

Sur le procédé

Murs de façade en béton THERMEDIA®

Famille de produit/Procédé : Mur de façade en béton léger

Titulaire(s) : **Société LAFARGE France**
Internet : www.lafarge.com

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

Groupe Spécialisé n° 3.2 - Murs et accessoires de mur

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	<p>Cette version, examinée le 21 juin 2022, annule et remplace l'Avis Technique n°3/16-899*V1. Elle intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modification des dénominations commerciales des bétons Thermedia® • Modification de la conductivité thermique du béton Thermedia® 0.49 (ex-Thermedia® 0.45) et mise à jour des exemples de ponts thermiques • Mise à jour de l'Appréciation de Laboratoire au feu et par conséquent des contraintes admissibles de voiles en situation Incendie • Mise à jour de la composition du béton Thermedia® et des classes d'exposition et ajout de la classe de résistance LC35/38 • Ajout des dispositions constructives pour les ouvrages en béton Thermedia® avec revêtement d'étanchéité • Ajout des méthodes simplifiées de dimensionnement pour les voiles et les balcons en béton Thermedia® 	M. Angel JUNES	Mme. Roseline BERNARDIN-EZLAN

Descripteur :

Le procédé de mur de façade Thermedia® consiste en la réalisation de voiles extérieurs en béton prêt à l'emploi, en façade ou en mur pignon de bâtiments.

Le procédé Thermedia® permet, dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, de limiter les déperditions thermiques par ponts thermiques de liaison entre les façades et les planchers (intermédiaires, haut et bas) d'une part et entre les façades et les refends d'autre part.

Finitions intérieures : Complexes de doublage collés ou contre-cloison

Finitions extérieures : Enduits mortiers, revêtements céramiques et assimilés et pierres naturelles, RPE, lasure, béton brut

...

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	4
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	4
1.1.1.	Zone géographique.....	4
1.1.2.	Ouvrages visés	4
1.2.	Appréciation	4
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	4
1.2.2.	Durabilité	5
1.2.3.	Impacts environnementaux	5
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	7
2.1.	Mode de commercialisation	7
2.1.1.	Coordonnées	7
2.1.2.	Identification	7
2.2.	Description.....	7
2.2.1.	Principe.....	7
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	8
2.2.3.	Performance thermique des façades en Thermedia®	9
2.3.	Disposition de conception	9
2.3.1.	Règles appliquées.....	9
2.3.2.	Sécurité incendie.....	11
2.3.3.	Séisme.....	12
2.3.4.	Cas particulier des balcons, loggias et coursives en Thermedia®	12
2.3.5.	Isolation acoustique.....	18
2.4.	Disposition de mise en œuvre	18
2.4.1.	Préparation et réalisation des façades en Thermedia®	18
2.4.2.	Phases de coulage des éléments en Thermedia® et en béton courant.....	19
2.4.3.	Finitions	19
2.4.4.	Cas des ouvrages en béton Thermedia® étanchés.....	19
2.5.	Maintien en service du produit ou procédé.....	20
2.6.	Traitement en fin de vie.....	20
2.7.	Assistance technique	20
2.8.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	20
2.8.1.	Fabrication	20
2.8.2.	Livraison	20
2.8.3.	Contrôles internes	20
2.8.4.	Contrôle externe	21
2.9.	Mention des justificatifs	22
2.9.1.	Résultats Expérimentaux.....	22
2.9.2.	Références chantiers.....	23
2.10.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre.....	25
	Annexe 1 – Exemples de ponts thermiques de liaison intégrant le procédé Thermedia®	25
	Annexe 2 – Exemples de liaison façade Thermedia® - plancher	30
	Annexe 3 – Corrélation plaques chaudes gardées et mesures CT-mètre	42
	Annexe 4 - Méthode de calcul simplifiée des voiles en Thermedia®	45
	Annexe 5 - Méthode de calcul simplifiée des balcons en PAF en Thermedia®	47
	Annexe 6 – Exemple de calcul d'une dalle de balcon en béton Thermédia®	50

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre II « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

France métropolitaine, climat de plaine au sens du DTU 43.1, zones de vent 1 à 4 suivant la NF EN 1991-1-4, zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22/10/2010 modifié.

1.1.2. Ouvrages visés

Le domaine d'application du procédé de mur de façade Thermedia® concerne la réalisation de façades et de pignons de bâtiment en utilisant un béton isolant structural.

L'utilisation dans le cas de balcons et loggias est admise, dans les conditions de limitation de flèche au 1/250^{ème} de la portée, sous combinaison quasi-permanente.

En particulier, **ne sont pas visés au titre du présent Avis** :

- Les murs de refends intérieurs ;
- Les murs d'épaisseurs strictement inférieures à 16 cm.

En cas d'exigence sismique au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, l'utilisation est acceptée moyennant les conditions de conception détaillées au § 2.3.3 du présent Avis Technique.

En cas d'exigence incendie, l'utilisation est acceptée moyennant les conditions détaillées au § 1.2.1.2 « Sécurité en cas d'incendie » du présent Avis.

Dans le cas d'emploi de prédalles suspendues, les exigences sont celles définies par le NF DTU 23.4.

L'association du procédé en façade avec une isolation thermique par l'extérieure n'est pas visée dans le cadre du présent Avis.

Les utilisations autres que celles prévues au présent domaine d'emploi sortent du champ du présent Avis.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

La stabilité des ouvrages à laquelle peuvent être associés les éléments réalisés selon ce procédé, dans les limites résultant de l'application des Prescriptions Techniques définies dans le Dossier Technique, peut être normalement assurée dans le domaine d'emploi accepté.

Les systèmes associés à ce procédé de mur, et en particulier les systèmes de plancher, doivent être vérifiés suivant les prescriptions des textes de référence s'y rapportant (DTU ou Avis Technique suivant la traditionalité ou non du système concerné).

1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

Le procédé de « Mur de façade en béton Thermedia® » a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire de Résistance au feu N° AL-029339-C du CERIB.

Le respect des contraintes admissibles indiquées dans les tableaux ci-dessous pour une durée d'exposition X visée, et la mise en œuvre à minima d'un treillis ST10 en face non exposée avec un enrobage de 30 mm, permet d'atteindre une performance REI X.

La hauteur des murs entre éléments de structure est limitée à 3 m pour le tableau 1.1 et à 4 m pour le tableau 1.2.

Tableau 1.1 – Contraintes admissibles de voiles en Thermedia® en fonction de son épaisseur et de la durée d'exposition

Epaisseur du voile	Durée– Hauteur des voiles ≤ 3 m			
	30 min	60 min	90 min	120 min
	$\sigma_{max\ admissible}$ [MPa]			
Voile de 16 cm	9,0	6,3	5,0	4,1
Voile de 18 cm	10,3	7,5	6,1	5,2
Voile de 20 cm	12,3	9,3	7,6	6,3
Voile de 23 cm	13,8	11,4	9,6	8,3

Tableau 1.2 – Contraintes admissibles de voiles en Thermedia® en fonction de son épaisseur et de la durée d'exposition

Epaisseur du voile	Durée – 3 m < Hauteur des voiles ≤ 4 m			
	30 min	60 min	90 min	120 min
	$\sigma_{max\ admissible}$ [MPa]			
Voile de 16 cm	6,9	5,2	4,3	3,7
Voile de 18 cm	8,0	6,1	4,9	4,3
Voile de 20 cm	9,4	7,2	6,0	5,1
Voile de 23 cm	11,5	9,1	7,6	6,5

Le calcul de la contrainte dans le voile est réalisé sous combinaison d'actions en situation accidentelle (incendie) conformément aux prescriptions de la NF EN 1990 et son Annexe Nationale.

1.2.1.3. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour les opérations de mise en œuvre du béton prêt à l'emploi.

1.2.1.4. Pose en zone sismique

Le procédé de mur de façade Thermedia® peut satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme (zones 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22/10/2010 modifié) sous réserve du respect des conditions précisées au § 2.3.3 du Dossier Technique.

1.2.1.5. Isolation thermique

Elle est assurée intrinsèquement par l'utilisation du béton Thermedia®.

Le suivi par un organisme tiers tel que décrit dans le Dossier Technique permet d'assurer une continuité des conductivités thermiques au cours du temps. Le tableau ci-après précise les valeurs de conductivité thermique utile ainsi que les conductivités thermiques équivalentes à prendre en compte pour les calculs de coefficients de ponts thermiques de liaisons. Ces dernières ont été évaluées en considérant un pourcentage d'armatures dans le sens du flux thermique de 0,25 % (soit 2 HA8 e = 20 cm pour une dalle de 20 cm).

Tableau 2 – Propriétés thermiques des bétons Thermedia®

Bétons isolants structurels	Conductivité thermique (W/m.K)		Coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau	
	Utile	Équivalente	Sec	Humide
Thermedia® 0.54	0,54	0,56	120	70
Thermedia® 0.49	0,49	0,53		

Un catalogue des ponts thermiques est donné en annexe du Dossier Technique.

1.2.1.6. Isolation acoustique

Les performances acoustiques de ce système ont été évaluées en laboratoire (cf. § 2.3.5 du Dossier Technique). Celles-ci constituent des données nécessaires à l'examen de la conformité d'un bâtiment vis-à-vis de la réglementation acoustique en vigueur (arrêtés du 30 juin 1999 relatif aux bâtiments d'habitation, du 25 avril 2003 relatif aux hôtels, établissements d'enseignements, et établissements de santé). Trois approches sont utilisables pour cela : le calcul (selon NF EN 12354-1 à 5 ; objet du logiciel ACOUBAT) ; le référentiel QUALITEL ou les Exemples de Solutions Acoustiques.

1.2.2. Durabilité

La durabilité des murs de façade est satisfaisante pour les emplois prévus dans le domaine d'emploi accepté, pour le Thermedia® 0,54 et 0,49, dans les conditions prévues dans la norme NF EN 206/CN.

Les classes d'exposition prévues sont X0, XC1 à XC4, XF1 à XF4, XS1 et XS3, telles que définies dans la norme NF EN 206/CN. Pour les classes d'exposition XF2 à XF4, Lafarge fournira sur demande du Client les résultats d'essais performantiels de gel-dégel selon les exigences de la norme NF EN 206/CN.

1.2.3. Impacts environnementaux

1.2.3.1. Données Environnementales

Le procédé « Mur de façade en béton Thermedia® » ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

1.2.3.2. Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n°3.2 tient à préciser que le titulaire n'a pas souhaité divulguer les compositions de béton qu'il utilise mais fixe des exigences de résultats qu'il lui est impératif d'obtenir dans leur totalité, faute de quoi, cet Avis Technique n'est plus valable.

Cet Avis Technique a fait l'objet d'une consultation du Groupe Spécialisé n° 20 pour les aspects thermiques, et du Groupe Spécialisé n° 5.2 pour l'utilisation de revêtements d'étanchéité sur les balcons, loggias et coursives en partie courante, y compris leurs reliefs, et sur les reliefs d'acrotères, lorsqu'ils sont réalisés en béton Thermedia®, lors des comités du 26/04/2022 et du 13/06/2022.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : Société LAFARGE France
14-16, Boulevard Garibaldi
FR – 92130 Issy-Les-Moulineaux
Tél. : 01.58.00.60.00
Internet : www.lafarge.fr

2.1.2. Identification

Le procédé Thermedia® utilise des bétons isolants structurels, se caractérisant par leur conductivité thermique utile :

Tableau 1 – Identification des bétons Thermedia®

Nom commercial	λ_{utile} (W/m.K)
Thermedia® 0.54	0,54
Thermedia® 0.49	0,49

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le procédé de mur Thermedia® consiste en la réalisation de voiles extérieurs en béton prêt à l'emploi, en façade ou en mur pignon de bâtiments. Le procédé Thermedia® permet, dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, de limiter les déperditions thermiques par ponts thermiques de liaison entre les façades et les planchers (intermédiaires, haut et bas) d'une part et entre les façades et les refends d'autre part.

Les bétons Thermedia® 0.54 et 0.49 sont des bétons légers conformes à la norme NF EN 206/CN.

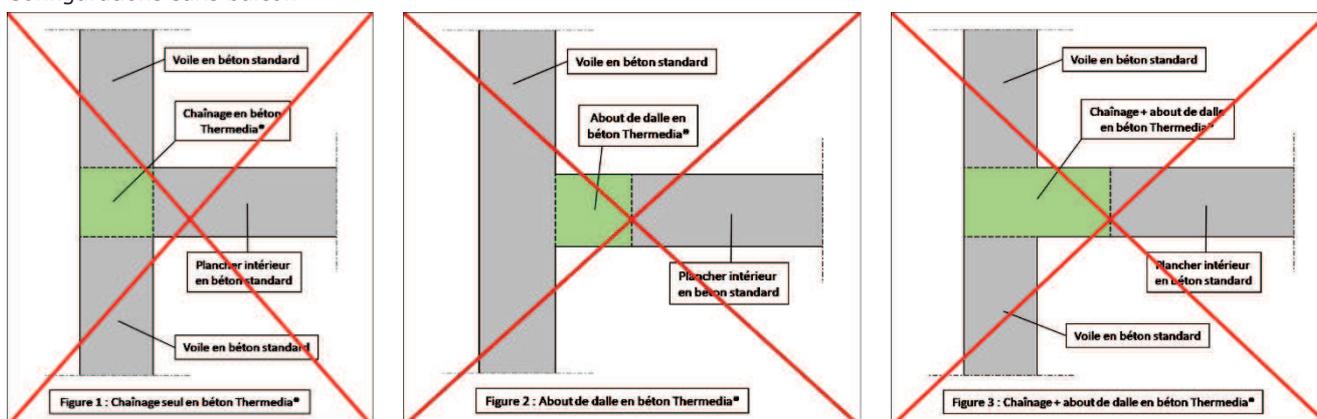
Les classes d'exposition correspondant au domaine prévu sont X0, XC1 à XC4, XF1 à XF4, XS1 et XS3, telles que définies dans la norme NF EN 206/CN. Pour les classes d'exposition XF2 à XF4, Lafarge fournira sur demande du Client les résultats d'essais performantiels de gel-dégel selon les exigences de la norme NF EN 206/CN.

Les bétons Thermedia® sont mis en œuvre conformément aux normes NF DTU 21, DTU 23.1 et NF EN 13670.

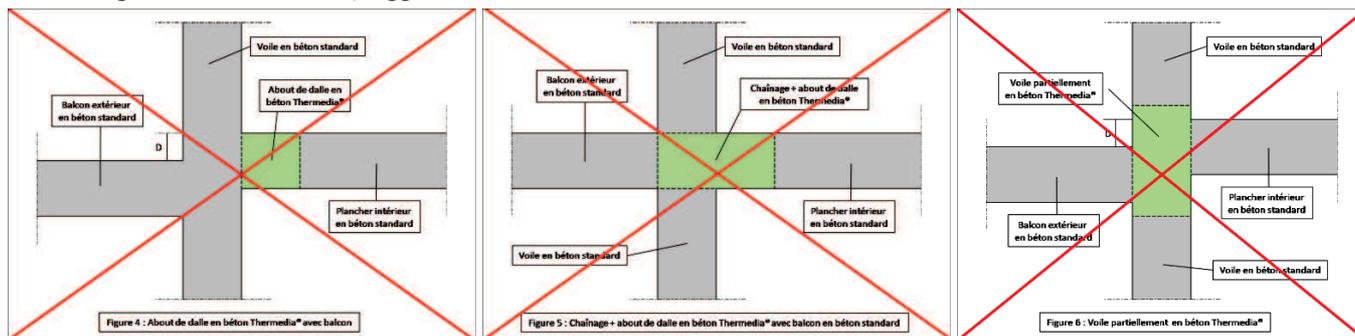
Le procédé de mur en Thermedia® implique que, sur une hauteur d'étage et sur le linéaire de voile considéré, toute la hauteur du voile soit réalisée en Thermedia®.

En conséquence, les configurations de mise en œuvre schématisées ci-dessous ne sont pas visées par le présent Avis Technique.

- Configurations sans balcon



• Configurations avec balcon, loggia et coursives



Les balcons réalisés en béton Thermedia® peuvent être de type balcon appuyé (solidarisé au niveau du voile de façade et appuyé en extrémité) ou de type balcon en porte-à-faux (en console solidarifiée au voile de façade). D’autres configurations de balcons sont également réalisables en béton Thermedia® : par exemple, balcons en angle de bâtiment en double console, etc... Le dimensionnement des balcons en Thermedia® doit être réalisé par le Bureau d’Etudes Techniques du chantier en prenant en compte la loi de comportement linéaire élastique fragile du Thermedia® et la méthode de calculs décrite au paragraphe 2.3.4.

Le procédé de murs de façade en béton Thermedia® est compatible avec la réalisation de balcons en béton standard (C25/30, par exemple). Ces balcons peuvent être, soit de type balcon appuyé, soit de type console en porte-à-faux. D’autres configurations de balcons en béton standard peuvent être envisagées : par exemple, balcon en béton standard, la dalle du balcon, désolidarisée du voile de façade en Thermedia® et porte parallèlement à la façade sur des bandes noyées traversant le voile de façade en Thermedia® et ancrées dans les planchers intérieurs.

Les sols des balcons et des loggias peuvent recevoir ou non un revêtement d’étanchéité. La nécessité de la mise en œuvre d’une étanchéité devra être appréciée par le concepteur, en fonction de la zone climatique et de l’exposition du balcon aux intempéries et précisée aux Documents Particuliers du Marché (DPM).

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Composition des bétons Thermedia® structurels

La composition des bétons Thermedia® 0.54 et 0.49 est conforme à la norme NF EN 206/CN.

Le béton est préparé industriellement par mélange en centrale à béton des constituants suivants :

- Tous types de ciments conformes à la norme NF EN 197-1 ;
- Granulats légers artificiels ou naturels type schiste expansé, argile expansée ou ponce ($D_{max} = 20 \text{ mm}$) ;
- Adjuvants (inclus accélérateur ou retardateur de prise) ;
- Additions minérales, fibres polypropylène conformes à la NF EN 14889 ;
- Eau.

Les additions minérales sont conformes à celles décrites dans le tableau NA.F.1 de la norme NF EN 206/CN. Les granulats légers sont conformes à la norme NF EN 13055-1.

Les classes de résistance des bétons Thermedia® structurels sont les suivantes, pour le Thermedia® 0.54 et le Thermedia® 0.49 : LC 25/28 - LC 30/33 et LC 35/38.

Leur rapport eau efficace / liant équivalent est inférieur ou égal à 0,6.

2.2.2.2. Caractéristiques du béton frais

- pH : $13 \pm 0,5$
- Consistance : S3 à S5, maintien 2 heures
- Le délai pratique d’utilisation des bétons Thermedia® est de 2 heures. Tout besoin spécifique de limitation ou de prolongation de ce délai souhaité par l’entreprise nécessite une acceptation de LAFARGE FRANCE.

2.2.2.3. Caractéristiques du béton durci

Tableau 2 - Caractéristiques du béton Thermedia® durci

	Thermedia® 0.54 / 0.49
Classe de masse volumique au sens de la norme NF EN 206/CN	D 1.4 (1200 à 1400 kg/m ³)
Classe de réaction au feu	A1 ininflammable
Classe d'exposition	X0, XC1 à XC4, XF1 à XF4 et XS1 et XS3
Classe de résistance mécanique	LC 25/28, LC 30/33 et LC35/38
Conductivité thermique utile (W/m.K)	0,54 / 0,49

Les caractéristiques mécaniques du béton durci s’obtiennent par l’application de la NF EN 1992 « Calcul des Structures en béton » Partie 1-1, en particulier la Section 11 qui traite des bétons de granulats légers, et de l’Annexe Nationale française (NF EN 1992-1-1/NA).

A noter que le coefficient de dilatation thermique des différents bétons Thermedia® structurels, a été mesuré (de 10.10^{-6} à 13.10^{-6} m/m.K) et est cohérent avec la fourchette de valeurs issue de la NF EN 1992-1-1. Il est à prendre en compte pour les projets pour lesquels les effets de la température ne peuvent pas être négligés.

2.2.3. Performance thermique des façades en Thermedia®

Le procédé Thermedia® tel que décrit au paragraphe 2.2.1, permet dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, de traiter les ponts thermiques de liaison entre :

- Les façades et les planchers (intermédiaires, hauts et bas) ;
- Les façades et les refends ;
- Les façades et les éléments singuliers liés des façades (par exemple : les balcons, les acrotères, les bandeaux).

, écartant ainsi les risques de condensation superficielle en parement intérieur. Les façades en Thermedia® contribuent au respect de la Réglementation Thermique en limitant les déperditions par les ponts thermiques.

Les coefficients de transmission linéiques des liaisons se calculent au cas par cas, conformément à la norme NF EN ISO 10211. Des exemples de valeurs courantes de la transmission linéique exprimées en W/(m.K), validées par le CSTB, sont données en annexe 1.

Le rapport CSTB n° 12-063 du 17 juin 2013, réf. DIR/HTO 2013- -FL/LS constitue la validation par le CSTB du catalogue de ponts thermiques (ψ) utilisable pour les calculs thermiques réglementaires dans le cas de façades en Thermedia® 0,54 (ex-Thermedia® 0.6).

Le rapport CSTB n° 21-041 du 18 novembre 2021, réf. DEB/D2EB-2021-173-BR/NZ constitue la validation par le CSTB du catalogue de ponts thermiques (ψ) utilisable pour les calculs thermiques réglementaires dans le cas de façades en Thermedia® 0,49.

2.3. Disposition de conception

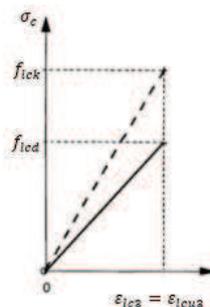
2.3.1. Règles appliquées

La conception et le dimensionnement du procédé se font conformément aux Eurocodes avec leurs annexes nationales, et plus particulièrement :

- Selon la NF EN 1992 « Calcul des structures en béton » Partie 1-1 avec l'application de la Section 11 « Structures en béton de granulats légers » et à l'Annexe Nationale française (NF EN 1992-1-1/NA) pour les calculs de structure.

Pour le calcul des sections, un diagramme contrainte-déformation linéaire est à prendre en compte tel que $\varepsilon_{lc3} = \varepsilon_{lcu3}$. L'analyse structurale non linéaire selon le § 11.3.4 de la NF EN 1992-1-1 est exclue. Etant donné la loi de comportement linéaire de la résistance en compression du béton, la méthode de calcul des sections à l'ELU est similaire à la méthode de calcul élastique réalisé à l'ELS.

Les voiles en béton Thermedia® doivent être dimensionnés selon la section 12 « Structure en béton non armé ou faiblement armé » de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale pour un béton ayant une loi de comportement en compression élastique fragile. L'élançement des voiles en béton léger est limité à 60 étant donné l'absence de justification des modalités d'application de la section 12 « Structure en béton non armé ou faiblement armé » de la NF EN 1992-1-1 et son AN pour un béton ayant une loi de comportement en compression élastique fragile.



- Selon la NF EN 1998 « Calcul des structures pour leur résistance aux séismes » Partie 1 « Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments » pour les calculs sismiques. En situation sismique, on détermine la valeur de calcul de la résistance à la compression f_{lcd} du béton Thermedia® de la façon suivante : $f_{lcd} = 0,4 \times f_{ick}$

Etant donné la loi de comportement linéaire de la résistance en compression du béton, la méthode de calcul des sections à l'ELU est similaire à la méthode de calcul élastique réalisé à l'ELS.

Lors de la conception d'une façade en Thermedia®, la classe de résistance et la classe de densité sont deux données propres au matériau qui influent sur le dimensionnement.

2.3.1.1. Justifications de structure

Le procédé de mur en Thermedia® implique que, sur une hauteur d'étage et sur le linéaire de voile considéré, toute la hauteur du voile soit réalisée en Thermedia®. En effet cette disposition, au-delà des contraintes induites par les méthodologies de chantier, permet d'éviter une éventuelle fissuration due au retrait différentiel gêné entre le béton courant et le béton Thermedia®.

Le retrait plus important des bétons Thermedia® structurels, ne constitue pas toutefois une source de désordre des façades si les dispositions constructives sont respectées. En effet, le respect des distances courantes entre joints de dilatation, telle que préconisées dans l'annexe nationale à la NF EN 1992 partie 1-1 pour les bétons de masse volumique courante, permet de négliger l'effet des déformations gênées éventuelles (retrait, dilatation thermique).

L'application des dispositions constructives de la NF EN 1992-1-1 et en particulier de la section 11, est généralement suffisante dans les cas courants.

Cependant pour les bâtiments au-delà de R+5, il convient de vérifier les sollicitations additionnelles dans les dalles à l'état limite ultime (moments sur appuis et efforts tranchants) dues au possible raccourcissement relatif de la façade en béton Thermedia® et des murs intérieurs en béton courant. La méthode générale de dimensionnement est détaillée ci-après (l'indice « Th » est relatif au béton Thermedia® et l'indice « C » est relatif au béton courant).

- Le raccourcissement relatif pour le niveau « i » considéré (i > 5) est égal à :

$$s_i = \sum_{j=0}^i \Delta s_j$$

Avec :

$$\Delta s_j = \Delta h_j^{Th} - \Delta h_j^C \qquad \Delta h_j^{Th} = \frac{h_j \sigma_j^{Th}}{E^{Th}} (1 + \phi^{Th}) \qquad \Delta h_j^C = \frac{h_j \sigma_j^C}{E^C} (1 + \phi^C)$$

Où :

- E^{Th} et E^C étant respectivement les modules d'élasticité instantanés du béton Thermedia® et du béton courant ;
- ϕ^{Th} et ϕ^C étant respectivement les coefficients de fluage du béton Thermedia® et du béton courant ;
- σ_j^{Th} et σ_j^C étant respectivement les contraintes de compression dues à la descente de charges dans la façade en béton Thermedia® et dans le mur intérieur en béton courant, pour le niveau « j » considéré (j > 5) ;

Le raccourcissement relatif à prendre en compte pour déterminer les sollicitations additionnelles correspond au cas le plus défavorable selon la prise en compte ou pas du fluage (1^{er} calcul avec $\phi^{Th} = \phi^C = 0$ et un 2^{ème} calcul avec $\phi^C = 2$ et $\phi^{Th} = \left(\frac{\rho}{2200}\right)^2 \times \phi^C$ (ρ étant la masse volumique du béton Thermedia®)).

- En conséquence, les sollicitations additionnelles dans la dalle située au niveau « i » considéré sont égales à :
 - Moment de flexion sur appui (côté façade Thermedia®) :

$$\Delta M_i^{Th} = 6 \frac{EI}{L^2} s_i$$

- Effort tranchant sur appui (côté façade Thermedia®) :

$$\Delta V_i^{Th} = 0 \quad (\text{Hypothèse sécuritaire})$$

- Moment de flexion sur appui (côté mur en béton courant) :

$$\Delta M_i^C = 3 \frac{EI}{L^2} s_i$$

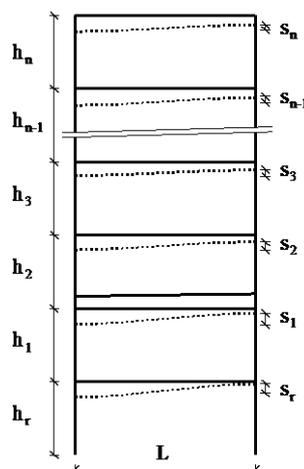
- Effort tranchant sur appui (côté mur en béton courant) :

$$\Delta V_i^C = 3 \frac{EI}{L^3} s_i$$

Sur les équations précédentes, E , I , ϕ et L représentant les caractéristiques de la dalle située au niveau « i » considéré :

- E : module d'élasticité instantané du béton
- ϕ : coefficient de fluage du béton
- I : moment d'inertie de la section droite de la dalle
- L : portée utile de la dalle

Figure 1 – Calcul des sollicitations additionnelles liées au raccourcissement relatif des murs



A défaut de calcul, les règles forfaitaires suivantes sont applicables :

- Le moment sur appui de rive (façade Thermedia®) et le moment sur appui intermédiaire sont majorés de 30 % ;
- L'effort tranchant sur appui intermédiaire (murs en béton courant) est majoré de 30 %.

2.3.1.2. Ancrages et recouvrements

Les longueurs d'ancrage et de recouvrement sont évaluées conformément à la NF EN 1992-1-1 (§ 11.8.2) et son annexe nationale française, en considérant le coefficient $\alpha_{lctd} = 1$ et moyennant la valeur de contrainte ultime d'adhérence suivante :

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{lctd}$$

2.3.1.3. Liaison planchers – façade Thermedia®

Pour traiter le pont thermique aux jonctions entre la façade et le plancher, il est indispensable d'assurer la continuité du béton Thermedia® au droit de la dalle. La solution courante est de liaisonner le plancher à la façade via la mise en œuvre de boîtes d'attentes dans la banche, avant coulage du voile.

2.3.1.4. Fixations mécaniques

L'utilisation de chevilles de fixations est possible dans du béton Thermedia®. Elles peuvent être :

- Des chevilles métalliques ou chimiques avec ATE selon ETAG 001 parties 2 à 5
- Chevilles avec ATE selon ETAG 001 partie 6
- Chevilles plastiques avec ATE selon ETAG 014 et avec ATE selon ETAG 020
- Chevilles chimiques avec ATE suivant ETAG 029
- Chevilles sous homologation nationale

Toutes les chevilles doivent impérativement faire l'objet d'essais de traction sur site dans le support en Thermedia®.

Ces essais doivent être réalisés avant la mise en œuvre des chevilles pour intégrer les résultats au dimensionnement des fixations. Ils ont pour but de déterminer une résistance caractéristique pour les supports en Thermedia®, ceux-ci n'étant pas visés par l'homologation des chevilles.

Ces essais sont réalisés et interprétés par le fabricant de chevilles suivant les recommandations pour la réalisation d'essais de chevilles sur site (ou sur chantier) du CISMA.

2.3.2. Sécurité incendie

2.3.2.1. Réaction au feu

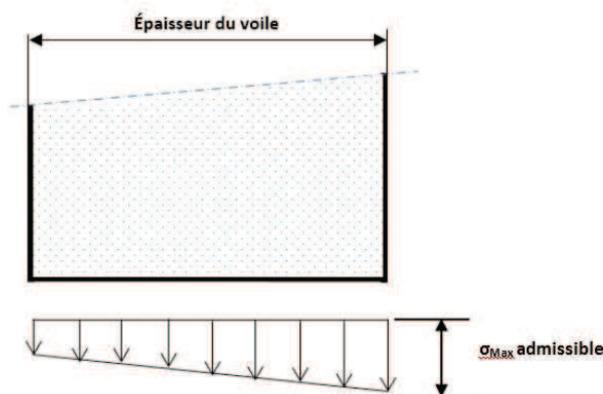
Les bétons Thermedia® structurels sont classés A1 (Euroclasse), au même titre qu'un béton de densité courante.

2.3.2.2. Résistance au feu

Un ensemble d'essais de résistance au feu, de comportement au feu et de caractérisations thermomécaniques synthétisé dans l'Appréciation de Laboratoire AL-029339-C du CERIB, datée du 24/02/2022, a permis d'établir pour différentes épaisseurs de voiles, et différentes durées d'exposition au feu nominal température/temps normalisé, la contrainte maximale admissible vue par la section (compte tenu des instabilités). Elle a été calculée en tenant compte d'une excentricité de 20 mm de l'effort normal et moyennant la mise en œuvre à minima d'un treillis ST10 en face non exposée et présentant un enrobage de 30 mm.

La contrainte maximale admissible correspond à la valeur de pointe représentée sur la figure 2. Elle est générée par les effets des actions en situation d'incendie.

Figure 2 - Représentation de σ_{Max} admissible



Le respect des contraintes admissibles indiquées dans les tableaux au § 1.2.1.2 pour une durée d'exposition X visée, et la mise en œuvre à minima d'un treillis ST10 en face non exposée avec un enrobage de 30 mm, permet d'atteindre une performance REI X.

La hauteur des murs entre éléments de structure est limitée à 4 m.

Le calcul de la contrainte dans le voile est réalisé sous combinaison d'actions en situation accidentelle (incendie) conformément aux prescriptions de la NF EN 1990 et de son Annexe Nationale.

2.3.3. Séisme

Le procédé est utilisable en zones sismiques 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié. Le dimensionnement est conduit selon la NF EN 1998-1 et la NF EN 1992-1-1, complétées par leurs annexes nationales françaises. Les hypothèses de dimensionnement courantes d'un bâtiment comportant des murs en Thermedia® 0,54 ou 0,49 sont décrites dans ce paragraphe. Les murs en Thermedia® peuvent être des éléments primaires ou secondaires, au sens de la NF EN 1998-1 § 4.2.2.

Si tous les murs en Thermedia® sont des éléments secondaires, alors le dimensionnement sismique relève de l'application usuelle de la NF EN 1998-1 sur le système primaire constitué de murs en béton ordinaire (ou éventuellement d'autres types de structure).

Lorsque le bâtiment comporte des éléments primaires en béton Thermedia®, alors les dispositions suivantes s'appliquent :

- Les classes de ductilité utilisables sont DCL ou DCM ;
- En classe DCL, le coefficient de comportement q est limité à 1,5 et il n'y a pas de restriction particulière à l'utilisation de murs en Thermedia®. Le choix de la classe DCL est encadré par la NF EN 1998-1 et son annexe nationale ;
- En classe DCM, l'utilisation du Thermedia® est limitée aux murs de grandes dimensions en béton peu armé en limitant le coefficient de comportement q à 2 ;
- Les vérifications de résistance des murs en Thermedia® sont réalisées en considérant une résistance de calcul $f_{lcd} = \alpha_{lcc} \times \frac{f_{lck}}{\gamma_c}$, avec $\alpha_{lcc} = 0,85$ et $\gamma_c = 1,30$, conformément à la NF EN 1992-1-1 § 11.3.5.

L'étude globale du bâtiment en situation sismique doit être réalisée en intégrant les caractéristiques des voiles de façade en béton Thermedia® afin de déterminer la répartition des efforts sur les éléments de contreventement et les déformations.

L'utilisation du béton Thermedia® dans des murs ductiles n'est pas visée.

Les méthodes de justification sous sollicitation sismique, hors bâtiments couverts par le guide de conception parasismique pour les maisons individuelles et bâtiments assimilés, nécessitent l'intervention d'un bureau d'études de structures maîtrisant les calculs dynamiques, et peuvent avoir des conséquences sur la conception générale de l'ouvrage. De ce fait, l'utilisation du procédé doit dans ce cas avoir été prévue le plus en amont possible.

2.3.4. Cas particulier des balcons, loggias et coursives en Thermedia®

Suivant l'étude thermique, le procédé Thermedia® pourra être mis en œuvre afin de traiter les ponts thermiques à la liaison balcon – façade – plancher ou loggia – façade – plancher ou coursive - façade - plancher, en tenant compte des contraintes liées à l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite (arrêté du 1^{er} août 2006, modifié par l'arrêté du 30 novembre 2007).

Dans le cas des balcons, ces derniers pourront être :

- Soit rapportés à la façade (désolidarisation), et dans ce cas être préfabriqués en béton (courant ou Thermedia®), métallique... ;
- Soit solidarisés à la façade, et dans ce cas être en béton coulé en place (courant ou Thermedia®), ou préfabriqués en béton (courant ou Thermedia®). Les balcons solidarisés nécessitent une méthodologie de mise en œuvre particulière, notamment par un coulage séquencé du plancher, du voile et du balcon. Un arrêt de coulage est ainsi indispensable (type métal déployé ou lattis métallique nervuré) afin que le chaînage (et éventuellement le balcon) soit coulé en Thermedia® pour le traitement efficace du pont thermique. De plus, le métal déployé permet de laisser filer les armatures du balcon pour leur ancrage dans le plancher.

En plus de réduire légèrement le pont thermique, l'intérêt principal d'utiliser Thermedia® en balcon est l'optimisation du séquençage des coulages sur le chantier (coulage en 1 fois du balcon, du chaînage et de la talonnette) et le gain sur le poids propre.

Le phasage de mise en œuvre et de coulage est généralement le suivant :

- Disposition des étalements et des coffrages (plancher et balcon) conformément au plan de pose ;
- Mise en place des ferraillements correspondants et de l'arrêt de bétonnage au nu intérieur du voile (métal déployé par exemple). Les armatures de la dalle (ancrages et chapeaux) et du balcon, sont passées à travers le métal déployé ;
- Coffrage éventuel de la talonnette (afin de faciliter le pincement en pied de banche pour le voile de l'étage supérieur) ;
- Coulage du balcon, du chaînage et de la talonnette éventuelle ; Lors du coulage, l'entreprise devra s'assurer du maintien en place de l'arrêt de bétonnage ;
- Coulage du plancher en béton courant. Ces deux dernières phases peuvent être inversées, suivant les contraintes particulières du chantier ;
- Réalisation d'une nouvelle levée des voiles de l'étage supérieur (début d'une rotation).

Et dans le cas de balcons préfabriqués, le phasage de mise en œuvre et de coulage est généralement le suivant :

- Disposition des étalements (plancher et balcon) et des coffrages (plancher) conformément au plan de pose ;
- Pose du balcon préfabriqué ;
- Mise en place de l'arrêt de bétonnage laissant passer les armatures du balcon au nu intérieur du voile (métal déployé par exemple) et des armatures du plancher et du chaînage. Les armatures de la dalle sont passées à travers le métal déployé ;
- Coffrage éventuel de la talonnette (afin de faciliter le pincement en pied de banche pour le voile de l'étage supérieur) ;
- Coulage du plancher en béton de densité courante ; lors du coulage, l'entreprise devra s'assurer du maintien en place de l'arrêt de bétonnage ;
- Coulage du chaînage faisant clavetage en Thermedia®. Ces dernières phases peuvent être inversées, suivant les contraintes particulières du chantier ;
- Réalisation d'une nouvelle levée des voiles de l'étage supérieur (début d'une rotation).

2.3.4.1. Balcons solidarisés et supportés

Le calcul et le dimensionnement de la section d'armatures de la dalle du balcon, dans ce cas, sont identiques à une dalle isostatique en béton léger en retenant la loi de comportement linéaire élastique fragile de la résistance en compression du béton Thermedia® conformément au § 2.3.1 du présent Dossier Technique.

2.3.4.2. Balcons solidarisés en porte-à-faux

Les balcons en Thermedia® doivent faire l'objet d'un dimensionnement selon la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale en retenant la loi de comportement linéaire élastique fragile de la résistance en compression du béton Thermedia® conformément au § 2.3.1 du présent Dossier Technique.

La section de la dalle des balcons est dimensionnée et vérifiée à l'encastrement de celle-ci avec le voile de façade.

Les démarches pour le dimensionnement d'un balcon sont les suivantes :

- Le dimensionnement de la section d'armatures nécessaire, à l'encastrement du balcon et de la dalle, en flexion simple (ELU) ;
- La vérification de la contrainte de compression du béton et de la contrainte de traction des armatures (ELS) ;
- La vérification de la section à l'effort tranchant (ELU) ;
- Le calcul de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures ;
- La vérification de la flèche nuisible ($< L/250$) ;
- Le calcul de la section des armatures de reprise des sollicitations supplémentaires engendrées par le dénivellement des dalles (dû aux dispositions constructives pour l'accessibilité PMR des balcons).

Pour le calcul, les propriétés mécaniques du béton Thermedia® sont celles données par l'application du § 11.3 de la NF EN 1992-1 et son Annexe Nationale (contraintes admissibles, module de déformation).

Afin de rendre les balcons accessibles aux personnes à mobilité réduite, il faut éliminer les obstacles qui entravent cette accessibilité. De plus, il est nécessaire de conserver une hauteur suffisante pour assurer l'étanchéité à l'eau de l'ouvrage. La mise en œuvre de cette disposition conduit à un dénivellement de la dalle des balcons (espace extérieur) par rapport à la dalle de plancher intérieur. Il est à noter que, quel que soit le dénivellement (avec une limitation du dénivellement par rapport au plancher tel que mentionné au § 2.3.4.2.6.2), la méthode de calcul sera identique. La différence intervient principalement au niveau des dispositions constructives du ferrailage.

2.3.4.2.1. Dimensionnement de la section d'armatures tendues en flexion simple

La section d'armatures tendues est calculée pour les combinaisons à l'ELU des moments à l'encastrement de la dalle du balcon.

La section d'armatures tendues à l'appui de la dalle du plancher intérieur, en béton courant, est calculée pour les mêmes combinaisons de moments.

La section d'armatures à mettre en œuvre ne doit pas être inférieure à la section minimale préconisée par l'Eurocode 2 – NF EN 1992-1-1 § 9.2.1.1).

2.3.4.2.2. Vérification de la contrainte du béton et de l'acier en flexion simple

Les contraintes de l'acier et du béton sont calculées pour les combinaisons caractéristiques à l'ELS et comparées aux contraintes limites, aussi bien pour la dalle du balcon que pour la dalle du plancher intérieur.

L'Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1 ; § 7.2) préconise de limiter la contrainte de compression dans le béton à : $0,6 f_{ck}$; et la contrainte de traction dans les armatures à : $0,8 f_{yk}$.

2.3.4.2.3. Vérification à l'effort tranchant

L'effort tranchant est vérifié à l'ELU à l'encastrement de la dalle du balcon suivant les prescriptions du § 6.2 et de la section 11 de la NF EN 1992-1-1.

2.3.4.2.4. Vérification des flèches nuisibles

Pour un balcon en console, la limite de flèche nuisible considérée est $L/250$.

Les moments de flexion pour l'évaluation des flèches sont pris à l'encastrement de la dalle du balcon.

2.3.4.2.5. Ancrage des armatures

L'ancrage des armatures du balcon commence dans le béton Thermedia® du voile de façade et continue dans le béton courant de la dalle du plancher intérieur. Pour la longueur d'ancrage il faut tenir compte de la contrainte d'adhérence du béton Thermedia® (telle que spécifiée au § 2.3.1.2) pour la partie ancrée dans le voile de façade et de la contrainte d'adhérence du béton courant pour la partie ancrée dans la dalle du plancher intérieur.

$$L_{b,req} = \left(\frac{A_{s,req}}{A_{s,pro}} \right) L_b$$

Avec :

- $L_{b,req}$: Longueur d'ancrage à prévoir
- $A_{s,req}$: Section des armatures requises par le calcul
- $A_{s,pro}$: Section réelle des armatures
- L_b = Longueur d'ancrage de calcul dans le béton courant
 $L_b = \phi/4 \cdot \sigma_{sd}/f_{bd}$ (ϕ : diamètre de la barre ; σ_{sd} : contrainte de calcul de l'acier)

$$L_b = L_{b1} + L_{b2}$$

Avec

- L_{b1} = la longueur fictive d'ancrage dans le béton Thermedia®, homogénéisée vis-à-vis du béton courant (c'est la longueur d'ancrage dans le béton courant qui produit la même capacité d'ancrage que l'ancrage dans le béton Thermedia® sur l'épaisseur du voile) :

$$L_{b1} = t \times \frac{f_{lbd}}{f_{bd}}$$

- L_{b2} = la partie d'ancrage droit dans le béton courant
- t = l'épaisseur du voile
- $f_{bd} = 2,25 \times \frac{f_{ctk,0,05}}{1,5}$: Contrainte ultime d'adhérence dans le béton courant
- $f_{lbd} = 2,25 \times \frac{f_{lctk,0,05}}{1,5}$: Contrainte ultime d'adhérence dans le béton Thermedia®

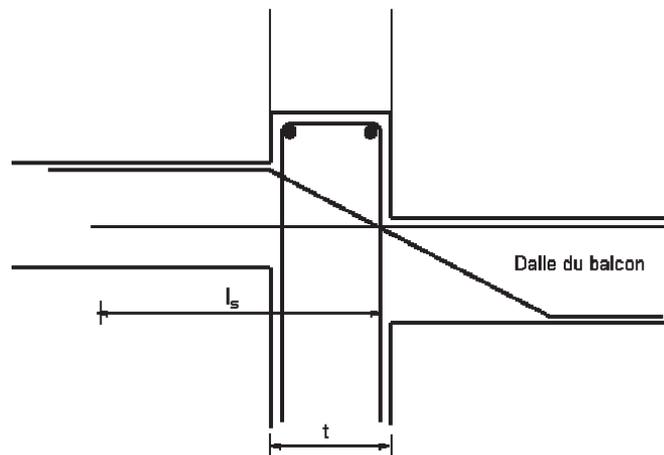
$$L_{b2} = L_b - t \times \frac{f_{lbd}}{f_{bd}}$$

La longueur d'ancrage droit nécessaire dans le béton courant de la dalle, $L_{b2,req}$ sera :

$$L_{b2,req} = \frac{A_{s,req}}{A_{s,pro}} \times (L_b - L_{b1})$$

La longueur totale d'ancrage sera donc $L_s = L_{b2,req} + t$

Figure 3 – Longueur d'ancrage L_s



L'emploi de béton Thermedia® a pour conséquence une diminution de la capacité d'adhérence entre les aciers et le béton, d'où un allongement des longueurs d'ancrage et de recouvrement.

2.3.4.2.6. Traction verticale due au dénivellement des dalles

Dans le cas de balcons en porte-à-faux, la différence de niveau entre la dalle du balcon et la dalle du plancher intérieur engendre une force verticale de traction qu'il faut reprendre par des armatures complémentaires.

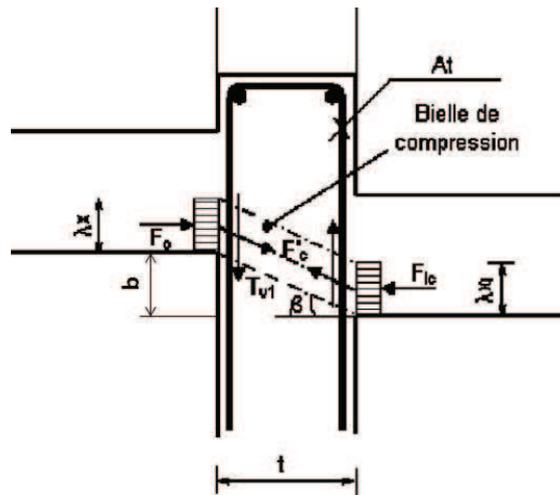
Cette force verticale est due d'une part au décalage des zones comprimées du béton des deux dalles (T_{v1}), et d'autre part due à l'inclinaison éventuelle des aciers sur appuis de la dalle du plancher intérieur (T_{v2}).

Les armatures verticales mise en œuvre doivent être capables, en plus des autres fonctions, de résister à une traction verticale T_v telle que $T_v = \max(T_{v1}; T_{v2})$.

2.3.4.2.6.1. Evaluation de la force T_{v1}

Le dénivellement b des sous-faces de la dalle du balcon et de la dalle intérieure crée une bielle de compression inclinée. Cette inclinaison est montrée sur la figure 4 ci-après :

Figure 4 – Inclinaison des bielles de compression



L'angle d'inclinaison de la bielle de compression est :

$$\beta = \arctan\left(\frac{b}{t}\right)$$

Avec :

- Epaisseur du voile : t ;
- Dénivellement entre les sous-faces : b ;

La force de compression (par mètre linéaire) dans la section de la dalle du balcon :

$$F_{lc} = 0,8 \cdot x \cdot f_{lcd}$$

Avec :

- x : hauteur de la zone de béton comprimée
- f_{lcd} : résistance de calcul en compression du Thermedia®

La force de traction reprise par les armatures verticales :

$$T_{v1} = F_{lc} \tan \beta$$

$$\tan \beta = b / t$$

Le dénivellement de la sous-face du balcon par rapport à celle du plancher devra être limité par une pente de 1/3 ($\tan \beta = 1/3$), ce qui se traduit par la condition suivante : dénivellement inférieur ou égal au tiers de l'épaisseur du voile.

2.3.4.2.6.2. Evaluation de la force T_{v2}

Lorsque le dénivellement « a » entre l'arase supérieure de la section résistante de la dalle du balcon et la face supérieure de la dalle du plancher intérieur est supérieur à 4 cm, les armatures de l'appui de la dalle de plancher intérieur seront inclinées (angle φ) afin d'assurer la longueur d'ancrage nécessaire, comme le montre la figure 5.

La composante verticale de la traction des barres inclinées T_{v2} est calculée de la manière suivante :

La force de traction des armatures supérieures de la dalle intérieure, F_s :

$$F_s = A_{s,cal} \times f_{yd}$$

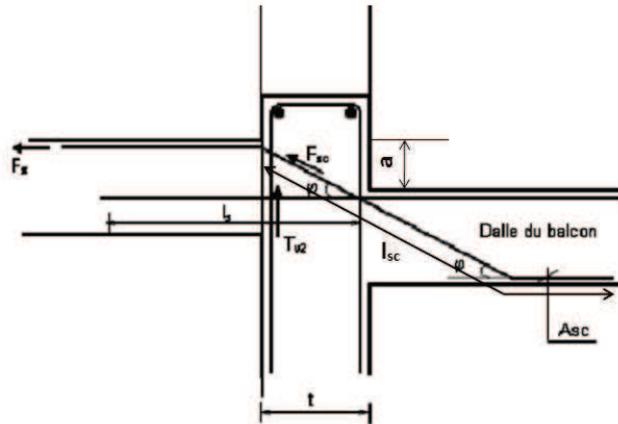
La traction dans la partie inclinée :

$$F_{sc} = F_s / \cos \varphi$$

Avec :

- $\tan \varphi = a / (t - c)$;
- $\varphi = \arctan[a / (t - c)]$;
- c est l'enrobage des armatures du voile.

Figure 5 – Inclinaison des armatures à l'appui de la dalle du plancher intérieur



Section d'armatures nécessaire pour reprendre cette traction, A_{sc} :

$$A_{sc} = F_{sc} / f_{yd}$$

La composante verticale de cette traction $T_{v2} = F_s \tan \varphi$

La section d'armatures pour reprendre cette traction verticale, $A_{s,v}$:

$$A_{s,v} = \text{Max}[T_{v1}; T_{v2}] / f_{yd} + A_T$$

Cette section d'armatures sera ajoutée à la section A_T , prévue par l'Annexe Nationale de l'Eurocode 2 et le DTU 23.1. La valeur maximale de cette section est de :

$$A_T = 1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Ces armatures seront verticales et ancrées de part et d'autre du plancher. Au niveau de la baie des fenêtres elles seront en forme de « U ».

2.3.4.2.7. Croquis de principe de ferrailage pour les balcons en porte-à-faux

Le dénivellement « a » entre le balcon et le plancher conduit à prévoir deux types de ferrillages, un pour le dénivellement inférieur à 4 cm et un pour le dénivellement supérieur ou égal à 4 cm.

Les schémas de principe de ferrailage, pour les balcons en porte-à-faux, sont montrés sur les figures ci-dessous.

Figure 6 – Dénivellement a inférieur à 4 cm

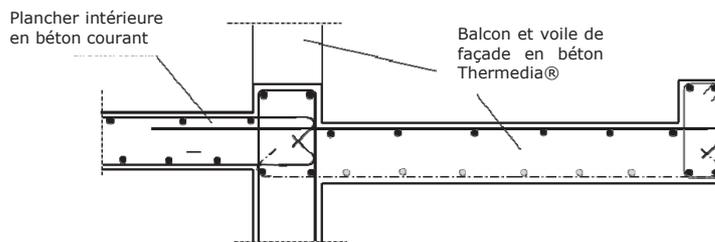
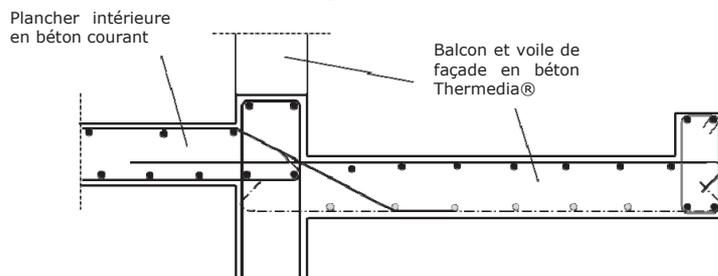


Figure 7 – Dénivellement a supérieur ou égal à 4 cm (dénivellement limité par une pente de 1/3 : voir § 2.3.4.2.6).



Dans le premier cas le recouvrement des barres de la dalle du balcon et des barres de la dalle du plancher intérieur, correspond au recouvrement à distance. La longueur de recouvrement l_r des barres est égale à la longueur d'ancrage augmentée d'une valeur égale à la distance libre entre les barres.

Dans le deuxième cas, l'ancrage des barres de la dalle du balcon et des barres de la dalle du plancher intérieur, est réalisé par l'ancrage direct des barres.

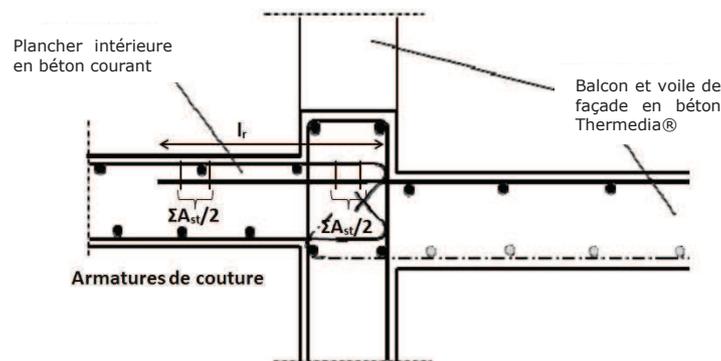
Etant donné le dénivellement des deux dalles (balcon et plancher), les barres à l'appui de la dalle du plancher intérieur sont munies d'une partie inclinée (d'un angle φ par rapport à l'horizontale) afin de pouvoir être ancrées dans la dalle du balcon.

La force de traction est plus importante dans la partie inclinée des barres que dans la partie droite. Cette traction est déterminante dans le calcul du dimensionnement de la section d'armature de flexion à l'appui de la dalle du plancher intérieur. La majoration de la section d'armatures dépend de l'inclinaison des armatures (du dénivellement). Elle est de $(\cos \varphi)^{-1}$.

La longueur d'ancrage l_{sc} de ces armatures de la dalle du plancher intérieur avec une partie inclinée est déterminée en prenant compte de la contrainte ultime d'adhérence dans le Thermedia®.

Des armatures transversales de couture sont nécessaires au droit des recouvrements pour s'opposer aux efforts transversaux de traction. La section totale des armatures de couture ΣA_{st} (somme de tous les brins parallèles au plan du recouvrement) doit être supérieure ou égale à la section A_s d'une des barres du recouvrement ($\Sigma A_{st} \geq A_s$). Il convient de disposer les aciers de couture perpendiculairement à la direction du recouvrement. Ces armatures transversales sont composées d'épingles, d'étriers ou de cadres et sont disposées sur les tiers extrêmes du recouvrement. Voir figure 8.

Figure 8 – Armatures de couture en cas de recouvrement à distance



Dans le cas de balcons préfabriqués, leur face latérale en contact avec le clavetage en Thermedia du voile de façade doit présenter une rugosité suffisante pour assurer la transmission des efforts de cisaillement : reprise de bétonnage rugueuse au sens du § 6.2.5 de l'Eurocode 2 (aspérités obtenues par striage, arrêt de bétonnage en métal déployé, indentations ...). Les éléments de balcons préfabriqués doivent reposer directement sur le mur sur une profondeur d'appui d'au moins 2 cm.

2.3.4.3. Dispositions constructives des balcons, loggias et coursives

2.3.4.3.1. Généralités

Les principales côtes à respecter sont :

- Décrochement de 2 cm minimum entre l'arase supérieure du balcon, de la loggia, ou de la coursive, et celle du plancher intérieur, suivant le § 5.6.3.3 du NF DTU 20.1 P1-1.
- Pente du support pour les balcons, loggias et coursives décrites ci-dessous.

Nota : L'attention est attirée sur le fait que le rejet des eaux pluviales :

- Est interdit sur une propriété tiers par le Code Civil
- Peut être interdit sur la voie publique par les Règles locales

2.3.4.3.2. Cas des ouvrages non étanchés

Pour les balcons, loggias et coursives non étanchés, le gros-œuvre devra être conforme aux dispositions du § 5.6.3.3 du NF DTU 20.1 P1-1. Une garde d'eau est nécessaire au droit des portes-fenêtres, elle peut être assurée :

- Soit par un ressaut coulé en œuvre de hauteur ≥ 5 cm
- Soit par un caniveau de 5 cm de profondeur et de largeur ≥ 30 cm muni d'un caillebotis ou d'une grille perforée. Ce caniveau devra être positionné au nu extérieur du mur de façade.

La pente du balcon, loggia ou coursive doit être orientée vers l'extérieur ou les évacuations EP et $\geq 1,5$ %.

Voir Annexe 2.E- Dispositions constructives relatives aux balcons, loggias et coursives : cas 1 et 2.

2.3.4.3.3. Cas des ouvrages étanchés

Pour les balcons, loggias et coursives étanchés, le gros-œuvre en maçonnerie des ouvrages destinés à recevoir un revêtement d'étanchéité est conforme au DTU 20.12. La garde d'eau au droit des portes-fenêtres est assurée :

- Soit par un ressaut coulé en œuvre et supportant le relevé du revêtement d'étanchéité d'une hauteur ≥ 10 cm
- Soit par un caniveau de 5 cm de profondeur et de largeur > 30 cm recouvert par le revêtement d'étanchéité comme toute la surface du balcon, de la loggia ou de la coursive.

Pour les portes-fenêtres, il conviendra d'assurer une garde d'eau de 5 cm minimum au-dessus de l'arase supérieure du balcon. La pente du balcon, loggia ou coursive doit être orientée vers l'extérieur ou vers les évacuations EP. La pente est comprise entre 0 % et 5 %, pour les pentes $< 1,5$ % une protection par dalles sur plots est nécessaire.

La pente du support pour les balcons, loggias et coursives est la même pour du béton courant ou pour du Thermedia®.

La pente du support est définie par les DPM (Documents Particuliers du Marché). Elle doit répondre aux exigences de la réglementation en vigueur applicable au projet. Elle peut être dirigée vers l'extérieur ou vers les évacuations d'eaux pluviales.

Les balcons préfabriqués doivent obligatoirement être étanchés.

Voir Annexe 2.E- Dispositions constructives relatives aux balcons, loggias et coursives : cas 3, 4 et 5.

2.3.5. Isolation acoustique

De nombreux essais acoustiques ont été réalisés d'une part en laboratoire (LABE ou CSTB) sur mur nu et doublé, et d'autre part in-situ sur des chantiers Thermedia®. Ces résultats ont été complétés par des simulations numériques effectuées avec les logiciels Acousys et Acoubat, de manière à évaluer la performance d'un grand nombre de configurations. Quelques valeurs sont données à titre d'information dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 – Performances acoustiques de doublages à titre informatif

	Epaisseur du voile de béton en cm	Type de doublage	Rw (C ; Ctr) en dB
Thermedia® 0.54 / 0.49	16	Prégymax Th29,5 13+100	61 (-5 ; -12)
		Aucun	51 (-2 ; -7)
	20	Aucun	57 (-1 ; -6)

Hormis la conductivité thermique, le béton Thermedia® 0,49 présente les mêmes caractéristiques physiques que le béton Thermedia® 0,54 (ex. densité, résistance mécanique, module d'élasticité). A ce titre, les performances acoustiques sont identiques entre les deux bétons.

Comme pour les bétons de densité courante, les bétons Thermedia® permettent généralement d'assurer le classement acoustique des façades, les points faibles restant les ouvertures (fenêtres, portes-fenêtres).

2.4. Disposition de mise en œuvre

La mise en œuvre des murs de façade en béton Thermedia® est réalisée par des entreprises de bâtiment.

La mise en œuvre du béton frais et les différents contrôles d'exécution correspondants doivent être conformes aux spécifications indiquées dans le présent Dossier Technique.

Le principe constructif des murs Thermedia® suppose la mise en œuvre des boîtes d'attente, excepté dans le cas des balcons et dans le cas des prédalles suspendues avec exigence sismique.

La mise en œuvre des boîtes d'attentes pour les planchers à prédalles suspendues relève des prescriptions définies dans le NF DTU 23.4.

Pour les balcons, la mise en place d'un latis métallique nervuré (type Nergalto) impose l'utilisation d'un ferrailage en barres (pas de possibilité de mise en œuvre des treillis soudés).

2.4.1. Préparation et réalisation des façades en Thermedia®

La mise en œuvre des bétons Thermedia® structurels est identique à celle d'un béton banché standard en référence à la norme DTU 23.1 « Murs en béton banché » et se fait dans le respect de la norme NF DTU 21 « Exécution des ouvrages en béton » (ou NF EN 13670). LAFARGE assure une information technique auprès des entreprises portant sur l'attention particulière quant aux dispositions suivantes :

2.4.1.1. Coffrage

La fluidité importante du Thermedia® impose des précautions sur l'étanchéité des coffrages, particulièrement en pied de mur :

- En façade, des talonnettes sont réalisées avec le voile du niveau inférieur, elles facilitent l'étanchéité par le pincement des banches ;
- Sur une dalle, cas d'un démarrage au rez-de-chaussée ou sur un retrait de façade, les défauts de planéité doivent être inférieurs à 5 mm, dans le cas contraire prévoir un calfeutrement sous les banches.

Les coffrages, banches et mannequins, doivent être parfaitement huilés.

2.4.1.2. Coulage

L'organisation des coulages se déroule généralement comme suit :

- Les voiles en Thermedia® ;
- Les planchers et les voiles de refends.

A l'arrivée de la toupie sur le chantier, l'étalement du béton est vérifié. Il doit se situer entre 450 et 600 mm (+ ou - 50 mm). Le coulage s'effectue par passes successives de 50 cm. La vibration se déroule au fur et à mesure, celle-ci doit être soignée pour obtenir une bonne mise en place et un aspect de parement homogène.

Il est conseillé d'utiliser une aiguille vibrante standard de 50 mm de diamètre.

2.4.1.3. Décoffrage

L'enlèvement des mannequins de fenêtre ou de porte-fenêtre doit se dérouler préférentiellement, au moins 3h après le décoffrage des banches.

Sous réserve des précautions d'emploi décrites ci-dessous, les bétons Thermedia® structurels permettent d'obtenir des parements identiques aux bétons destinés aux ouvrages à parements courants ou ordinaires :

- Ce type de béton doit être vibré au fur et à mesure du remplissage de la banche, par passe horizontale ;
- Les banches doivent être correctement nettoyées et huilées, avec de préférence l'utilisation d'une huile de synthèse pour des températures < 10°C ;
- La fluidité de ces bétons étant importante, l'étanchéité des coffrages (pied de coffrage, mannequins) doit être soignée.

2.4.2. Phases de coulage des éléments en Thermedia® et en béton courant

2.4.2.1. Façade Thermedia® et dalles suspendues en béton courant

Phase 1 : réalisation des voiles en Thermedia® (façade, pignon), conformément aux NF DTU 21 et DTU 23.1. Les voiles sont arasés au-dessus du niveau brut supérieur du plancher, afin de créer une talonnette qui facilitera la mise en place de la banche pour le niveau supérieur. Dans le cas d'utilisation de prédalles, la mise en œuvre des boîtes d'attentes doit suivre le guide de mise en œuvre « Planchers à prédalles - Carnet de Chantier : Guide de mise en œuvre » édité par la FFB et la FIB ; réalisation des voiles intérieurs en béton courant ;

Phase 2 : étaieage, coffrage, ferrailage (dont le dépliage des attentes dans les voiles) et coulage de la dalle. Dans le cas d'utilisation de prédalles, l'étape de coffrage est remplacée par la pose des prédalles ;

Phase 3 : réalisation d'une nouvelle levée des voiles de l'étage supérieur (début d'une rotation).

Les coupes données en Annexe 2 explicitent les différentes phases de coulage.

2.4.2.2. Façade Thermedia® et dalles non suspendues en béton courant

Ce type de liaison est possible uniquement si la dalle est prolongée par un balcon solidarisé :

- réalisation des voiles en Thermedia® (façade, pignon), conformément aux NF DTU 21 et DTU 23.1. Les voiles sont arasés au niveau inférieur du plancher, pour permettre le repos d'appui direct ;
- réalisation des voiles intérieurs en béton courant ;
- la suite du phasage est décrite au paragraphe 2.3.4.

La coupe donnée en Annexe 2 explicite les différentes phases de coulage.

2.4.3. Finitions

2.4.3.1. Finitions intérieures

Le procédé de murs de façades en béton Thermedia® étant principalement destiné aux murs extérieurs isolés par l'intérieur, la finition classique consiste en la pose de complexes de doublage collés.

Toutes les finitions intérieures de type complexe de doublage collé sont possibles dans les mêmes conditions que pour des murs en béton de densité courante, à condition de vérifier la compatibilité de la colle du doublage avec le support en Thermedia® selon les prescriptions de l'Annexe B du NF DTU 25.42 P1-2. A titre d'exemple, la compatibilité de la colle PREGYCOLLE 120 avec le support Thermedia® a été vérifiée à partir de tests d'adhérence suivant les recommandations de l'Annexe B de la norme NF DTU 25.42 P1-2.

2.4.3.2. Finitions extérieures

Toutes les finitions classiques sur béton armé sont possibles.

Dans le cas d'enduits de mortier, les prescriptions du NF DTU 26.1 sont à respecter.

Dans le cas des revêtements collés céramiques et assimilés et pierres naturelles, la pose s'effectue dans les conditions du NF DTU 52.2 P1-1-2, à condition de vérifier la compatibilité entre le mortier-colle et le support en Thermedia®. Le mortier-colle utilisé doit être certifié C2-S1/S2 et pour l'application en façade. La preuve de la compatibilité entre le support Thermedia® et le mortier-colle s'obtient par la réalisation des essais suivants :

- Vérification du temps ouvert (EN 1346) ;
- Adhérence par traction après immersion dans l'eau ≥ 1 MPa selon la norme d'essai EN 1348 ;
- Adhérence par traction après cycles de gel-dégel ≥ 1 MPa selon la norme d'essai EN 1348 ;
- Cisaillement après action de la chaleur selon l'annexe du NF DTU 52.2 P-2 avec une contrainte mesurée $> 0,7$ MPa.

La preuve de la compatibilité entre certains mortiers-colles et les supports en Thermedia® a d'ores-et-déjà été apportée (Rapport d'essais n° R2EM/EM 15-113 du CSTB et rapport d'essais n° R2EM/EM 15-104 du CSTB).

Les façades en Thermedia® peuvent également rester apparentes. Elles peuvent aussi recevoir les finitions de type peinture et assimilées, RPE, hydrofuges de surface, lasures-béton.

2.4.3.3. Percements

Pour la réalisation de percements traversants, il est recommandé d'utiliser une carotteuse diamant afin d'éviter les épaufrures à la sortie.

2.4.4. Cas des ouvrages en béton Thermedia® étanchés

2.4.4.1. Cas des acrotères et des reliefs étanchés

La préparation du support se fait conformément au NF DTU 20.12 et au NF DTU 43.1.

Sont admis :

- Les revêtements d'étanchéité en bitume modifié sous Documents Techniques d'Application (DTA) visant l'emploi sur éléments porteurs en béton traditionnel, pour le type d'ouvrages visés, en climat de plaine.
- Les systèmes d'étanchéité liquide sous Avis Techniques (ATEC) ou Documents Techniques d'Application (DTA), visant l'emploi sur éléments porteurs en béton traditionnel, pour le type d'ouvrages visés, en climat de plaine.

La mise en œuvre de ces revêtements d'étanchéité est réalisée conformément aux prescriptions des ATEC ou des DTA des produits retenus.

2.4.4.2. Cas des balcons, des loggias et des coursives étanchés

La préparation du support se fait conformément au NF DTU 20.12, au NF DTU 43.1 et aux Règles Professionnelles « S.E.L. Balcons et planchers sur espaces non clos » de la CSFE de juillet 2021.

Sont admis :

- Les revêtements d'étanchéité de type SEL disposant d'une Fiche Système établie selon les Règles Professionnelles « S.E.L. Balcons et planchers sur espaces non clos » de la CSFE de juillet 2021, visant l'emploi sur éléments porteurs en maçonnerie, pour le type d'ouvrages visés, en climat de plaine et mis en œuvre conformément à ces Règles Professionnelles.
- Les revêtements d'étanchéité en bitume modifié sous DTA, visant l'emploi sur éléments porteurs en maçonnerie, pour des terrasses accessibles aux piétons et séjour sous protection par dalles sur plots, en climat de plaine, et mis en œuvre conformément à son DTA

2.4.4.3. Entretien des balcons, coursives et loggias étanchés.

L'entretien des balcons, loggias et coursives en Thermedia® est identique à celui de ces ouvrages en béton courant.

L'entretien courant des balcons, loggias et coursives étanchés est l'objet d'une visite périodique (au moins une fois/an) conformément au NF DTU 43.1 et aux Règles Professionnelles « S.E.L. Balcons et planchers sur espaces non clos » de la CSFE de juillet 2021 dans le cas des SEL sur balcons.

2.5. Maintien en service du produit ou procédé

Moyennant le respect des dispositions de mise en œuvre décrites au § 2.4, le procédé ne requiert aucune intervention en service.

2.6. Traitement en fin de vie

Le traitement en fin de vie peut être considéré comme équivalent à celui des murs traditionnels en béton.

2.7. Assistance technique

Compte-tenu des précautions particulières que leur mise en œuvre nécessite, une information technique du titulaire de l'Avis auprès des entreprises utilisatrices est indispensable, destinée à faire connaître aux dites entreprises les conditions de cette mise en œuvre (voir chapitre 2.4 du Dossier Technique)

2.8. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.8.1. Fabrication

Le béton est préparé dans les centrales à béton de LAFARGE FRANCE, contrôlé par les laboratoires des agences productrices et sous la supervision du Responsable Qualité d'agence LAFARGE.

Les bétons Thermedia® structurels peuvent également être produits dans des centrales à béton d'un fabricant de béton prêt à l'emploi tiers ou dans une unité de préfabrication. Ces centrales font l'objet d'un agrément délivré par LAFARGE FRANCE et bénéficient d'une assistance technique. Une déclaration est systématiquement faite auprès du CSTB afin de diligenter la procédure de contrôle externe pour le suivi de fabrication. Les industriels concernés s'engagent à respecter intégralement les contrôles décrits dans le présent document.

2.8.2. Livraison

Les bétons Thermedia® sont livrés sur chantier en camion malaxeur (toupie). Toute livraison est accompagnée d'un bon de livraison conforme à la norme NF EN 206/CN, précisant notamment l'appellation commerciale du béton ainsi que sa dénomination normative au sens de la norme NF EN 206/CN.

Aucun ajout de quelque nature que ce soit n'est autorisé sur chantier.

2.8.3. Contrôles internes

Le béton Thermedia® est préparé dans les centrales à béton de LAFARGE France, ou dans des centrales tierces disposant d'un agrément délivré par LAFARGE France.

Les contrôles du béton sont réalisés conformément à la norme NF EN 206/CN et selon le tableau ci-après.

Tableau 4 - Fréquence de contrôles

Propriété	Méthode d'essai ou méthode de détermination	Thermedia® 0.54	Thermedia® 0.49	Fréquence de contrôle
Masse volumique humide du béton léger	EN 12350-6	1 440 à 1 730 ± 30 kg/m ³		1 fois tous les 50 m ³ ou 1 fois par semaine de production
Masse volumique sèche du béton léger	EN 12390-7	1 200 à 1 400 ± 30 kg/m ³		Thermedia® 0.54 : 1 fois par trimestre ⁽¹⁾ et 1 fois tous les 400 m ³ Thermedia® 0.49 : 1 fois par trimestre et 1 fois tous les 200 m ³
Consistance applications horizontales	EN 12350-2	S3 / S4		Quotidiennement
Consistance applications verticales	EN 12350-8	450 à 600 mm ± 50 mm		Quotidiennement
	EN 12350-2	S5		Quotidiennement
Conductivité thermique	CT Mètre	$\lambda_{90/90,utile} \leq 0,54$ W/m.K ⁽²⁾	$\lambda_{90/90,utile} \leq 0,49$ W/m.K ⁽²⁾	Thermedia® 0.54 : 1 fois par trimestre* et 1 fois tous les 400 m ³ Thermedia® 0.49 : 1 fois par trimestre et 1 fois tous les 200 m ³
Résistance à la compression	EN 12390-3	moyenne de n essais ($n \geq 15$) : $\geq f_{ck} + 1,48\sigma$ chaque résultat individuel d'essai : $\geq f_{ck} - 4$		1 fois tous les 400 m ³ (centrale NF) 1 fois tous les 150 m ³ (centrale non NF)

(1) Un trimestre s'entend comme suit : du 01/01 au 31/03 = trimestre 1 - du 01/04 au 30/06 = trimestre 2 - du 01/07 au 30/09 = trimestre 3 - du 01/10 au 31/12 = trimestre 4

Exemple 1 : Si une centrale produit 20 m³ dans le trimestre, 1 contrôle sera réalisé.

Exemple 2 : Si une centrale produit 450 m³ dans le trimestre, 2 contrôles seront réalisés.

(2) La conductivité thermique utile déclarée du Thermedia® 0,54 est de 0,54 W/m.K et la conductivité thermique utile déclarée du Thermedia® 0.49 est de 0,49 W/m.K

La valeur du fractile $\lambda_{90/90,utile}$ est calculée à partir des autocontrôles sur la conductivité thermique selon la norme ISO 10456.

La valeur du fractile $\lambda_{90/90,utile}$ doit être inférieure ou égale à la conductivité thermique déclarée.

Calcul du fractile $\lambda_{90/90,utile}$ à partir des autocontrôles

La formule est la suivante : $\lambda_{90/90,utile} = l_{moyen} + k_2 \times s$, où

- l_{moyen} est la valeur moyenne des mesures de conductivité thermique.
- k_2 est le coefficient utilisé lorsque l'écart-type est estimé pour un intervalle de dispersion bilatéral, en fonction du nombre de mesures et pour un fractile 90/90 (voir la norme NF EN ISO 10456 - Annexe C).
- s est l'écart-type des mesures de conductivité thermique.

Les unités de production n'appartenant pas à LAFARGE FRANCE effectuent les mêmes contrôles du béton. Les mesures de conductivité thermique restent réalisées par LAFARGE FRANCE dans ses laboratoires. Le respect des fréquences de contrôle et des critères d'acceptation par ces unités de production fait l'objet d'audits de suivi du contrôle de fabrication assurés par LAFARGE France.

Une qualification vaut pour un couple « centrale de fabrication / béton de composition définie ». Lorsque LAFARGE est amené à modifier une composition, une requalification de la nouvelle formulation dans la centrale concernée est nécessaire et est effectuée suivant les mêmes dispositions que la qualification initiale.

La conformité des productions des centrales de fabrication aux données du présent Avis, est enregistrée dans les registres de fabrication des centrales concernées.

2.8.4. Contrôle externe

L'autocontrôle exercé dans les centres de fabrication fait l'objet d'un suivi extérieur assuré par le CSTB sur la base d'un cahier des charges validé, qui précise notamment la fréquence des visites des laboratoires et des centrales, ainsi que les points examinés dans chaque cas.

La liste des centrales qualifiées est mise à jour en accord avec le CSTB et disponible auprès du titulaire et du CSTB.

Toute modification envisagée dans la nature des contrôles ou des organismes qui sont impliqués dans son exercice doit être signalée au CSTB.

Le contrôle externe (aussi appelé audit) est réalisé par le CSTB à raison de 2 fois par an (1 pour le procédé Thermedia® 0.49 et 1 pour le procédé Thermedia® 0.54) avec prélèvement semestriel de 2 lots de fabrication par prélèvement, lors de l'audit, pour des essais de vérification dans un laboratoire extérieur, notamment pour les paramètres suivants :

- Conductivité thermique à l'état sec ;
- Masse volumique.

Dans le cadre du contrôle externe (audit) réalisé par le CSTB, une vérification de la conformité des valeurs de conductivité thermique utile revendiquées est effectuée sur la base des tests de conformité réalisés dans un laboratoire tiers accrédité d'une part (mesures selon ISO 8302 ou NF EN 12664), et d'autre part de l'inspection des relevés d'autocontrôles (mesures selon NF EN 993-15 ou ISO 8894-1).

a) Tests de conformité dans un laboratoire tiers accrédité (2 fois par an) :

Le produit est jugé conforme si l'inéquation suivante est vérifiée :

$$\lambda_{90/90} (\text{valeur déclarée dans l'Avis Technique}) \geq \lambda_{moyen} + k \times s$$

Avec :

- λ_{moyen} : conductivité thermique moyenne,
- s : écart-type sur la conductivité thermique,

Le paramètre k dépend du nombre d'échantillons n :

n	4	5	6	7
k	0,44	0,52	0,58	0,61

Le nombre minimum de prélèvements nécessaires pour réaliser les tests de conformité de conductivité thermique dans un laboratoire tiers accrédité est de 4 prélèvements par an et par procédé, au total. Deux prélèvements supplémentaires par procédé seront donc à réaliser par Lafarge France

b) Tests de conformité via l'inspection des autocontrôles (selon NF EN 993-15 ou ISO 8894-1)

La conductivité thermique utile déclarée du Thermedia® 0.54 est égale à 0,54 W/m.K et la conductivité thermique utile déclarée du Thermedia® 0.49 est égale à 0,49 W/m.K. La valeur du fractile $\lambda_{90/90,utile}$ est calculée à partir des autocontrôles sur la conductivité thermique selon la norme ISO 10456. La valeur du fractile $\lambda_{90/90,utile}$ doit être inférieure ou égale à la conductivité thermique déclarée.

Calcul du fractile 90/90 à partir des autocontrôles, la formule est la suivante : $l_{90/90} = l_{moyen} + k_2 \times s$, où

- l_{moyen} est la valeur moyenne des mesures,
- k_2 est le coefficient utilisé pour déterminer lorsque l'écart-type est estimé pour un intervalle de dispersion bilatéral en fonction du nombre de mesures et pour un fractile 90/90 suivant l'annexe C de la norme NF EN ISO 10456
- s est l'écart-type

Les méthodes d'essais et les critères d'acceptation sont identiques à ceux indiqués dans le tableau ci-avant.

LAFARGE informe le CSTB lors de tout changement majeur de matière première dans la fabrication du béton Thermedia® structurel (ex. : type de granulats).

2.9. Mention des justificatifs

2.9.1. Résultats Expérimentaux

Acoustique :

Thermedia® 0.54 et Thermedia® 0.49 :

- Rapport d'essais Acoustique CSTB N° AC11-26033004 concernant une paroi en béton avec et sans complexe de doublage.
- Rapport Bouygues du 17.04.09 : vérification des Isolements acoustiques entre logements dont la façade est réalisée en Thermedia® 0.54 (ex-0.6) sur le chantier de Convention – Paris 15^{ème}. Résultat : $DnT,A \geq 53$ dB.
- Rapport de mesures acoustiques SOCOTEC du 15 septembre 2011 sur le chantier de Saint Denis Emile Chrétien. Résultat : $DnT,A \geq 53$ dB.
 - FEST n°AI/AE11-D.

Thermique :

Thermedia® 0.54 (ex-Thermedia® 0.6) :

- Décision CTAT n° 103, Procédé de béton léger Thermedia® 0.54 (ex 0.6) B du 12 novembre 2009.
- Rapport d'essai LNE – Dossier P175367 – Document DE/2 du 18/01/2018 - Thermedia® 0.54 / Centrale de Nice – Prélèvement du 31/07/2017
- Rapport d'essai LNE – Dossier P185031 – Document DE/1 du 17/12/2018 - Thermedia® 0.54 / Centrale de La Capelette – Prélèvement du 05/06/2018

Thermedia® 0.49 (ex-Thermedia® 0.45) :

- Rapport d'essai LNE – Dossier P176044 – Document DE/1 du 20/12/2017 - Thermedia® 0.49 / Centrale de Chanceaux-sur-Choisille – Prélèvement du 14/09/2017
- Rapport d'essai LNE – Dossier P185031 – Document DE/2 du 17/12/2018 - Thermedia® 0.49 / Centrale de Locminé – Prélèvement du 20/09/2018

Thermedia® 0.54 et 0.49 (ex-Thermedia® 0.6 et 0.45) :

- Validation d'un catalogue de ponts thermiques de liaison intégrant le procédé Thermedia®. Rapport CSTB n° 12-063 du 17 juin 2013, réf. DIR/HTO 2013- -FL/LS.
- Validation d'un catalogue de ponts thermiques de liaison intégrant le procédé Thermedia® 0,49. Rapport CSTB n° 21-041 du 18 novembre 2021, réf. DEB/D2EB-2021-173-BR/NZ.
- Catalogue de ponts thermiques de liaisons intégrant le procédé Thermedia® 0.49 – LafargeHolcim (LCR) du 18/10/2019

Structure :

- Etude de dimensionnement d'un bâtiment collectif en Thermedia®- Expertise matériau et application de la norme EC2. Rapport n° N122_2009_LAFARGE_A, NECS, 14 juin 2009.
- Comportement sous séisme d'un bâtiment de logement avec voiles de façade en béton Thermedia®. Etude de cas. Rapport n° N001_DA014_201_LAFARGE_A1, NECS, 8 juin 2011.
- Comportement sous séisme d'un bâtiment de logement avec voiles de façade en béton Thermedia®. Etude de cas. Rapport n° N001_A355_2012_LAFARGE_A1, NECS, 11 décembre 2012.
- Etude de faisabilité de balcons en béton Thermedia® dans le respect des réglementations thermique et accessibilité handicapés. Rapport n° N001_DA017_2010_LAFARGE_B, NECS, 10 février 2012.
- Essais de flexion sur balcon en béton Thermedia®, LGCIE INSA de Lyon, rapport n° LAFARGE/13/2012, septembre 2012.
- Essais de flexion sur balcon, en béton Thermedia® LGCIE INSA de Lyon, rapport n° LAFARGE/01/2013, avril 2013.
- Caractérisation en compression d'un béton léger du LMC² d'octobre 2015.
- Appréciation de Laboratoire N° 029339-C du CERIB datée du 24/02/2022 pour les voiles en Thermedia® jusqu'à 4 m de hauteur.

Matériaux :

- Constat de traditionalité Thermedia® 0.54 (ex-Thermedia® 0.6) B n° 20/10-170, CSTB, 18 mars 2010

Caractérisation :

- Mesure du coefficient de dilatation thermique. Ginger CEBTP, dossier BMA1-C-4174 rapport d'essai n° 1, 14 septembre 2012.
- Mesure du coefficient de dilatation thermique. Ginger CEBTP, dossier BMA1-C-4174 rapport d'essai n° 2, 14 septembre 2012.

Finitions :

- Rapport d'essais n°R2EM/EM 15-113 concernant un mortier colle sur support Thermedia®
- Rapport d'essais n°R2EM/EM 15-104 concernant un mortier colle sur support Thermedia®

Tenue des revêtements d'étanchéité :

- Rapport d'essais CEBTP n° BEB6.L.3055/2 du 04/11/2021 – Essais de pelage du support (feuilles bitumineuses) et essais d'adhérence (SEL) sur un support en béton Thermedia®.

Retours d'expériences :

- Synthèses des rapports d'audits externes dans le cadre du suivi de la production du béton Thermedia® par le CSTB
- Synthèse des retours d'expériences sur la mise en œuvre du béton Thermedia® sur chantier

2.9.2. Références chantiers

Plus de 50 000 m³ de béton Thermedia® livrés sur environ 250 chantiers :

Thermedia® 0.54 (ex-Thermedia® 0.6) :

- Chantier de 334 m³ : réalisation des voiles de façade – Amblard Cadence à Villeurbanne (69100) – AFONSO HUMBERTO / Lafarge Bétons RA – Centrale de Chassieu (2020)
- Chantier de 481 m³ : réalisation des voiles de façade – 61, chemin des Loups à Villepinte (93420) – BRAGA DEMO / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Chelles (2020-2021)
- Chantier de 366 m³ : réalisation des voiles de façade – Eco-quartier Bel Air / Terre Sud à Bègles (33130) – GCC Aquitaine / Lafarge Bétons Nouvelle Aquitaine – Centrales de Lormont BDG et Blanquefort (2020)
- Chantier de 511 m³ : réalisation des voiles de façade – 6, rue Louis Pasteur à Fontenay-le-Fleury (78330) – PGD BATIMENT / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Trappes (2020)
- Chantier de 637 m³ : réalisation des voiles de façade – Résidence BORÉAL à Aix-en-Provence (13100) – / Lafarge Bétons Agence Provence – Centrale de Venelles et Vitrolles (2020)
- Chantier de 323 m³ : réalisation des voiles de façade – 159, avenue Winchester à Saint-Germain en Laye (78100) – PGD BATIMENT / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Nanterre (2020)
- Chantier de 432 m³ : réalisation des voiles de façade – résidence Europe à Beaumont (63032) – SNECA ST / Lafarge Bétons RA – Centrale de Cournon d'Auvergne (2020-2021)
- Chantier de 397 m³ : réalisation des voiles de façade – 4/5, rue Fouilloux à Ivry-sur-Seine (94205) – 3LM BATIMENT / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Bercy (2021)

- Chantier de 474 m3 : réalisation des voiles de façade – 16, rue de Paris à Claye-Souilly (77410) – BT France SARL / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Chelles et Goussainville (2021)
- Chantier de 342 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence Le Patio à Miramas (13140) – DELTA CONCEPT BATIMENT VELAUX / Lafarge Bétons Provence – Centrale de Istres (2021)
- Chantier de 394 m3 : réalisation des voiles de façade – Villa Amaryllis à Antibes (06600) – LIZÉE SA / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de Vallauris (2021)
- Chantier de 324 m3 : réalisation des voiles de façade – Le Mas des Pierres à Saint-Paul de Vence (06570) – LIZÉE SA / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrales de Nice et Vallauris (2021)
- Chantier de 307 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence Garden Harmonie à Fréjus (83370) – TRAVAUX SPECIAUX VAR / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de Puget (2021)
- Chantier de 518 m3 : réalisation des voiles de façade – Villa Francis TONNER à Cannes (06400) – ALLIANCE BATIMENT CA / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de La Bocca (2021-2022)
- Chantier de 382 m3 : réalisation des voiles de façade – Marenda Lacan à Antibes (06600) – DAMOTA CONSTRUCTIONS / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de Grasse (2021-2022)
- Chantier de 675 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence Empreintes Valescure à Saint-Raphaël (83530) – CORTINHEIRO CONSTRUCTION VAR / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de Sainte-Maxime (2021-2022)
- Chantier de 355 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence l'Amiral à Carqueiranne (83320) – SENEK / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de Hyères (2021-2022)

Thermedia® 0.49 (anciennement Thermedia® 0.45) :

- Chantier de 1083 m3 : réalisation des voiles de façade – EMH ZAC de la Soie à Villeurbanne (69100) – AXIS BATIMENT / Lafarge Bétons RA – Centrales de Chassieu et Vaise Gare (2020)
- Chantier de 374 m3 : réalisation des voiles de façade – Château Valmante bâtiment G7 à Marseille (13009) – SECTP / Lafarge Bétons Provence – Centrale de La Capelette (2020)
- Chantier de 305 m3 : réalisation des voiles de façade – ZAC de la Croix de l'Orme à Bruyères le Chatel (91680) – 3LM BATIMENT GRIGNY / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Evry (2020)
- Chantier de 274 m3 : réalisation des voiles de façade – 164, rue des Bruyères à Rezé (44400) – DONADA SA / Lafarge Bétons Pays de Loire – Centrale de Saint-Herblain (2020)
- Chantier de 262 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence SUN SIDE à Clermont-Ferrand (63) – ARVERNOISE CONSTRUCTION / Lafarge Bétons RA – Centrale de Cournon d'Auvergne (2020-2021)
- Chantier de 359 m3 : réalisation des voiles de façade – 3F Résidence de la Pare à Peymeinade (06530) – ALLIANCE BATIMENT CA / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de Grasse (2021)
- Chantier de 320 m3 : réalisation des voiles de façade – 30-32, rue de la Varenne à Saint-Maur des Fossés (94100) – GDO Villeneuve-le-roi / Lafarge Bétons IDF – Centrale de Bercy (2021)
- Chantier de 629 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence étudiante Kley à Angers (49000) – CONSTRUCTIONS HAUT ANJOU / Lafarge Bétons Pays de Loire – Centrale de Saint Barthelemy d'Anjou (2021-2022)
- Chantier de 776 m3 : réalisation des voiles de façade – Ilot B107 ZAC Bastide-Niel à Bordeaux (33000) – DELTA CONSTRUCTION SAS / Lafarge Bétons Nouvelle Aquitaine – Centrale de Lormont BDG (2021-2022)
- Chantier de 1872 m3 : réalisation des voiles de façade – ESTEREL GRAND PARC à Fréjus (83600) – VIGNA MEDITERRANEE / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrales de la Bocca et Puget (2021-2022)
- Chantier de 239 m3 : réalisation des voiles de façade – Avenue du Pignonnet à Aix-en-Provence (13090) – SGC Aix / Lafarge Bétons Provence – Centrale de Luynes (2021-2022)
- Chantier de 520 m3 : réalisation des voiles de façade – Résidence Les Voiles à Saint-Mandrier (83430) – BEC CONSTRUCTION PROVENCE / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrale de La Seyne-sur-mer (2022)
- Chantier de 483 m3 : réalisation des voiles de façade – Les Terrasses de la Mer à Saint-Mandrier (83430) – ACTIBAT / Lafarge Bétons Côte d'Azur – Centrales de La Seyne et Hyères (2022)

2.10. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre

Annexe 1 – Exemples de ponts thermiques de liaison intégrant le procédé Thermedia®

Cette annexe contient des valeurs du coefficient linéique Ψ (en W/m.K) des liaisons les plus courantes entre deux ou plusieurs parois du bâtiment, dans le cas de voiles de façade en béton Thermedia® (Voir ci-après)

Un catalogue plus détaillé de valeurs par défaut validé par le CSTB (rapport n° 12-063 du 17 juin 2013, réf. DIR/HTO 2013- - FL/LS pour Thermedia® 0,54 (ex-Thermedia® 0,6) et rapport n° 21-041 du 18 novembre 2021, réf. DEB/D2EB-2021-173-BR/NZ pour Thermedia® 0,49) est disponible sur demande auprès de Lafarge.

Ces valeurs ont été déterminées conformément à la norme NF EN ISO 10211.

Le cas des façades avec balcon et baies n'est pas couvert par les tableaux du § 2 de cette annexe. Pour ce cas, il est nécessaire de faire un calcul au cas par cas.

Les liaisons peuvent être calculées au cas par cas conformément à cette même norme. Les valeurs calculées dans la configuration précise du pont thermique considéré conformément à la norme NF EN ISO 10211 priment sur ces valeurs par défaut.

Limite de validité des valeurs de ponts thermiques fournies en annexe :

Sauf indication particulière dans les tableaux, les valeurs de coefficients de ponts thermiques données ci-après ne sont valables que dans les limites d'utilisation suivantes :

- Doublages intérieurs : épaisseur ≥ 100 mm ; conductivité thermique $\geq 29,5$ mW/(m.K)
- Isolation de la toiture terrasse : épaisseur ≥ 100 mm ; résistance thermique $\leq 9,3$ m².K/W
- Isolation en sous-face du plancher bas sur vide sanitaire : épaisseur ≥ 100 mm ; conductivité thermique ≥ 23 mW/(m.K)
- Isolation en sous-face du plancher bas sur terre-plein : épaisseur ≥ 60 mm ; résistance thermique $\leq 2,85$ m².K/W
- Une densité d'armatures $\leq 0,25$ % dans le sens du flux thermique au niveau des liaisons avec la façade. A titre d'illustration, un taux de ferrailage de 0,25 % dans le sens du flux thermique correspond pour une dalle de 20 cm à des « U » HA 8 espacés de 20 cm, soit 5 cm² de section d'acier par mètre linéaire de plancher.

Remarque : Pour que les calculs de coefficients de transmission linéiques Ψ prennent en compte l'influence des armatures aux liaisons avec la façade au droit des ponts thermiques, il convient de prendre en compte les conductivités thermiques majorées ci-après.

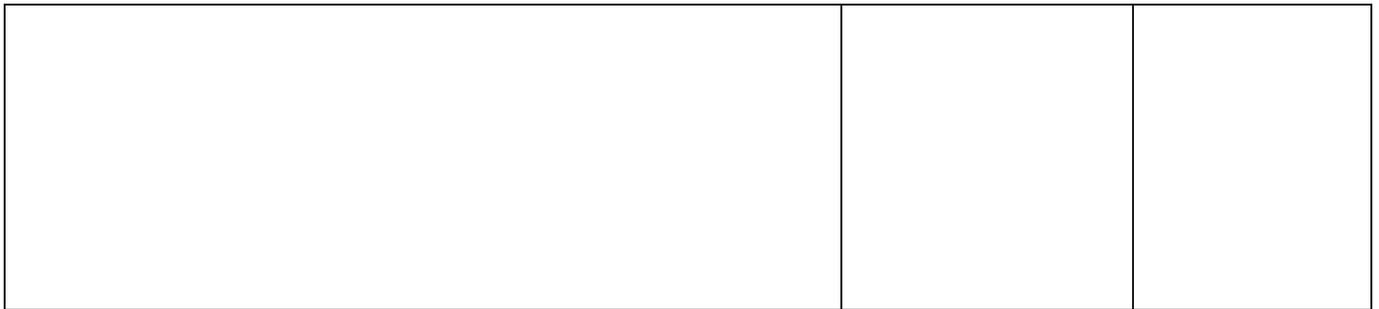
Ces conductivités thermiques majorées sont données pour une valeur de ferrailage $\leq 0,25$ % dans le sens du flux thermique au niveau des liaisons avec la façade.

Conductivités thermiques utiles prenant en compte l'influence des armatures pour la détermination des coefficients de pont thermique Ψ :

Thermedia® 0.54 :	0,56 W/m.K
Thermedia® 0.49 :	0,53 W/m.K

D'autre part, le tableau ci-dessous donne les conductivités thermiques utiles des bétons Thermedia® à utiliser dans les autres calculs thermiques tels que la détermination de valeurs de U_p (coefficient de transmission surfacique de parois).

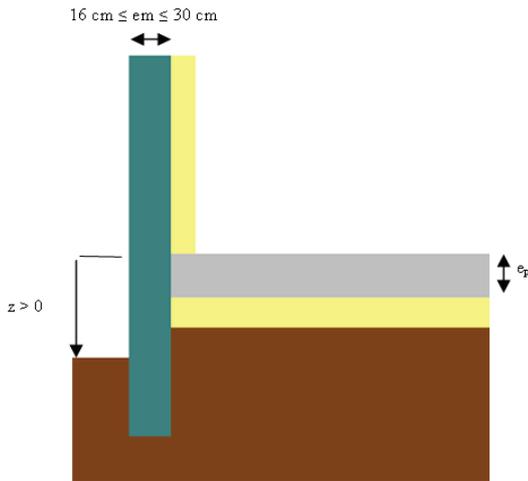
Bétons	Masse volumique sèche (ρ) en kg/m ³	Conductivité thermique utile (λ) en W/m.K
Thermedia® Thermedia® 0.54 Thermedia® 0.49	1200 < ρ \leq 1400 1200 < ρ \leq 1400	0,54 0,49
Thermedia® armé Valeurs à prendre en compte lorsque le Thermedia® est armé avec un pourcentage en volume d'acier disposé parallèlement au flux thermique de :		
- Thermedia® armé avec % d'acier compris entre 0 et 0,25 :		
Thermedia® 0.54	1200 < ρ \leq 1400	0,54
Thermedia® 0.49	1200 < ρ \leq 1400	0,49
- Thermedia® armé avec % d'acier compris entre 0,25 et 0,5 :		
Thermedia® 0.54	1235 < ρ \leq 1550	0,79 *
Thermedia® 0.49	1235 < ρ \leq 1550	0,74 *
- Thermedia® armé avec % d'acier compris entre 0,5 et 1		
Thermedia® 0.54	1235 < ρ \leq 1550	1,04 *
Thermedia® 0.49	1235 < ρ \leq 1550	0,99 *



* Nota : Ces valeurs ont été calculées en supposant que l'armature en acier, disposée parallèlement au flux thermique, traverse de part en part le voile en béton Thermedia®.

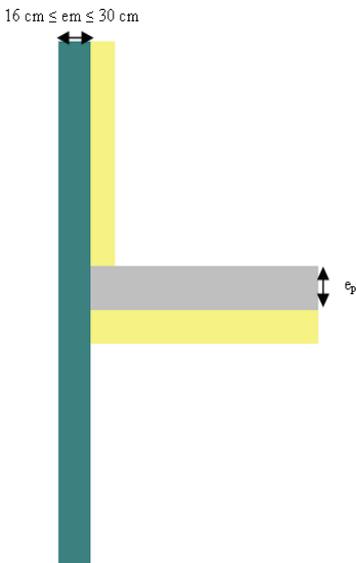
1. Liaison avec un plancher bas

- Dallage en béton isolé en sous-face sur toute sa surface et soubassement en béton Thermedia®



z (en cm)	Valeurs de ψ en W/(m.K)			
	Epaisseur du plancher e_p (cm)			
	15		20	
	Th 0.54	Th 0.49	Th 0.54	Th 0.49
z = - 20	0,34	0,33	0,39	0,38
z = + 20	0,41	0,41	0,47	0,47

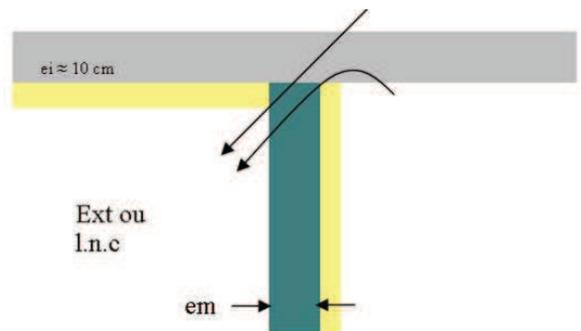
- Plancher bas donnant sur l'extérieur, un vide sanitaire ou sur un local non chauffé



em (cm)	Valeurs de ψ en W/(m.K)			
	ep (cm)			
	20		25	
	Th 0.54	Th 0.49	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,50	0,49	0,56	0,55
em = 30	0,42	0,41	0,47	0,45

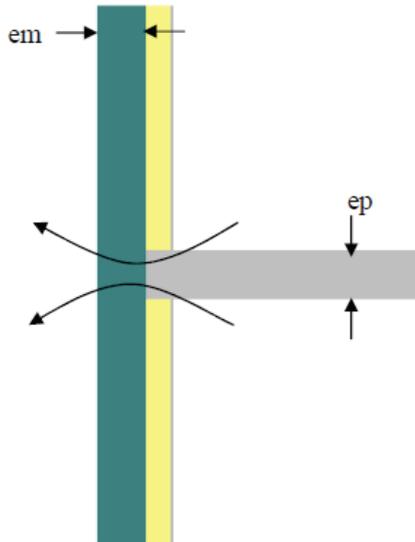
- Plancher bas donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé avec un mur donnant sur l'intérieur

Plancher	Valeurs de ψ en W/(m.K)	
	10 cm ≤ ep ≤ 35 cm	
Mur	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,35	0,32
em = 20	0,39	0,37



2. Liaisons avec un plancher intermédiaire

- Liaison du plancher intermédiaire avec mur donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé (plancher en béton plein)



Valeurs de ψ en W/(m.K)

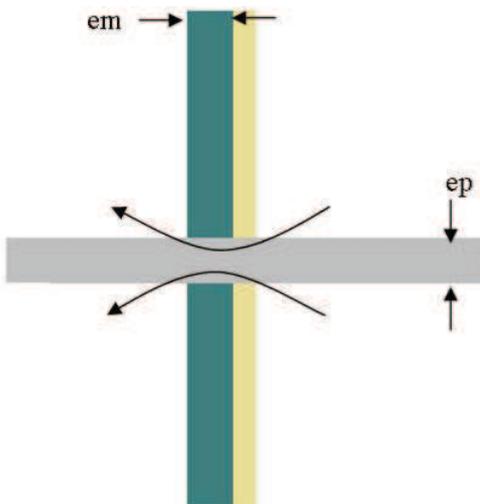
Avec un doublage de 10 cm d'épaisseur

em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,60	0,58
em = 20	0,56	0,53

Avec un doublage de 14 cm d'épaisseur

em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,57	0,56
em = 20	0,53	0,51

- Liaison du plancher intermédiaire avec un balcon et un mur donnant sur l'extérieur (balcon et chaînage en béton courant)



Valeurs de ψ en W/(m.K)

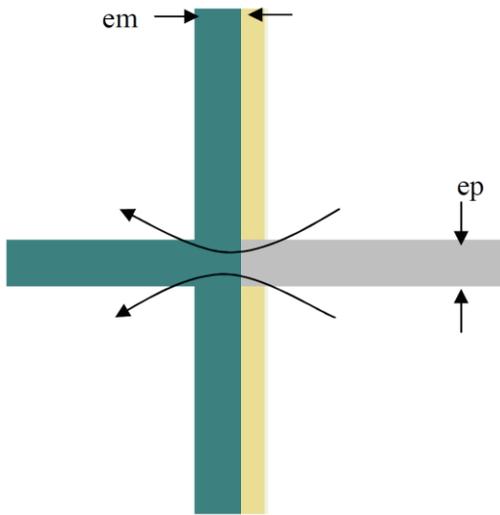
Avec un doublage de 10 cm d'épaisseur

em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,88	0,87
em = 20	0,83	0,82

Avec un doublage de 14 cm d'épaisseur

em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,81	0,81
em = 20	0,77	0,76

- Liaison du plancher intermédiaire avec un balcon et un mur donnant sur l'extérieur (balcon et chaînage en Thermedia®)



Valeurs de ψ en W/(m.K)

Avec un doublage de 10 cm d'épaisseur

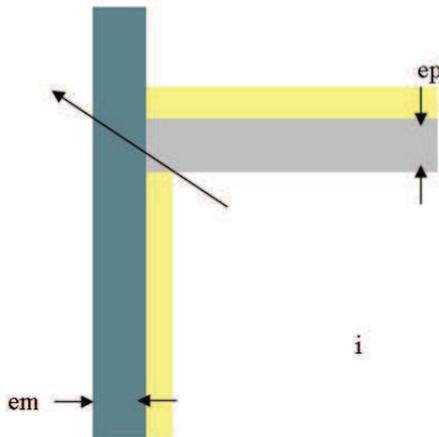
em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,58	0,55
em = 20	0,54	0,51

Avec un doublage de 14 cm d'épaisseur

em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,55	0,53
em = 20	0,52	0,50

3. Liaisons avec un plancher haut

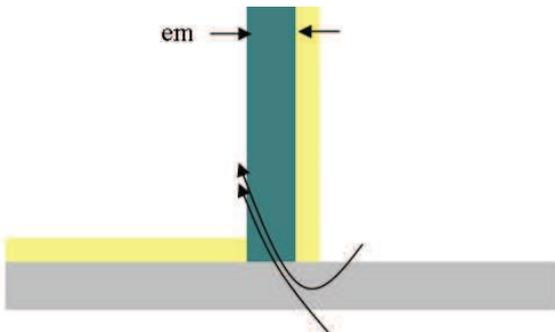
- Liaison du plancher haut lourd donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé, avec un mur extérieur (hauteurs des acrotères supérieures ou égale à 10 cm par rapport au-dessus de l'isolant).



Valeurs de ψ en W/(m.K)

em (cm)	ep (cm)	
	20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,57	0,54
em = 20	0,53	0,50

- Liaison du plancher haut avec un mur et donnant sur l'intérieur

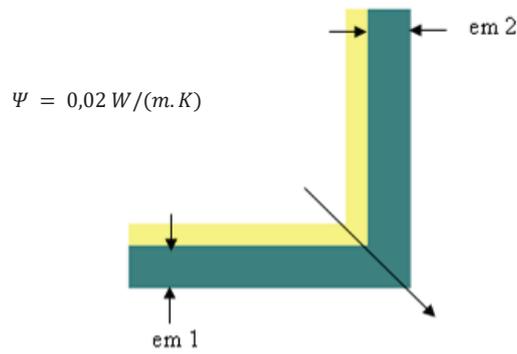


Valeurs de ψ en W/(m.K)

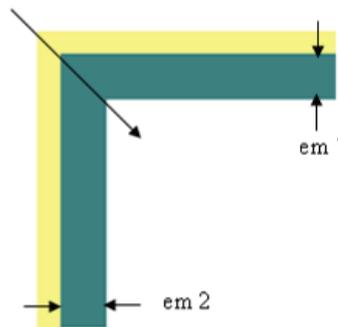
em (cm)	Toute épaisseur de plancher	
	Th 0.54	Th 0.49
em = 16	0,34	0,33
em = 20	0,38	0,38

4. Liaisons entre parois verticales

- Angle sortant entre deux murs donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé

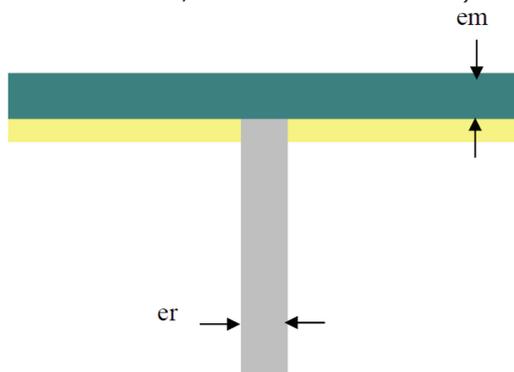


- Angle rentrant entre deux murs donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé



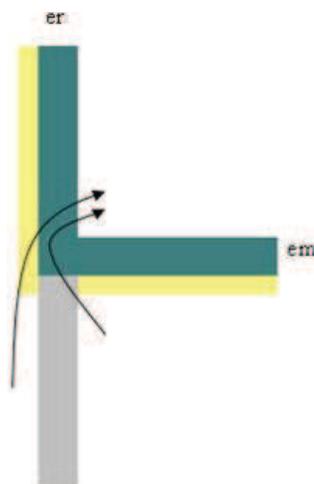
Valeurs de ψ en $\text{W}/(\text{m.K})$		
em_2 (cm)	$em_1 = em_2$	
	Th 0.54	Th 0.49
$em_2 = 16$	0,08	0,08
$em_2 = 20$	0,10	0,10

- Liaison en T entre un mur donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé et un refend entièrement situé dans le local chauffé (mur béton Thermedia®/ refend en béton courant)



Valeurs de ψ en $\text{W}/(\text{m.K})$				
em (cm)	er (cm)			
	15 cm		20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49	Th 0.54	Th 0.49
$em = 16$	0,51	0,49	0,61	0,58
$em = 20$	0,47	0,45	0,56	0,53

- Refend en béton et mur en béton avec isolation du refend qui s'arrête au niveau de la face intérieure de l'isolant du mur

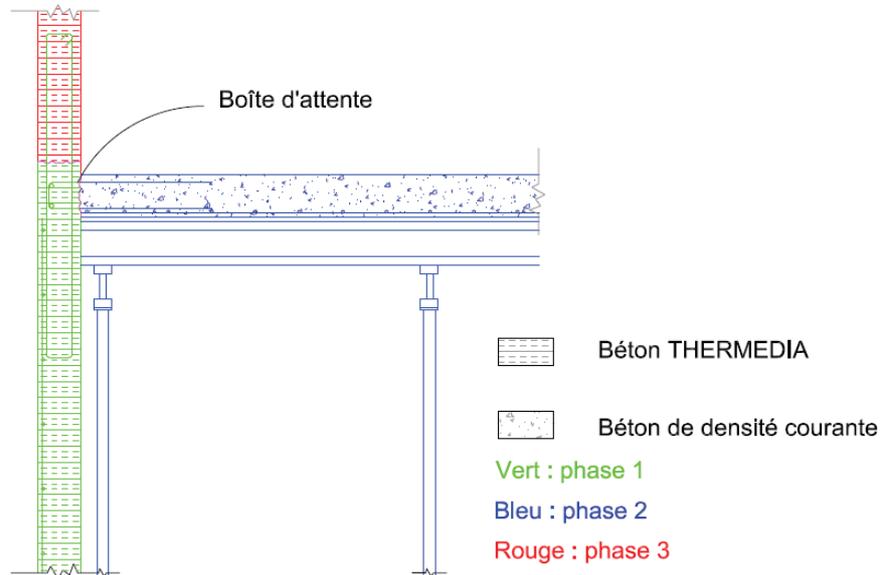


Valeurs de ψ en $\text{W}/(\text{m.K})$				
em (cm)	er (cm)			
	15 cm		20 cm	
	Th 0.54	Th 0.49	Th 0.54	Th 0.49
$em = 16$	0,40	0,38	0,43	0,43
$em = 30$	0,34	0,31	0,37	0,35

Annexe 2 – Exemples de liaison façade Thermedia® - plancher

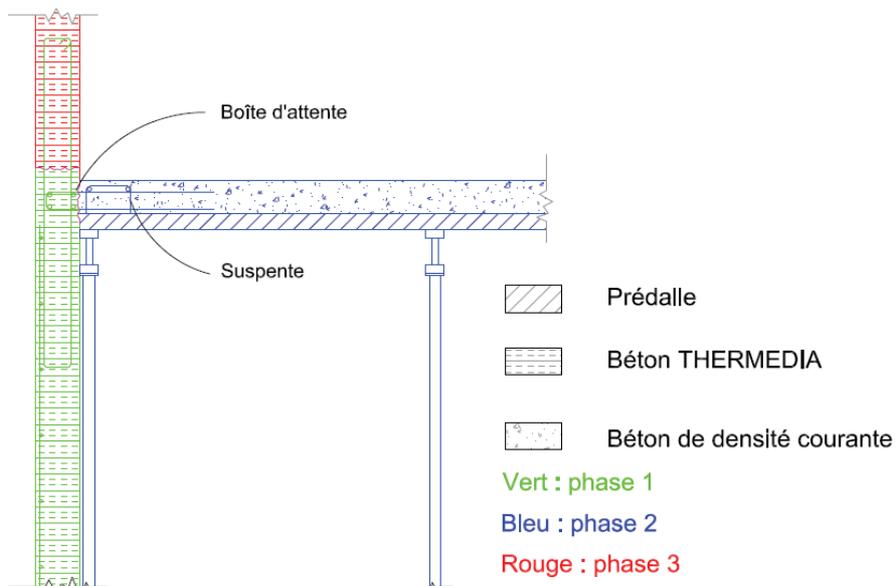
A. Coupe étage courant avec dalle pleine suspendue :

DALLE PLEINE SUSPENDUE



B. Coupe étage courant avec prédalle suspendue

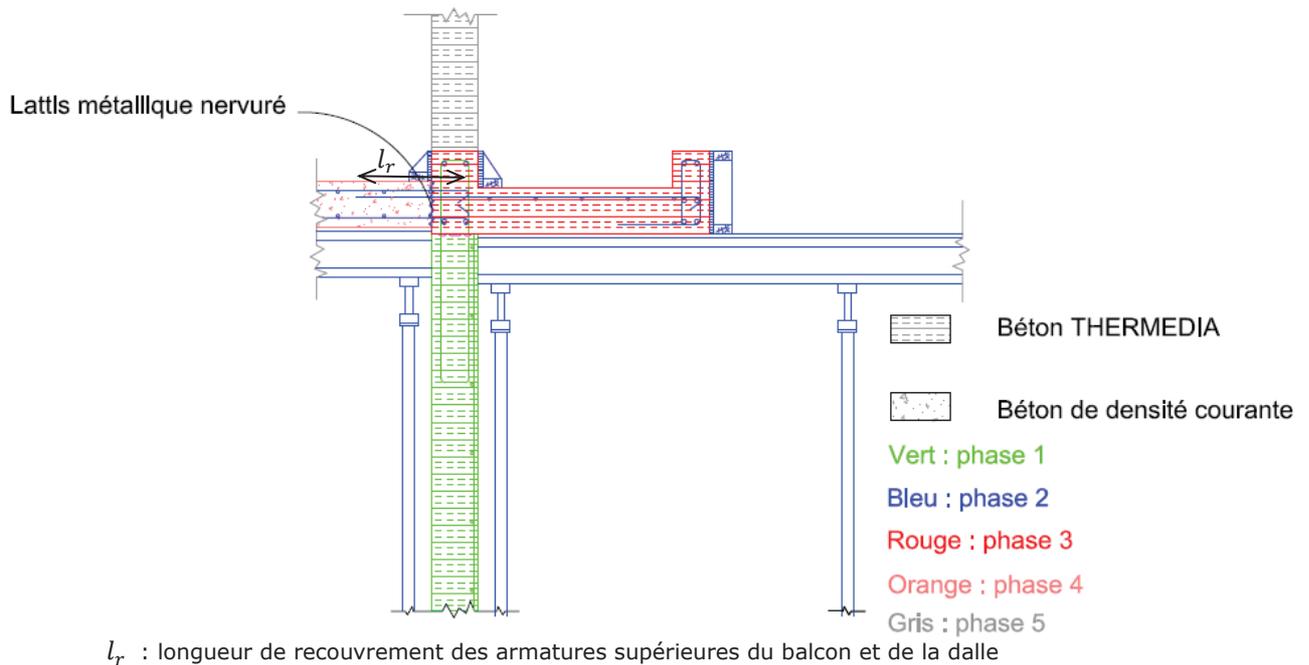
PREDALLE SUSPENDUE



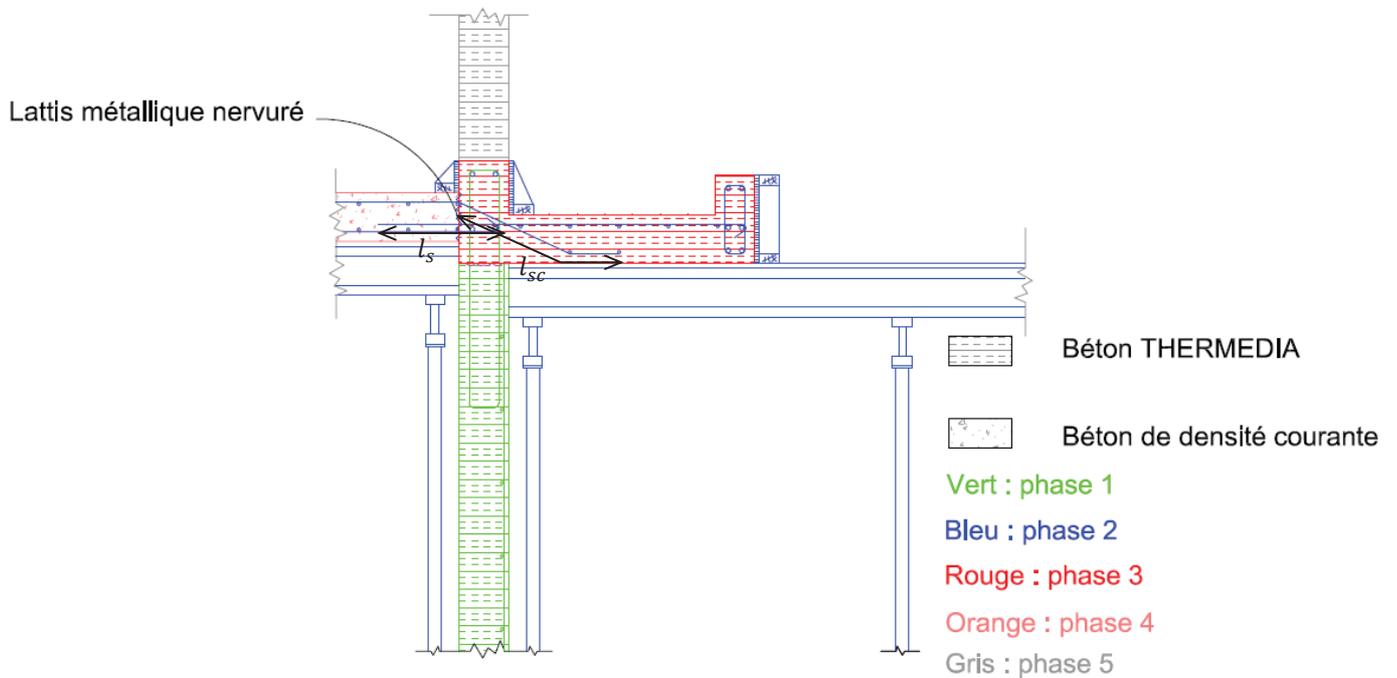
NOTA : les prédalles suspendues avec boîtes d'attente suivant les recommandations de 2009 sont utilisables hors exigences sismiques

C. Coupe étage courant avec balcon solidarisé en porte-à-faux coulé en place :

Balcon sans dénivellement par rapport au plancher ou avec dénivellement < 4 cm

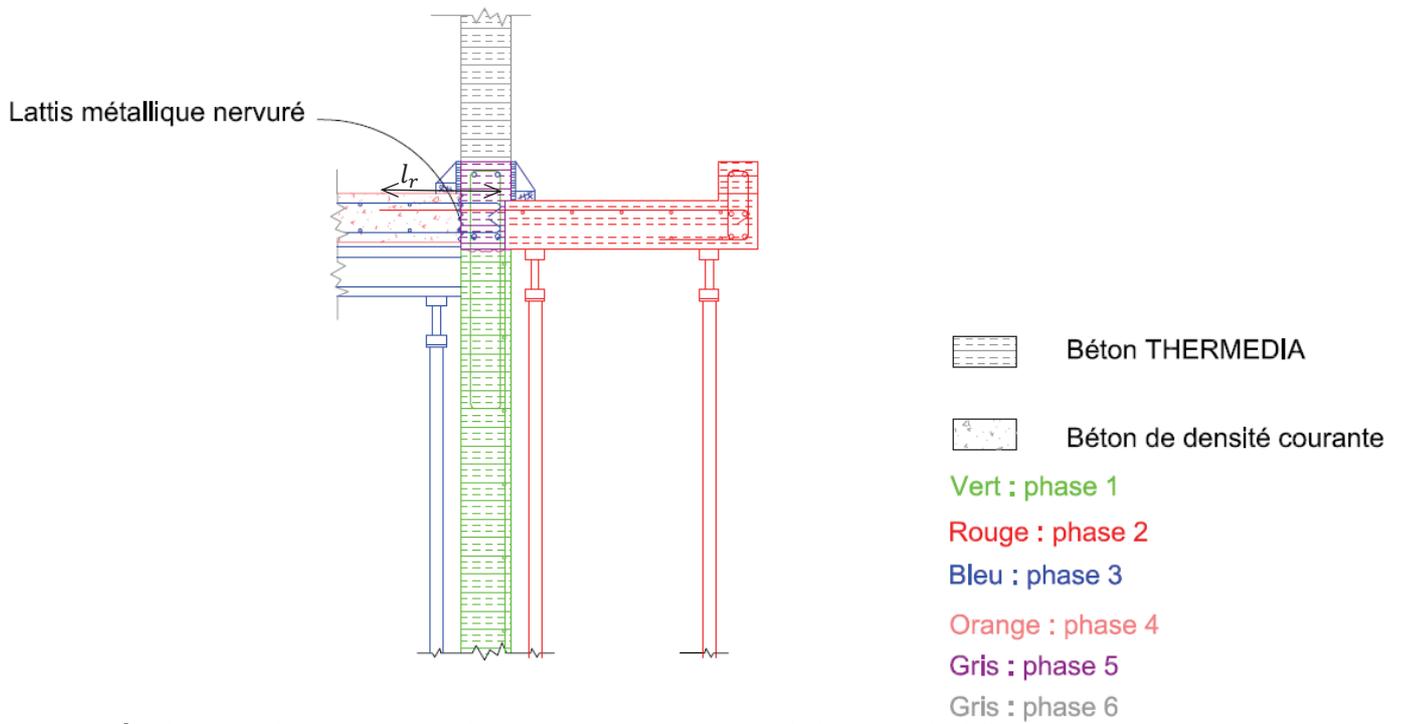


Balcon avec dénivellement > 4 cm par rapport au plancher et dénivellement des sous-faces inférieur au tiers de l'épaisseur du voile conformément au § 2.3.4.2.7 du Dossier Technique



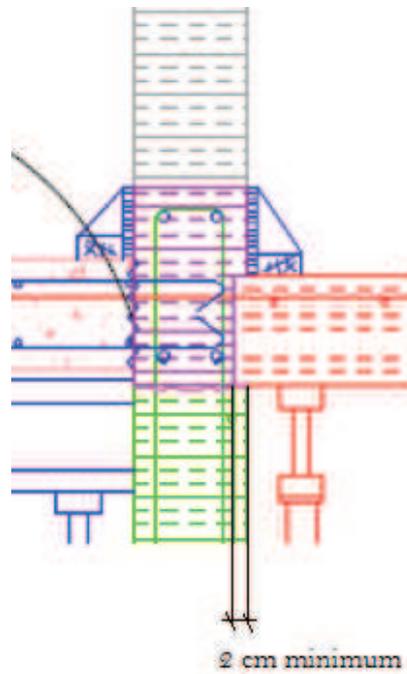
D. Coupe étage courant avec balcon solidarisé en porte-à-faux, exemple pour balcons préfabriqués au nu extérieur du voile et clavetage en Thermedia® :

Balcon sans dénivellement par rapport au plancher ou avec dénivellement < 4 cm

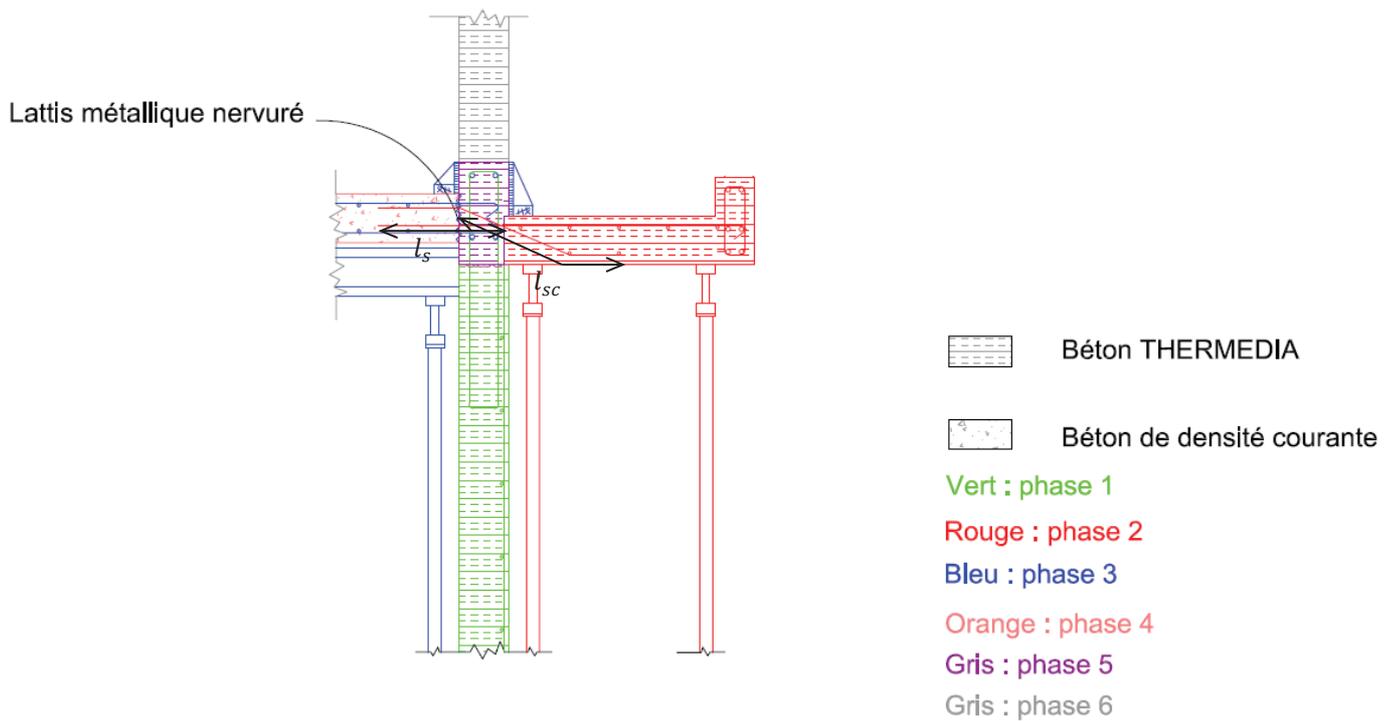


l_r : longueur de recouvrement des armatures supérieures du balcon et de la dalle

Détail de l'appui du balcon préfabriqué



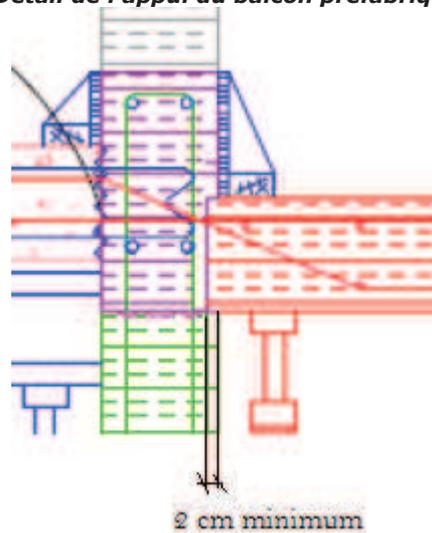
Balcon avec dénivellement > 4 cm par rapport au plancher et dénivellement des sous-faces inférieur au tiers de l'épaisseur du voile conformément au § 2.3.4.2.6.2 du Dossier Technique



l_s : longueur d'ancrage des armatures tendues du balcon

l_{sc} : longueur d'ancrage des armatures à l'appui de la dalle de plancher intérieur

Détail de l'appui du balcon préfabriqué



N.B. : Les balcons peuvent également être réalisés en béton de densité courante (voir § 2.3.4 du Dossier Technique)

E. Dispositions constructives relatives aux balcons, loggias et coursives

Type revêtement d'étanchéité	Garde d'eau assurée par un relief		Garde d'eau assurée par un caniveau	
	Balcon, loggia ou coursive coulé en place	Balcon, loggia ou coursive préfabriqué	Balcon, loggia ou coursive coulé en place	Balcon, loggia ou coursive préfabriqué
Balcon, loggia ou coursive sans revêtement d'étanchéité	Figure E1	N.A.	Figure E2	N.A.
Balcon, loggia ou coursive avec revêtement d'étanchéité bitumineux	Figure E4-1	Figure E4-2	N.A.	N.A.
Balcon, loggia ou coursive avec revêtement d'étanchéité type SEL	Figure E3-1	Figure E3-2	Figure E5-1 (SEL directement circulable)	Figure E5-2 (SEL directement circulable)

Les schémas ci-dessous ne font pas apparaître les revêtements des balcons, loggias et coursives notamment nécessaires pour assurer l'accessibilité PMR (protection par dalles sur plots : dalles béton (NF EN 1339), dalles en pierre naturelle (NF B10-601), dalles céramiques conformes aux Règles Professionnelles « Dalles céramiques sur plots sur étanchéité » de la CSFE de juillet 2019, , dalles en bois mentionnées dans un DTA de procédé de revêtement d'étanchéité, caillebotis, platelage bois conforme aux Règles professionnelles pour la conception et la réalisation de toitures-terrasses et balcons étanchés avec protection par platelage en bois » de la CSFE de juin 2017).

1) Balcon, loggia ou coursive sans revêtement d'étanchéité – Garde d'eau assurée par un relief (cf. § 2.3.4.3.2) Suivant la figure 1 du document CSTB « Principes constructifs pour l'accessibilité des balcons, des loggias et des terrasses ».

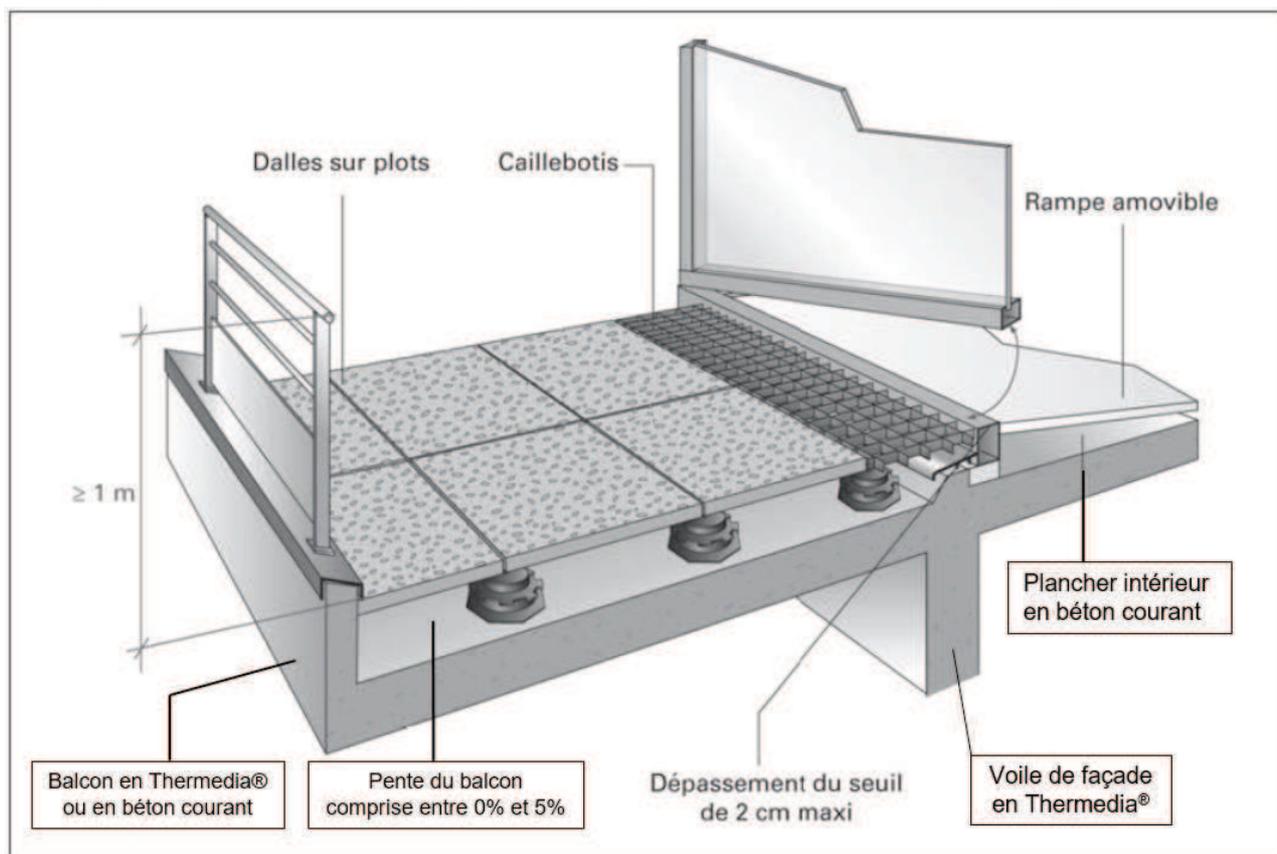


Figure n° E1 – Exemple de balcon, loggia ou coursive sans revêtement d'étanchéité – Garde d'eau assurée par un ressaut coulé en œuvre

- La garde d'eau est assurée par un relief coulé en œuvre. Elle est de 50 mm minimum au droit des portes-fenêtres.
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers l'extérieur et/ou vers les évacuations d'eaux pluviales.
- La pente du support est comprise entre 0 % et 5 %. Si la pente est strictement inférieure à 1,5 %, il est nécessaire de prévoir des dalles sur plots.
- Prévoir un trop-plein si le relief est présent sur tous les côtés du balcon, de la loggia ou de la coursive).

2) Balcon, loggia ou coursive sans revêtement d'étanchéité – Garde d'eau assurée par un caniveau

Suivant la figure 2 du document CSTB « Principes constructifs pour l'accessibilité des balcons, des loggias et des terrasses »

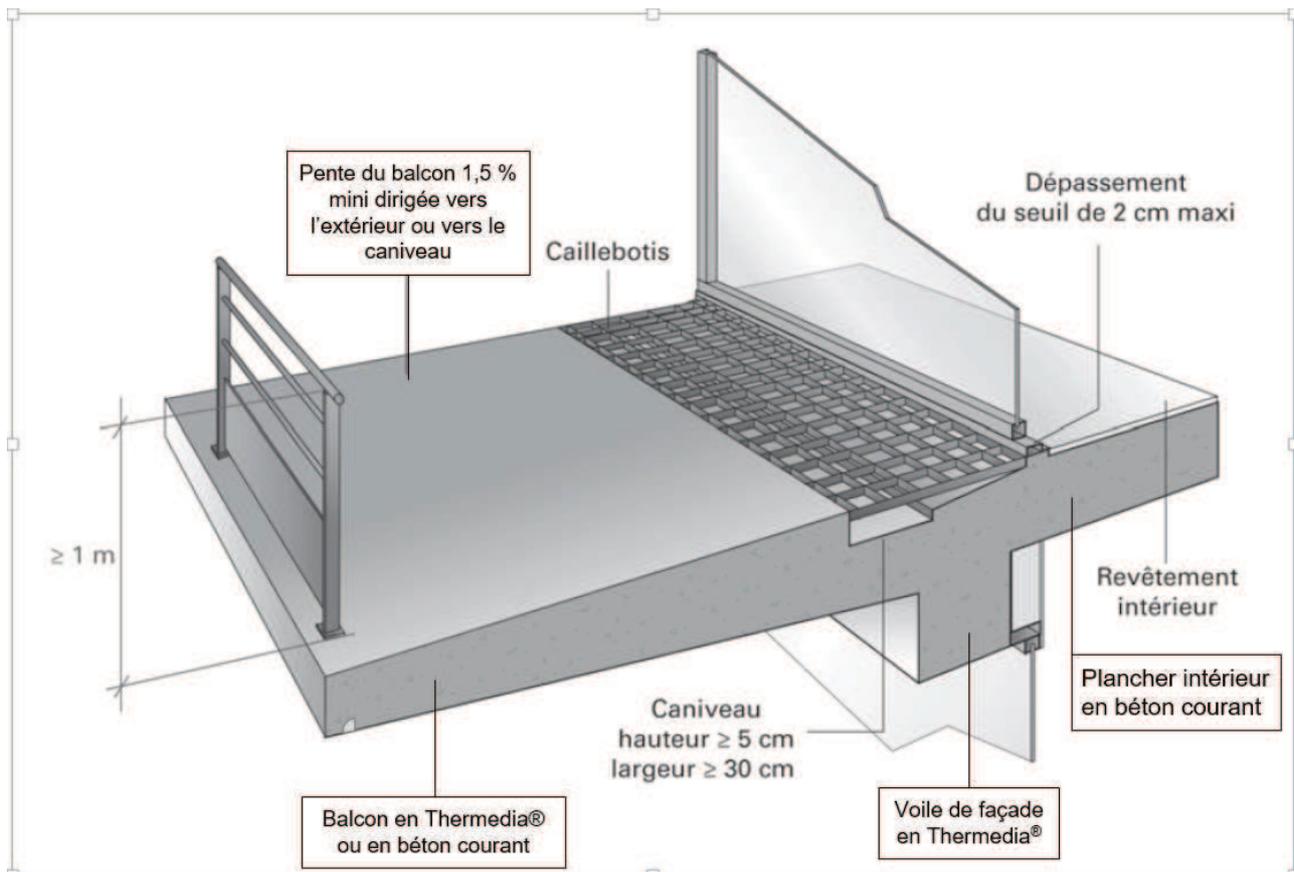


Figure n° E2 – Exemple de balcon, loggia ou coursive sans revêtement d'étanchéité – Garde d'eau assurée par un caniveau

- La pente du balcon de la loggia ou de la coursive) est de 1,5 % minimum et elle peut être dirigée vers l'extérieur ou vers l'intérieur (caniveau)
- Le caniveau est relié aux évacuations d'eaux pluviales
- Le caniveau devra être positionné au nu extérieur du voile de façade afin d'éviter les infiltrations vers les locaux inférieurs

3) Balcon, loggia ou coursive avec revêtement d'étanchéité type SEL – Garde d'eau assurée par un relief

Suivant la figure n°38 du § 11.6.2 des Règles Professionnelles « Balcons et planchers sur espaces non clos » de la CSFE de juillet 2021

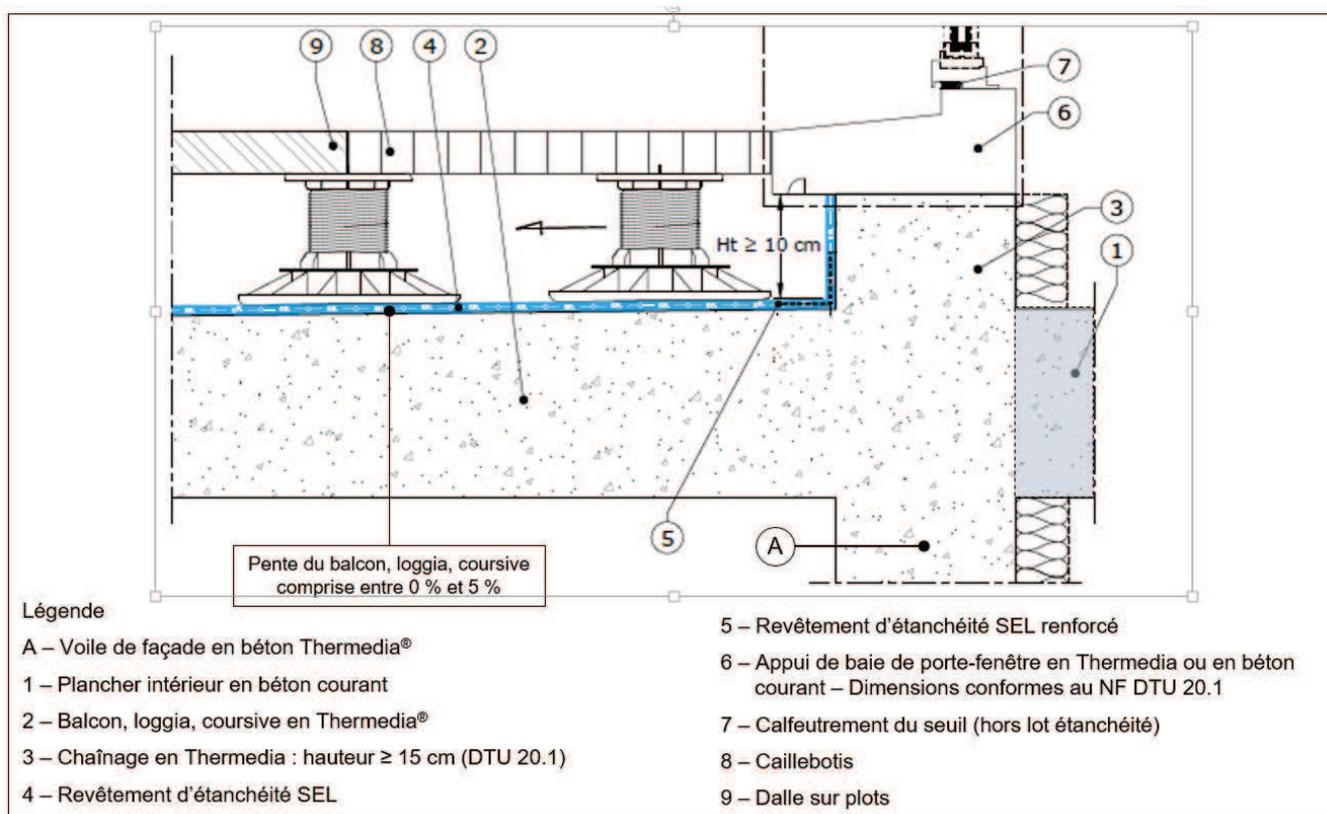


Figure n° E3-1 – Exemple de balcon, loggia ou coursive avec étanchéité par un S.E.L. avec protection par dalles sur plots - Seuil avec relevé de 10 cm de hauteur.

- Protection de l'étanchéité par dalles sur plots (pente nulle admise pour le support)
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers les évacuations d'eaux pluviales
- L'étanchéité type SEL est à prévoir sur toute la surface du balcon de la loggia ou de la coursive)

Note : Le traitement sera le même dans le cas d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive en béton standard coulé en place.

Balcon, loggia ou coursive préfabriqué avec revêtement d'étanchéité type SEL – Garde d'eau assurée par un relief

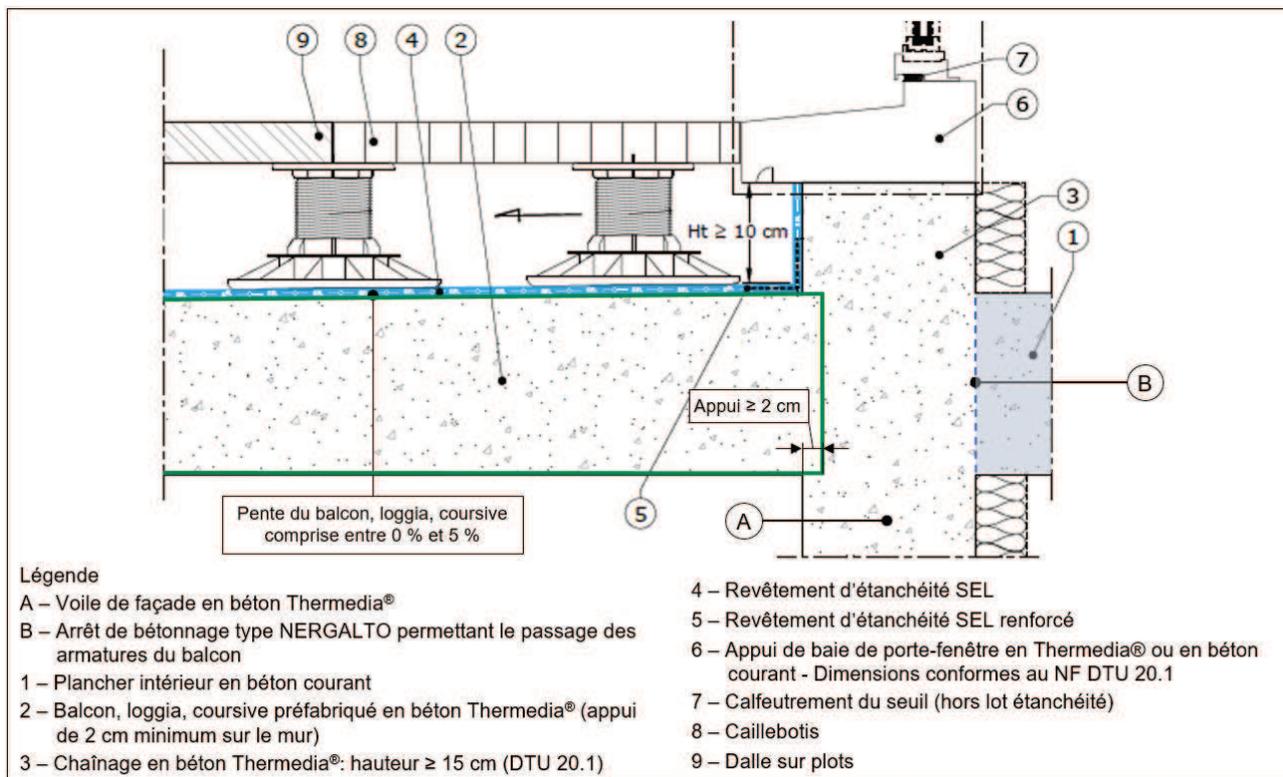


Figure n° E3-2 - Exemple de balcon, loggia ou coursive préfabriqué avec étanchéité par un S.E.L. avec protection par dalles sur plots - Seuil avec relevé de 10 cm de hauteur.

- Appui du balcon (loggia, coursive) préfabriqué de 2 cm au minimum sur le voile de façade
- Protection de l'étanchéité par dalles sur plots (pente nulle admise pour le support)
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers les évacuations d'eaux pluviales
- L'étanchéité type SEL est à prévoir sur toute la surface du balcon (loggia, coursive)

Note : Le traitement sera le même dans le cas d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive préfabriquée en béton standard.

4) Balcon, loggia ou coursive avec revêtement d'étanchéité bitumineux – Garde d'eau assurée par un relief

Les schémas de principe sont identiques à ceux du cas précédent. Le revêtement d'étanchéité bitumineux remplace le revêtement d'étanchéité type SEL

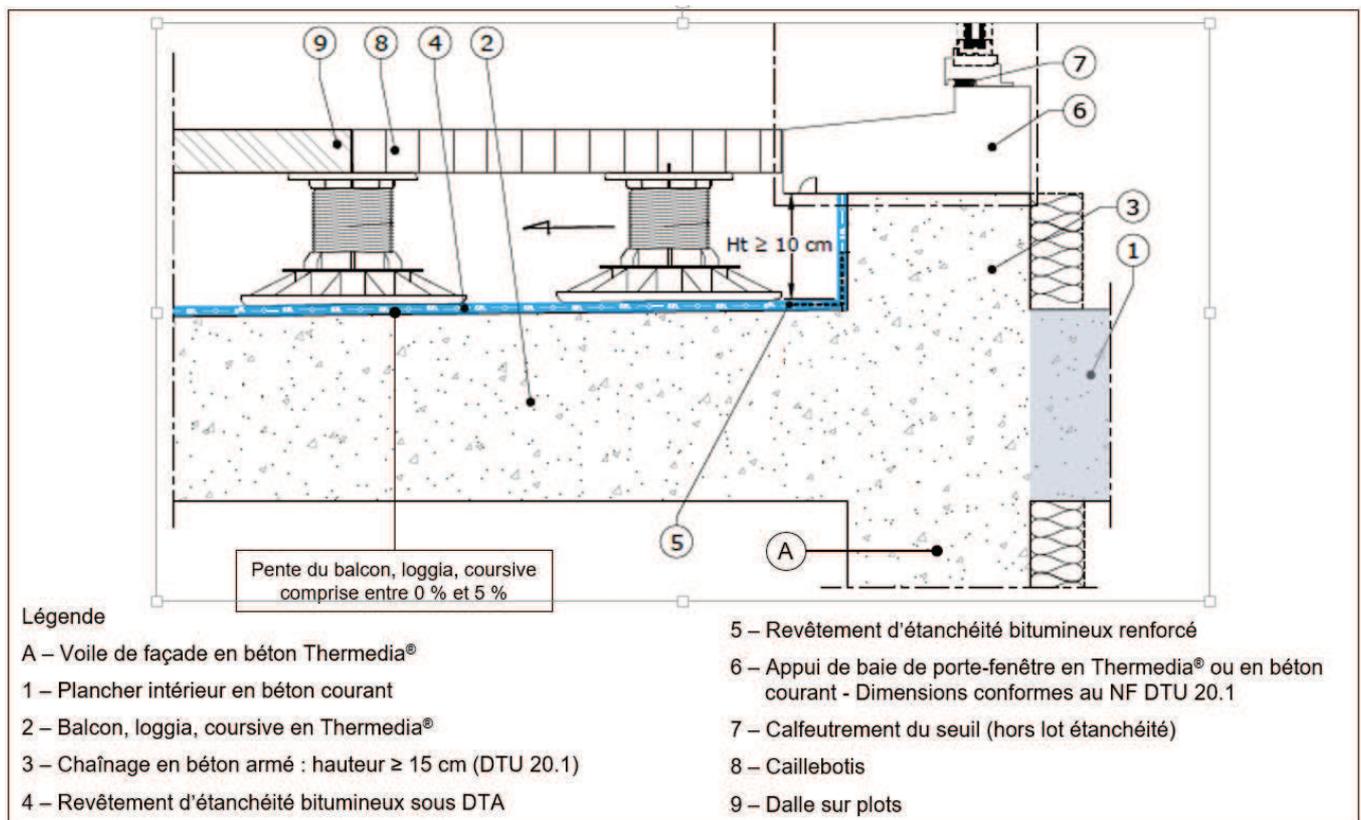


Figure n° E4-1 – Exemple de balcon, loggia ou coursive avec étanchéité par un revêtement bitumineux sous DTA avec protection par dalles sur plots - Seuil avec relevé de 10 cm de hauteur.

- Protection de l'étanchéité par dalles sur plots (pente nulle admise pour le support)
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers les évacuations d'eaux pluviales
- Le revêtement d'étanchéité bitumineux est à prévoir sur toute la surface du balcon (loggia, coursive)

Note : Le traitement sera le même dans le cas d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive en béton standard coulé en place.

Balcon, loggia ou coursive préfabriqué avec revêtement d'étanchéité bitumineux – Garde d'eau assurée par un relief

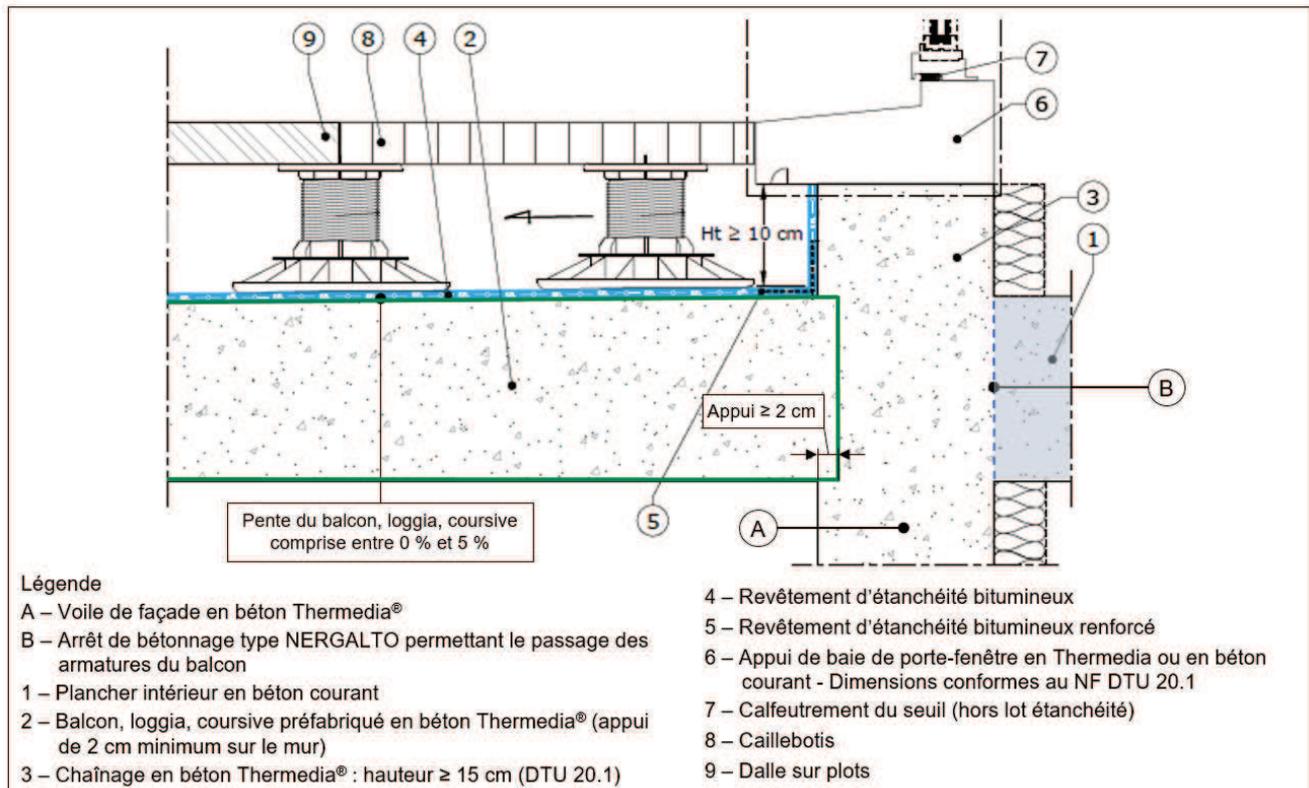


Figure n° E4-2 - Exemple de balcon, loggia ou coursive préfabriqué avec étanchéité par un revêtement bitumineux avec protection par dalles sur plots - Seuil avec relevé de 10 cm de hauteur.

- Appui du balcon (loggia, coursive) préfabriqué de 2 cm au minimum sur le voile de façade
- Protection de l'étanchéité par dalles sur plots (pente nulle admise pour le support)
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers les évacuations d'eaux pluviales
- Le revêtement d'étanchéité bitumineux est à prévoir sur toute la surface du balcon (loggia, coursive)

Note : Le traitement sera le même dans le cas d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive préfabriquée en béton standard.

5) Balcon, loggia ou coursive avec revêtement SEL directement circulaire – Garde d'eau assurée par un caniveau

Suivant la figure n° 39 du § 11.6.2 des Règles Professionnelles « Balcons et planchers sur espaces non clos » de la CSFE de juillet 2021

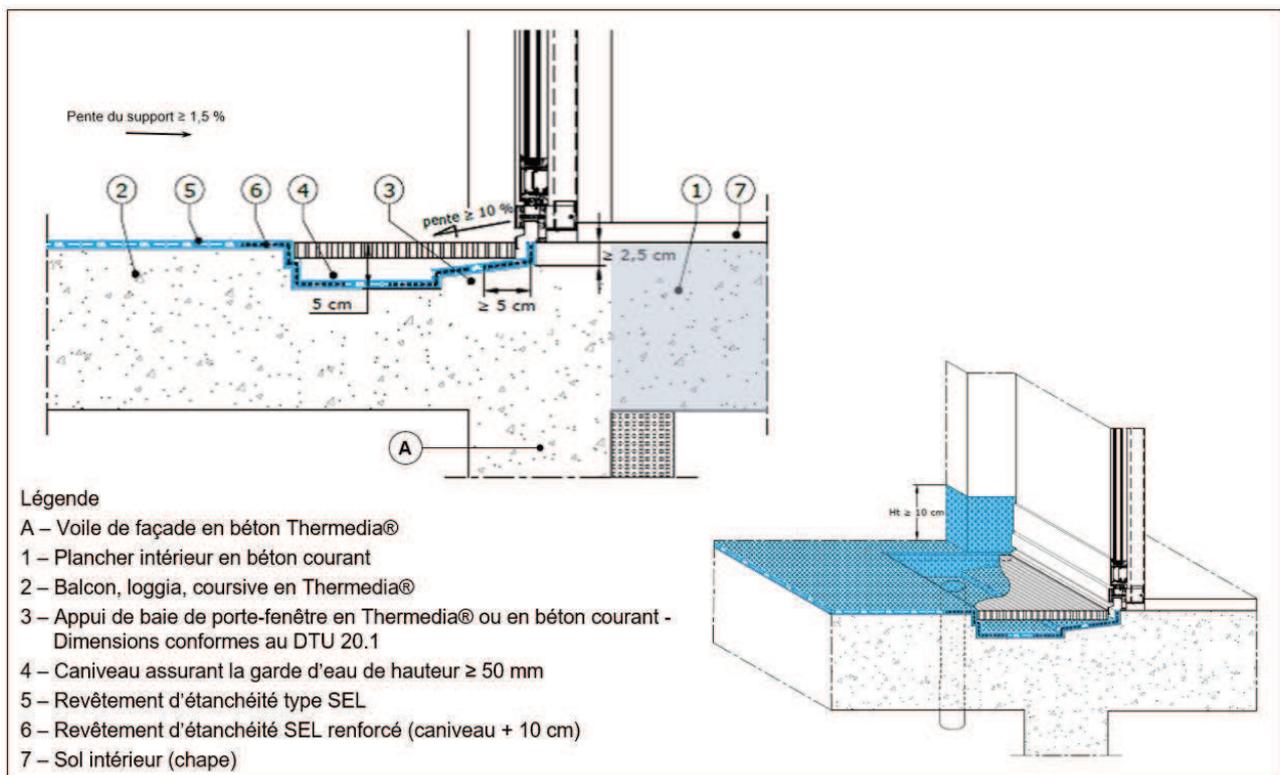


Figure n° E5-1 – Exemple de balcon, loggia ou coursive avec étanchéité par un S.E.L. directement circulaire - Seuil avec caniveau – $1,5\% \leq$ pente $\leq 5\%$

- Revêtement d'étanchéité SEL directement circulaire (autoprotection).
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers le caniveau.
- Le caniveau est raccordé aux évacuations d'eaux pluviales.
- L'étanchéité type SEL est à prévoir sur la totalité de la surface du balcon, loggia ou coursive.
- Le revêtement d'étanchéité SEL est relevé sur une hauteur ≥ 10 cm sur le voile de façade, y compris les tableaux des ouvertures, sauf au droit des portes-fenêtres où le relevé sera ≥ 5 cm.
- Les dimensions du rejingot sont conformes aux valeurs du Tableau 1 du NF DTU 20.1 P1-1 - § 5.10.5 - Appuis de baies. (Largeur ≥ 40 mm, hauteur ≥ 25 mm, pente $> 10\%$ si coulé en place avant pose de la menuiserie)

Note : Le traitement sera le même dans le cas d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive en béton standard coulé en place.

Balcon, loggia ou coursive préfabriqué avec revêtement SEL directement circulaire – Garde d'eau assurée par un caniveau

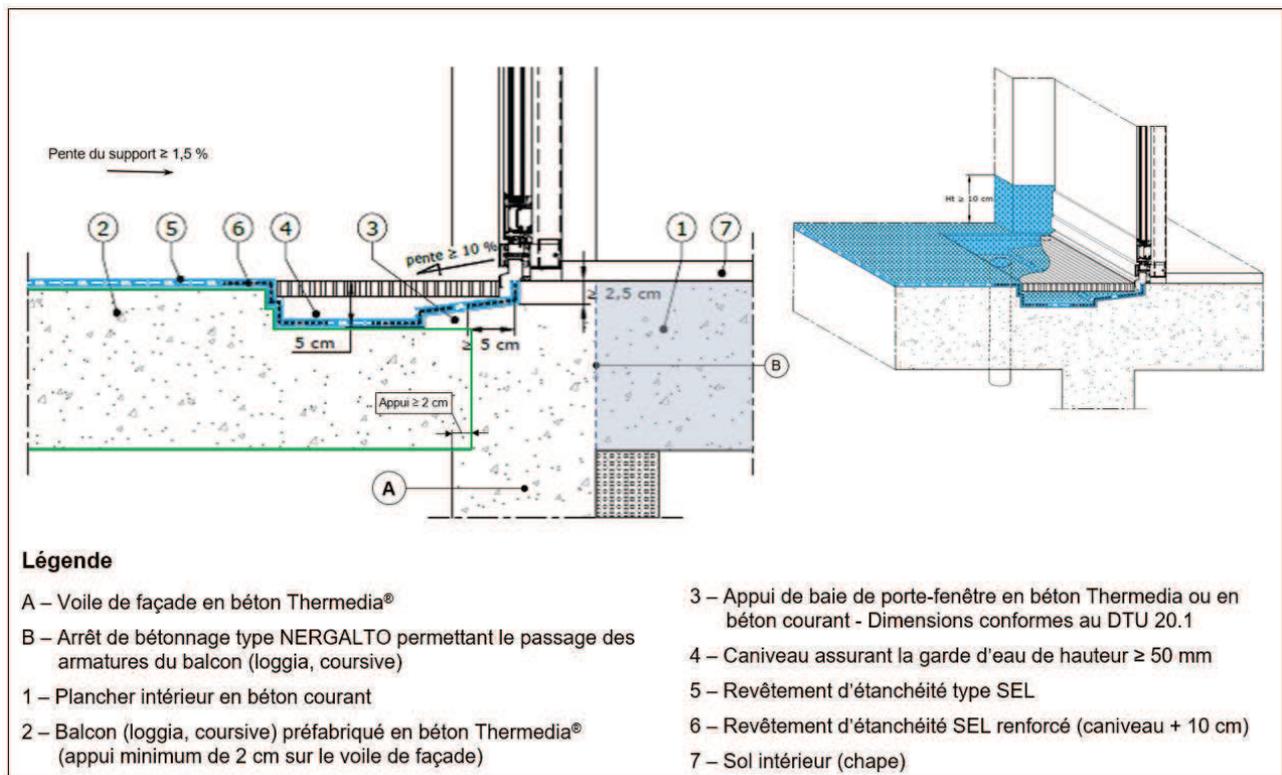


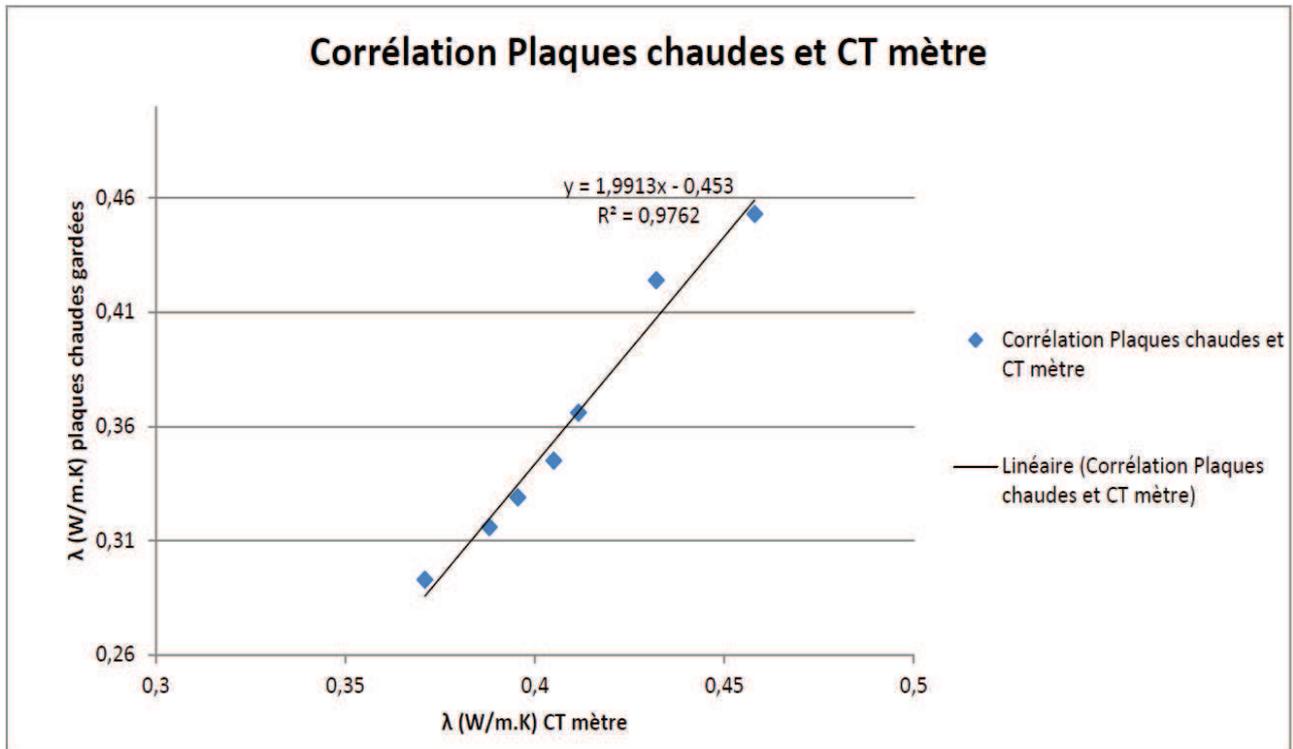
Figure n° E5-2 – Exemple de balcon, loggia ou coursive préfabriqué avec étanchéité par un S.E.L. directement circulaire - Seuil avec caniveau – 1,5 % \leq pente \leq 5 %

- Appui du balcon préfabriqué de 2 cm au minimum sur le voile de façade
- Revêtement d'étanchéité SEL directement circulaire (autoprotection).
- La pente du balcon (loggia, coursive) est dirigée vers le caniveau.
- Le caniveau est raccordé aux évacuations d'eaux pluviales.
- L'étanchéité type SEL est à prévoir sur la totalité de la surface du balcon, loggia ou coursive.
- Le revêtement d'étanchéité SEL est relevé sur une hauteur ≥ 10 cm sur le voile de façade, y compris les tableaux des ouvertures, sauf au droit des portes-fenêtres où le relevé sera ≥ 5 cm.
- Les dimensions du rejingot sont conformes aux valeurs du Tableau 1 du NF DTU 20.1 P1-1 - § 5.10.5 - Appuis de baies (largeur ≥ 40 mm, hauteur ≥ 25 mm, pente > 10 % si coulé en place avant pose de la menuiserie)

Note : Le traitement sera le même dans le cas d'un balcon, d'une loggia ou d'une coursive préfabriquée en béton standard.

Annexe 3 – Corrélation plaques chaudes gardées et mesures CT-mètre

La figure ci-dessous donne la corrélation entre les valeurs de la conductivité thermique λ (W/m.K) des bétons Thermedia® mesurées lors des essais plaques chaudes gardées et les valeurs de λ déterminées au CT-mètre





Vérification du CT-Mètre

Objet et domaine d'application

Cette instruction de travail établit les modalités de vérification des appareillages destinés à la mesure de conductivités thermiques.

Cette instruction ne s'applique qu'au Laboratoire Lafarge France.

Définition et terminologie

Documents associés

NF EN 12664	Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique
SMEE	Guide d'utilisation du CT-mètre
Serveur Labo France	Liste des équipements Laboratoire Lafarge France
ISO 8302	Isolation thermique - Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire - Méthode de la plaque chaude gardée
NF EN ISO 22007-1	Détermination de la conductivité thermique – Partie 1 : méthodes au fil chaud
NF EN ISO 22007-2	Détermination de la conductivité thermique – Partie 1 : méthodes au fil chaud
NF EN ISO 22007-3	Détermination de la conductivité thermique – Partie 1 : méthodes au fil chaud
ISO 8894-1	Détermination de la conductivité thermique – Partie 1 : méthodes au fil chaud (croisillon)
ISO 8894-2	Détermination de la conductivité thermique – Partie 2 : méthodes au fil chaud (parallèle)

Contenu

Matériel pour la vérification :

- 1 cube de PVC $\lambda = 0,194 \text{ W/(m.K)}$ (sonde 5,68 Ω et 5,73 Ω)
- 1 cube de pyrex de $\lambda = 1,19 \text{ W/(m.K)}$ (sonde 2,36 Ω)
- 1 cube de polystyrène de $\lambda = 0,0292 \text{ W/(m.K)}$ (sonde 5,68 Ω et 5,73 Ω)

**Vérification :**

La vérification est faite selon les fréquences suivantes :

- Le CT-Mètre : 1 fois par an
- Les sondes : 1 fois par an

Exploitation des résultats :

Lors d'une vérification ou lors d'une mesure, une sonde est déclarée non conforme lorsqu'elle mesure des valeurs de température incohérentes avec la valeur de référence du cube mesuré. La sonde sera déclarée Hors Service et mise au rebut.

Pour vérifier le CT-Mètre, il faut mesurer toutes les sondes avec les différents cubes de vérification. Lorsqu'une ou plusieurs valeurs (voir fiches de vie CTmètres Laboratoire Lafarge France) ne sont pas conformes aux valeurs des cubes, le CT-Mètre est déclaré non conforme. Le CT-Mètre est alors réparé et/ou étalonné (fabricant).

Enregistrements :

- Fiche de vie.
- Liste des équipements Laboratoire Lafarge France

Ce qu'il faut retenir

Sans Objet

Fait à St Quentin Fallavier, Le 1^{er} Juin 2022

Annexe 4 - Méthode de calcul simplifiée des voiles en Thermedia®

1) Préambule

- Etant donné la loi de comportement linéaire élastique fragile de la résistance en compression du béton Thermedia®, l'analyse structurale non linéaire selon le paragraphe 11.3.4 de la NF EN 1992-1-1 est exclue.
- Les voiles en béton Thermedia® doivent être dimensionnés selon la section 12 « Structure en béton non armé ou faiblement armé » de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.
- L'utilisation du béton Thermedia® dans des murs ductiles n'est pas visée.
- L'élanement des voiles en béton Thermedia® est limité à 60 étant donné l'absence de justification des modalités d'application de la section 12 « Structure en béton non armé ou faiblement armé » de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale pour un béton ayant une loi de comportement en compression élastique fragile.
- Etant donné la loi de comportement linéaire de la résistance en compression du béton, la méthode de calcul des sections à l'ELU est similaire à la méthode de calcul élastique réalisé à l'ELS.
- Pour le calcul des sections, un diagramme contrainte-déformation linéaire est à prendre en compte tel que $\varepsilon_{lc3} = \varepsilon_{lcu3}$

2) Calcul selon la section 12 de la NF EN 1992-1-1

- La section 12 fournit des règles complémentaires pour les structures en béton non armé ou lorsque le ferrailage est inférieur au minimum requis pour le béton armé.
- La section 12 s'applique aux éléments pour lesquels l'effet des actions dynamiques peut être ignoré. A titre d'exemple, on citera :
 - Les éléments principalement soumis à la compression : voiles, poteaux, etc...
 - Pour les éléments en béton de granulats légers à structure fermée selon la section 11 de la NF EN 1992-1-1 ..., il convient de modifier les règles de conception et de calcul en conséquence.
 - Dans les éléments en béton non armé, il n'est pas exclu de disposer des armatures qui seraient nécessaires pour satisfaire les exigences d'aptitude au service et/ou de durabilité ou qui seraient nécessaires dans certaines parties de ces éléments. Ce ferrailage peut être pris en compte pour la vérification locale des états-limites ultimes aussi bien que pour la vérification des états-limites de service.

3) Matériaux

3.1) Béton Thermedia®

- Hypothèses de calcul complémentaires
Du fait de la plus faible ductilité du béton non armé, il convient de prendre des valeurs $\alpha_{cc,pl}$ et $\alpha_{ct,pl}$ inférieures aux valeurs α_{cc} et α_{ct} du béton armé, avec $\alpha_{cc,pl} = 0,8$ et $\alpha_{ct,pl} = 0,8$.
- Contrainte de calcul en compression
Pour un LC25/28 : $f_{lck} = 25 \text{ MPa}$ et $f_{lcd,pl} = 0,8 * 25 \text{ MPa} / 1,5 = 13,33 \text{ MPa}$
- Contrainte de calcul en traction
Pour le béton Thermedia®, le coefficient $\eta_1 = 0,4 + 0,6 * \rho / 2200 = 0,782$ est plus pénalisant que $\alpha_{ct,pl} = 0,8$
Pour un LC 25/28 : $f_{lctk,0.05} = 1,795 \text{ MPa}$ et $f_{lctd,pl} = 0,782 * 1,795 \text{ MPa} / 1,5 = 0,936 \text{ MPa}$

4) Analyse structurale : états-limites ultimes

- Pour le béton Thermedia®, l'analyse structurale est basée sur une loi de comportement de type linéaire élastique fragile.

5) Etats-limites ultimes (ELU)

5.1) Résistance de calcul aux forces axiales et aux moments

- Dans le cas des voiles, sous réserve de prévoir des dispositions constructives adéquates ainsi qu'une cure appropriée, les déformations imposées dues à la température ou au retrait peuvent être ignorées.
- Pour le béton Thermedia®, on utilise une loi de comportement de type linéaire élastique fragile.
- L'effort normal résistant N_{Rd} , d'une section rectangulaire avec une excentricité uniaxiale e dans la direction de h_w peut être prise égale à : $N_{Rd} = h \cdot f_{cd,pl} \cdot b \cdot h_w \cdot (1 - 2 \cdot e / h_w)$ pour un béton non armé de densité standard

5.2) Calcul de l'effort normal résistant pour un béton Thermedia®

- L'effort normal N_{Rd} engendre une contrainte de compression s_{c1} sur la section telle que : $s_{c1} = N_{Rd} / b \cdot h_w$.
L'excentricité e de l'effort normal N_{Rd} engendre un moment égal à $N_{Rd} \cdot e$ dans la section béton. Ce moment engendre un diagramme triangulaire de traction et de compression sur le béton tel que :

$$s_{c2} = s_{t2} \quad \text{d'où} \quad F_{c2} = F_{t2} = \frac{s_{c2}}{2} * b \cdot h_w / 2 = \frac{s_{c2} * b * h_w}{4}$$

$$\text{Le bras de levier de } (F_{c2}, F_{t2}) \text{ est égal à } b_l = \frac{2 * h_w}{3}$$

$$\text{D'où } N_{Rd} * e = \frac{s_{c2} * b * (h_w)^2}{6} \quad \text{et} \quad s_{c2} = \frac{6 * N_{Rd} * e}{b * (h_w)^2}$$

La contrainte maximale de compression sur le béton doit être inférieure à la contrainte de calcul $h \cdot f_{lcd,pl}$, ce qui donne $s_{c1} + s_{c2} \leq h \cdot f_{lcd,pl}$

$$\left(\frac{N_{Rd}}{b * h_w} \right) + \left(\frac{N_{Rd} * 6 * e}{b * h_w^2} \right) \leq h * f_{lcd,pl} \quad \text{d'où} \quad N_{Rd} \leq \frac{h * f_{lcd,pl} * b * h_w}{1 + (6 * e / h_w)}$$

$$N_{Rd} = h * f_{icd,pl} * b * h_w * \frac{h_w}{(h_w + 6e)} = h * f_{icd,pl} * b * h_w * \frac{h_w + 6e - 6e}{h_w + 6e}$$

$$\text{Ce qui donne : } N_{Rd} = h * f_{icd,pl} * b * h_w * \left(1 - \frac{6 * e}{h_w + 6 * e}\right)$$

Application numérique :

Pour un béton non armé de granulats courants, on a $N_{Rd} = h \cdot f_{cd,pl} \cdot b \cdot h_w \cdot (1 - 2 \cdot e/h_w)$

- avec $h_w = 0,20 \text{ m}$ et $e = 0,02 \text{ m}$, on a $N_{Rd} = h \cdot f_{cd,pl} \cdot b \cdot h_w \cdot 0,80$
- avec $h_w = 0,20 \text{ m}$ et $e = 0,03 \text{ m}$, on a $N_{Rd} = h \cdot f_{cd,pl} \cdot b \cdot h_w \cdot 0,70$

Pour un béton Thermedia® de granulats légers, on a $N_{Rd} = h * f_{icd,pl} * b * h_w * \left(1 - \frac{6 * e}{h_w + 6 * e}\right)$

- avec $h_w = 0,20 \text{ m}$ et $e = 0,02 \text{ m}$, on a $N_{Rd} = h \cdot f_{icd,pl} \cdot b \cdot h_w \cdot 0,625$
- avec $h_w = 0,20 \text{ m}$ et $e = 0,03 \text{ m}$, on a $N_{Rd} = h \cdot f_{icd,pl} \cdot b \cdot h_w \cdot 0,526$

Annexe 5 - Méthode de calcul simplifiée des balcons en PAF en Thermedia®

1°) Généralités

Les balcons en porte-à-faux en béton Thermedia® doivent faire l'objet d'un dimensionnement selon la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale, en retenant la loi de comportement linéaire élastique de la résistance en compression du béton Thermedia® conformément au § 7.1.

Les sollicitations de calcul à l'ELU et à l'ELS sont calculées à l'encastrement de la dalle du balcon avec le voile de façade en appliquant les combinaisons de charges définies par les normes NF EN 1990 et NF EN 1991.

2) Dimensionnement de la section d'armatures tendues en flexion simple.

La section d'armatures tendues (armatures situées en face supérieure de la dalle du balcon) est calculée pour les combinaisons à l'ELU des moments à l'encastrement de la dalle du balcon.

Les hypothèses utilisées pour les calculs sont les suivantes :

- Hypothèse de Navier-Bernoulli : les sections droites restent planes pendant la déformation.
- Il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures en acier HA et le béton Thermedia®
- La résistance à la traction du béton tendu est négligée dans les calculs.
- On admet que la section des armatures A_s est concentrée au centre de gravité des aciers.

2.1) Diagramme contrainte – déformation du béton Thermedia®

- La résistance en compression du béton Thermedia® suit une loi de comportement linéaire élastique, telle que définie dans la Section 11 de l'EN 1992 et vérifiée par les essais réalisés.
- La contrainte de compression maximale admissible sur le béton Thermedia® à l'ELU est égale à $f_{bu} = a_{icc} \cdot f_{ck} / (q \cdot g_b)$ où l'on a : $a_{icc} = 0,85 - f_{ck} / 25 \text{ MPa} - q = 1$ et $g_b = 1,5$ d'où $f_{bu} = 14,17 \text{ MPa}$
- Les valeurs des déformations caractéristiques sont données par le Tableau 11.3.1 de la NF EN 1992 et sont égales, pour un béton Thermedia® LC 25/28 à :
 - $e_{lc1} = e_{lcu1} = 2,589 \cdot 10^{-3}$
 - $e_{lc2} = 2,00 \cdot 10^{-3}$ et $e_{lcu2} = 2,736 \cdot 10^{-3}$
 - $e_{lc3} = 1,75 \cdot 10^{-3}$ et $e_{lcu3} = 2,736 \cdot 10^{-3}$

2.2) Diagramme contrainte – déformation de l'acier

- La valeur du module d'élasticité longitudinale de l'acier E_s est égale à 200 000 MPa
- La limite d'élasticité des armatures à haute adhérence est égale à $f_s = 500 \text{ MPa}$.
- La contrainte de traction maximale admissible sur les aciers à l'ELU est égale à $s_s = f_s / g_s$ où l'on a : $g_s = 1,15$ d'où $s_s = 434,8 \text{ MPa}$
- La déformation limite e_l correspondant à la contrainte de traction maximale admissible dans les aciers à l'ELU est égale à $e_l = f_s / E_s \cdot g_s$ d'où $e_l = 500 \text{ MPa} / 1,15 \cdot 200 \text{ GPa} = 2,174 \cdot 10^{-3}$
- On a un comportement linéaire élastique pour les armatures en traction et en compression.

3) Diagrammes des déformations limites de la section

Les diagrammes possibles résultent des déformations limites fixées pour le béton et pour l'acier, définis à partir de 3 points A, B et C, règle dite « des 3 pivots ».

- pivot A, défini par $e_s = 10 \cdot 10^{-3}$: traction simple, puis flexion simple ou composée
- pivot B, défini par $e_{lc3} = e_{lcu3} = 2,736 \cdot 10^{-3}$: flexion simple ou composée
- pivot C, défini par $e_s > 0$: flexion composée avec compression, puis compression simple

3.1) Si le moment fléchissant Mu a une intensité faible >> pivot A

La partie comprimée de la dalle du balcon (partie inférieure) va subir des raccourcissements relatifs. La face inférieure de la dalle (fibres du béton les plus sollicitées en compression) va subir un raccourcissement relatif au plus égal à : $e_{lc3} = e_{lcu3} = 2,736 \cdot 10^{-3}$.

La hauteur de la zone de béton comprimé vaut : $y = \alpha \cdot d$ avec d hauteur utile de la section droite.

La partie tendue de la dalle du balcon (face supérieure) va subir des allongements relatifs. La résistance à la traction du béton est négligée et la dalle est armée avec des aciers longitudinaux de section globale A_s , que l'on souhaite faire travailler au mieux de ses possibilités.

L'allongement relatif des aciers sera donc limité à la valeur de $e_s = 10 \cdot 10^{-3}$ et la contrainte de traction dans les aciers sera égale à : $s_s = f_e / g_s = 435 \text{ MPa}$.

3.2) Cas particulier : la droite des déformations passe par les pivots A et B

- Pivot A : on a $e_s = 10 \cdot 10^{-3}$ et $s_s = f_e / g_s = 435 \text{ MPa}$
- Pivot B : on a $e_{bc} = 2,736 \cdot 10^{-3}$ et $f_{bu} = 14,167 \text{ MPa}$

Dans ce cas, la membrure comprimée a une hauteur « y » telle que : $\frac{e_{bc}}{y} = \frac{e_s + e_{bc}}{d}$ d'où $y = \frac{e_{bc}}{e_{bc} + e_s} \cdot d$

D'où : $y = \frac{2,736 \cdot 10^{-3}}{(2,736 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3})} \cdot d = 0,215 \cdot d$ et $N_{bc} = y \cdot b \cdot f_{bu} / 2 = N_s = A_{s1} \cdot f_e / g_s$

Pour une dalle de balcon en Thermedia® de 0,20 m d'épaisseur et une distance de l'axe des armatures à la face béton la plus proche de 0,05 m, on a donc : $d = 0,15 \text{ m}$ et $y = 0,03222 \text{ m}$

$N_{bc} = 0,03222 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 14,17 \text{ MPa} / 2 = 228,25 \text{ kN}$ d'où $A_{s1} = 0,2282 \text{ MN} / 434,8 \text{ MPa} = 5,25 \text{ cm}^2$

$$z = d - y/3 = 0,15 \text{ m} - (0,03222 \text{ m}/3) = 0,1393 \text{ m} \text{ d'où } Mu = 228,25 \text{ kN} \cdot 0,1393 \text{ m} = 31,786 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

3.3) Si l'on fait croître de nouveau l'intensité de Mu >> pivot B

La hauteur de la membrure comprimée continue de croître. Le raccourcissement maximal des fibres béton les plus comprimées est égal à : $e_{bc} = 2,736 \cdot 10^{-3}$ et $f_{bu} = 14,167 \text{ MPa}$.

L'allongement relatif des aciers est tel que : $e_t = 2,174 \cdot 10^{-3} < e_s < 10 \cdot 10^{-3}$ et la contrainte de traction dans les armatures est égale à : $s_s = f_e/g_s \# 435 \text{ MPa}$.

3.4) Cas particulier et limite supérieure de l'intensité du moment Mu

La limite supérieure de l'intensité du moment de flexion maximal à l'ELU, Mu, correspond au cas particulier où l'on a : $e_s = e_t = 2,174 \cdot 10^{-3}$ et $e_{bc} = 2,736 \cdot 10^{-3}$.

La contrainte de compression maximale sur le béton est égale à : $f_{bu} = 14,167 \text{ MPa}$ et la contrainte de traction dans les armatures est égale à : $s_s = f_e/g_s \# 435 \text{ MPa}$.

La hauteur limite de la membrure comprimée du béton est égale à : $y = a_L \cdot d = \frac{e_{bc}}{e_{bc}+e_t} \cdot d$, d'où

$$y = \frac{2,736 \cdot 10^{-3}}{2,736 \cdot 10^{-3} + 2,174 \cdot 10^{-3}} \cdot d = 0,557 \cdot d \text{ et } N_{bc} = y \cdot b \cdot f_{bu}/2 = N_s = A_{s1} \cdot f_e/g_s$$

pour une dalle de balcon en Thermedia® de 0,20 m d'épaisseur et une distance de l'axe des armatures à la face béton la plus proche de 0,05 m, on a donc : $d = 0,15 \text{ m}$ et $y = 0,0836 \text{ m}$

$$N_{bc} = 0,0836 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 14,167 \text{ MPa}/2 = 592,1 \text{ kN} \text{ d'où } A_{s2} = 0,5921 \text{ MN}/434,8 \text{ MPa} = 13,62 \text{ cm}^2$$

$$z = d - y/3 = 0,15 \text{ m} - (0,0836 \text{ m}/3) = 0,122 \text{ m} \text{ d'où } M_{u2} = 592,1 \text{ kN} \cdot 0,122 \text{ m} = 72,315 \text{ m} \cdot \text{kN}$$

4) Méthode de pré-dimensionnement rapide d'une dalle de balcon en béton Thermedia®

On souhaite déterminer rapidement l'épaisseur minimale d'une dalle de balcon en béton Thermedia®, en porte-à-faux, à partir du moment de flexion maximal à l'ELU, Mu, à l'encastrement de cette dalle.

On est dans le cas de figure 3.4) ci-dessus.

On a donc : pour les déformations, $e_s = e_t = 2,174 \cdot 10^{-3}$ et $e_{bc} = 2,736 \cdot 10^{-3}$

pour les contraintes, $s_s = f_e/g_s \# 435 \text{ MPa}$ et $f_{bu} = 14,167 \text{ MPa}$

La hauteur de la membrure comprimée du béton est égale à : $y = a_L \cdot d = \frac{e_{bc}}{e_{bc}+e_t} \cdot d = 0,557 \cdot d$

D'où : $z = d - y/3 = d (1 - 0,557/3) = 0,814 d$ et $N_{bc} = (0,557 \cdot d) \cdot b \cdot f_{bu}/2$

On a : $Mu = N_{bc} \cdot z = (0,814 \cdot d) \cdot (0,557 \cdot d) \cdot b \cdot f_{bu}/2 = 0,4536 \cdot d^2 \cdot b \cdot f_{bu}/2$

On obtient : $d = \sqrt{2 \cdot Mu / 0,4536 \cdot b \cdot f_{bu}}$

Application numérique :

On souhaite déterminer l'épaisseur minimale d'une dalle de balcon en béton Thermedia® LC25/28 sachant que le moment Mu à l'ELU à l'encastrement de la dalle est égal à 72,315 m·kN et que la distance du CDG des armatures à la face béton tendue est de 5 cm.

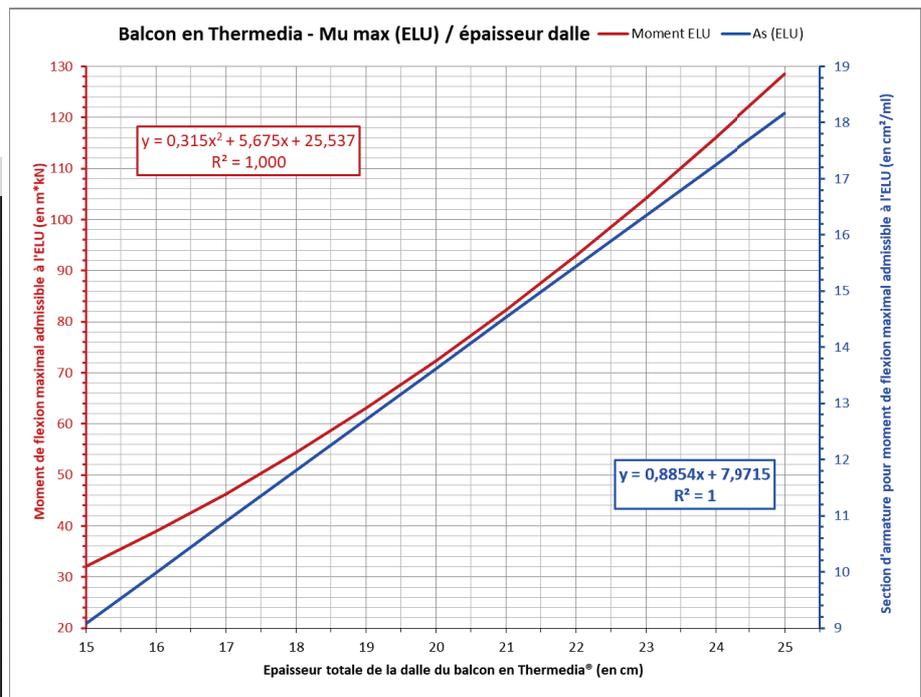
- $d = \sqrt{2 \cdot Mu / 0,4536 \cdot b \cdot f_{bu}}$ d'où $d = \sqrt{2 \cdot 72,315 \text{ m} \cdot \text{kN} / 0,4536 \cdot 1,0 \text{ m} \cdot 14,167 \text{ MPa}} = 0,15 \text{ m}$

- l'épaisseur totale de la dalle est égale à : $h = d + 0,05 \text{ m} = 0,20 \text{ m}$

5) Calculs des moments ELU et des sections d'armatures en fonction de l'épaisseur du balcon.

Un exemple de feuille de calcul est présentée à l'Annexe 6 permettant de calculer suivant la méthodologie de calcul ci-dessus présentée, le moment ELU maximal admissible et la section d'armatures correspondante en fonction de l'épaisseur de la dalle en Thermedia® du balcon.

Balcon en Thermedia - Calcul à l'ELU		
E dalle	Mu max.	As
cm	m*kN	cm ²
15	32,14	9,08
16	38,89	9,99
17	46,28	10,89
18	54,32	11,80
19	63,00	12,71
20	72,32	13,62
21	82,28	14,53
22	92,89	15,43
23	104,14	16,34
24	116,03	17,25
25	128,56	18,16



Le moment résistant à l'ELU est à comparer au moment sollicitant à l'ELU, déterminé pour la combinaison de charges 1,35 G + 1,5 Q.

Annexe 6 – Exemple de calcul d'une dalle de balcon en béton Thermédia®

Nota : les valeurs **surlignées en jaune** sont des valeurs calculées à partir des **données saisies** (en gras)

1) Hypothèses de calculs

Béton Thermédia® type		LC25/28
f_{tck}	MPa	25,00
$f_{tck,cube}$	MPa	28,00
f_{tcm}	MPa	33,00
Densité maximale ρ	kg/m ³	1 400
Masse volumique du béton non armé (Tableau 11.1 de l'EC2)	kg/m ³	1 450
Masse volumique du béton armé - (Tableau 11.1 de l'EC2)	kg/m ³	1 500
Coefficient $\eta_1 = 0,40 + 0,60 * \rho / 2200$		0,7818
$f_{lctm} = \eta_1 \times f_{ctm}$	MPa	2,0053
$f_{lctk,0.05} = \eta_1 \times f_{ctk,0.05}$	MPa	1,4037
$f_{lctk,0.95} = \eta_1 \times f_{ctk,0.95}$	MPa	2,6069
Coefficient $\eta_E = (\rho / 2200)^2$		0,4050
$E_{cm} = 22 \left[\left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \right]$	GPa	31,476
$E_{lcm} = \eta_E \times E_{cm}$	Gpa	12,746
$\varepsilon_{lc1} = k \times \frac{f_{lcm}}{E_{cm} \times \eta_E}$	‰	2,589
$\varepsilon_{lcu1} = \varepsilon_{lc1}$	‰	2,589
ε_{lc2} (Diagramme parabole-rectangle)	‰	2,000
$\varepsilon_{lcu2} = 3,5 \times \eta_1$ (Diagramme parabole-rectangle)	‰	2,736
ε_{lc3} (Diagramme bi-linéaire)	‰	1,750
$\varepsilon_{lcu3} = 3,5 \times \eta_1$ (Diagramme bi-linéaire)	‰	2,736
$f_{lcd} = \alpha_{lcc} \times \frac{f_{tck}}{\gamma_c}$ (Béton)	MPa	14,167
α_{lcc}		0,85
γ_c		1,50
f_e (Armatures)	MPa	500
γ_s		1,15
σ_s (Armatures)	MPa	434,8
E_s (armatures)	GPa	200
ε_{ls} (Armatures) pour $\sigma = \sigma_s$	‰	2,174
ε_{lsu} (Armatures) déformation plastique	‰	10,000
Largeur de la section béton = b	m	1,00
Épaisseur totale de la dalle = h	m	0,20
Distance du CDG des aciers / face = e	m	0,04
Hauteur utile de la dalle béton = d	m	0,16

2) Calcul du moment de flexion maximal admissible à l'ELU

Calcul de $\alpha_L = \varepsilon_{lcu3} / (\varepsilon_{lcu3} + \varepsilon_{lsu})$		0,5573
Hauteur de béton comprimé $y = \alpha_L \times d$	m	0,0836
Bras de levier $z = d - y/3$	m	0,1221
$N_{bc} = y \cdot b \cdot f_{bc} / 2$	kN	592,10
Moment maximal ELU = $N_{bc} \cdot z$	m*kN	72,317
Section d'armatures $A_s = N_s / \sigma_s$	cm ²	13,62

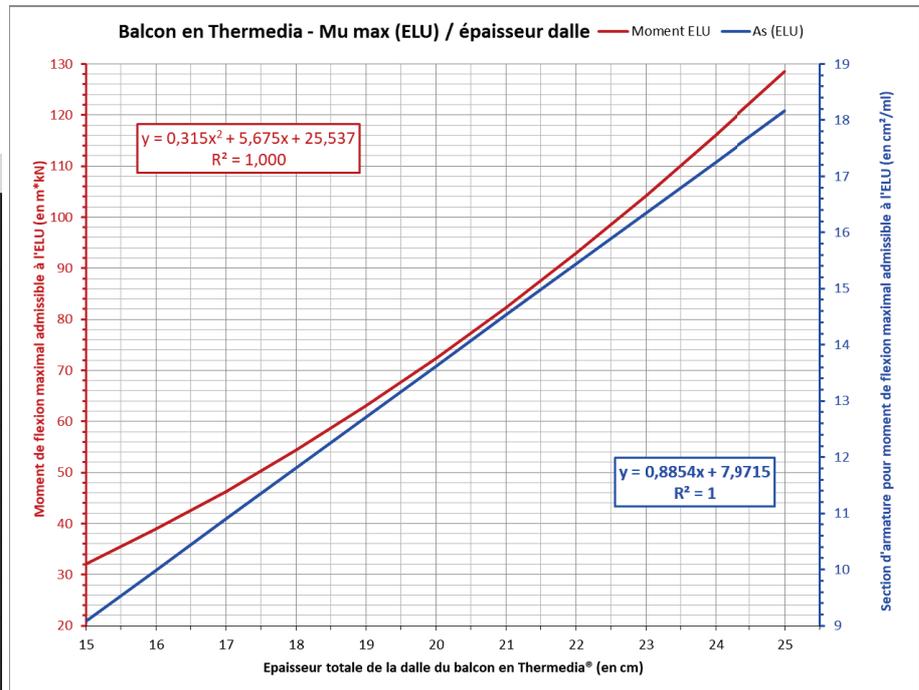
Pour la dalle en béton Thermédia® de hauteur utile d et la valeur limite de α_L , on détermine la hauteur de la zone de béton comprimée, la valeur de l'effort normal de compression sur le béton N_{bc} et la valeur du bras de levier z .

Ce qui permet de calculer le moment de flexion maximal admissible à l'ELU et la section d'armatures A_s correspondante.

3) Calcul de Mu max et de As en fonction de l'épaisseur de la dalle du balcon.

L'objectif est de déterminer le moment de flexion maximal admissible à l'ELU, Mu max, et la section d'armatures correspondante pour une épaisseur de la dalle du balcon en PAF en Thermedia® variant de 0,15 m à 0,25 m, ainsi que les équations des courbes de tendance correspondantes.

Balcon en Thermedia - Calcul à l'ELU		
E dalle	Mu max.	As
cm	m*kN	cm ²
15	32,14	9,08
16	38,89	9,99
17	46,28	10,89
18	54,32	11,80
19	63,00	12,71
20	72,32	13,62
21	82,28	14,53
22	92,89	15,43
23	104,14	16,34
24	116,03	17,25
25	128,56	18,16



La courbe de tendance du moment de flexion ELU en fonction de h est de type : $Mu = a \cdot h^2 + b \cdot h + c$

La courbe de tendance de la section d'armatures en fonction de h est une droite : $As = a_1 \cdot h + b_1$

4) Calcul des sollicitations (moment de flexion, effort tranchant) à l'ELU et à l'ELS

On détermine les sollicitations à l'encastrement de la dalle du balcon en PAF, à l'ELU et à l'ELS, en fonction du poids propre de la dalle en béton Thermedia®, des charges permanentes Gp, des charges d'exploitation Qex et de la portée libre L du balcon par rapport à l'appui.

Poids propre de la dalle béton = h*ρ	kN/m ²	3,00
Charge permanente répartie Gpr	kN/m ²	1,00
Charge permanente en extrémité de balcon Gpt	kN/ml	2,50
Charge d'exploitation répartie Qexr	kN/m ²	3,50
Charge d'exploitation en extrémité de balcon Qext	kN/ml	0,00
Combinaison ELU = 1,35*Gpr + 1,5*Qexr	kN/m ²	10,65
Combinaison ELS = 1,0*Gpr + 1,0*Qexr	kN/m ²	7,50
Portée libre du balcon (PAF) / appui	m	1,50
Moment de flexion ELU = Pelu*L ² /2 + (1,35*Gpt+1,5*Qext)*L	m*kN/ml	17,04
Effort tranchant ELU - Vu = Pelu*L + (1,35*Gpt+1,5*Qext)	kN/ml	19,35
Moment de flexion ELS = Pels*L ² /2 + (Gpt+Qext)*L	m*kN/ml	12,19
Effort tranchant ELS - Vs = Pels*L + (Gpt+Qext)	kN/ml	13,75

On constate que pour l'épaisseur de la dalle du balcon en Thermedia® retenue, le moment de flexion maximal admissible à l'ELU est supérieur au moment de flexion sollicitant à l'ELU.

5) Détermination des armatures de flexion pour un moment de flexion Mu à l'ELU inférieur à Mu max

L'objectif est de déterminer la section des armatures de flexion, nécessaires et suffisantes, pour reprendre le moment de flexion sollicitant Mu à l'ELU calculé ci-dessus.

On a une loi de comportement en compression du béton Thermedia® de type linéaire élastique fragile, ce qui donne $Nu = b \cdot y_u \cdot f_{bu} / 2$ à une distance $y_u / 3$ de la fibre la plus comprimée du béton.

On a donc : $Mu = Nu \cdot (d - y_u / 3) = (b \cdot y_u \cdot f_{bu} / 2) \cdot (d - y_u / 3)$ soit avec $\mu_u = Mu / b \cdot d^2 \cdot f_{bu}$ et $\alpha_u = y_u / d$

D'où : $\mu_u = (y_u / 2 \cdot d) \cdot (1 - (y_u / 3 \cdot d)) = (\alpha_u / 2) - (\alpha_u^2 / 6)$ ce qui revient à résoudre l'équation du second degré : $\alpha_u^2 - 3 \cdot \alpha_u + 6 \cdot \mu_u = 0$

Moment réduit $\mu_u = Mu / b \cdot d^2 \cdot f_{bu}$		0,0535
Déterminant de l'équation : $b^2 - 4ac = (-3)^2 - (4 \cdot 1 \cdot 6 \cdot \mu_u)$		7,7167

Solution de l'équation $\alpha u_1 = -b + (b^2 - 4ac)^{1/2} / 2a$		2,8889
Solution de l'équation $\alpha u_2 = -b - (b^2 - 4ac)^{1/2} / 2a$		0,1111
hauteur de béton comprimé $y = \alpha^2 * d$	m	0,0167
bras de levier $z = d - y/3$	m	0,1444
section armatures $A_s = M_u / z * \sigma_s$	cm ²	2,714
section réelle armatures mise en œuvre	cm ²	4,024
section réelle armatures mise en œuvre	m ²	4,024E-04

Nota : la valeur de αu est comprise entre 0 et 1, donc la valeur αu_1 ne peut pas être retenue

6) Condition de non-fragilité de la section

Par définition, est considérée comme non fragile, une section tendue ou fléchie telle que la sollicitation provoquant la fissuration du béton dans le plan de la section considérée entraîne dans les aciers une contrainte au plus égale à leur limite d'élasticité garantie.

Pour évaluer la sollicitation de fissuration, les calculs sont conduits dans l'hypothèse d'un diagramme des contraintes linéaire sur toute la hauteur de la section supposée non armée et non fissurée, en prenant sur la fibre la plus tendue une contrainte égale à f_{lctm} .

$$N_t = N_c = b * h * f_{lctm} / 4 \text{ et } z = h - 2 * h / 6 = 2 * h / 3 \quad \text{d'où } M_{fiss} = N_c * z = b * h^2 * f_{lctm} / 6$$

$M_{fiss} = N_c * z = b * h^2 * f_{lctm} / 6$	m*kN	13,369
hauteur utile de la dalle béton = d	m	0,15
$\epsilon_{\text{béton}} = \epsilon_{lcu3}$	‰	2,736
$\epsilon_{\text{aciers}} = f_e / E_s$	‰	2,500
calcul de $\alpha = \epsilon_{bc} / (\epsilon_{bc} + \epsilon_s)$		0,5226
hauteur de béton comprimé $y = \alpha * d$	m	0,0784
bras de levier $z = d - y/3$	m	0,1239
$N_s = M_{fiss} / z$	kN	107,93
$A_s \text{ non-fragilité} = N_s / f_e$	cm ²	2,159

7) Calculs des contraintes ELS sur le béton et les aciers

Le calcul des contraintes ELS sur le béton Thermedia® et sur les armatures doit être réalisé en tenant compte des sections réelles d'armatures mises en œuvre :

7.1) Calcul en utilisant la linéarité des déformations

Linéarité des déformations : on a $\epsilon_b / y = \epsilon_s / (d - y)$ d'où $(1 - \alpha) * \epsilon_b = \alpha * \epsilon_s$

$$M_{ELS} = F_s * (d - y/3) = A_s * \sigma_s * d * (1 - \alpha/3) \text{ d'où } \sigma_s = M_{ELS} / A_s * d * (1 - \alpha/3)$$

$$M_{ELS} = F_b * d * (1 - \alpha/3) = (b * y * \sigma_b / 2) * d * (1 - \alpha/3) \text{ d'où } \sigma_b = (6 * M_{ELS}) / (b * d^2 * (3 * \alpha - \alpha^2))$$

Moment de flexion ELS	m.kN/ml	12,1875
Hauteur utile de la dalle béton = d	m	0,15
Hauteur réduite $\alpha = y/d$		0,251
Contrainte dans les aciers	MPa	220,35
Contrainte sur le béton	MPa	4,71
Déformation des aciers : ϵ_s	‰	1,10
Déformation du béton : ϵ_b	‰	0,37
Valeur de : $\epsilon_b (1 - \alpha) - \epsilon_s \alpha$		0,000
Hauteur de la fibre comprimée du béton y	m	0,0377
Effort de compression sur le béton N_b	kN	88,669
Effort de traction dans les aciers N_s	kN	88,669
Bras de levier : $z = d - y/3$	m	0,1375
Moment résistant de la section à l'ELS	m.kN/ml	12,1875

7.2) Calcul en utilisant l'inertie équivalente de la section en béton Thermedia® armé

- On calcule : $y (m) = [(-15 * A_s) + \{(225 * A_s^2) + (30 * A_s * b * d)\}^{0,5}] / b$
 $I_d (m^4) = (b * y^3) / 3 + (15 * A_s * (d - y)^2)$
 $\sigma_{\text{béton}} (Mpa) = (M_{els} * y) / I_d$
 $\sigma_{\text{aciers}} (Mpa) = (15 * M_{els} * (d - y)) / I_d$ ce qui donne

$y = [(-15 \cdot A_s) + \{(225 \cdot A_s^2) + (30 \cdot A_s \cdot b \cdot d)\}^{0,5}] / b$	m	0,03694
$I_d (m^4) = (b \cdot y^3) / 3 + (15 \cdot A_s \cdot (d - y)^2)$	m ⁴	9,396E-05
$\sigma_{\text{béton}} (\text{Mpa}) = (\text{Mels} \cdot y) / I_d$	MPa	4,792
$\sigma_{\text{aciers}} (\text{Mpa}) = (15 \cdot \text{Mels} \cdot (d - y)) / I_d$	MPa	219,97

8) Vérification de la section à l'effort tranchant (ELU)

L'effort tranchant résistant de calcul $V_{Rd,c}$ est donné par l'expression :

$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{lck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ avec une valeur minimale

$V_{Rd,c} \text{ mini} = (v_{\text{min}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ avec $v_{\text{min}} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{lck}^{1/2}$

$\rho_l = A_{sl} / b_w \cdot d \leq 0,02$ avec A_{sl} aire des armatures tendues de la section

$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ avec d en mm	2,1547	2,00
$v_{\text{min}} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{lck}^{1/2}$	MPa	0,4950
$V_{Rd,c} (\text{mini}) = (v_{\text{min}} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$	kN	74,246
Ned	N	0,00
Ac aire de la section béton en mm ²	mm ²	200 000
$\sigma_{cp} = \text{Ned} / \text{Ac}$	MPa	0,00
$k_1 = 0,15$ (AN de l'EN 1992-1-1)		0,15
$\rho_l = A_{sl} / b_w \cdot d$		0,00268
$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c$ (AN de l'EN 1992-1-1)		0,12
$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{lck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$	kN	67,8898
$V_{\text{ELU}} = [1,35 \cdot (G_{pp} + G_{perm}) + 1,5 \cdot Q_{ex}] \cdot L_c + (1,35 \cdot G_{gc} + 1,5 \cdot Q_{exp})$	kN	19,35
Coefficient de sécurité $C_1 = V_{Rd,c} / V_{\text{ELU}}$		3,51

9) Calcul de la longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures

La section 11 de l'EN 1992-1-1 fournit les indications nécessaires pour le calcul des longueurs d'ancrage et de recouvrement dans le cas d'utilisation d'un béton de granulats légers.

- $f_{lbd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{lctd}$ avec $f_{lctd} = f_{lctk,0.05} / \gamma_c$
- Equilibre des actions : $A_s \cdot \sigma_s = \pi \cdot \varnothing_{\text{acier}} \cdot L_{lbd} \cdot f_{lbd}$

$\eta_1 =$ coefficient conditions d'adhérence	bonnes	1,00
$\eta_2 =$ coefficient lié au diamètre des barres	< HA32	1,00
$f_{ctk,0.05} = 0,7 \cdot 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3}$	MPa	1,7955
$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	MPa	2,6932
$f_{lctk,0.05} = \eta_1 \cdot f_{ctk,0.05}$	MPa	1,4037
$f_{lbd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{lctk,0.05} / \gamma_c$	MPa	2,1056
Diamètre de l'armature	8	0,008
Section de l'armature	m ⁴	5,027E-05
Effort de traction repris par la barre à la rupture	MN	0,0251
Longueur de scellement à la rupture dans LC25/28	m	0,4749
Longueur de scellement à la rupture dans C25/30	m	0,3713
Augmentation de la longueur de scellement		27,91%
Epaisseur du voile de façade en béton léger	m	0,18
Longueur de scellement équivalente homogénéisée en béton courant C25/30 = $t \cdot f_{lbd} / f_{bd}$	m	0,1407
Longueur de scellement dans le plancher C25/30	m	0,2306
Distance entre les axes des armatures supérieures du balcon et celles du plancher intérieur	m	0,04
Longueur de recouvrement des armatures	m	0,2706

10) Vérification de la flèche nuisible à l'ELS pour un balcon en THERMEDIA®

Pour la détermination de la flèche nuisible à l'ELS, on applique le principe de superposition aux déformations engendrées par chacune des charges appliquées.

- Charge concentrée à l'extrémité de la console : $f(L) = P * L^3 / 3 * E * I$
- Charge concentrée à une distance a de l'appui : $f(L) = P * a^2 * (3*L - a) / 6 * E * I$
- Charge répartie sur toute la longueur de la console : $f(L) = w * L^4 / 8 * E * I$

I section béton armé = $b*y^3/3 + 15,7*As*(d-y)^2$	m ⁴	9,398E-05
Flèche due au poids propre de la dalle	mm	1,585
Flèche due à la charge permanente	mm	0,528
Flèche due à la charge d'exploitation (comb quasi perm.)	mm	0,555
Flèche due au garde-corps en extrémité du balcon	mm	2,849
Flèche maximale admissible	mm	6,000
Flèche totale sans charge ponctuelle en extrémité de balcon	mm	2,668
Flèche totale avec (Gpp + Qexp) en extrémité de balcon	mm	5,517

La flèche estimée à l'ELS est conforme (<L/250)