d'exécutions dans le cas de murs semi-léger



Exemple 1 : La mise en place d'une bande acoustique (bande noire sur la photo) sous le mur semi-léger améliore sensiblement l'isolement acoustique entre appartements superposés. Pour ne pas créer de contacts rigides entre les murs en blocs treillis et la structure sous-jacente, on prolonge jusqu'à la dalle le dispositif périphérique d'isolation contre les bruits de choc (mousse en polyéthylène grisâtre sur la photo) avant de recouvrir les conduites d'une couche de remplissage. (Photo CSTC)



Exemple 2 : On peut contrer le transfert des vibrations au droit du raccord entre la dalle et le mur en sectionnant l'enduit jusqu'à la bande acoustique à l'aide d'un cutter. Au besoin, l'entaille sera comblée au moyen d'un mastic élastique ou d'une baguette d'angle. (Photo CSTC)

3.6.4 Annexe 2.4. Impact des divers concepts de gros oeuvre sur la transmission verticale du bruit aérien

La figure 3.3. de l'annexe 1 schématise les différentes possibilités de transmission du bruit aérien entre appartements superposés.

3.6.4.1 Transmission directe du bruit aérien dans le sens vertical

En Belgique, la chape flottante est de rigueur dans les immeubles à appartements. Si le gros oeuvre est conçu selon les concepts 1 à 5, la voie de transmission directe du bruit traverse donc une double paroi qui comprend la dalle porteuse (et sa couche de remplissage) ainsi que la chape flottante, désolidarisées l'une de l'autre par une sous-couche acoustique.

On peut optimiser l'isolement aux bruits aériens directs en optant pour une dalle porteuse plus massive et des sous-couches aux propriétés acoustiques améliorées. Le caractère acoustique d'une sous-couche s'exprime par la grandeur ΔL_w (la réduction du niveau de bruit de choc pondéré). Plus cette valeur est élevée, meilleure est la performance acoustique.

3.6.4.2 Transmission latérale du bruit aérien dans le sens vertical

Comme dans le cas des appartements juxtaposés, on distingue à chaque nœud (c'est-à-dire à chaque point d'intersection de la dalle avec le mur en butée) trois voies de transmission latérale (voir figure 3.3. : Df, Fd et Ff).

La transmission par la voie Df entre l'appartement du haut et celui du bas est infime puisque la chape flottante a le même effet qu'une cloison de doublage. Cette exécution confère non seulement une bonne isolation aux bruits de choc, mais joue également un rôle essentiel dans l'isolement aux bruits aériens.

La transmission par les voies Df et Fd est déterminée, quant à elle, par la masse surfacique des parois du mur creux et du plafond : plus celles-ci sont massives ($> 650 \text{ kg/m}^2$), plus l'isolation acoustique est performante. L'atténuation du bruit à la jonction du nœud n'est pas sans importance dans cette transmission. Pour que l'atténuation due à la jonction sur la voie Ff soit efficace, il est nécessaire que les dalles prennent appui sur les murs porteurs. A défaut de quoi on favorisera une transmission latérale Ff du bruit aérien et les exigences acoustiques risquent de ne pas être satisfaites.

Compte tenu de ce qui précède, on peut affirmer que les structures constituées de murs creux massifs et de dalles massives se révèlent très performantes d'un point de vue acoustique.

3.6.5 Annexe 2.5. Directives particulières pour la réalisation de la jonction avec la toiture

La jonction du mur creux sans ancrages et de la toiture est une opération acoustiquement délicate, car on risque de créer des connexions rigides entre les parois du double mur et de favoriser la transmission latérale du bruit (toitures plates en béton, par exemple). Les toitures légères plates ou à versants peuvent en outre être le siège d'une transmission latérale de bruits en raison des mesures adoptées pour éviter les ponts thermiques.

3.6.5.1 Toitures à versants traditionnelles ou à fermettes préfabriquées

Pour respecter le principe de la double barrière acoustique, il y a lieu de restreindre autant que possible le nombre de connexions au droit de la jonction avec la toiture.

Autrement dit, on s'abstiendra de relier des éléments de construction continus et rigides d'un mur à l'autre de la double paroi.

Lorsque pour prévenir l'apparition de ponts thermiques, on interrompt les parois des murs creux en dessous de la sous-toiture (couvertures en tuiles, en ardoises, etc.), l'isolement acoustique à la jonction entre les murs et la sous-toiture est réduit. En effet, le bruit aérien indirect est susceptible de pénétrer, du côté de l'émission, dans les finitions intérieures (plaques de plâtre, etc.), de traverser le matériau d'isolation thermique (quasiment inefficace dans les basses fréquences) pour rayonner via les finitions intérieures dans le local de réception (voir figure 3.12.).

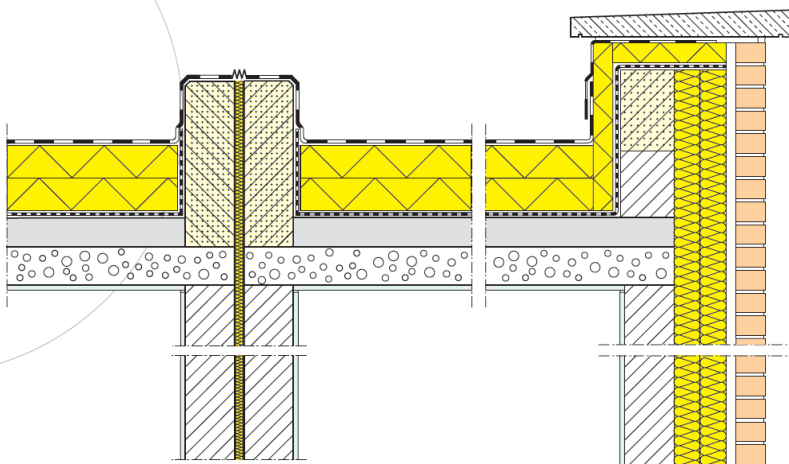
Pour plus d'information : voir cod.e de bonne pratique sur l'isolation acoustique des bâtiments.

3.6.5.2 Toitures plates sur structure en béton

Le principe de la déconnexion des parois du mur creux est également d'application dans le cas des structures de toiture en béton : la coulisse dépourvue d'ancrages s'étend d'une seule traite jusqu'à la couche d'isolation thermique. Le prolongement éventuel du béton de pente au-dessus de la coulisse entraîne cependant une sérieuse diminution de l'isolement acoustique et ne permet pas d'atteindre le confort acoustique supérieur. Cette mauvaise performance résulte de la liaison rigide que crée le béton entre les deux parois du mur creux. Cette connexion neutralise en grande partie l'effet de double paroi acoustique et génère en outre une forte transmission latérale du bruit, tant dans la dalle de toiture – dont la masse surfacique est le plus souvent très inférieure à celle des dalles de sol courantes (500 kg/m²) – qu'au droit du nœud formé par la jonction du mur avec le support de toiture.

Comme le montre la figure 3.10., le meilleur moyen de résoudre le problème consiste à fractionner la surface du toit en deux zones d'évacuation des eaux, que l'on sépare au niveau de la coulisse du mur creux, assurant ainsi une parfaite déconnexion des deux parois.

Figure 3.10. L'exécution correcte sur le plan acoustique d'une toiture en béton



Une toiture en béton adéquate sur le plan acoustique requiert un béton de pente discontinu. Une meilleure alternative est l'interruption de la toiture à hauteur du mur mitoyen et de l'équiper d'un acrotère comme montré sur la figure à gauche.

3.6.6 Annexe 2.6. Directives particulières applicables aux murs intérieurs non porteurs

Au sens du présent article, les murs intérieurs non porteurs désignent les murs qui divisent les espaces au sein d'un appartement. Dans quelques rares cas, il est possible de réaliser ces parois comme des murs massifs ($> 250 \text{ kg/m}^2$), ce qui dispense de prendre des mesures particulières pour assurer l'isolation acoustique.

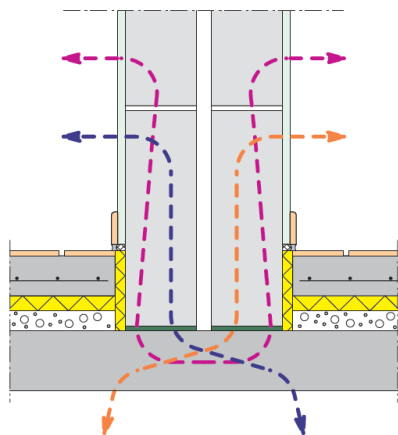
Toutefois, en règle générale, un mur non porteur se compose d'une maçonnerie semi-légère, qui exige d'être dissociée du sol et du plafond au moyen d'un matériau acoustique. La jonction de ces structures non porteuses semi-légères avec le plafond ne pose pratiquement aucun problème, puisque cette zone est pourvue, lors du montage, d'une bande de mousse qui assure à la fois la stabilité et la coupure acoustique.

Par contre, si on néglige de réaliser la déconnexion au droit du raccord avec le sol, ceci peut entraîner une importante transmission latérale dans le sens vertical (p.ex. entre le plafond de l'appartement du bas et la paroi non porteuse qui y repose, et inversement). Si l'on souhaite atteindre le confort supérieur, il conviendra de désolidariser ces parois semi-légères du sol au moyen d'une bande acoustique (voir également STS 22 Partie 4 « Exécution » Murs non porteurs sur planchers) Une alternative acoustique éventuelle consiste à utiliser de dalles très lourdes avec une masse surfacique de plus de 600 kg/m^2 .

Quant aux doubles cloisons non porteuses, une liaison phonique peut apparaître, via le sol, entre les deux parois et réduire sensiblement l'isolation horizontale directe aux bruits aériens. Si l'on souhaite atteindre le confort supérieur, ici aussi il conviendra de désolidariser ces parois semi-légères du sol au moyen de la bande acoustique mentionnée ci-dessus. Par contre, la dalle plus lourde n'offre pas de solution en sens horizontal !

Les bandes acoustiques spécialement mises au point à cet effet pour les parois non porteuses en blocs de plâtre (figure 3.11.) et en maçonnerie devraient en principe pouvoir être utilisées sous les parois non porteuses en blocs de béton avec des granulats normaux – groupe 2/3 ou en blocs de béton avec des granulats légers. Si la maçonnerie de terre cuite est utilisée à la fois pour les murs porteurs et les murs non porteurs des appartements, il est recommandé d'insérer des bandes acoustiques entre chaque mur et le sol de façon à créer une coupure antivibratile horizontale au-dessus des planchers dans l'ensemble du bâtiment.

Figure 3.11. Coupure élastique entre la maçonnerie et la dalle



Les éléments de maçonnerie sont dissociés du plancher au moyen d'une bande acoustique adéquate. En l'absence d'une telle bande, une importante transmission latérale (flèches en pointillé) peut apparaître depuis le plafond jusqu'à la paroi maçonnée et inversement. De plus, le complexe ne fera plus fonction de double cloison acoustique, entraînant une chute sévère de l'isolement acoustique direct.

3.6.7 Annexe 2.7. Directives particulières pour la mise en oeuvre de bandes acoustiques et points d'attention techniques

L'amélioration acoustique apportée par la pose des bandes acoustiques dans les murs est indéniable, mais il faut tenir compte de certaines limitations et points d'attention qui peuvent compromettre leur efficacité. Ainsi, on prendra particulièrement garde aux points suivants.

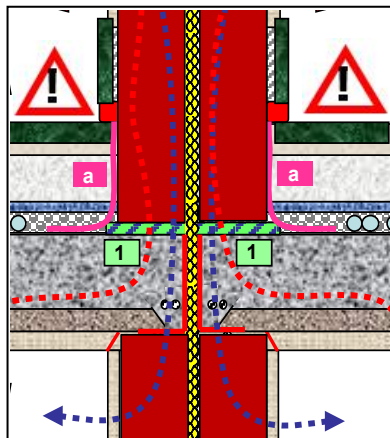
- En fonction de la charge, l'application de bandes acoustiques dans les murs doit être limitée pour des raisons d'acoustique. Pour des bâtiments plus élevés ou avec une plus grande charge, on doit recourir à des produits plus spécifiques (et plus onéreux). Chaque type de bande acoustique possède en effet une efficacité acoustique optimale dans des conditions de sollicitations bien définies. Lorsque les sollicitations dépassent une certaine valeur, le produit perd ses qualités élastiques. Cette charge critique n'a aucun rapport avec la résistance à la compression maximale qui doit être prise en compte pour le calcul de stabilité et doit dès lors être contrôlée séparément.
- La présence de grandes baies vitrées dans les façades nécessite souvent le recours aux colonnes et aux poutres en béton, qui empêchent évidemment la pose des sous-couches acoustiques. Cette pratique n'engendre toutefois pas de problème acoustique, puisque la transmission latérale du bruit dans ces parois est négligeable (sauf si les panneaux de verre se prolongent dans les locaux adjacents). Le tassement des parois voisines sans ouvertures sur les bandes acoustiques ne porte pas davantage à conséquence, l'essentiel des mouvements se produisant au début de la mise en charge (lorsqu'on pose les premières assises de maçonnerie sur les bandes acoustiques). Le tassement résiduel devient négligeable dès que la paroi maçonnée atteint une demi-hauteur d'étage. Pour éviter une fissuration, il est conseillé d'insérer une membrane d'isolation aux bruits de choc entre la colonne de béton et la maçonnerie.

- Il peut arriver que la résistance à l'écrasement des bandes acoustiques soit dépassée au droit de l'appui des poutres sur les maçonneries (notamment dans le cas de poutres métalliques insérées dans l'épaisseur des planchers). Il sera donc le plus souvent nécessaire d'interrompre la sous-couche, même si cette opération revient à réduire la performance acoustique.
- Pour être efficaces, les bandes acoustiques doivent être exemptes de toute connexion. Il convient dès lors de découper l'enduit dans les angles des plafonds jusqu'à la bande acoustique et d'obturer éventuellement le joint au moyen d'une moulure ou d'un mastic à peindre à élasticité permanente. Il y a lieu en outre de poser une bande périphérique sur le plancher avant la mise en œuvre de la couche de remplissage.

Figure 3.12. Finition en enduit à l'endroit de la jonction entre le mur et le plafond



Figure 3.13. Construction avec des bandes acoustiques



3.6.8 Annexe 2.8. Directives particulières pour la réalisation de la jonction avec les façades

La paroi intérieure du mur creux ne peut se prolonger d'un appartement ou d'une maison à l'autre : il convient de ménager un espace d'au moins 4 cm entre chaque mur.

Pour empêcher une transmission aérienne indirecte via la coulisse, il est recommandé de combler l'espace localement avec de la laine minérale ou un autre isolant thermique poreux, a fortiori si des fenêtres sont présentes dans les deux logements à proximité du mur mitoyen. Dans ce cas, en effet, le bruit est susceptible de pénétrer dans la coulisse par la jonction entre la fenêtre et la maçonnerie. Si la coulisse est isolée au moyen d'un matériau à cellules fermées, le bruit peut se propager quasiment sans atténuation et s'introduire dans le logement voisin par la jonction entre la fenêtre et la maçonnerie. En revanche, l'usage d'un matériau d'isolation thermique à cellules ouvertes atténue sensiblement le bruit et ne génère qu'une gêne minime.

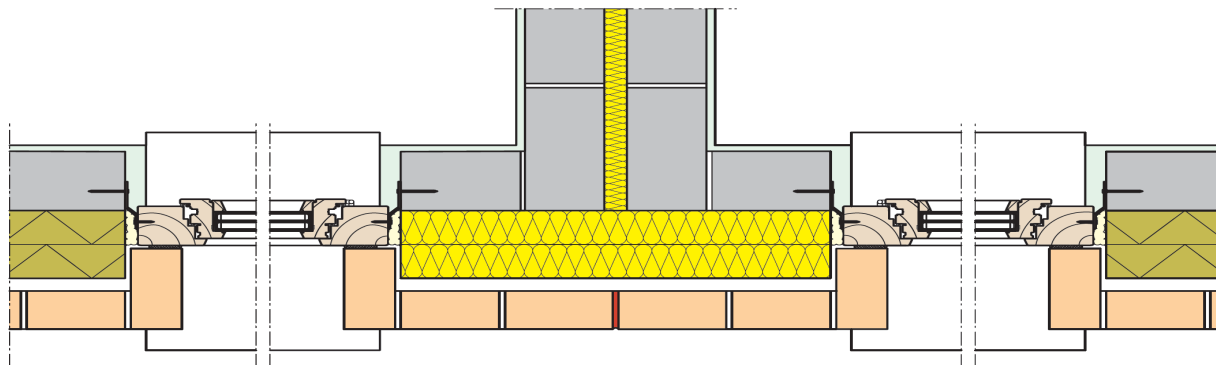
Comme des tirants d'ancrage relient le mur de parement au mur porteur, il est recommandé d'interrompre le parement par un joint mince, que l'on peut éventuellement reboucher avec un mastic élastique (figures 3.14. et 3.15.) au cas où l'on vise le confort acoustique supérieur.

Figure 3.14. Discontinuité du mur de parement



Discontinuité du mur de parement à proximité du mur mitoyen et incorporation d'un isolant thermique à cellules ouvertes résistant au feu (laine de roche, cellulose, etc.).

Figure 3.15. Discontinuité du mur de parement à proximité du mur mitoyen et incorporation d'un isolant thermique souple à cellules ouvertes résistant au feu – Schéma de principe.



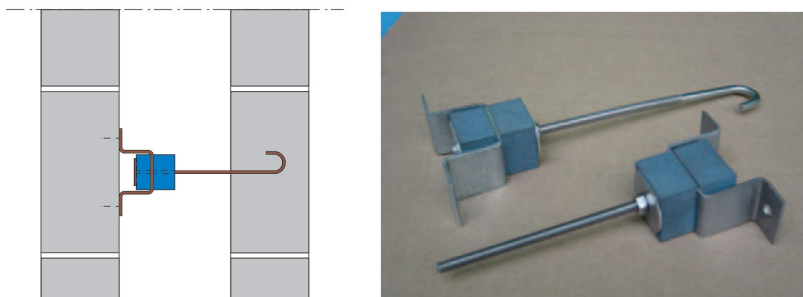
3.6.9 Annexe 2.9. Directives particulières applicables aux murs d'attente et aux murs creux sans ancrages

Dans certains cas, les maisons mitoyennes ou les immeubles à appartements contigus sont construits à des époques différentes. Cette situation peut être à l'origine de problèmes hygrothermiques divers (isolation thermique, étanchéité à la pluie et à l'air). Si la première construction est peu élevée, on peut remédier à la situation en érigeant d'emblée la seconde paroi et en l'arrimant à la première au moyen de tirants d'ancrage afin de garantir sa stabilité. Pour limiter l'effet néfaste de cette jonction, il est conseillé d'utiliser des ancrages spéciaux à coupure vibroacoustique (figure 3.16.).

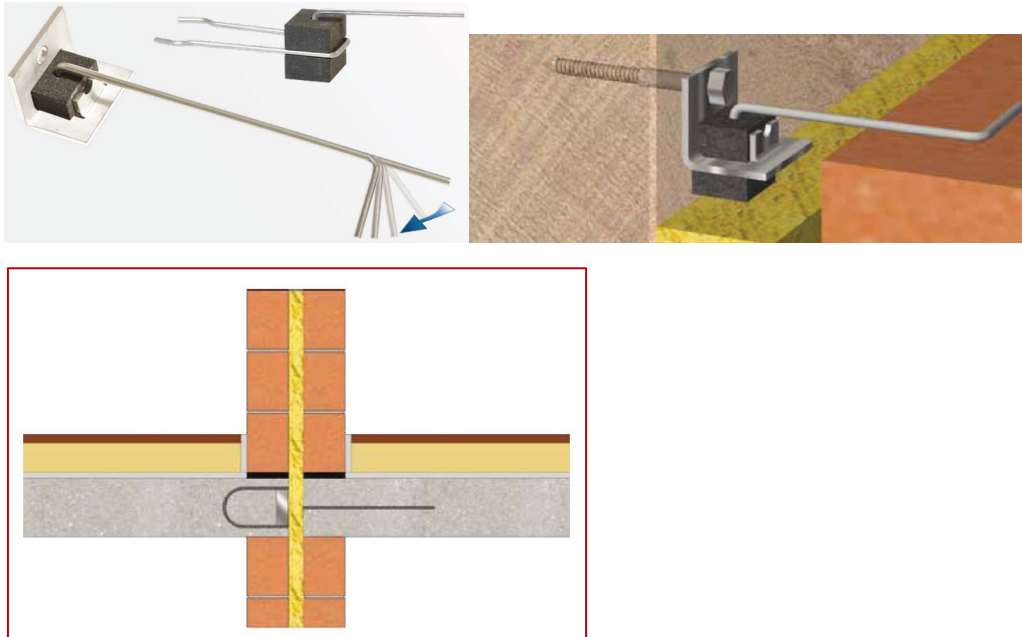
82

La technique connaît cependant quelques petites limitations sur le plan acoustique. Ainsi, comme la dalle inférieure ne repose pas sur la paroi du mur mitoyen, l'atténuation du bruit produite par les jonctions sera légèrement réduite au niveau des fondations : il en résultera, une perte de quelques décibels pour l'isolement acoustique entre les deux habitations – même si le confort acoustique supérieur reste possible –. La technique réduira également un peu l'isolation acoustique interne en raison de la transmission latérale plus importante entre locaux superposés.

Figure 3.16. Les murs d'attente peuvent être érigés selon le principe des murs creux sans ancrages, mais devront être arrimés au mur du premier bâtiment au moyen de connecteurs spéciaux antivibratiles.



« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

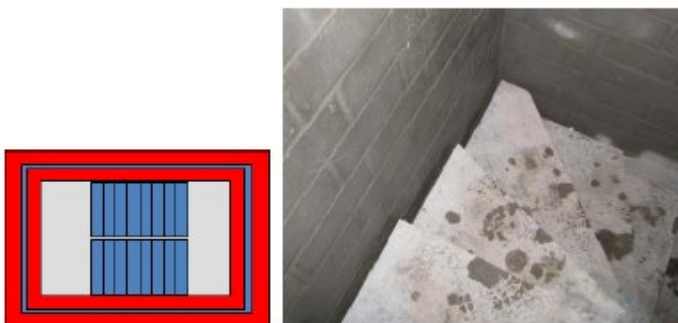


3.6.10 Annexe 2.10. Cages d'escaliers et ascenseurs

A défaut d'une connexion élastique, des vibrations générées dans les cages d'escalier et d'ascenseur vont inévitablement se propager vers la structure voisine. Afin d'éviter cette transmission de vibrations, les cages d'escalier et d'ascenseur sont désolidarisées de la structure du bâtiment par un joint rempli d'un matériau élastique et acoustiquement absorbant. Une solution couramment utilisée consiste à dédoubler un mur pour qu'une construction sans ancrage soit créée qui fournit également une isolation élevée vis-à-vis des bruits aériens provenant de la cage d'escalier (voir figure 3.17 gauche). Eventuellement, les escaliers en béton préfabriqués peuvent être déconnectés des murs environnants (voir figure 3.17 droite).

83

Figure 3.17. Dédoublage du mur de la cage d'escalier – escalier déconnecté du mur environnant



4 Résistance au feu

4.1 Réglementation et notifications européennes

Depuis 1989, la législation européenne principale qui se rapporte à la sécurité en cas d'incendie de bâtiments était la [Directive 89/106/CEE \(CPD\)](#), mieux connue sous le nom Directive de Produits de Construction. Le but de cette directive était de faire en sorte que les produits de construction puissent être utilisés sans obstacles sur le marché européen, pour autant qu'ils répondent aux exigences essentielles. Une de ces exigences essentielles est « *la sécurité en cas d'incendie* ». La Directive de Produits de Construction se rapportait uniquement aux produits tels qu'ils sont mis en œuvre dans un ouvrage.

Afin d'encore mieux garantir la libre circulation de l'ensemble des produits de construction dans l'Union et de la rendre plus efficace, tout en maintenant les objectifs stratégiques de l'Union européenne, la Commission européenne a revu cette directive. Ceci a abouti au Règlement européen (UE) n° 305/2011 publié le 4 avril 2011.

Dans l'annexe 1 de ce règlement européen : « Exigences fondamentales applicables aux Ouvrages de Construction », point 2 : « Sécurité en cas d'incendie » se trouve une définition plus spécifique de cette description.

Au sein de l'Union Européenne, la Directive 98/34/CE oblige les Etats membres à informer aussi bien la Commission que les autres Etats membres de tout projet de prescriptions techniques pour des produits et bientôt aussi des services en ce qui concerne la société d'information, AVANT que la réglementation en question n'entre en vigueur.

84

Pour la Belgique, ceci a été fait par :

Numéro de notification : 2006/195/B : Projet d'arrêté royal 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. Le projet concerne l'adaptation du point 2 « Définitions concernant la résistance au feu » de l'annexe 1 de l'Arrêté royal du 7 juillet 1994, appliquant la Directive 89/106/CEE, ainsi que la révision des prescriptions pour les portes résistant au feu et leur placement.

Par le présent règlement, une adaptation de la réglementation européenne est visée, ainsi que l'organisation d'un système de contrôle pour le placement de portes résistant au feu qui n'est pas uniquement basé sur la certification des installateurs.

Notification 2007/0019/B : Arrêté royal modifiant les articles 105 à 113 du Règlement Général sur les Installations Électriques (RGIE). Concerne : Appareils et systèmes de protection destinés à l'utilisation dans des lieux où peut régner un danger d'explosion.

4.2 Réglementation fédérale sur la sécurité en cas d'incendie en Belgique

4.2.1 Généralités

Suite à la réforme institutionnelle, qui a converti la Belgique en un Etat fédéral, la réglementation en matière de sécurité d'incendie est répartie entre différents gouvernements. Pour les dispositions générales qui ne sont pas liées à la destination du bâtiment le **Service public fédéral Intérieur est compétent**.

La réglementation a été basée sur la Loi du 30 juillet 1979 relative à la prévention des incendies et des explosions.

A l'origine, l'objectif de cette loi était de régler la sécurité en cas d'incendie dans les bâtiments accessibles au public, mais à cause de la réforme institutionnelle, le gouvernement fédéral ne pouvait imposer plus que des prescriptions générales, non liées à une destination. C'est pour cette raison que le chapitre I de la loi a été modifié et qu'elle ne prévoit plus que les dispositions généralement valables. Sur la base de cette Loi, un nombre de décisions ont été prises, qui forment maintenant la réglementation de base.

Les plus importantes sont converties en « Normes de base Prévention incendie » et ont été publiées dans l'AR du 07.07.1994, modifiées dans l'AR du 18.12.1996, l'AR du 19.12.1997, l'AR du 04.04.2003, l'AR du 13.07.2007, l'AR du 01.03.2009 et pour la dernière fois dans l'AR du 07.12.2016.

Le texte de l'AR a été complété par 7 annexes techniques :

- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 1 : Terminologie ;
- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 1 et Annexe 2 /1 : Bâtiments bas ;
- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 3 et Annexe 3 /1 : Bâtiments moyens ;
- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 4 et Annexe 4 /1 : Bâtiments élevés ;
- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 5 et Annexe 5 /1 : Réaction au feu des matériaux ;
- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 6 : Bâtiments industriels ;
- AR Normes de base Prévention incendie- Annexe 7 : Dispositions communes.

Suite à cette loi, un Conseil supérieur pour la protection contre l'incendie et l'explosion a été institué.

La composition du Conseil supérieur a été modifiée par l'AR du 16.01.2006 afin de donner une voix consultative aux communautés et aux régions.

4.2.2 Dérogations

Dans l'article 4 de l'AR du 07.07.1994, il est prévu que le ministre de l'Intérieur puisse accorder des dérogations lorsqu'il est impossible de satisfaire à une ou plusieurs spécifications contenues dans les annexes. La procédure pour les dérogations est réglée par l'Arrêté royal du 18 septembre 2008 déterminant la procédure et les conditions suivant lesquelles les dérogations aux normes de prévention de base sont accordées.

4.2.3 Sécurité au travail

Dans tous les bâtiments où des personnes travaillent s'appliquent les prescriptions de l'Arrêté royal du 27.03.1998 relatif à la politique du bien-être des travailleurs lors de l'exécution de leur travail, y compris les modifications du 03.05.1999, 11.07.2002, 28.08.2002, 24.02.2005, 25.04.2007, 17.05.2007 et le Règlement général pour la protection du travail ou RGPT article 52.

4.2.4 Autre réglementation fédérale

Pour les stades de football, l'AR du 2 juin 1999 s'applique. - Arrêté royal contenant les normes de sécurité à respecter dans les stades de football, abrogeant l'AR du 17 juillet 1989. - Arrêté Royal contenant les normes relatives à la protection des spectateurs contre l'incendie et la panique, lors de manifestations dans les installations à ciel ouvert.

Les normes reflètent les règles de bonne pratique qui sont d'application pour un produit donné, un procédé donné ou un service donné au moment de son adoption. Le respect d'une norme n'est pas obligatoire en soi. Il le devient néanmoins lorsque la réglementation applicable le prescrit. L'article 2 de l'Arrêté royal du 25 octobre 2004 relatif aux modalités d'exécution des programmes de normalisation ainsi qu'à l'homologation ou l'enregistrement des normes, adopté en exécution de la loi du 3 avril 2003 relative à la normalisation, indique à ce sujet que l'État et toutes les personnes de droit public peuvent renvoyer aux normes publiées par le Bureau de Normalisation, dans les arrêtés, les ordonnances, les actes administratifs et les cahiers des charges, par simple référence à ***l'indicatif*** de ces normes.

4.3 Réglementation régionale

86

Suite à la réforme institutionnelle, qui a converti la Belgique en Etat fédéral, une partie de la réglementation relative à la sécurité en cas d'incendie relève des régions et des communautés. La compétence relative à la sécurité en cas d'incendie ne relève néanmoins pas d'un seul ministre ou d'un seul département.

Les régions ont promulgué des décrets et des arrêtés séparément ou en partie communément. La liste complète peut être retrouvée sur le site web <https://fireforum.be/fr/reglementation>.

Les réglementations principales relatives à la maçonnerie sont les réglementations en rapport avec :

- les hôpitaux (actuellement aucune communauté n'a modifié les anciens réglementations fédéraux, par conséquent l'arrêté royal du 6 novembre 1979 reste d'application) ;
- les établissements d'hébergement ;
- les hébergements touristiques et de la jeunesse ;
- les terrains de camping ;
- les structures d'accueil d'enfants, les garderies périscolaires et les mini-crèches ;
- les maisons de repos et résidences-services.

Il faut noter que les autorités locales (bourgmestre ou service d'incendie) peuvent imposer des exigences supplémentaires (selon les règles de la circulaire du 1^{er} décembre 2016 concernant le rapport de prévention d'incendie). Il est donc indispensable de toujours s'en informer.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Note : Cette circulaire entre en vigueur au moment de la publication de ces STS. Si une nouvelle circulaire ou une réglementation plus importante est rédigée par après, c'est celle-là qui prendra effet.

4.4 Informations supplémentaires

Les objectifs généraux de la protection au feu sont de délimiter les risques à l'égard de la propriété individuelle et collective, du voisinage et, lorsque cela est prescrit, de la propriété directement exposée en cas d'incendie.

Le Règlement européen (UE) 305/2011 établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction énonce l'exigence essentielle suivante pour la limitation des risques en cas d'incendie :

« Les constructions doivent être conçues et réalisées de façon telle qu'en cas d'incendie :

- la capacité portante de la construction puisse être assurée pendant une durée déterminée ;
- la formation et la propagation du feu et de la fumée dans le bâtiment soient limitées ;
- la propagation du feu aux constructions voisines soit limitée ;
- les occupants puissent quitter l'ouvrage indemnes ou être secourus d'une autre manière ;
- la sécurité des équipes de secours soit prise en considération. »

Conformément au Document interprétatif N° 2 « Sécurité en cas d'incendie », l'exigence essentielle peut être satisfaite par les différentes possibilités de stratégies en matière de sécurité incendie qui priment dans l'État Membre, comme les scénarios de feu conventionnels (feu nominal) ou scénarios de feu naturels (paramétriques), y compris les mesures de protection au feu passives et/ou actives.

87

Note : les scénarios de feu naturels ne sont admis qu'avec l'autorisation du gouvernement.

Les parties des Eurocodes structuraux relatives à l'incendie traitent des aspects spécifiques de protection au feu passive en termes de calculs de structures et parties de structures pour assurer selon le cas une capacité portante appropriée pouvant se révéler nécessaire pour une évacuation en toute sécurité des occupants et des opérations de sauvetage, ainsi que pour limiter la propagation.

Les prescriptions complémentaires concernant, par exemple :

- l'installation et la maintenance éventuelles d'extincteurs automatiques ;
- les conditions d'occupation du bâtiment ou du compartiment à l'épreuve du feu ;
- utilisation de matériaux d'isolation et de revêtement agréés, y compris leur entretien ;

ne figurent **pas** dans le présent document.

Une procédure analytique complète pour le calcul du comportement au feu en cas d'incendie devrait prendre en compte le comportement du système structurel aux températures élevées, l'exposition potentielle à la chaleur et les effets favorables des systèmes de protection active au feu, ainsi que les incertitudes associées à ces trois aspects et l'importance de la structure (conséquences de son effondrement).

Actuellement il est possible d'effectuer une procédure de calcul pour déterminer la performance appropriée qui incorpore certains, sinon tous ces paramètres et pour démontrer

que la structure, ou ses éléments, donnera la performance appropriée en cas d'incendie réel d'un bâtiment. Cependant, la principale procédure couramment utilisée dans les pays européens est fondée sur les résultats d'essais normalisés de résistance au feu. Le classement inclus dans les règlements, qui fait appel à des durées spécifiques de résistance au feu, prend en compte (bien que cela ne soit pas explicite) les divers aspects et incertitudes décrits ci-dessus.

Du fait des limites de la méthode expérimentale, plusieurs essais ou analyses peuvent être utilisés. Néanmoins, les résultats d'essais au feu normalisés constituent la base de données pour les méthodes de calcul du comportement au feu.

La norme NBN EN 1996-1-2 traite par conséquent principalement du calcul en vue de la résistance au feu normalisée.

L'application de cette partie 1-2 de l'Eurocode 6 compte tenu des actions thermiques données dans la norme NBN EN 1991-1-2, est illustrée à la figure 0.1. La conception et le calcul conforme à la présente partie requiert l'utilisation de la NBN EN 1991-1-2 pour la détermination des champs thermiques, ou lors de l'emploi de modèles de calcul généraux pour l'analyse de la réponse structurelle.

Dans le cadre de ces **STS**, on se limite à donner les **valeurs tabulées** des différents matériaux, conjointement à la charge et la configuration, lesquelles peuvent être utilisées dans les limites de validité, comme mentionné dans ces tableaux.

4.5 Domaine d'application

Ce chapitre est basé sur la NBN EN 1996-1-2 et la législation européenne et nationale.

Partie 1-2 de la NBN EN 1996 :

- traite de la conception et du calcul des ouvrages en maçonnerie dans la situation accidentelle d'exposition au feu, et est destinée à être utilisée conjointement à la NBN EN 1996-1-1, la NBN EN 1996-2, la NBN EN 1996-3 et la NBN EN 1991-1-2 ;
- identifie uniquement les différences par rapport à la conception et au calcul à température normale, ou les compléments à cette dernière ;
- traite uniquement des règles de base pour des méthodes passives de protection contre l'incendie. Les méthodes actives ne sont pas traitées ;
- est applicable aux éléments de structures en maçonnerie qui, en raison de la sécurité au feu générale, sont assujettis à satisfaire certaines fonctions en cas d'exposition au feu, en vue :
 - d'éviter l'effondrement prématuré de la structure (fonction porteuse) ;
 - de limiter la propagation du feu (flammes, gaz chauds, chaleur excessive) au-delà des zones nommément désignées (fonction de séparation) ;
- énonce des principes et des règles d'application pour la conception et le calcul des structures pour qu'ils répondent aux exigences spécifiées conformément aux fonctions susmentionnées et aux niveaux de performances ;
- s'applique aux structures ou parties de structures, qui relèvent du sujet et du domaine d'application de la NBN EN 1996-1-1, la NBN EN 1996-2 et de la NBN EN 1996-3 et sont conçues et calculées conformément à ces dernières ;
- ne couvre **pas** les éléments de maçonnerie en pierre naturelle conforme à la NBN EN 771-6 ;
- traite des éléments suivants :

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

- les murs intérieurs non porteurs ;
- les murs extérieurs non porteurs ;
- les murs intérieurs porteurs avec fonctions de séparation ou non ;
- les murs extérieurs porteurs avec fonctions de séparation ou non.

4.6 Hypothèses

Outre les hypothèses générales formulées dans la NBN EN 1990, les hypothèses suivantes s'appliquent :

- Les systèmes de protection passive au feu pris en compte dans la conception et le calcul, fera l'objet d'un entretien approprié.
- Le choix du type d'incendie de calcul pertinent relève d'un personnel ayant une qualification et une expérience appropriées.

4.7 Définitions

4.7.1 Définitions générales conformément aux normes de base, l'Annexe 1 (qui se rapportent à la maçonnerie)

Incendie : ensemble des phénomènes inhérents à une combustion dommageable et non contrôlée.

Produits de construction : produits définis au point c de l'article 1^{er} du Règlement européen (UE) N°305/2011 pour la commercialisation des produits de construction.

Élément de construction : élément formé d'un ou plusieurs produits de construction qui a pour fonction dans le bâtiment :

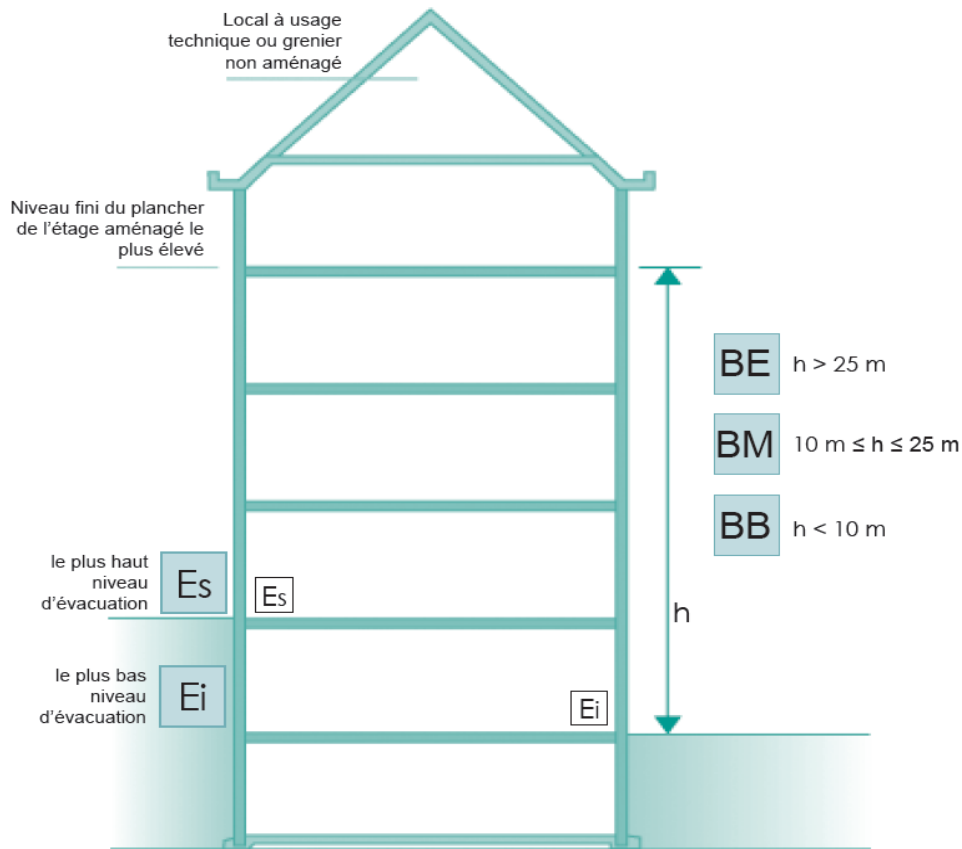
- de porter sans fonction de compartimentage (murs, planchers, toitures, poutres, colonnes, escaliers) ;
- de porter avec fonction de compartimentage (murs, planchers, toits...) ;
- de protéger les éléments ou parties d'ouvrages (plafonds suspendus) ;
- d'être élément non-porteur ou d'être une partie d'ouvrage ou un produit de cette partie (cloisons ou parois, plafonds, façades, portes, volets, portes d'ascenseurs, conduites et gaines techniques) ;
- d'être destiné aux installations techniques (conduits, clapets, câbles,...).

Paroi : élément de construction vertical ou non, séparant deux ambiances ; une paroi intérieure est située entre deux ambiances intérieures ; une paroi extérieure entre une ambiance intérieure et l'extérieur.

4.7.2 Définitions relatives au bâtiment et à sa distribution

- Hauteur h d'un bâtiment

Figure 4.1. Hauteur d'un bâtiment



90

La hauteur h d'un bâtiment est conventionnellement la distance entre le niveau fini du plancher du niveau le plus élevé et le niveau le plus bas des voies entourant le bâtiment et utilisables par les véhicules des services d'incendie. Lorsque le niveau le plus haut ne comprend que des locaux à usage technique, il n'intervient pas dans le calcul de la hauteur.

Selon la hauteur, on distingue :

- Les bâtiments élevés BE dont la hauteur h est supérieure à 25m
BE : $h \geq 25$ m ;
- Les bâtiments moyens BM dont la hauteur h est égale ou comprise entre 10 m et 25 m
BM : $10 \text{ m} \leq h < 25$ m ;
- Les bâtiments bas (BB) dont la hauteur h est inférieure à 10m
BB : $h < 10$ m.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Niveau : on convient d'appeler niveau l'espace compris entre un plancher et le plafond qui le surmonte. Les niveaux situés sous le niveau Ei sont des sous-sols et n'entrent pas en ligne de compte pour la détermination du nombre de niveaux d'un bâtiment.

Bâtiment : toute construction qui constitue un espace couvert accessible aux personnes, entouré totalement ou partiellement de parois ; les installations industrielles (notamment les installations chimiques et les parcs de citernes) ne sont pas considérées comme des bâtiments.

Parking ouvert : un parking dont chaque niveau dispose de deux façades opposées satisfaisant aux conditions suivantes :

- ces façades sont distantes de maximum 60 m, sur la totalité de leur longueur ;
- chacune de ces façades comporte des ouvertures dont la surface d'ouverture utile vaut au moins 1/6 de la surface totale des parois verticales intérieures et extérieures du périmètre de ce niveau ;
- les ouvertures sont réparties uniformément sur la longueur de chacune des deux façades ;
- entre ces deux façades, des obstacles éventuels sont admis, pour autant que la surface utile d'écoulement d'air, en tenant compte d'une occupation complète des emplacements de parking, soit au moins égale à la surface des ouvertures requise dans chacune de ces façades ;
- la distance horizontale à ciel ouvert entre ces façades et tout obstacle extérieur doit être d'au moins 5 m.

Bâtiment industriel : un bâtiment ou une partie de bâtiment qui, en raison de sa construction ou de son aménagement sert à des fins de transformation ou de stockage industriel de matériaux ou de biens, de culture ou de stockage industriel de plantations ou d'élevage industriel d'animaux.

Duplex : un compartiment qui s'étend à deux niveaux superposés avec un escalier de communication intérieure.

Local ou espace technique : local ou espace dans lequel sont contenus des appareils ou installations fixes liés au bâtiment et où ne peuvent pénétrer que les personnes chargées de la manœuvre, de la surveillance, de l'entretien ou de la réparation.

4.7.3 Définitions relatives au compartimentage

Compartiment : partie d'un bâtiment éventuellement divisée en locaux et délimitée par des parois dont la fonction est d'empêcher, pendant une durée déterminée, la propagation d'un incendie au(x) compartiment(s) contigu(s).

Superficie S d'un compartiment : surface horizontale brute mesurée entre les faces intérieures des parois délimitant le compartiment, sans aucune déduction.

4.7.4 Définitions relatives aux éléments de construction

Éléments structuraux : les éléments de constructions assurant la stabilité de l'ensemble ou d'une partie du bâtiment (tels que colonnes, parois portantes, poutres principales, planchers finis et autres parties essentielles constituant la structure du bâtiment) et qui en cas d'affaissement, donnent lieu à un effondrement progressif ; un effondrement progressif se produit lorsque l'affaissement d'un élément de construction entraîne l'affaissement d'éléments

du bâtiment qui ne se trouvent pas à proximité immédiate de l'élément considéré et lorsque la résistance du reste de la construction est insuffisante pour supporter la charge en cause.

Stabilité générale :

- Lors de la détermination de la stabilité en cas d'incendie des éléments structurels, il ne suffit pas d'effectuer l'analyse pour chaque élément séparément, il faut en premier lieu vérifier la stabilité générale du bâtiment en cas d'incendie. La dilatation de poutres ou de solives peut en effet entraîner l'effondrement de colonnes ou de parois, même quand celles-ci présentent une stabilité suffisante lorsqu'elles sont examinées séparément.
- Ceci ne s'applique pas seulement lorsqu'on utilise une méthode de calcul pour la détermination de la stabilité en cas d'incendie, mais aussi lorsque la résistance au feu des éléments est démontrée grâce à un ou plusieurs essais.

Distinction entre éléments de type I et II :

Une distinction est faite entre trois sortes d'éléments de construction porteurs :

- **les éléments de construction porteurs qui ne sont pas des éléments structurels** parce qu'ils ne provoquent pas d'effondrement progressif (p.ex. des éléments de façade ou des éléments portants du toit qui, en cas d'affaissement, ne provoquent pas l'effondrement du reste du toit) ;
- **les éléments structurels de type II** qui, en cas d'affaissement, provoquent un affaissement progressif limité au compartiment (p.ex. éléments portants du toit qui, en cas d'affaissement, ne provoquent pas de dommages aux parois du compartiment) ;
- **les éléments structurels de type I** qui, en cas d'affaissement, provoquent un affaissement progressif qui s'étend au-delà des limites du compartiment ou qui donnent lieu à l'endommagement des parois du compartiment (p.ex. les parois et planchers portants des compartiments et les éléments porteurs qui supportent ces parois de compartiment).

92

Les prescriptions pour chacun de ces types correspondent à une probabilité acceptable d'effondrement de l'élément de construction. Cette probabilité est plus grande pour un élément structurel de type II que pour un élément structurel de type I parce que l'effondrement de ce dernier a des conséquences sur le compartimentage pour lequel des prescriptions plus sévères seront adjointes afin d'éviter l'effondrement.

En ce qui concerne les éléments structurels de type II, dans les bâtiments industriels, la probabilité qu'un élément de construction s'affaisse est de l'ordre de 10^{-3} par an.

Sauf dans certains cas particuliers (par ex. un bâtiment industriel réalisé comme un seul compartiment), il n'est possible de définir le type d'un élément structurel déterminé que par analyse. Ce n'est pas, d'ailleurs, une caractéristique propre à l'élément structurel, mais cela dépend de la charge, des dimensions, des jonctions...

Une paroi indépendante de compartiment est conservée même si le compartiment voisin s'effondre de sorte qu'a fortiori, les éléments structurels du compartiment - à l'exception de ceux qui appartiennent au type I selon la solution-type - appartiennent au type II. Un aperçu de ces solutions-type est repris dans la NIT 256 du CSTC.

S'il n'utilise pas ces solutions-type, le maître de l'ouvrage fournit une étude détaillée dans laquelle le type exact est défini pour chaque élément structurel. **A défaut de cette étude, tous les éléments structurels sont classés en type I.**

Stabilité au feu des éléments de type I : La stabilité en cas d'incendie, des éléments structurels de type I doit au moins être égale à la résistance au feu requise des parois du compartiment, étant donné qu'en cas d'affaissement, ils peuvent réduire le compartimentage à néant.

Stabilité au feu des éléments de type II : Les prescriptions pour la stabilité minimale en cas d'incendie, des éléments structurels de type II varient en fonction de l'intensité du feu. Pour estimer l'intensité d'un feu, on utilise le concept de temps équivalent, ce qui permet d'estimer différents développements de feux, en fonction d'une courbe standardisée temps-température.

4.7.5 Définitions relatives à la résistance au feu et à la réaction au feu

Résistance au feu d'un élément de construction (REI) : Période durant laquelle un élément de construction répond à tous les critères de stabilité, d'étanchéité aux flammes et d'isolation thermique.

La réaction au feu est le comportement d'un matériau qui, dans des conditions d'essai spécifiées, alimente par sa propre décomposition un feu auquel il est exposé.

4.8 Evaluation des éléments de construction

La performance en matière de résistance au feu d'un élément de construction est attestée :

- 1° par les informations accompagnant le marquage CE ;
- 2° à défaut de marquage CE :
 - a) par un rapport de classement pour l'application en cause établi par un laboratoire ou un organisme de certification d'un Etat membre de l'Union européenne ou d'un autre pays, partie contractante de l'accord relatif à l'Espace économique européen, présentant les garanties d'indépendance et de compétence telles qu'elles sont fixées dans les normes de la série NBN EN 45000 ou NBN EN ISO/IEC 17025. Ce rapport de classement est basé sur l'une des procédures d'évaluation suivantes :
 - 1) un ou des essais effectués selon la norme européenne pertinente ;
 - 2) un ou des essais effectués selon une norme ou spécification technique d'un autre Etat membre de l'Union européenne ou d'un autre pays, partie contractante de l'accord relatif à l'Espace économique européen permettant d'assurer un niveau de protection équivalent ;
 - 3) une analyse de résultats d'essais conduisant à un domaine d'application déterminé.
 - b) par une note de calcul élaborée selon une méthode agréée par le ministre de l'Intérieur selon la procédure et les conditions qu'il détermine ;
 - c) par les informations accompagnant un agrément technique, ou une appréciation équivalente acceptée dans un autre Etat membre de l'Union européenne ou d'un autre pays, partie contractante de l'accord relatif à l'Espace économique européen ;
 - d) par le rapport d'essai d'un essai effectué selon la norme NBN 713-020.

4.9 Termes spéciaux relatifs au calcul du comportement au feu en général

Matériau de protection au feu

Tout matériau ou toute combinaison de matériaux appliqués à un élément de structure afin d'augmenter sa résistance au feu.

Mur coupe-feu

Mur séparant deux espaces (généralement deux compartiments feu ou deux bâtiments), conçu en vue d'une résistance au feu et d'une stabilité structurelle.

Mur porteur

Élément plan, principalement soumis à des contraintes de compression, destiné à supporter des charges verticales par exemple dues aux planchers, mais aussi des charges horizontales par exemple dues au vent.

Mur non porteur

Élément plan, principalement chargé par son seul poids propre et ne servant pas de contreventement aux murs porteurs. Il peut cependant avoir à transmettre des charges horizontales agissant sur sa surface à des éléments de construction porteurs tels que des murs ou des planchers.

Mur de séparation

Mur exposé au feu sur un côté uniquement.

Mur n'ayant pas de fonction de séparation

Mur porteur exposé au feu sur deux au moins de ses côtés.

Symboles supplémentaires

- E 30 ou E 60 : élément satisfaisant au critère d'étanchéité, E, pour 30 ou 60 min d'exposition au feu normalisée.
- I 30 ou I 60 : élément satisfaisant au critère d'isolation thermique, I, pour 30 ou 60min d'exposition au feu normalisée.
- R 30 ou R 60 : élément satisfaisant au critère de capacité portante, R, pour 30 ou 60 min d'exposition au feu normalisée.

Remarque 1 : Dans le cas de combinaisons (p.ex. REI), la plus petite valeur sera retenue.

Remarque 2 : Comme critère, I n'est jamais seul. Il est toujours associé à E.

4.10 Principes et règles de base

Lorsque la résistance mécanique est requise, les structures doivent être conçues et réalisées de façon qu'elles conservent leur fonction de portance pendant l'exposition au feu correspondante.

Lorsque le compartimentage se révèle nécessaire, les éléments constituant les limites du compartiment feu, y compris les joints, doivent être conçus et réalisés de façon qu'ils conservent leur fonction de séparation pendant l'exposition au feu correspondante, c'est-à-dire :

qu'il ne doit se produire aucune perte d'étanchéité, afin de prévenir le passage des flammes et des gaz chauds dans l'élément, ainsi que l'occurrence de flammes sur le côté non exposé ;

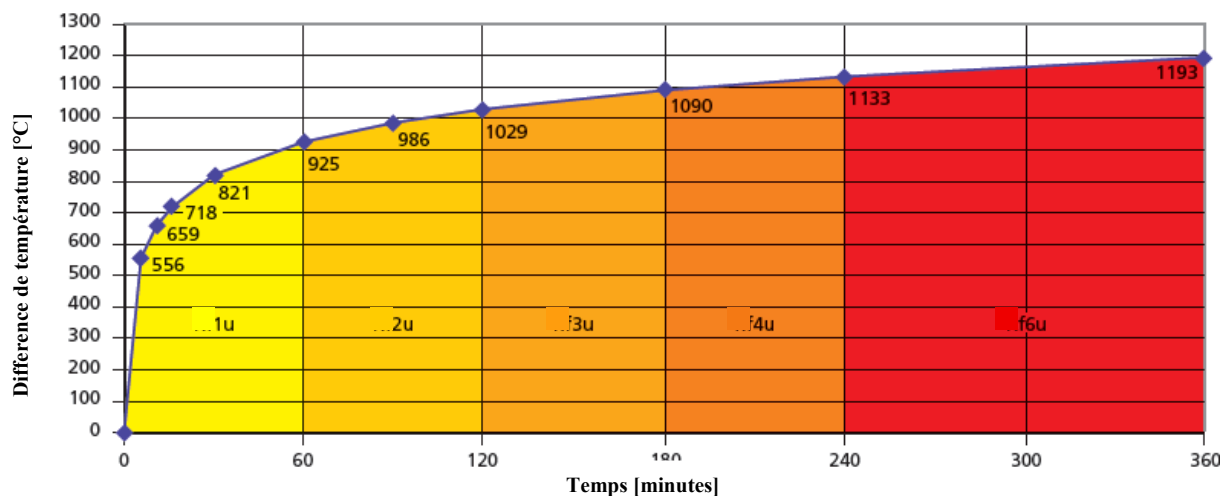
qu'il ne doit se produire aucune perte d'isolation, afin de limiter la montée en température de la face non exposée dans les limites de niveau spécifiées ;

le cas échéant, la limitation du rayonnement thermique du côté non exposé.

4.11 Feu nominal

Un feu nominal est un feu généré artificiellement dans un four selon une courbe température-temps de la norme internationale ISO 834.

Figure 4.2. Différence température/temps lors d'un feu nominal



Pour l'exposition au feu normalisée, les éléments doivent satisfaire aux critères R (résistance mécanique), E (intégrité), I (isolation) :

- capacité portante uniquement critère : R ;
- séparation uniquement critères : EI ;
- séparation et capacité portante critères : REI.

Le critère R est supposé être satisfait lorsque la fonction de portance est maintenue pendant toute la durée requise d'exposition au feu :

- 1° : l'élément maintient les caractéristiques nécessaires pour préserver sa propre stabilité et remplir sa fonction ;
- 2° : l'élément ne présente pas de déformations qui sont incompatibles avec sa fonction dans la stabilité de la structure ;
- 3° : l'élément peut éventuellement, pendant une certaine période après l'essai, sans s'effondre, porter la charge qui a été appliquée pendant l'essai.

Le critère I est supposé être satisfait lorsque la température moyenne de la face non exposée n'augmente pas de plus de 140 K, et lorsque la température maximale en tout point de cette surface n'excède pas 180 K.

Le critère E est supposé être satisfait lorsque le passage des flammes et des gaz chauds au travers de l'élément est prévenu. On considère un élément comme ne plus étant « étanche aux flammes » lorsqu'une petite quantité de coton, qui est bougée lentement du côté non exposé à la chaleur, à une distance de 2 à 3 cm des fissures ou d'autres ouvertures, s'enflamme spontanément alors que le four est à une surpression normale de 2 kg/m².

4.12 Feu paramétrique (ou naturel)

La fonction de portance est satisfaite lorsque tout effondrement est évité pour la durée totale de l'incendie, y compris la phase de déclin ou pour une période prescrite.

La fonction de séparation, eu égard à l'isolation, est satisfaite lorsque les critères suivants sont également satisfaits :

- la montée en température moyenne de la totalité de la surface non exposée n'excède pas 140 K et la montée en température maximale de ladite surface en tout point n'excède pas 180 K, lorsque la température de gaz maximale est atteinte ;
- la montée en température moyenne de la totalité de la surface non exposée n'excède pas 200 K et la montée en température maximale en tout point de ladite surface n'excède pas 240 K au cours de la phase de déclin de l'incendie ou jusqu'à une période requise.

Remarque : Un feu paramétrique est principalement utilisé pour la fonction porteuse, mais est rarement utilisé pour l'isolation thermique et l'étanchéité à la flamme, qui sont généralement déterminées principalement par des tests selon la courbe standard température / temps.

4.13 Méthodes d'évaluation

Le modèle du système de structure adopté pour la conception et le calcul du comportement au feu dans une situation d'incendie doit refléter la performance attendue de la structure en feu.

L'analyse de la situation d'incendie peut être effectuée selon l'une des méthodes suivantes :

- essai de la structure ;
- tableaux de valeurs ;
- analyse des éléments ;
- analyse d'une partie de la structure ;
- analyse globale de la structure.

Les tableaux de valeurs donnés dans la présente partie sont fondés sur la courbe température-durée normalisée conformément à la EN 1363.

En alternative à la conception par calcul, la résistance au feu peut être fondée sur les résultats des essais de résistance au feu ou sur les essais de résistance au feu, combinés au calcul (voir 5.2 de la EN 1990).

4.14 Matériaux

4.14.1 Unités

Les prescriptions relatives aux éléments en maçonnerie données dans les STS 22-1 (matériaux) s'appliquent à la présente partie avec l'ajout suivant :

- Groupe 1S : Unités contenant moins de 5 % d'évidements par volume ; ces unités peuvent, par ailleurs, comporter des indentations, par exemple des empochements, des trous de préhension ou des rainures dans la face de pose, si de telles indentations sont remplies de mortier dans l'ouvrage fini.

4.14.2 Mortier

Les prescriptions relatives au mortier données dans les STS 22-1(matériaux) s'appliquent à la présente partie.

4.15 Informations générales sur la conception et le calcul des murs

4.15.1 Types de murs par fonction

- (1) Pour la protection incendie, une distinction doit être faite entre murs non porteurs et murs porteurs et entre murs séparatifs et murs non séparatifs.
- (2) Les murs séparatifs sont destinés à prévenir toute propagation d'un incendie d'un point à un autre, et sont exposés au feu sur un côté uniquement. Les murs séparatifs sont par exemple les murs des voies de secours, les murs des cages d'escaliers ou les murs de compartimentage.
- (3) Les murs porteurs non séparatifs sont soumis au feu sur au moins deux de leurs côtés. Exemple : les murs de compartimentage.
- (4) Les murs extérieurs peuvent être ou non des murs séparatifs selon les prescriptions.

REMARQUE : Il convient de traiter les murs séparatifs externes de longueur inférieure à 1,0 m comme des murs non séparatifs pour les besoins du calcul du comportement au feu, selon la construction adjacente.

- (5) Il convient que les murs comportant des linteaux au-dessus d'ouvertures aient au moins la même résistance au feu que s'ils ne comportaient aucun linteau.
- (6) Il convient que les éléments de contreventement, tels que les murs transversaux, planchers, poutres, poteaux ou cadres, aient au moins la même résistance au feu que le mur.

REMARQUE : Lorsque l'évaluation révèle que la défaillance des éléments de contreventement sur un côté du mur coupe-feu n'entraîne pas une défaillance de ce dernier, il n'est pas nécessaire que lesdits éléments bénéficient d'une résistance au feu.

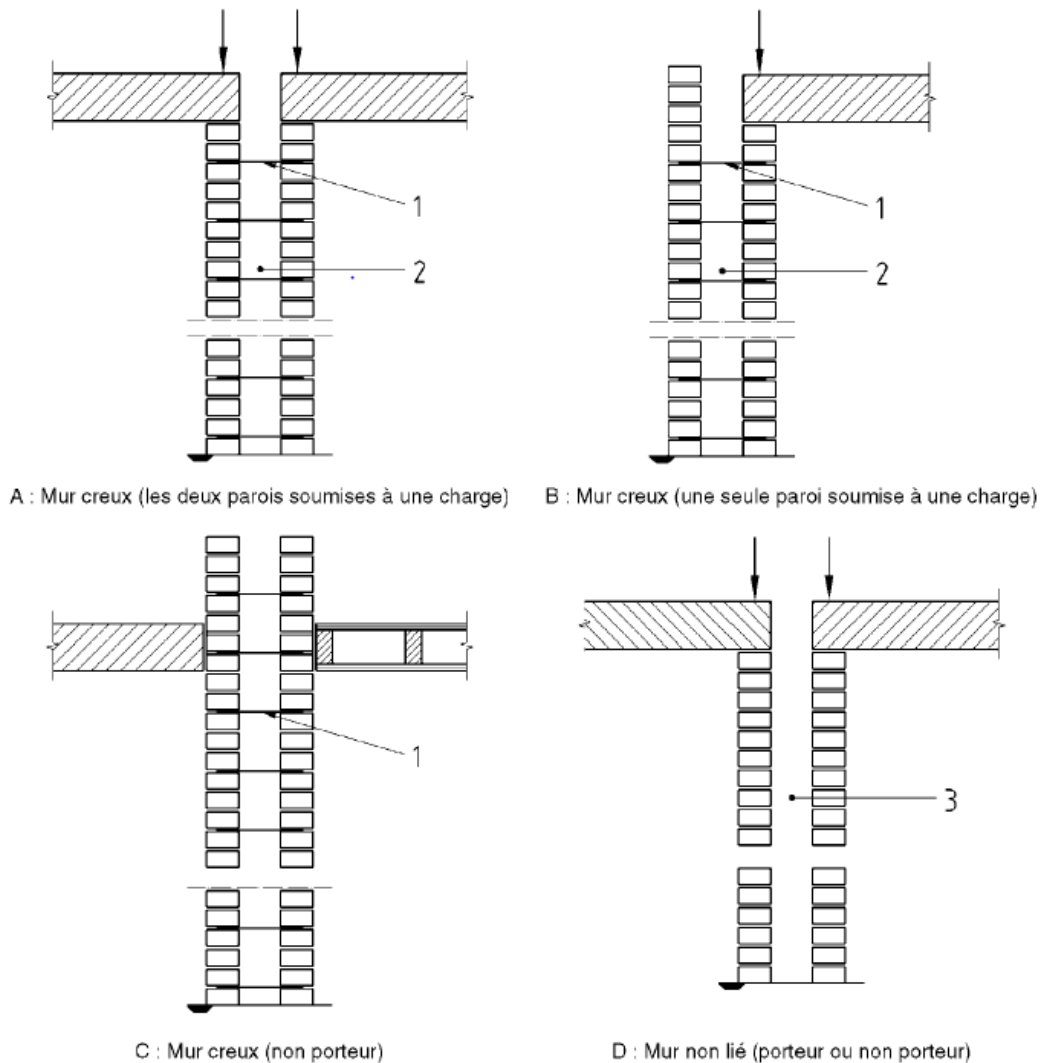
4.15.2 Murs creux et murs non liés comprenant des parois indépendantes

- (1) Lorsque les deux parois d'un mur creux sont chargées et supportent sensiblement des charges égales, la résistance au feu d'un mur creux dont les parois ont approximativement la même épaisseur est définie comme la résistance au feu d'un mur simple équivalent, dont l'épaisseur serait égale à la somme des épaisseurs des deux parois (voir figure 4.3, A), à condition que le creux ne comporte aucun matériau combustible.

Note: cette règle doit être manipulée avec précaution, en raison de la charge thermique différente des deux lames et par conséquent de la dilatation thermique différente, il peut y avoir une redistribution des forces conduisant à une défaillance.

- (2) Lorsqu'une seule des parois d'un mur creux est chargée, la résistance du mur est habituellement supérieure à la résistance au feu attribuée à la paroi chargée considérée comme agissant comme un mur simple (voir figure 4.3, B).
- (3) La résistance au feu d'un mur creux comprenant deux parois non porteuses (figure 4.3, C) peut être considérée comme étant la somme des résistances au feu des parois individuelles, limitée à une valeur maximale de 240 min lorsque la résistance au feu est déterminée par la présente partie de la EN 1996-1-2.
- (4) Pour les murs non liés comprenant des parois indépendantes, la résistance au feu du mur est déterminée par référence au tableau des murs porteur ou non porteur approprié (voir tableaux 4.1 à 4.4) pour un mur simple (voir figure 4.3, D) supposé exposé à un feu.

Figure 4.3. Murs à double paroi



Note : Dans la figure 4.3 :

- 1= attache ou armature pour joints d'assise,
- 2= creux, et
- 3= mur non lié

4.15.3 Finitions de surface

La résistance au feu des murs en maçonnerie peut être augmentée par l'application d'une couche d'une finition de surface appropriée, tel que par exemple :

- du plâtre pré-mélangé conformément à la NBN EN 13279-1 ;
- du plâtre de type LW ou T conformément à la NBN EN 998-1.

Pour les murs doubles et les murs non liés, la disposition d'une finition de surface se révèle nécessaire uniquement sur les faces extérieures des parois, et non entre les deux parois.

Une paroi ou un revêtement de maçonnerie supplémentaire peut être utilisé pour augmenter la résistance au feu d'un mur.

4.15.4 Prescriptions supplémentaires pour les murs en maçonnerie

Toute partie d'appui ou raidisseur de la structure doit avoir au moins la même résistance au feu que la structure supportée.

Les matériaux combustibles de couches minces de coupure de capillarité incorporés dans un mur peuvent être négligés dans l'évaluation de la résistance au feu.

Il convient de ne pas disposer les éléments en maçonnerie comportant des trous de façon telle que ces derniers soient perpendiculaires à la face du mur, c'est-à-dire qu'il y a lieu que les trous desdits éléments ne pénètrent pas dans le mur.

Lorsque des systèmes d'isolation thermique constitués d'un isolant et de plâtre sont utilisés sur des murs extérieurs simples, il convient de noter que :

les couches isolantes constituées de matériaux combustibles ne renforcent pas la résistance au feu ;

les couches isolantes constituées de matériaux non combustibles, par exemple laine minérale ou verre cellulaire, peuvent être utilisées à la place d'une finition de surface adéquate.

4.16 Dispositions de détail

Les dispositions de détail des ouvrages de maçonnerie ne doivent pas réduire la résistance au feu de la construction.

4.16.1 Liaisons et joints

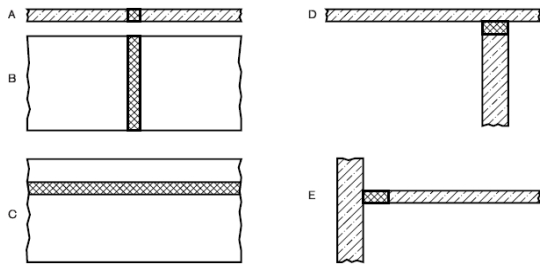
(1) Les planchers ou la toiture doivent assurer un appui latéral au sommet et en pied de mur, à moins que sa stabilité sous sollicitation normale ne soit assurée par d'autres moyens, par exemple par des contreforts ou des attaches spéciales.

(2) Les joints y compris les joints de dilatation dans les murs ou entre les murs et autres éléments séparatifs doivent être conçus et fabriqués de manière à répondre aux exigences de résistance au feu des murs.

(3) Lorsque les joints de dilatation requièrent la présence de couches d'isolation, ces dernières doivent comporter des matériaux minéraux dont le point de fusion est supérieur ou égal à 1.000 °C. Les joints doivent être parfaitement étanches de sorte que tout mouvement du mur n'affecte pas la résistance au feu. Si d'autres matériaux doivent être utilisés, il doit être démontré par essai qu'ils satisfont aux critères E et I (voir la NBN EN 1366 : Partie 4).

En fonction de l'application, ces essais se déroulent selon une ou plusieurs des situations suivantes :

Figure 4.4. Liaisons et joints de parois

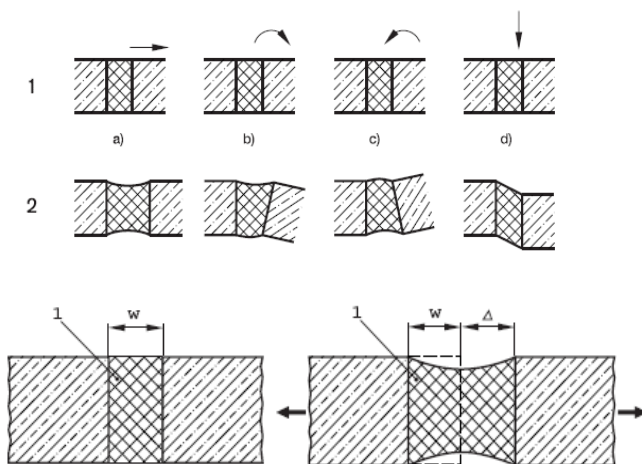


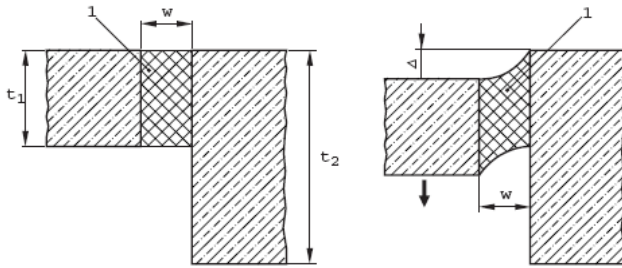
Orientation essayée	Application
A : construction d'essai horizontale (p.ex. hourdis)	A,D,E ^{a)}
B : construction d'essai verticale (p.ex. parois)	B
C : construction d'essai verticale (p.ex. une paroi sur l'autre)	C,D ^{b)}
L'orientation E est applicable si le joint A a été testé avec déplacement	
L'orientation D est applicable si le joint C a été testé avec un déplacement	

Si le déplacement attendu $\leq \pm 7,5 \%$, l'essai peut être réalisé sans déplacement pendant l'essai.

Si le déplacement attendu $> \pm 7,5 \%$, l'essai peut être réalisé en effectuant les déplacements qui représentent un déplacement du joint de 100 % de la largeur du joint nominale ($\Delta = W$).

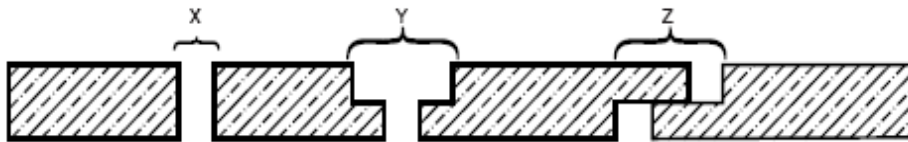
Figure 4.5. Déplacements des joints à appliquer lors de l'essai au feu





Les formes de joints les plus utilisées sont :

Figure 4.6. Types de joints



(4) Il convient que les liaisons entre les murs en maçonnerie non porteurs soient réalisées conformément à la NBN EN 1996-2 ou à d'autres dispositions détaillées appropriées.

REMARQUE : Des exemples de détails appropriés sont donnés à l'annexe 1.

(5) Les liaisons des murs en maçonnerie porteurs peuvent être réalisées conformément à la NBN EN 1996-1-1 ou à d'autres dispositions détaillées appropriées.

REMARQUE : Des exemples de détails appropriés sont donnés à l'annexe 1.

4.16.2 Fixations, tuyaux et cables

- (1) La présence de saignées et retraits, qui est autorisée dans la NBN EN 1996-1-1 dans les murs porteurs sans qu'il soit besoin d'un calcul séparé, peut être estimée ne pas réduire la durée de résistance au feu donnée dans les tableaux mentionnés ci-dessus.
- (2) Il convient, pour les murs non porteurs, que les saignées et les retraits verticaux laissent au moins 2/3 de l'épaisseur minimale requise du mur, soit en aucun cas moins de 60 mm, y compris les finitions de résistance au feu intégralement appliquées tel que le plâtre.
- (3) Il convient que les retraits et saignées horizontaux et inclinés des murs non porteurs laissent au moins 5/6 de l'épaisseur minimale requise du mur, soit en aucun cas moins de 60 mm, y compris les finitions de résistance au feu à application intégrale tel que le plâtre. Il convient de ne pas localiser les retraits et les saignées horizontaux et inclinés sur le premier tiers de la hauteur du mur.

Il convient que la largeur des retraits et saignées individuels des murs non porteurs ne soit pas supérieure à deux fois l'épaisseur minimale requise du mur, y compris les finitions de résistance au feu intégralement appliquées tel que le plâtre.

- (4) Il est recommandé d'évaluer la résistance au feu des murs non porteurs ayant des retraits ou des saignées non conformes à (2) et (3), à partir des essais effectués conformément à la NBN EN 1364.

- (5) Les câbles unitaires peuvent traverser à travers des trous calfeutrés au mortier. Par ailleurs, en fonction de E et I (voir § 4.21), les tuyaux non combustibles d'un diamètre de 100 mm peuvent traverser des trous calfeutrés également non combustibles, si les effets de la conduction thermique dans les tuyaux ne contreviennent pas aux critères E et I, et si toute dilatation n'affecte pas la performance de résistance au feu (pour des solutions types : voir §4.21).

Remarque : Si des matériaux autres que du mortier sont agréés par des normes CEN, ils peuvent être utilisés.

- (6) Des faisceaux de câbles ou de tuyaux en matériaux combustibles ou des câbles unitaires passant par des trous non calfeutrés au mortier, peuvent traverser les murs si :
- la méthode de calfeutrement a fait l'objet d'une évaluation par essai conformément à la NBN EN 1336: Partie 3 ; ou
 - les recommandations fondées sur une expérience pratique satisfaisante sont suivies.

Note : La NBN EN 1366 donne les informations détaillées sur :

- le calfeutrement de traversées de câbles ;
- le calfeutrement de traversées de tuyaux ;
- le calfeutrement de traversées mixtes.

4.17 Evaluation à l'aide de valeurs tabulées

- (1) L'évaluation des murs en maçonnerie peut être effectuée à l'aide des tableaux de l'annexe B de la NBN EN 1996-1-2, qui donnent l'épaisseur minimale requise pour l'ouvrage de maçonnerie et pour le critère pertinent, pour obtenir la période de résistance au feu énoncée, lorsque les ouvrages construits utilisent des éléments du matériau, du groupe et de la masse volumique apparente donnés.
- (2) Les tableaux donnent l'épaisseur de mur minimale uniquement à des fins de résistance au feu. L'épaisseur requise pour d'autres considérations telles que définie dans la NBN EN 1996-1-1, ou qui se révèle nécessaire pour satisfaire à d'autres exigences, par exemple la performance acoustique, n'est pas prise en compte.
- (3) Les valeurs données dans les tableaux et applicables aux murs porteurs sont valables pour une charge verticale caractéristique totale de $\alpha \frac{N_{RK}}{\gamma_{G10}}$ où α le rapport de la charge de calcul appliquée sur le mur et de la résistance calculée du mur, est égal à 1,0 ou 0,6 et où N_{RK} est considéré comme étant égal à $t\Phi f_k$ (voir la NBN EN 1996-1-1).

REMARQUE: L'annexe nationale peut fournir la valeur de γ_{G10} à utiliser dans un pays donné.

Les tableaux mentionnés dans l'annexe B sont issus de la prise en considération des résultats d'essai pour lesquels la valeur de γ_{G10} était comprise entre 3 et 5. Les essais de résistance au feu, effectués avant l'introduction de la conception et du calcul des coefficients partiels, ont été soumis à la charge admissible qui équivalait approximativement, à la résistance caractéristique divisée par le coefficient global $\gamma_F \times \gamma_M$, où γ_F et γ_M sont les coefficients partiels relatifs aux actions et aux matériaux respectivement (voir NBN EN 1990 et NBN EN 1996-1-1).

4.18 Valeurs tabulées pour la résistance au feu de murs en maçonnerie

- (1) L'épaisseur d'un mur en maçonnerie, t_F , permettant de déterminer une période de résistance au feu, $f_{R,d}$, peut être celle donnée dans les tableaux 4.1, 4.2, 4.3 et 4.4 pour le mur et la situation d'application de charge pertinents.
- (2) Les tableaux sont valables uniquement pour les murs conformes à la NBN EN 1996-1-1, NBN EN 1996-2 et NBN EN 1996-3, appropriés au type de mur et à sa fonction (par exemple, mur non porteur).
- (3) Dans ces tableaux, l'épaisseur visée est celle de la maçonnerie elle-même sans les finitions, s'il y en a. La première ligne définit la résistance des murs sans finition de surface adéquate. Les valeurs données entre parenthèses () dans la deuxième ligne concernent les murs avec finition d'une épaisseur minimale de 10 mm sur les deux faces d'un mur simple, ou sur la face exposée au feu d'un mur double.

REMARQUE 1: Un enduit en mortier de ciment n'augmente généralement pas la résistance au feu d'un mur en maçonnerie à la limite donnée dans la deuxième ligne des tableaux.

REMARQUE 2 : Des doubles lignes, par exemple 1.1.1 et 1.1.2 dans le tableau 4.1 (N.B.1.1).

- (4) Les ouvrages de maçonnerie constitués d'éléments ayant des dimensions d'une précision élevée et comportant des joints verticaux non remplis d'une largeur comprise entre 2 mm et 5 mm, peuvent être évalués à l'aide des tableaux 4.1 à 4.8, sous réserve qu'un enduit ou du plâtre d'une épaisseur minimale de 1 mm soit utilisé sur au moins un côté.

Note : Les joints verticaux ont aussi leur impact sur l'étanchéité à l'air, le degré d'aération de la coulisse en cas de murs creux, l'isolation thermique (voir NBN B62-002), l'isolation acoustique (voir aussi STS 22- 4 : Exécution).

Dans ce type de cas, les périodes de résistance au feu sont celles données pour les murs ne comprenant pas une couche d'enduit. Pour les murs présentant des joints verticaux de largeur inférieure ou égale à 2 mm, aucune finition additionnelle n'est nécessaire pour utiliser les tableaux appropriés aux murs sans finitions de surface.

- (5) Les ouvrages de maçonnerie constitués d'éléments à rainures et languettes, et comportant des joints verticaux non remplis d'une largeur inférieure à 5 mm, peuvent être évalués à l'aide des tableaux appropriés aux murs ne comportant pas de couche d'enduit.

4.19 Tableaux

Remarque 1 : Les épaisseurs des murs données sont des valeurs nominales et pas des dimensions de produit.

Remarque 2 : Les tableaux sont également valables pour des ouvrages en maçonnerie réalisés avec des armatures de joints horizontaux selon la NBN 845-3.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Remarque 3 : Les épaisseurs des murs, données dans les tableaux 4.1 à 4.8 pour un ouvrage en maçonnerie non portante (donc EI ou EI-M) sont valables uniquement pour des murs avec un rapport maximal de la hauteur à l'épaisseur de 40 ($h/t \leq 40$).

4.19.1 Brique en terre cuite

Pour rappel : répartition en groupes des éléments de maçonnerie :

Groupe 1S : Unités contenant moins de 5 % d'évidements par volume ; ces unités peuvent, par ailleurs, comporter des indentations, par exemple des empochements, des trous de préhension ou des rainures dans la face de pose, si de telles indentations sont remplies de mortier dans l'ouvrage fini.

Autres groupes : voir STS 22-1: Matériaux.

Tableau 4.1. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs non porteurs en terre cuite.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.1.1 ANB - Epaisseur minimale des murs séparatifs non porteurs en terre cuite (Critères EI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés de matériaux: Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Epaisseur minimale du mur (mm) t_F pour la classification de la résistance au feu EI pour un durée en minutes ($t_{i,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Groupe 1S, 1, 2, 3 en 4 metselstenen							105
1.1	Mortier allégé d'usage courant et mortier colle $500 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.1.1		60/100	90/100	100	120	130	160	190
1.1.2		(50/70)	(50/70)	(90)	(100)	(130)	(140)	(170)

Tableau 4.2. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs porteurs en terre cuite.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.1.2 ANB - Épaisseur minimale des murs simples séparatifs porteurs en terre cuite (Critères REI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Résistance f_b (N/mm ²) Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³) Épaisseur combinée ct % d'épaisseur du mur	Épaisseur minimale du mur (mm) t_F pour la classification de la résistance au feu REI pour une durée en minutes ($t_{R,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1S	Groupe 1S							
1S.1	$5 \leq f_b \leq 75$ mortier d'usage courant $5 \leq f_b \leq 50$ mortier-colle $1\ 000 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1S.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	90 (90)	100 (90)	100 -	130 (130)	170 (140)	170 (170)
1S.1.2								
1S.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	100 -	130 (130)	170 (140)	170 (170)
1S.1.4								
1	Groupe 1 Mortier d'usage courant et mortier-colle							
1.2	$5 \leq f_b \leq 75$ $800 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	90 (90)	100 (90)	130 (90)	140 (140)	170 (140)	190 (190)
1.2.2								
1.2.3	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	90 (90)	100 (90)	130 (90)	140 (140)	140 (140)	190 (190)
1.2.4								
1.3	$5 \leq f_b \leq 25$ $500 \leq \rho \leq 800$							
1.3.1	$\alpha \leq 1,0$	100 (100)	200 (170)	200 (170)	200 (170)	200 (200)	200 (200)	300 (300)
1.3.2								
1.3.3	$\alpha \leq 0,6$	100 (100)	170 (140)	170 (140)	200 (170)	200 (200)	200 (200)	300 (300)
1.3.4								
2	Groupe 2							
2.1	Mortier d'usage courant et mortier-colle $5 \leq f_b \leq 35$ $800 \leq \rho \leq 2\ 200$ $ct \geq 25\%$							
2.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	130 (130)	140 (130)	190 (140)	190 (190)
2.1.2								
2.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	130 (100)	140 (100)	190 (140)	190 (190)
2.1.4								
2.3	Mortier allégé, d'usage courant et mortier-colle $5 \leq f_b \leq 25$ $500 \leq \rho \leq 900$ $16\% \leq ct < 25\%$							
2.3.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	130 (130)	140 (130)	190 (140)	190 (190)
2.3.2								
2.3.3	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	130 (100)	140 (100)	190 (140)	190 (190)
2.3.4								

4.19.2 Briques silico-calcaires

Pour rappel : répartition en groupes des briques silico-calcaires :

Groupe 1S : Unités contenant moins de 5 % d'évidements par volume ; ces unités peuvent, par ailleurs, comporter des indentations, par exemple des empochements, des trous de préhension ou des rainures dans la face de pose, si de telles indentations sont remplies de mortier dans l'ouvrage fini.

Autres groupes : voir STS 22-1 : Matériaux.

Tableau 4.3. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs non porteurs maçonnés avec des briques silico-calcaires.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.2.1 ANB - Epaisseur minimale des murs séparatifs non porteurs en silico-calcaire (Critères EI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Epaisseur minimale du mur (mm) t_F pour la classification de la résistance au feu EI pour une durée en minutes ($t_{R,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Groupes 1S, 1, 2, 3							
1.1	Mortier d'usage courant $600 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.1.1		70	70	90	100	120	140	140
1.1.2		(50)	(70)	(70)	(90)	(120)	(140)	(140)
1.2	Mortier-colle $600 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.2.1		70	70	90	100	120	140	140
1.2.2		(50)	(70)	(70)	(90)	(120)	(140)	(140)

Tableau 4.4. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs porteurs maçonnerés avec des briques silico-calcaires.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.2.2 ANB - Épaisseur minimale des murs simples séparatifs porteurs en silico-calcaire (Critères REI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Résistance f_b (N/mm ²) Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Épaisseur minimale du mur (mm) t_e pour la classification de la résistance au feu REI pour une durée en minutes ($t_{e,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1S	Groupe 1S							
1S.1	Mortier d'usage courant $12 \leq f_b \leq 15$ $1\ 700 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1S.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	120	140	140
1S.1.2		(90)	(90)	(90)	(90)	(100)	(140)	(140)
1S.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	120	140	140
1S.1.4		(90)	(90)	(90)	(90)	(100)	(140)	(140)
1S.2	Mortier-colle $12 \leq f_b \leq 15$ $1\ 700 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1S.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	120	140	140
1S.2.2		(90)	(90)	(90)	(90)	(100)	(140)	(140)
1S.2.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	120	140	140
1S.2.4		(90)	(90)	(90)	(90)	(100)	(140)	(140)
1	Groupe 1							
1.1	Mortier d'usage courant $12 \leq f_b \leq 75$ $1\ 400 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	140	190	190
1.1.2		(90)	(90)	(90)	(90)	(140)	(170)	(170)
1.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	140	170	190
1.1.4		(90)	(90)	(90)	(100)	(100)	(140)	(140)
1.2	Mortier-colle $12 \leq f_b \leq 75$ $1\ 400 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	100	140	190	190
1.2.2		(90)	(90)	(90)	(90)	(140)	(170)	(170)
1.2.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	100	140	170	190
1.2.4		(90)	(90)	(90)	(100)	(100)	(140)	(140)
2	Groupe 2							
2.1	Mortier d'usage courant $6 \leq f_b \leq 35$ $700 \leq \rho \leq 1\ 600$							
2.1.1	$\alpha \leq 1,0$	100	100	100	140	200	240	-
2.1.2		(100)	(100)	(100)	(100)	(170)	(190)	-
2.1.3	$\alpha \leq 0,6$	100	100	100	100	140	200	-
2.1.4		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(140)	-
2.2	Mortier-colle $6 \leq f_b \leq 35$ $700 \leq \rho \leq 1\ 600$							
2.2.1	$\alpha \leq 1,0$	100	100	100	140	200	240	-
2.2.2		(100)	(100)	(100)	(100)	(170)	(190)	-
2.2.3	$\alpha \leq 0,6$	100	100	100	100	140	200	-
2.2.4		(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	(140)	-

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

4.19.3 Briques en béton

Pour rappel : répartition en groupes des briques en béton :

Groupe 1S : Unités contenant moins de 5 % d'évidements par volume ; ces unités peuvent, par ailleurs, comporter des indentations, par exemple des empochements, des trous de préhension ou des rainures dans la face de pose, si de telles indentations sont remplies de mortier dans l'ouvrage fini.

Autres groupes : voir STS 22-1 : Matériaux.

Tableau 4.5. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs non porteurs maçonnés avec des briques en béton.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.3.1 ANB - Epaisseur minimale des murs séparatifs non porteurs en béton de granulats courants et légers (Critères EI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Résistance f_b (N/mm ²) Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Epaisseur minimale du mur (mm) t_e pour la classification de la résistance au feu EI pour une durée en minutes ($t_{e,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Groupe 1 Mortier allégé, d'usage courant et mortier-colle							
1.1	Granulats légers $2 \leq f_b \leq 15$ $400 \leq \rho \leq 1\ 600$							
1.1.1		50	70	90	100	130	140	170
1.1.2		(50)	(50)	(70)	(70)	(120)	(140)	(170)
1.2	Granulats courants $6 \leq f_b \leq 35$ $1\ 200 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.2.1		50	70	90	100	130	150	170
1.2.2		(50)	(50)	(70)	(70)	(120)	(140)	(170)
2	Groupe 2 Mortier allégé, d'usage courant et mortier-colle							
2.1	Granulats légers $2 \leq f_b \leq 15$ $240 \leq \rho \leq 1\ 200$							
2.1.1		50	70	90	100	150	190	210
2.1.2		(50)	(50)	(90)	(90)	(140)	(170)	(200)
2.2	Granulats courants $6 \leq f_b \leq 35$ $720 \leq \rho \leq 1\ 650$							
2.2.1		50	70	90	90	150	190	210
2.2.2		(50)	(50)	(70)	(90)	(140)	(170)	(200)

Tableau 4.6. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs porteurs maçonnés avec des briques en béton.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.3.2 ANB - Épaisseur minimale des murs simples séparatifs porteurs en béton de granulats courants et légers (Critères REI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Résistance f_b (N/mm ²) Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Épaisseur minimale du mur (mm) t_f pour la classification de la résistance au feu REI pour une durée en minutes ($t_{R,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Groupe 1 Mortier allégé, d'usage courant et mortier-colle							
1.1	Granulats légers $2 \leq f_b \leq 15$ $400 \leq \rho \leq 1\ 600$							
1.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	120 (120)	130 (120)	150 (150)	170 (170)
1.1.2	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	120 (100)	130 (120)	150 (150)	170 (170)
1.1.3		90	90	90	120	130	150	170
1.1.4		(90)	(90)	(90)	(100)	(120)	(150)	(170)
1.2	Granulats courants $6 \leq f_b \leq 35$ $1\ 200 \leq \rho \leq 2\ 400$							
1.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	120 (120)	130 (120)	150 (150)	170 (170)
1.2.2	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	90 (90)	90 (90)	120 (100)	130 (120)	150 (150)	170 (170)
1.2.3		90	90	90	120	130	150	170
1.2.4		(90)	(90)	(90)	(100)	(120)	(150)	(170)
2	Groupe 2 Mortier allégé, d'usage courant et mortier-colle							
2.1	Granulats légers $2 \leq f_b \leq 15$ $240 \leq \rho \leq 1\ 200$							
2.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	100 (90)	100 (90)	130 (130)	150 (140)	190 (170)	210 (200)
2.1.2	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	100 (90)	100 (90)	130 (130)	150 (140)	190 (170)	210 (200)
2.1.3		90	100	100	130	150	190	210
2.1.4		(90)	(90)	(90)	(130)	(140)	(170)	(200)
2.1	Granulats courants $6 \leq f_b \leq 35$ $720 \leq \rho \leq 1\ 650$							
2.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90 (90)	100 (90)	100 (90)	130 (130)	150 (140)	190 (170)	210 (200)
2.1.2	$\alpha \leq 0,6$	90 (90)	100 (90)	100 (90)	130 (130)	150 (140)	190 (170)	210 (200)
2.1.3		90	100	100	130	150	190	210
2.1.4		(90)	(90)	(90)	(130)	(140)	(170)	(200)

4.19.4 Briques en béton cellulaire

Pour rappel : répartition en groupes des éléments en béton cellulaire :

Groupe 1S : Unités contenant moins de 5 % d'évidements par volume ; ces unités peuvent, par ailleurs, comporter des indentations, par exemple des empochements, des trous de préhension ou des rainures dans la face de pose, si de telles indentations sont remplies de mortier dans l'ouvrage fini.

Autres groupes : voir STS 22-1 : Matériaux.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Tableau 4.7. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs non porteurs maçonnés avec des éléments en béton cellulaire.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.4.1 ANB - Epaisseur minimale des murs séparatifs non porteurs en béton cellulaire autoclavé (Critères EI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Résistance f_b (N/mm ²) Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Epaisseur minimale du mur (mm) t_F pour la classification de la résistance au feu EI pour une durée en minutes ($t_{R,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Groupes 1S et 1							
1.1	Mortier d'usage courant et mortier colle							
1.1.1	$350 \leq \rho \leq 500$	50	65	70	90	90	120	190
1.1.2		(50)	(65)	(70)	(70)	(90)	(90)	(190)
1.1.3	$500 \leq \rho \leq 1\ 000$	50	65	70	90	90	120	190
1.1.4		(50)	(65)	(70)	(70)	(90)	(90)	(190)

Tableau 4.8. Épaisseurs minimales pour la durée de résistance au feu des murs porteurs maçonnerés avec des éléments en béton cellulaire.

Ce tableau est issu de la NBN EN 1996-1-2 ANB/ Tableau N.B.4.2 ANB - Épaisseur minimale des murs simples séparatifs porteurs en béton cellulaire autoclavé (Critères REI) pour les classifications de la résistance au feu.

Numéro de ligne	Propriétés des matériaux Résistance f_b (N/mm ²) Masse volumique apparente sèche brute ρ (kg/m ³)	Épaisseur minimale du mur (mm) t_F pour la classification de la résistance au feu EI pour une durée en minutes ($t_{fi,d}$)						
		30	45	60	90	120	180	240
1	Groupe 1S et 1							
1.1	Mortier d'usage courant et mortier colle $2 \leq f_b \leq 4$ $350 \leq \rho \leq 500$							
1.1.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	90	90	140	190
1.1.2		(90)	(90)	(90)	(90)	(90)	(140)	(190)
1.1.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	90	90	140	190
1.1.4		(90)	(90)	(90)	(90)	(90)	(140)	(190)
1.2	Mortier d'usage courant et mortier colle $4 \leq f_b \leq 8$ $500 \leq \rho \leq 1000$							
1.2.1	$\alpha \leq 1,0$	90	90	90	90	90	140	190
1.2.2		(90)	(90)	(90)	(90)	(90)	(140)	(190)
1.2.3	$\alpha \leq 0,6$	90	90	90	90	90	140	190
1.2.4		(90)	(90)	(90)	(90)	(90)	(140)	(190)

4.20 Exigences

Les données du tableau 4.9 sont indicatives et non limitatives. En plus, elles se limitent aux exigences de murs en maçonnerie verticaux, sans portes, ouvertures de fenêtres et traversées de tuyaux.

Bâtiments bas (BB) : $h < 10$ m, pas applicables sur des bâtiments industriels (annexe séparée), des bâtiments avec maximum deux niveaux superposés et avec une surface totale inférieure ou égale à 100 m², et des logements unifamiliaux.

Bâtiments moyens (BM) : $10 \text{ m} \leq h < 25 \text{ m}$.

Bâtiments élevés (BE) : $25 \text{ m} \leq h$.

Tableau 4.9. Exigences pour les parois de bâtiments bas, moyens et élevés

	BB	BM	BE
Parois structurelles qui séparent des bâtiments adjacents	REI 60	REI 120	REI 240
Parois qui séparent des bâtiments adjacents	EI 60	EI 120	EI 240
Murs d'un sas reliant deux bâtiments adjacents		EI 60	
Parois structurelles de bâtiments avec 1 niveau au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)	REI 30		
Parois structurelles de bâtiments avec plus d'un niveau au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)	REI 60		
Parois structurelles de bâtiments en dessous du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)	REI 60		
Parois structurelles de bâtiments au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)		R 60	R 120
Parois structurelles de bâtiments en dessous du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)		R 120	R 120
Parois verticales intérieures de bâtiments avec 1 niveau au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation	EI 30		

	BB	BM	BE
le plus bas), qui limitent des locaux à occupation nocturne			
Parois verticales intérieures de bâtiments avec plusieurs niveaux au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas), qui limitent des locaux à occupation nocturne	EI 60		
Parois verticales intérieures de bâtiments en dessous du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas), qui limitent des locaux à occupation nocturne	EI 60		
Parois verticales des locaux à occupation nocturne		EI 60	EI 60
Parois de locaux à archives		EI 60	EI 60
Parois intérieures de cages d'escaliers intérieures	EI 60	EI 60	EI 120
Parois de la communication entre le chemin d'évacuation et la cage d'escaliers intérieures au moyen d'un sas			EI 120
Parois entre compartiments de bâtiments avec 1 niveau au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)	EI 30		
Parois entre compartiments de bâtiments avec plusieurs niveaux au-dessus du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)	EI 60	EI 60	EI 120
Parois entre compartiments de bâtiments en dessous du niveau Ei (= le niveau d'évacuation le plus bas)	EI 60	EI 60	EI 120
Parois de chemins d'évacuation (non requis si compartiment <1250 m ² et occupation jour uniquement)	EI 30		
Parois de chemins d'évacuation au niveau d'évacuation		EI 60	EI 120

	BB	BM	BE
Parois de chemins d'évacuation à un niveau qui n'est pas un niveau d'évacuation (non requis pour BM si compartiment <1250 m ² et seulement occupation de jour)		EI 30	EI 30
Parois des locaux techniques	Cfr les compartiments	Cfr les compartiments	Cfr les compartiments
Parois des chaufferies et leurs dépendances dans un bâtiment capacité thermique immédiatement utile ≥ 70 kW	EI 60	EI 60 pour autant que ceci soit autorisé	EI 120 pour autant que ceci soit autorisé
Parois des chaufferies et leurs dépendances dans un bâtiment capacité thermique immédiatement utile < 70 kW	Cfr les compartiments	Cfr les compartiments	Cfr les compartiments
Parois intérieures de locaux de transformation	EI 60	EI 120	EI 120
Parois de locaux de transformation d'électricité avec des postes assemblés sur place ou des postes préfabriqués	EI 60	EI 120	EI 120
Parois des gaines vide-ordures	interdit	interdit	interdit
Parois des locaux d'entreposage des ordures	EI 60	EI 60	EI 120
Parois des gaines verticales contenant des canalisations qui traversent des parois horizontales	EI 60	EI 60 (ou voir AR §5151)	EI 120 (ou voir AR §5151)
Parois des gaines verticales compartimentées à chaque couche du bâtiment par des écrans horizontaux	EI 30		
Parois des gaines horizontales	Cfr les murs verticaux auxquels ils se connectent	Cfr les murs verticaux auxquels ils se connectent (voir AR §5052)	Cfr les murs verticaux auxquels ils se connectent (voir AR §5052)

	BB	BM	BE
Parois entre parkings et le reste du bâtiment	EI 60	EI 60	EI 120
Parois entre cabines électriques, locaux à archives, locaux techniques... qui se trouvent dans le compartiment de parking	EI 60	EI 60	EI 120
Parois de salles	idem aux parois de compartiments	EI 60	EI 120
Parois de séparation de l'ensemble commercial avec les autres parties de construction	EI 60	EI 60	EI 120
Parois de séparation entre locaux à caractère commercial	EI 30	EI 30	EI 30
Parois de séparation entre cuisines collectives et autres parties	EI 60	EI 60	EI 120
Parois des gaines avec système de transport vertical entre le restaurant et les cuisines		EI 60	EI 120
Ascenseurs et monte-charges: l'ensemble constitué d'une ou plusieurs gaines, et par leurs paliers d'accès qui doivent former un sas pour les niveaux en sous-sol, est limité par des parois. Note : 1- les parois des gaines d'ascenseur sont continues, massives et de la classe A1 Note 2 : ce qui est mentionné ci-dessus ne vaut pas quand l'ascenseur ne s'arrête que dans un seul compartiment	EI 60	EI 60	EI 120
Parois d'ascenseurs et monte-charges qui limitent l'ensemble qui est formé de la gaine et de la salle à machines	EI 60	EI 60	EI 120
Ascenseurs oléohydrauliques : la salle à machines est séparée de la	EI 60	EI 120	EI 120

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

	BB	BM	BE
gaine d'ascenseur : parois des salles à machines d'ascenseurs			
Paternosters, transporteurs à conteneurs et monte-charges à chargement et déchargement automatique (interdit au transport de personnes) : parois intérieures de salles à machines et de gaines, y compris des parois de sas	EI 60	EI 60	EI 120
Parois des gaines d'escaliers mécaniques	EI 60	EI 60	EI 120

Exigences spécifiques pour :

- maisons de repos ;
- crèches ;
- hopitaux ;
- soins de santé mentale ;
- centres de soins de jour ;
- centres de soins courts ;
- centres de revalidation ;
- résidences-services et centres d'accueil de jour pour personnes âgées ;
- centres d'herbergements des familles, de la petite enfance, des enfants ;
- garderies scolaires ;
- centres d'hebergements touristiques et de jeunesse ;
- campings ;
- ...

sont de la compétence des Communautés. Pour ces normes et autres spécifications relatives à la prévention incendie, se référer aux Communautés (www.departementwvg.be voor Vlaanderen; www.wallex.wallonie.be voor Wallonië of www.fireforum.be).

En l'absence de cadre réglementaire, les règlements d'exécution relatif aux normes de base peuvent s'appliquer et la nécessité de mesures de sécurité particulières doit être estimée et justifiée par les pompiers.

Exigences spécifiques pour hôpitaux (= réglementation communautaire, toutefois, les anciennes réglementations fédérale sont toujours suivies) :

- Il s'agit de l'Arrêté royal du 6 novembre 1979 portant fixation des normes de protection contre l'incendie et la panique, auxquelles doivent répondre les hôpitaux. (M.B. 11.1.1980).
- La distance horizontale, entre les bâtiments de l'établissement et des constructions ou locaux occupés par des tiers, est au moins égale à 8 m. De plus, l'espace de séparation est dégagé de tout élément combustible sur une distance horizontale minimale de 8 m, par rapport aux bâtiments considérés. Les bâtiments qui ne sont pas isolés des constructions ou locaux occupés par des tiers, comme prescrit à l'alinéa précédent, sont séparés de ces constructions ou locaux par des parois d'une résistance au feu d'au moins **deux heures**. La hauteur des parois de séparation est au moins égale à la hauteur du bâtiment à isoler, sans devoir toutefois dépasser de plus de 12 m la partie la plus élevée des toitures des constructions ou locaux précités.
- Lorsque des bâtiments distincts d'un établissement sont juxtaposés ou sont reliés par des passages couverts, ils sont séparés les uns des autres ou des passages couverts par des parois d'une résistance au feu d'au moins **deux heures**. Les ouvertures dans ces parois sont pourvues de portes à fermeture automatique ou de portes à fermeture automatique en cas d'incendie, d'une résistance au feu d'au moins une heure.

Les données du tableau 4.10 sont indicatives et non limitatives. En plus, elles se limitent aux exigences de murs en maçonnerie verticaux, sans portes, ouvertures de fenêtres et traversées de tuyaux.

Tableau 4.10. Exigences pour les murs de maisons de repos, résidences-services, centres d'accueil de jour pour personnes âgées et hôpitaux

	Hôpitaux
Éléments structuraux comme les murs porteurs	R 120
Parois de façade	E 60
Parois verticales intérieures qui ne servent pas de murs porteurs (à l'exception des parois intérieures des chemins d'évacuation et salles d'attente)	EI 30 *
Parois de compartiment qui ne sont pas une paroi de façade	EI 60 **
Parois de cages d'escaliers qui ne font pas partie de la paroi de façade	EI 120
Les cages d'escaliers donnant accès à l'étage situé en dessous du niveau d'évacuation le plus bas, ne peuvent pas se trouver dans le prolongement des autres étages. Ceci n'exclut pas que l'une ne peut pas se trouver au-dessus de l'autre. Elles doivent toutefois être séparées par des parois d'une résistance au feu d'au moins	EI 120
Les parois verticales intérieures non porteurs des chemins d'évacuation	EI 60
Parois de chaufferies	EI 120
Parois de cabines de transformations raccordées à un réseau à haute tension, excepté les murs de façade	EI 120
Parois de garages et parkings intérieurs	EI 120
Tout accès entre un garage ou parking intérieur et un autre compartiment du même bâtiment, se fait par un sas limité par des parois d'une résistance au feu d'au moins	EI 120
Parois de vide-ordures intérieurs par gaines, ainsi que celles du local pour recueillir ou entreposer les ordures	Non autorisé

	Hôpitaux
Parois des locaux d'entreposage des ordures	EI 120
Tout accès au local où les ordures sont recueillies, à partir d'autres compartiments des bâtiments dans lesquels ces locaux se trouvent, se fait par un sas bien ventilé au moyen d'ouvertures donnant sur l'extérieur. Les murs de ce sas ont une résistance au feu d'au moins	EI 120
Parois de gaines verticales contenant des canalisations	EI 120***
Parois de gaines horizontales dans lesquelles passent des canalisations, et qui passent à travers d'une paroi de séparation d'un compartiment.	EI 120
Parois de séparation entre les cuisines ou les "ensembles cuisines-restaurants" d'une part et les locaux destinés aux résidents d'autre part	EI 120
Parois qui limitent une ou plusieurs gaines d'ascenseurs à l'exception des parois des paliers d'accès ou des parois de façade	EI 120****
Parois qui constituent la séparation d'une ou plusieurs gaines d'ascenseurs et qui se situent du côté de la façade	EI 60
Parois qui séparent, le cas échéant, deux gaines d'ascenseurs contiguës	EI 30
Parois du sas donnant accès aux ascenseurs en sous-sol	EI 120
Parois des salles à machines d'ascenseurs	EI 120
Parois qui isolent les locaux de détente de gaz naturel des autres locaux ou bâtiments	EI 120

	Hôpitaux
Parois du sas donnant accès aux locaux de détente de gaz naturel	EI 120
Parois des dépôts de gaz (médicaux ou autres)	EI 120
Parois des blocs opératoires	EI 60
Toute communication éventuelle entre un bloc opératoire et un compartiment voisin se fait par un sas limité par des parois d'une résistance au feu d'au moins	EI 60
Parois de pharmacies et de laboratoires	EI 60
Toute communication éventuelle entre des pharmacies et laboratoires d'une part, et un compartiment voisin d'autre part, se fait par un sas limité par des parois d'une résistance au feu d'au moins	EI 60
Parois non porteurs de locaux destinés au logement du personnel de l'hôpital	EI 60

4.21 Règles pour les traversées des parois

4.21.1 Domaine d'application

Les dispositions de ce paragraphe s'appliquent aux traversées des parois par des conduites de fluides, de solides, d'électricité ou d'ondes électromagnétiques, qui ne peuvent pas altérer le degré de résistance au feu exigé pour ces éléments de construction.

Ces dispositions ne sont pas applicables aux traversées d'éléments de construction par des conduits d'air, des cheminées et des clapets coupe-feu.

Pour les directives générales, référence est faite au §4.16.2 (5) et (6), et ci-dessous, quelques exemples qui n'altèrent pas la résistance au feu du mur, sont donnés. Les prescriptions suivantes s'appliquent aux bâtiments bas, moyens et élevés, ainsi qu'aux bâtiments industriels. Pour plus d'informations, on consultera le code de bonnes pratiques (NIT 254)

4.21.2 Définitions

Traversée : ouverture aménagée dans une paroi pour permettre le passage d'une conduite de fluides, de solides, d'électricité ou d'ondes électromagnétiques, comme la lumière (par ex. câbles de transmission de données et câbles en fibres optiques) ;

Traversée simple : traversée d'une conduite ou d'un câble située à une distance suffisante des autres traversées de façon à éviter toute incidence réciproque ; cette distance minimale entre deux conduites ou câbles quelconques est au moins égale au diamètre le plus grand des deux conduites (y compris l'isolation combustible éventuelle) ou câbles ;

Dispositif d'obturation : dispositif utilisé à l'endroit d'une traversée pour limiter la propagation du feu à travers la paroi ;

Diamètre ou D : diamètre extérieur nominal de la conduite ou du câble ou le périmètre de la conduite ou du câble divisée par π ;

Mortier : mélange à base d'un liant comme le plâtre, la chaux et/ou le ciment comprenant un agrégat inorganique avec adjonction ou non d'un matériau composite de renforcement et d'additifs chimiques ;

Conduites incombustibles : conduites fabriquées en métal ou autres matériaux incombustibles dont le point de fusion est supérieur à 1000 K (727 °C), à l'exception des conduites en verre ;

Conduites combustibles : conduites qui ne sont pas des conduites incombustibles ;

Jeu entre la conduite et le fourreau : différence entre le diamètre intérieur du fourreau et le diamètre extérieur de la conduite.

4.21.3 Conditions supplémentaires

Le dispositif d'obturation de la traversée doit maintenir la fonction séparante de la paroi, c'est à dire la capacité à satisfaire aux critères d'étanchéité aux flammes (E) et d'isolation thermique (I) à l'endroit des traversées.

Cependant, pour les traversées simples par des conduites d'un diamètre inférieur ou égal à 160 mm sans isolation ou avec isolation incombustible, le critère d'isolation thermique peut être négligé ; le matériau d'isolation incombustible satisfait à la classification A2-s1, d0.

Le dispositif d'obturation doit satisfaire aux critères requis pendant une durée au moins égale à celle requise pour la paroi.

Cependant, pour la paroi d'une gaine, la durée requise est :

- au moins égale à la moitié du temps de résistance au feu prescrit pour cette paroi, et
- au moins égale à 30 minutes.

La résistance au feu du dispositif d'obturation, en termes d'étanchéité aux flammes E et d'isolation thermique I, peut être démontrée :

- par une évaluation selon une des dispositions de §4.8 ;
- par l'application d'une des solutions-types décrites ci-après.

4.21.4 Solutions types

4.21.4.1 Solution type A : Obturation d'une traversée simple au moyen de mortier ou de laine de roche

Une simple obturation de la traversée au moyen de mortier ou de laine de roche offre des garanties suffisantes pour ne pas altérer la résistance au feu requise s'il est satisfait aux conditions suivantes :

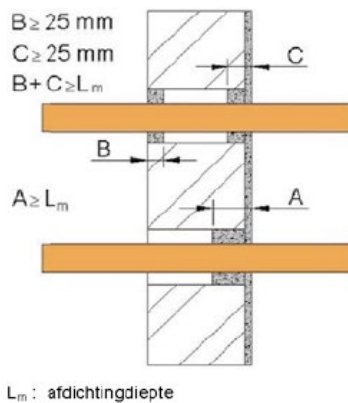
- les parois dans lesquelles sont aménagées les traversées ont une résistance au feu d'au moins EI 60 ;
- le diamètre maximal de la conduite en fonction de la résistance au feu requise répond au tableau 4.11.

Tableau 4.11 : Diamètre maximum (mm) des conduites simplement jointoyées au moyen de mortier ou de laine de roche

Nature de la conduite	Obturation	E requis		
		E30	E60	E120
Conduites combustibles et câbles électriques	au mortier	50	50	50
	à la laine de roche	50	25	25
Conduites incombustibles	au mortier et à la laine de roche	160	160	75
	remplies (automatiquement) avec de l'eau en cas d'incendie	160	160	160

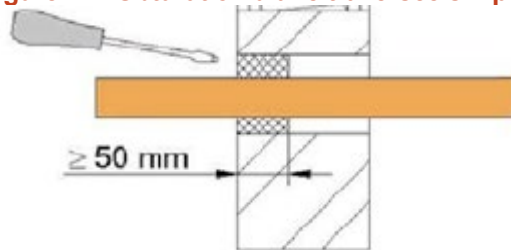
Obturation au moyen de mortier (figure 4.6) : les conduites sont jointoyées sur tout leur pourtour au moyen de mortier et ce sur une profondeur d'obturation minimum (L_m) de 50 mm, pour des valeurs de résistance au feu E 30 et E 60 et de 70 mm pour une résistance au feu E 120 ; il peut être tenu compte de l'épaisseur d'un éventuel enduit pour la réalisation de la profondeur d'obturation. L'obturation se fait de préférence des deux côtés de l'élément de construction ; la profondeur d'obturation L_m est obtenue par le cumul des épaisseurs de chaque côté avec un minimum de 25 mm par côté. Si l'obturation est faite d'un seul côté, la profondeur d'obturation de ce côté doit être : $A \geq L_m$.

Figure 4.6. Obturation d'une traversée simple au moyen de mortier



Obturation au moyen de laine de roche (figure 4.7) : les conduites sont jointoyées sur tout leur pourtour au moyen de laine de roche, et ce sur une profondeur totale d'au moins 50 mm. L'obturation peut se faire d'un seul côté. La laine de roche doit être comprimée fermement dans la paroi.

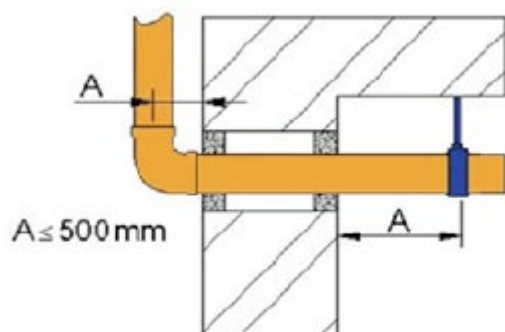
Figure 4.7. Obturation d'une traversée simple au moyen de laine de roche



Obturation au moyen de mortier et de laine de roche : l'obturation peut combiner mortier et laine de roche à condition que la mise en œuvre d'un des matériaux au moins réponde aux conditions mentionnées ci-avant.

Les conduites doivent être suspendues et fixées suivant les règles de l'art (figure 4.8). Les fixations les plus proches de l'élément de construction ne peuvent pas être situées à plus de 500 mm de part et d'autre de celle-ci.

Figure 4.8. Suspension des conduites



4.21.4.2 Solution type B : Traversée simple au moyen d'un fourreau

Lorsque les règles de l'art prescrivent l'utilisation d'un fourreau, la résistance au feu requise par les parois en maçonnerie n'est pas altérée à condition :

- les diamètres maximaux des conduites traversant des parois en maçonnerie, pour lesquelles l'utilisation d'un fourreau en métal ou d'un autre matériau incombustible ou en PVC-U, avec jeu ouvert ou non, n'altère pas la résistance au feu requise, répondent aux exigences du tableau 4.12.

Tableau 4.12. Diamètre maximum (mm) des conduites intégrées dans un fourreau en métal ou en PVC

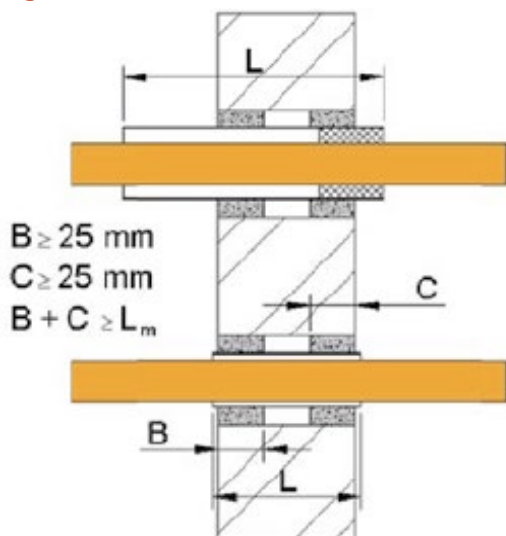
Longueur L du fourreau	Jeu	E requis		
		E30	E60	E120
Fourreau en métal ou matériau incombustible ; L= 300mm	Jeu ouvert	110	110	90
	Jeu rempli	110	110	25
Fourreau en métal ou matériau incombustible ; L= 140mm	Jeu ouvert	90	90	25
	Jeu rempli	50	25	25
Fourreau en PVC-U ; L= 140mm	Jeu ouvert	40	40	25

Le fourreau doit être :

- ou bien, une conduite incombustible ;
- ou bien, une conduite en PVC-U rigide, classé en B-s3, d0.

Le fourreau est solidement fixé au mur au moyen d'une obturation au mortier. L'obturation au mortier se fait de chaque côté de la paroi, sur une profondeur minimale de 25 mm (voir figure 4.9). Le fourreau reste partiellement apparent et doit dépasser de la paroi.

Figure 4.9. Obturation de la traversée avec un fourreau



126

Les conduites sont des conduites incombustibles ou des conduites en PVC-U rigide.

Si le jeu entre le fourreau et la conduite est ouvert, il est de 4 mm maximum.

Lorsque le diamètre du fourreau est inférieur ou égal à 25 mm, il n'est pas imposé de conditions relatives au jeu entre le fourreau et la conduite.

Si le jeu entre le fourreau et la conduite est rempli, il est de 45 mm maximum et est obturé sur tout son pourtour, au moyen de laine de roche. Les conduites sont jointoyées sur tout leur pourtour au moyen de laine de roche, et ce sur une profondeur totale d'au moins 50 mm. L'obturation peut se faire d'un seul côté. La laine de roche doit être comprimée fermement dans la paroi.

Les conduites doivent être suspendues et fixées suivant les règles de l'art. Les fixations les plus proches de la paroi ne peuvent pas être situées à plus de 500 mm de part et d'autre de celle-ci.

4.21.4.3 Solution type C : Raccordement direct à une cuvette de WC suspendue

Le raccordement à une cuvette de WC suspendue contre la maçonnerie n'altère pas la résistance au feu requise s'il est satisfait aux conditions suivantes :

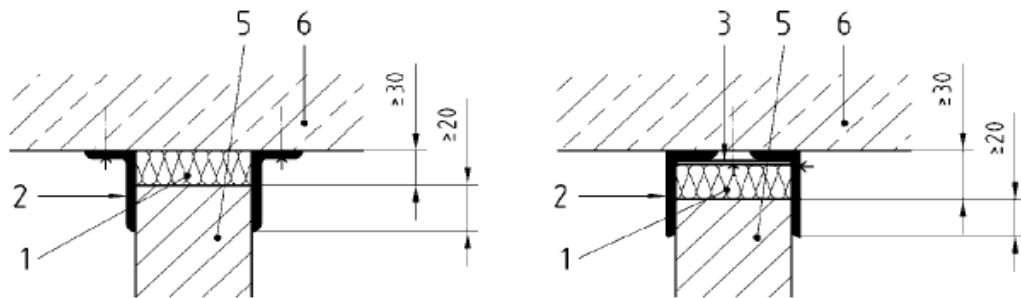
- le diamètre de la conduite est de 110 mm maximum ;
- l'obturation au moyen de mortier ou de laine de roche satisfait aux conditions, comme mentionnées dans le §4.21.4.1 ;
- la durée maximale requise est égale à 30 minutes.

« Créer les conditions d'un fonctionnement compétitif, durable et équilibré du marché des biens et services en Belgique. »

Annexe 1

Les plans détaillés des raccords répondent aux exigences du § 4.16.1 Liaisons et joints.

Figure 4.10. Section transversale des liaisons de murs non porteurs avec le plancher ou le toit



Légende

- 1 Couche isolante — laine minérale, classe de matériau A (non combustible), point de fusion $\geq 1\ 000\ ^\circ\text{C}$
- 2 Cornière d'acier
- 3 Acier plat $65 \times 5\ \text{mm}$, $a > 600\ \text{mm}$
- 5 Maçonnerie
- 6 Béton

Figure 4.11. Liaisons entre les murs

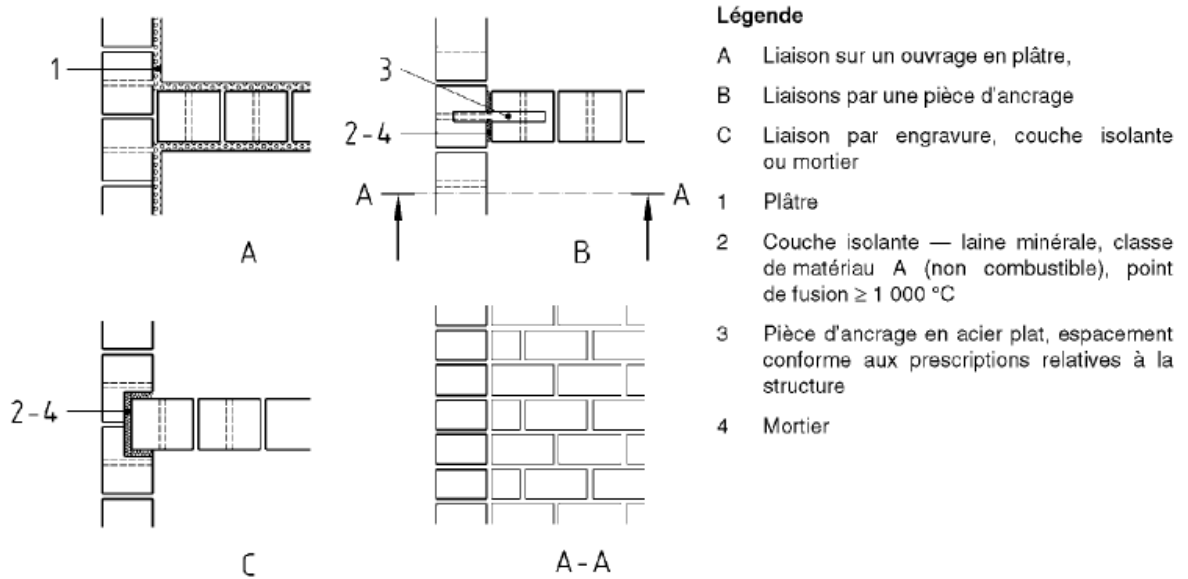
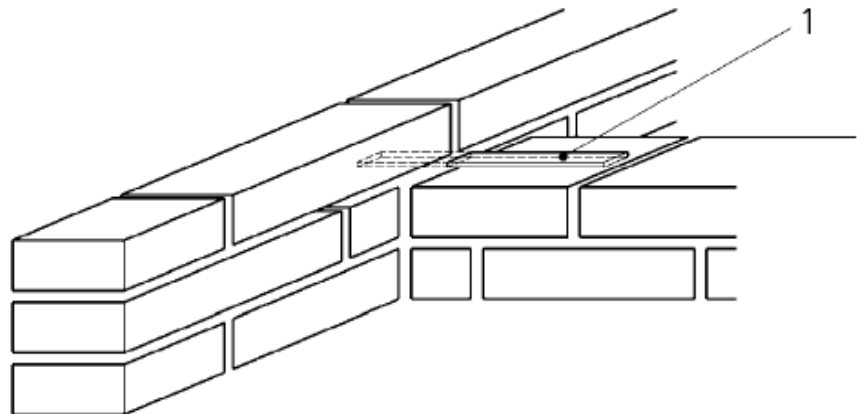


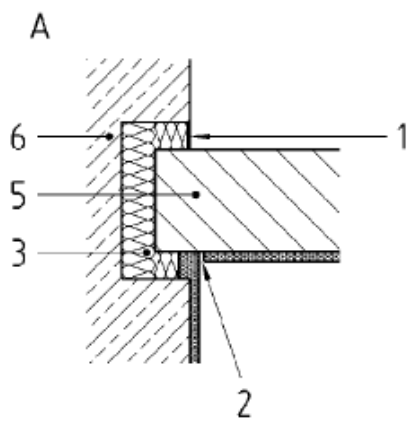
Figure 4.12. Exemple de liaisons entre murs porteurs au moyen d'une pièce d'ancrage en acier



Légende

- 1 Pièce d'ancrage en acier plat, espacement conforme aux prescriptions relatives à la structure

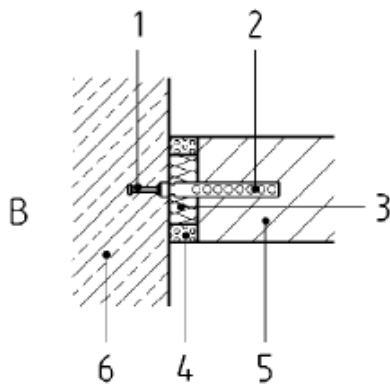
Figure 4.13. Liaisons avec un joint de dilatation entre les murs en maçonnerie, ou entre un mur en maçonnerie et un mur en béton



Légende

A

- 1 Joint d'étanchéité
- 2 Découpe à la truelle ou découpe du plâtre (facultatif)
- 3 Couche isolante — laine minérale, classe de matériau A (non combustible), point de fusion $\geq 1\ 000\ ^\circ\text{C}$
- 5 Maçonnerie
- 6 Béton



B

- 1 Pièce d'ancrage
- 2 Pièce d'ancrage à coulissement vertical
- 3 Couche isolante — laine minérale, classe de matériau A (non combustible), point de fusion $\geq 1\ 000\ ^\circ\text{C}$, ou mortier
- 4 Joint d'étanchéité
- 5 Maçonnerie
- 6 Béton

5 Etanchéité à l'air

5.1 Généralités

L'étanchéité à l'air d'une construction définit sa capacité à empêcher le passage de l'air de l'extérieur vers l'intérieur du bâtiment et inversement. Elle se quantifie à l'aide du débit de fuite qui traverse l'enveloppe sous un écart de pression donné entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment. En Belgique, on exprime généralement l'étanchéité à l'air pour une différence de pression de 50 Pa. Les grandeurs suivantes sont souvent utilisées pour exprimer l'étanchéité à l'air :

- V_{50} : débit de fuite à travers l'enveloppe du bâtiment en volume par unité de temps : m^3/h ;
- n_{50} : taux de renouvellement de l'air en volume par unité de temps : vol/h, (débit de fuite rapporté au volume intérieur du bâtiment) ;
- v_{50} : perméabilité de l'enveloppe en volume par unité de temps et par surface : $m^3/(h.m^2)$, (débit de fuite rapporté à la surface de l'enveloppe).

L'étanchéité à l'air ne peut pas être confondue avec l'étanchéité au vent :

- afin d'obtenir une bonne étanchéité au vent, on place un pare-vent. Celui-ci doit éviter que le vent cause des flux d'air à travers ou derrière l'isolation. L'installation d'un pare-vent se fait du côté extérieur, donc du côté froid, de l'isolation (p.ex. une sous-toiture) ;
- afin d'obtenir une bonne étanchéité à l'air, on place un écran à l'air pour arrêter les flux d'air de l'extérieur vers l'intérieur. L'installation d'un écran à l'air se fait à l'intérieur, donc du côté chaud de l'isolation (p.ex. enduit à l'intérieur, pare-vapeur, menuiserie, béton coulé in situ sur des planchers portants.).

En ce moment, il n'y a pas encore de réglementation spécifiant les exigences pour l'étanchéité à l'air. L'étanchéité à l'air des bâtiments a toutefois une influence importante sur leur performance énergétique. D'ailleurs, elle est prise en compte comme paramètre lors du calcul de la consommation d'énergie primaire, en évaluant les pertes par infiltration (air froid pénétrant dans le bâtiment et devant être réchauffé) et par exfiltration (air chaud quittant le bâtiment et devant être remplacé).

Il est impossible de calculer l'étanchéité à l'air au moment de la conception. Elle doit se mesurer à la fin du chantier, à un stade où il est souvent très difficile ou même impossible d'apporter des améliorations majeures sans coûts élevés. Il est donc indispensable de prêter suffisamment d'attention à l'étanchéité à l'air pendant chaque phase de construction.

Cela signifie qu'une bonne étanchéité à l'air peut être obtenue en veillant :

- à une conception étanche à l'air ;
- au choix et à la nature de l'écran à l'air ;
- à un choix adapté des installations, leur positionnement dans le bâtiment, la maîtrise des percements de l'écran à l'air ;
- à une exécution soignée et une bonne coordination des travaux ;
- à un contrôle et une surveillance de l'exécution avec mesures intermédiaires éventuelles.

5.2 Conception étanche à l'air

Le concepteur doit déterminer les espaces qui font partie du volume isolé thermiquement et chauffé. Ce dernier point consiste non seulement à indiquer la limite entre le volume protégé et l'extérieur (ou un volume adjacent), mais aussi à situer précisément l'étanchéité dans la paroi. En effet, le positionnement de l'écran à l'air au sein de la paroi peut influencer considérablement la réalisation de la continuité au droit des nœuds constructifs.

5.3 Choix et la nature de l'écran à l'air

Le concepteur doit choisir les matériaux appropriés pour réaliser l'étanchéité à l'air des parois courantes et pour vérifier leur compatibilité avec les jonctions, les exécutions de détails, les percements, etc.

Le bon remplissage et jointoyage des joints horizontaux et verticaux des parois intérieures peut sensiblement augmenter l'étanchéité à l'air du mur comparé à de la maçonnerie avec des joints verticaux ouverts, mais ne permet pas encore d'obtenir des performances d'étanchéité à l'air élevées. De plus, appliquer un enduit au préalable offrira une meilleure étanchéité que peindre la maçonnerie nue.

Néanmoins, pour garantir l'étanchéité à l'air de la maçonnerie, on appliquera généralement un enduit intérieur approprié (p.ex. une exécution en maçonnerie traditionnelle avec une couche d'enduit d'une épaisseur de 10 mm). Si on souhaite conserver une maçonnerie apparente, l'étanchéité peut être obtenue grâce au cimentage de la face côté coulisse. Il convient néanmoins de tenir compte du fait que les crochets perceront à de nombreuses reprises la barrière d'étanchéité à l'air qui, par la suite, ne sera plus accessible pour effectuer d'éventuelles réparations (p.ex. colmatage de fissures). En outre, une étanchéité à l'air réalisée côté coulisse de la maçonnerie portante peut compliquer la réalisation de jonctions étanches avec les menuiseries et au pieds de mur.

5.4 Choix adapté des installations, de leur positionnement dans le bâtiment et maîtrise des percements de l'écran à l'air

Il est conseillé d'intégrer, dans la mesure du possible, les tuyaux, conduits et câbles dans le volume protégé. Toutefois, il sera souvent nécessaire d'équiper d'un certain nombre de tuyaux et conduits les espaces n'appartenant pas à ce volume protégé (grenier, cave, vide sanitaire...). Ils perceront la barrière d'étanchéité du bâtiment. Il est donc important de rendre ces percements étanches afin de ne pas nuire à l'étanchéité à l'air visée. Il convient également de tenir compte du fait que certains appareils (p.ex. chaudières, poêles, cuisinières au gaz...) nécessitent une alimentation directe d'air neuf pour un fonctionnement optimal. Les chaudières peuvent éventuellement être installées dans un local en dehors du volume protégé, mais si cela n'est pas le cas, l'étanchéité à l'air peut être compromise.

5.5 Exécution soignée et bonne coordination des travaux

Comme déjà mentionné ci-avant, l'étanchéité à l'air de la maçonnerie est généralement réalisée par l'enduisage intérieur à base de plâtre. Il faut prêter une attention particulière aux détails comme :

- la conception et l'exécution du pied de mur ;
- les jonctions avec et exécution de planchers ;
- le positionnement et l'exécution de blochets et conduits ;
- les portes intérieures à proximité d'une façade ;
- les raccords aux toitures à versants ;
- les raccords aux toitures plates ;
- le raccord à la menuiserie ;
- la réalisation de percements.

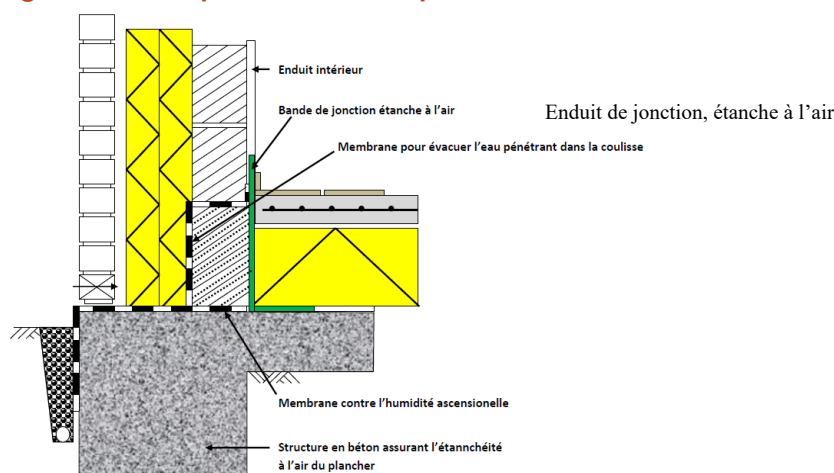
5.5.1 Conception et exécution du pied de mur

Afin d'obtenir une bonne étanchéité à l'air à la jonction du mur avec le plancher, on doit faire en sorte qu'il y ait un bon raccord entre l'enduit intérieur et le plancher.

On peut choisir d'utiliser des bandes de jonction spécialement conçues à cet effet, pourvues, d'un côté, d'un treillis d'armature et, de l'autre, d'une membrane ou d'un enduit étanche à l'air. Ces bandes de jonction sont collées, du côté de la membrane, sur le plancher portant en béton avant de mettre en œuvre l'isolation thermique et la chape. Une ligne de colle ininterrompue assurera la jonction entre le plancher et la membrane, et nécessitera l'utilisation de mastic-colle approprié en quantité suffisante. La bande de jonction est ensuite pliée contre la paroi, et le treillis d'armature est noyé dans l'enduit intérieur.

Il est également possible d'utiliser une membrane collée aussi bien sur le plancher que sur le mur ou l'enduit intérieur, ou des pâtes liquides, développées pour des raccords étanches à l'air.

Figure 5.1. Exemple de raccord au pied du mur



Si on choisit un raccord direct de l'enduit intérieur au plancher, cet enduit doit être résistant à l'eau. Puisqu'il y a un risque de fissuration dans la jonction enduit intérieur/ plancher portant, il est préférable d'utiliser un joint souple pour ce raccord.

L'enduit au niveau de la jonction entre le mur et le plafond peut être coupé et ensuite colmaté par exemple à l'aide d'un joint souple.

5.5.2 Placement et exécution des blochets et conduites

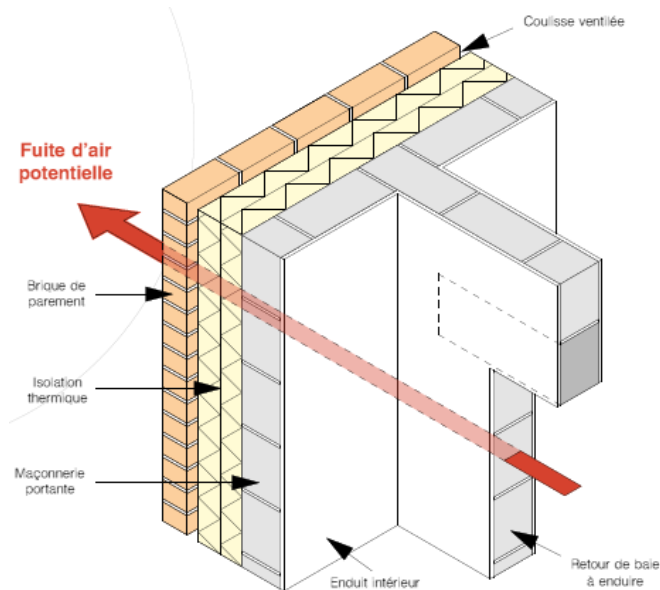
Il est recommandé d'éviter d'installer des prises de courant, des interrupteurs et des traversées de conduites dans les murs extérieurs, ceux-ci pouvant perforer localement la barrière d'étanchéité à l'air. C'est pour cette raison qu'il est préférable de placer le tableau électrique dans le volume protégé. Si on décide malgré tout de placer des prises de courant ou des interrupteurs dans les murs extérieurs, il est conseillé d'utiliser des blochets avec une meilleure étanchéité à l'air. Il convient toutefois de veiller à réaliser l'étanchéité à l'air entre l'enduit et ce dernier.

Si des conduites doivent être installées contre une paroi extérieure maçonnée, il est souhaitable d'enduire préalablement ces surfaces qui, après coup, ne seront plus facilement accessibles.

5.5.3 Portes intérieures à proximité d'une façade

Lorsqu'une porte intérieure est située dans un mur de refend à proximité d'une façade, il convient de veiller à ce que la face de la maçonnerie située dans l'ouverture de la baie soit étanche à l'air. Pour ce faire, une solution consiste à y appliquer un enduit intérieur.

Figure 5.2 Fuite d'air potentielle via une ouverture de porte

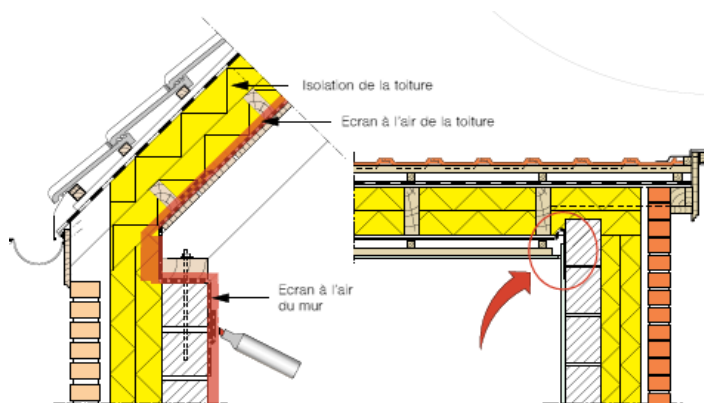


5.5.4 Raccords aux toitures à versants

On doit faire concorder l'écran à l'air du mur avec celui de la toiture, sans perdre de vue la position des deux écrans. Ceci doit être fait à partir de la phase de conception puisque c'est difficile d'apporter des corrections par après. La figure 5.3 donne des exemples d'un raccord d'une façade à une toiture à versants.

134

Figure 5.3. Raccord à la toiture

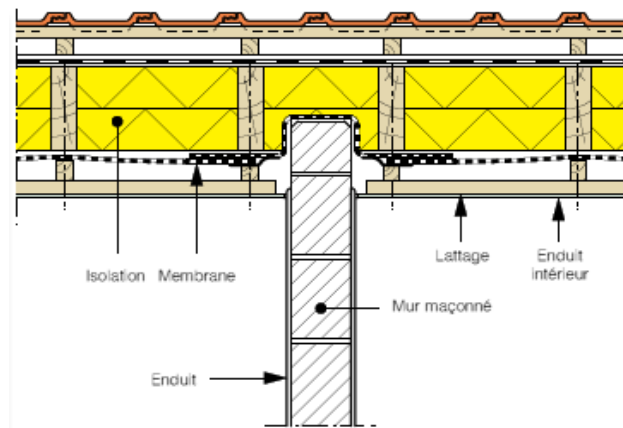


Pour le raccord d'un mur intérieur à la toiture, on peut :

- équiper les murs intérieurs d'une membrane d'attente avant de poser la toiture ;
- réaliser les murs intérieurs après la pose de la membrane à l'air sur toute surface.

A l'endroit du raccord entre la barrière à l'air du toit et celle des murs adjacents, il est conseillé de réaliser un pli qui permettra de compenser d'éventuels mouvements différentiels de la structure.

Figure 5.4. Raccord d'un mur intérieur à la toiture



5.5.5 Raccord aux toitures plates

5.5.5.1 Planchers de toiture en béton

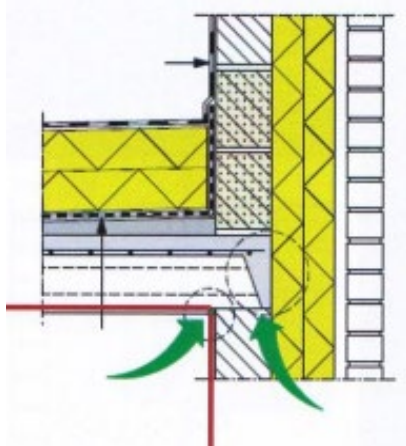
L'étanchéité à l'air du raccord plancher de toiture/façade peut être assurée par l'application d'une couche d'enduit. Dans l'angle entre les deux éléments, l'enduit peut être coupé et ensuite colmaté par exemple à l'aide d'un joint souple ou utiliser un écran à l'air noyé dans l'enduit. Ainsi on évite que d'éventuelles fissurations dans cet angle (suite à des déformations différentielles) mettent en péril l'étanchéité à l'air.

En variante ou si on n'utilise pas d'enduit, l'étanchéité à l'air à hauteur du raccord peut être réalisée en consacrant l'attention nécessaire à un ou plusieurs des points suivants :

- la réalisation et la finition du lit de mortier éventuel sur lequel les éléments de plancher sont placés ;
- le jointoyage et/ou la finition des joints entre les éléments de plancher (p.ex. éléments de plancher creux) à hauteur du raccord ;
- le compactage d'une éventuelle couche de compression. Si une couche de compression (remplissage de béton en cas de planchers semi-fabriqués) couvre tous les éléments jusqu'à la maçonnerie portante, elle ferme complètement le joint ;
- le compactage d'un plancher coulé in situ.

On doit éviter que les câbles (électriques) passent à travers toute l'épaisseur du plancher porteur et qu'ils percent ainsi les écrans à l'air. Il est donc conseillé de placer les conduites avant de couler, par exemple, une couche de compression (voir §5.5.2).

Figure 5.5. Raccord aux toitures plates

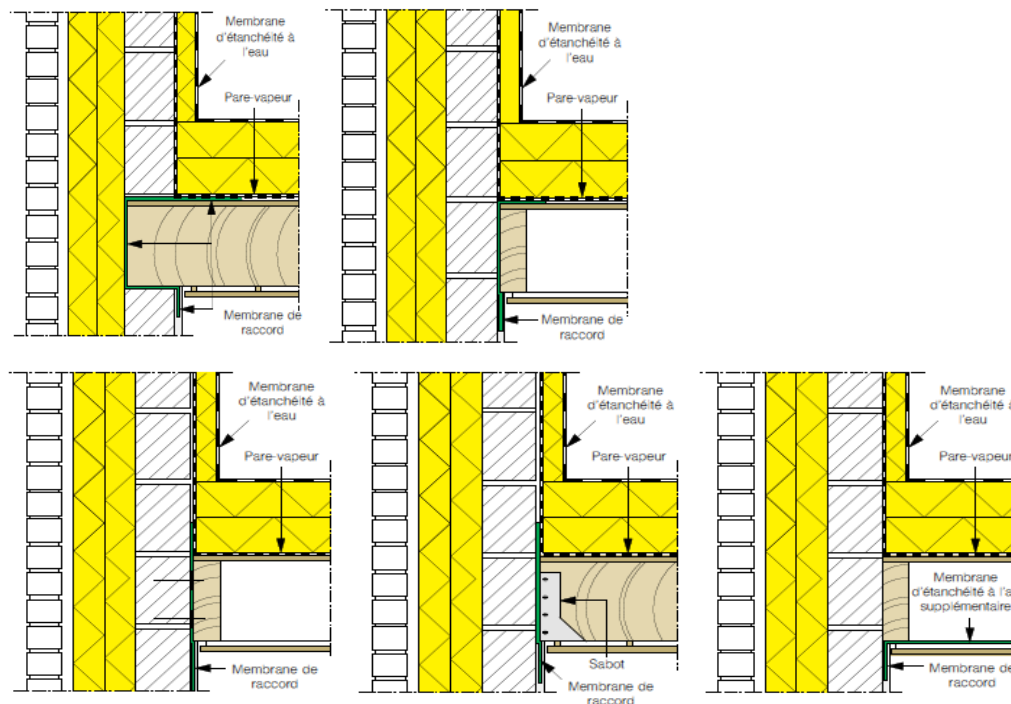


5.5.5.2 Planchers de toiture en bois

Dans le cas de planchers de toiture en bois ou de tôles profilés en acier, il s'avérera nécessaire de réaliser un raccord étanche à l'air entre le pare-vapeur et l'étanchéité à l'air des murs. Le pare-vapeur doit donc être parfaitement continu et raccordé de manière étanche à tous les détails. Les écrans à l'air et les pare-vapeurs ne peuvent pas être perforés par des fixations mécaniques. Il faut assurer la jonction des barrières d'étanchéité à l'air situées respectivement au-dessus et en dessous du plancher porteur.

Dans le cas d'un plancher de toiture en bois, il conviendra de prévoir durant sa construction une membrane de raccord pouvant être reliée aux deux barrières à l'air (celle de la paroi et celle de la toiture). Les figures 5.6 donnent quelques exemples.

Figure 5.6. Raccord à des planchers de toiture en bois



5.5.6 Raccords à la menuiserie

Il y a plusieurs solutions, mais elles demandent toutes une bonne préparation, une attention particulière lors de l'exécution et une bonne coordination des travaux. Les solutions les plus utilisées sont :

- un caisson ;
- un placement de membranes d'étanchéité ;
- des joints compressibles, etc.

Etant donné que plusieurs produits sont utilisés, il est important qu'on ait suffisamment de connaissances et qu'on surveille leur compatibilité avec la menuiserie, les éléments de gros œuvre et la finition. Des notes d'information technique contiennent de plus amples informations.

5.5.7 Réalisation de percements

Comme déjà mentionné dans ce chapitre, il est conseillé d'intégrer dans la mesure du possible, les tuyaux, conduits et câbles dans le volume protégé. Toutefois, il sera souvent nécessaire d'équiper d'un certain nombre de tuyaux et conduits les espaces n'appartenant pas à ce volume protégé (grenier, cave, vide sanitaire...). Ils perceront alors la barrière d'étanchéité.

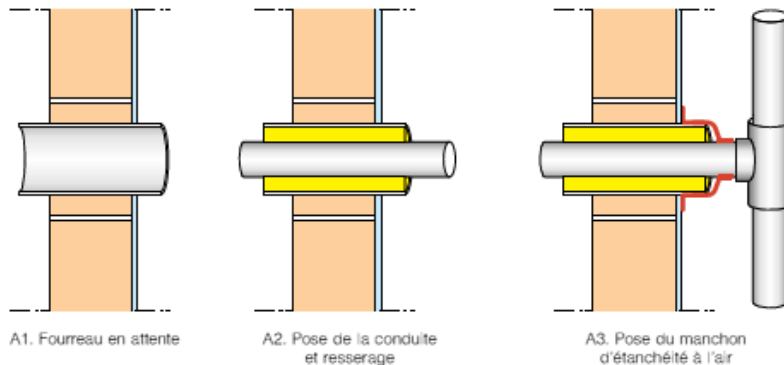
Aussi bien pour des raisons architecturales que pour des raisons techniques, il est conseillé d'avoir suffisamment de concertation préalable entre le concepteur et l'installateur des conduites. Pendant la phase de conception, il est donc recommandé de :

- déterminer le type et la position des percements ainsi que les solutions retenues pour les rendre étanches : p.ex. manchons préformés (avec ou sans bavette), bandes adhésives développées à cet effet, produits d'étanchéité liquides enrobant une armature... ;
- vérifier la compatibilité des éventuels accessoires pour l'étanchéité à l'air avec les matériaux utilisés pour la barrière d'étanchéité à l'air (p.ex. plâtre).

Dans le cas de maçonnerie enduite, la plupart du temps c'est l'enduit intérieur qui fait fonction de barrière à l'air. Autour des ouvertures, l'enduit peut toutefois fissurer à cause des mouvements des conduites, p.ex. par la dilatation de conduites de chauffage, d'autres conduites d'eau chaude, de conduites de refroidissement, etc. On doit donc prendre les mesures nécessaires pour permettre les mouvements de telles conduites et simultanément assurer l'étanchéité à l'air du percement.

On peut, par exemple, poser un fourreau en attente lors de la réalisation de la maçonnerie et le laisser sortir un peu pour assurer un bon raccord avec l'enduit. Un manchon souple permettra ensuite d'assurer l'étanchéité à l'air entre cette dernière et le fourreau, tout en permettant les mouvements de dilatation (voir figure 5.7). En cas de mouvements de faible amplitude, le manchon pourra être remplacé par un joint de mastic souple.

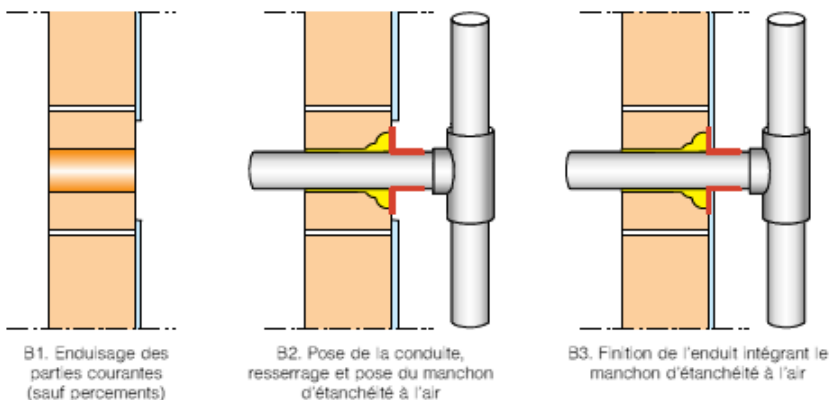
Figure 5.7. Pose d'un fourreau et d'un manchon d'étanchéité à l'air



A défaut d'utiliser les fourreaux, il faudra effectuer l'application de l'enduit et le montage en plusieurs phases (voir figure 5.8) :

1. l'application d'un enduit sur les zones qui seront rendues ultérieurement inaccessibles par la pose des conduites ;
2. la pose des conduites et des manchons d'étanchéité à l'air ;
3. le remplissage de l'enduit entre l'enduit initial et les conduites.

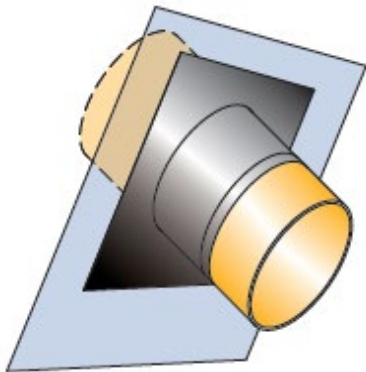
Figure 5.8. Etanchéité à l'air par remplissage + manchon + finition d'enduit



Afin d'obtenir une bonne étanchéité à l'air, une exécution soignée est indispensable. Cela demande le respect de quelques règles simples, dont quelques-unes sont énoncée ci-après :

Il est conseillé d'utiliser des manchons préformés adaptés au diamètre de la conduite traversante (voir exemple de la figure 5.9). A défaut d'utiliser de tels manchons, il faut opter pour des produits adaptés prévus pour assurer l'étanchéité à l'air, comme p.ex. des bandes adhésives.

Figure 5.9. Exemple d'un manchon préformé



- Pour obtenir la bonne adhérence de l'accessoire d'étanchéité à l'air ou des bandes adhésives, il faut débarrasser les surfaces d'encollage de toutes traces de graisse, de poussière, de sciure, de mortier, de colle ou d'enduit.
- Les accessoires d'étanchéité doivent être positionnés de manière à permettre les mouvements de la conduite sans décollement ni déchirure de la membrane ou de la couche d'étanchéité à l'air.
- Les accessoires ou les bandes adhésives doivent être raccordées à la barrière d'étanchéité à l'air en évitant la formation de plis. En effet, le moindre pli dans la membrane peut se traduire en une fuite.

Note :

L'expérience nous apprend que le remplissage avec de la mousse polyuréthane ne suffit pas toujours pour obtenir une étanchéité à l'air complète. Ceci est d'autant plus le cas quand les conduites sont emmêlées.

Si les murs doivent répondre à une certaine résistance au feu, les matériaux utilisés pour rendre les conduites étanches à l'air, doivent répondre à la NBN EN 1366-3 (voir chapitre 4 Résistance au feu). On doit donner priorité à des systèmes avec une étanchéité à l'air suffisante.