

# Avis Technique 3.2/18-970\_V1

*Mur de façade en béton  
léger*

*Facade wall made of  
lightweight concrete*

---

## Murs extérieurs isolants structurels en THERMICAT

---

**Titulaire :** BÉTON VICAT  
4, rue Aristide Bergès – Les Trois Vallons  
38081 L'Isle d'Abeau

**Groupe Spécialisé n° 3.2**  
Murs et accessoires de mur

Publié le 16 octobre 2018



Commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques  
d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

---

Secrétariat de la commission des Avis Techniques  
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2  
Tél. : 01 64 68 82 82 - Internet : [www.ccfat.fr](http://www.ccfat.fr)

**Le Groupe Spécialisé n° 3.2 " Murs et accessoires de mur " de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques, a examiné, le 10 Juillet 2018, le procédé « Mur extérieurs isolants structurels en THERMICAT » présenté par la société BÉTON VICAT. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. A cet Avis est associé un suivi, par le CSTB, des conditions de fabrication et de contrôle, à l'application desquelles est soumise sa validité. L'Avis ne vaut que pour les utilisations en France métropolitaine.**

## 1. Description succincte

### 1.1 Description succincte

Le procédé de mur de façade en béton THERMICAT consiste en la réalisation de voiles extérieurs en béton prêt à l'emploi, en façade ou en mur pignon de bâtiments. Le procédé THERMICAT permet, dans le cas d'une isolation thermique rapportée (ITI ou ITE), 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, ETICS (sous DTA en cours de validité), revêtements céramiques et assimilés et pierres naturelles, RPE, béton brut ...

### 1.2 Identification

Le procédé THERMICAT utilise des bétons isolants structuraux se caractérisant par leur conductivité thermique utile.

**Tableau 1 – Identification des bétons THERMICAT®**

| Nom commercial | $\lambda_{utile}$ (W/(m.K)) |
|----------------|-----------------------------|
| THERMICAT 0.53 | 0,53                        |
| THERMICAT 0.45 | 0,45                        |

## 2. AVIS

### 2.1 Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'application du procédé de murs extérieurs THERMICAT 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 inférieurs strictement 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 du présent Avis.

En cas d'exigence incendie, l'utilisation est acceptée moyennant les conditions détaillées au §2.213 « Sécurité au Feu » du présent Avis.

Dans le cas d'emploi de prédalles suspendues, les exigences sont celles définies par les Règles Professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes (novembre 2009) pour les utilisations hors exigences sismiques. En zone sismique, les exigences relatives à l'utilisation de planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attente et règles magnétiques ou équivalentes (LPPVE) sont définies dans le Fascicule de Documentation FD P18-720.

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

### 2.2 Appréciation sur le procédé

#### 2.21 Aptitude à l'emploi

Le béton THERMICAT des murs extérieurs visés par le présent Avis Technique est conforme aux spécifications de la norme NF EN 206/CN.

#### 2.211 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 ci-après, 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 traditionnalité ou non du système concerné).

#### 2.212 Résistance au séisme

Le procédé de mur de façade en béton THERMICAT peut satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme (zones 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) sous réserve du respect des conditions précisées aux Prescriptions Techniques.

#### 2.213 Sécurité au feu

Le procédé de mur de façade en béton THERMICAT fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire N° 010945 délivrée par le CERIB.

Les murs de façade réalisés en béton THERMICAT et dimensionnés à partir des règles de calculs en vigueur (mise en œuvre a minima d'un PAF 10 en face non exposée), sont justifiés pour une performance de résistance au feu REI120 moyennant le respect de la charge maximale admissible donnée dans le tableau ci-dessous en fonction des épaisseurs de murs (pour une excentricité maximale en tête de  $0,15 \times h$ ,  $h$  correspond à l'épaisseur du voile) :

La hauteur libre des murs entre éléments de structure est limitée à 3 m.

**Tableau 2 – Charge maximale admissible du béton THERMICAT en fonction de son épaisseur**

| Epaisseur du voile<br>h | Charge maximale admissible<br>sur voiles [REI 120] |
|-------------------------|--|
| 16 cm                   | 27 T/ml  |
| 18 cm                   | 30 T /ml   |
| ≥ 20 cm                 | 33 T / ml  |

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

Vis à vis de la propagation verticale du feu, les murs de façade en béton THERMICAT participent au « C+D ».

#### 2.214 Prévention des accidents lors de la mise en œuvre et de l'entretien

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.

#### 2.215 Isolation thermique

Elle est assurée intrinsèquement par l'utilisation du béton THERMICAT.

Le suivi par le CSTB permet d'assurer une continuité des conductivités thermiques au cours du temps. Le tableau ci-après précise les valeurs de conductivité thermique utile.

**Tableau 3 – Propriétés thermiques des bétons THERMICAT**

| Bétons isolants<br>structuraux | Conductivité<br>thermique utile<br>(W/(m.K)) |
|--------------------------------|--|
| THERMICAT 0.53                 | 0,53   |
| THERMICAT 0.45                 | 0,45   |

Les vérifications vis-à-vis de l'isolation thermique intégrant le procédé sont à effectuer, dans chaque cas d'utilisation, selon les Règles Th-U en vigueur.

#### 2.216 Isolation acoustique

Les performances acoustiques de ce système ont été évaluées en laboratoire (cf. §7 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.

## 2.217 Finitions-Aspect

Les finitions intérieures : 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 de doublage avec le support THERMICAT selon les prescriptions de l'Annexe B du DTU 25.42 P1-2. La compatibilité des colles PLACO MAP et VPI RHEACOL PSE avec le support THERMICAT a été vérifiée à partir des tests d'adhérence suivant les recommandations du DTU 25.42 P1-2 Annexe B.

Les finitions extérieures :

- La mise en œuvre des enduits mortiers doit être réalisée conformément au DTU 26.1.
- Les revêtements collés céramiques et assimilés et pierres naturelles peuvent être utilisés à condition de vérifier la compatibilité entre le mortier-colle et le support THERMICAT. Cette vérification est réalisée en suivant les recommandations décrites dans le Dossier Technique §9.2.
- Les murs extérieurs en THERMICAT peuvent également rester apparents. Ils peuvent aussi recevoir les finitions de type peinture, lasures-béton.

## 2.218 Données environnementales

Le procédé de mur de façade en béton THERMICAT 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.

## 2.219 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.

## 2.22 Durabilité - entretien

La durabilité des murs de façade est satisfaisante pour les emplois prévus dans le domaine d'emploi accepté, pour le béton THERMICAT 0.53 et 0.45, dans les conditions prévues dans la norme NF EN 206/CN.

Les classes d'exposition prévues sont XC1 à XC4, XD1, XF1 et XS1 telles que définies dans la norme NF EN 206/CN.

## 2.23 Mise en œuvre

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

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 8 du Dossier Technique)

Les dispositions particulières de mise en œuvre sont indiquées au paragraphe 2.34 qui suit.

## 2.3 Prescriptions techniques

Sauf dispositions particulières des présentes Prescriptions Techniques, les prescriptions de la NF EN 1992-1-1 (et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA), du fascicule d'application FD P 18-717, des DTU 21 et 23.1 s'appliquent.

### 2.31 Conception des ouvrages

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

Le retrait plus important des bétons THERMICAT structuraux, 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 partie 1-1 et en particulier de la partie 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 (moments sur appuis et efforts tranchants) dues au possible raccourcissement relatif de la façade en béton THERMICAT et des murs intérieurs en béton courant.

Une méthode générale de dimensionnement est proposée au paragraphe 5.21 du Dossier Technique. A défaut de calcul, les règles forfaitaires suivantes sont applicables :

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

Etant donné la loi de comportement linéaire de la résistance en compression du béton THERMICAT, l'analyse structurale non linéaire selon le §11.3.4 de la NF EN 1992-1-1 est exclue. Les voiles en béton THERMICAT doivent être dimensionnés selon la section 12 « Structure en béton non armé ou faiblement armé » de la NF EN 1992-1-1 et son AN.

Pour le dimensionnement des balcons, il conviendra également de retenir la loi de comportement linéaire de la résistance en compression du béton THERMICAT conformément au §5.1 du Dossier Technique.

Les longueurs d'ancrage et de recouvrement des aciers dans les bétons THERMICAT sont calculées comme pour le béton traditionnel de classe de résistance C25/30 avec une majoration de 30%, cela résulte de l'application de l'article 11.8.2 de la NF EN 1992-1-1.

Les éléments de balcons préfabriqués doivent reposer directement sur le mur sur une profondeur d'appui d'au moins 2 cm.

Un revêtement d'étanchéité doit être interposé entre les balcons préfabriqués et le mur de façade afin d'éviter tout risque d'infiltration.

L'utilisation des chevilles de fixation (mécaniques, chimiques ou plastiques), sous ETE ou homologation nationale, est possible sur support THERMICAT, sous condition d'avoir préalablement déterminé par essai leur résistance à l'arrachement sur support en THERMICAT. Ces essais sont réalisés et interprétés par le fabricant de chevilles suivant les recommandations du cahier technique « Recommandations à l'usage des professionnels de la construction pour la réalisation d'essais de chevilles sur site (ou sur chantier) » du CISMA.

### 2.32 Conception en zone sismique

Les conditions de conceptions de la NF EN 1998-1 sont applicables, moyennant l'utilisation des hypothèses suivantes ;

Lorsque le bâtiment comporte des éléments primaires en THERMICAT :

- 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 THERMICAT. Le choix de la classe DCL est encadré par la NF EN 1998-1 et son annexe nationale ;
- En classe DCM, l'utilisation du béton THERMICAT est limitée aux murs de grandes dimensions en béton peu armé en limitant le coefficient de comportement  $q$  à 2.

Les zones de sismicité visées sont limitées aux zones 1 à 4, au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié.

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

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

### 2.33 Fabrication

Le béton THERMICAT est préparé dans les centrales à béton de BETON VICAT, certifiées NF BPE. Le contrôle de fabrication du béton THERMICAT doit être effectué conformément aux dispositions suivantes :

**Tableau 4 – Fréquences de contrôle**

| Propriétés                     | THERMICAT 0,53  | THERMICAT 0,45                | Fréquences                         |
|--------------------------------|---|-------------------------------|------------------------------------|
| Masse volumique à l'état frais | 1455 à 1540 kg/m <sup>3</sup>   | 1270 à 1405 kg/m <sup>3</sup> | Chaque camion                      |
| Consistance Etalement          | BAP SF2<br>660 à 750 mm   | BAP SF1<br>560 à 650 mm       | Chaque camion                      |
| Masse volumique sèche          | 1290 à 1365 kg/m <sup>3</sup>   | 1135 à 1255 kg/m <sup>3</sup> | 1 fois tous les 100 m <sup>3</sup> |
| Résistance à la compression    | Moyenne de n essais (n ≥ 15) :<br>≥ $f_{ck} + 1,48\sigma$<br>Chaque résultat individuel :<br>≥ $f_{ck} - 4$ |                               | 1 fois tous les 400 m <sup>3</sup> |
| Conductivité thermique sèche   | ≤ à 0,490 W/(m.K)   | ≤ à 0,415 W/(m.K)             | 2 fois par an                      |

- Une qualification vaut pour un couple « centrale de fabrication / béton » de composition définie. Lorsque BETON VICAT 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 (voir puce précédente).
- La conformité des productions des centrales de fabrication aux données du présent Avis est enregistrée dans les registres de fabrication des centrales concernées.
- 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.

### 2.34 Mise en œuvre

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

Le principe constructif des murs extérieurs en THERMICAT 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 (hors exigences sismiques) doit respecter les recommandations professionnelles de 2009 éditées par la SEBTP.

En zone sismique, la mise en œuvre des boîtes d'attente et règles magnétiques ou équivalentes doit respecter les recommandations du Fascicule de Documentation sur le système LPPVE FD P 18-720.

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

## Conclusions

### *Appréciation globale*

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 2.1) est appréciée favorablement.

### *Validité*

A compter de la date de publication présente en première page et jusqu'au 31 Juillet 2021.

## 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, lors du comité du 22/05/2018.

Le Groupe Spécialisé n°3.2 attire l'attention sur l'incompatibilité entre les classes d'exposition du béton THERMICAT (XC1 à XC4, XD1, XF1, et XS1) et le cas d'utilisation de balcons exposés aux attaques de gel/dégel (zone de gel sévère) et à la corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer (zone de front de mer), seul les cas de balcons situés à l'intérieur des terres dans des zones de gel faible à modéré ou en bord de mer étant visés dans le domaine d'emploi.

*Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n° 3.2*

*Pour le Groupe Spécialisé n° 3.2  
Le Président*

# Dossier Technique

## établi par le demandeur

## A. Description

### 1. Définition du procédé

Le procédé THERMICAT consiste à réaliser des voiles extérieures en béton isolant structurel coulé en place (béton prêt à l'emploi), en façade ou en mur pignon de bâtiments.

Ainsi, le procédé THERMICAT permet, dans le cas d'une isolation thermique rapportée (ITI et ITE), de limiter les déperditions thermiques produites dans les zones de liaison avec la structure interne au niveau desquelles l'isolation thermique rapportée est interrompue.

Le procédé THERMICAT est également utilisé pour la réalisation des balcons coulés en place.

Le procédé THERMICAT utilise des bétons isolants structurels qui se caractérisent par le couple conductivité thermique utile et classe de résistance mécanique :

Tableau 1 : Identification du THERMICAT

| Nom commercial | $\lambda_{\text{utile}}$ (W/(m.K)) | Classe de résistance |
|----------------|------------------------------------|----------------------|
| THERMICAT 0.53 | 0.53                               | LC 25/28 et LC30/33  |
| THERMICAT 0.45 | 0.45                               |                      |

Les bétons THERMICAT visés par le présent Avis Technique sont conformes aux spécifications de la norme NF EN 206/CN et sont mis en œuvre conformément aux normes NF DTU 21, NF DTU 23.1 et NF EN 13670.

Les classes d'exposition prévues sont XC1 à XC4, XD1, XF1 et XS1.

### 2. Domaine d'emploi

Le procédé de murs de façade « THERMICAT » consiste en la réalisation de voiles extérieures (façades, pignons, linteaux, acrotères, trumeaux, encadrements ...) et de balcons en béton isolant structurel pour une utilisation en France métropolitaine.

Le procédé THERMICAT est destiné aux bâtiments résidentiels, bureaux, commerciaux, administratifs, ERP etc. et ce, également, en cas d'exigence sismique au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié pour les zones de sismicité 1 à 4.

Les ouvrages intérieurs auxquels peuvent être associés les murs réalisés en béton THERMICAT sont :

- Planchers de type dalle pleine coulée sur place, système de planchers à prédalles et dalles alvéolaires en béton de granulats courants,
- Murs de refend en béton de granulats courants.

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

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

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

### 3. Matériaux

#### 3.1 Composition des bétons THERMICAT

La composition des bétons THERMICAT 0.53 et 0.45 est conforme à la norme NF EN 206/CN.

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

- Ciment de type CEM I ou II ou III,
- Granulats conformes à la norme NF EN 13055-1,
- Adjuvants NF conformes à la norme NF EN 934-2,
- Additions minérales conformes à celles décrites dans le tableau NA.F.1 de la norme NF EN 206-1/CN,
- Additions de fibres polymères conformes à la norme NF EN 14889-2,
- Eau.

Les classes de résistance des bétons THERMICAT sont les suivantes :

- Pour le THERMICAT 0.53 : LC 25/28 ou LC 30/33,
- Pour le THERMICAT 0.45 : LC 25/28 ou LC 30/33,

Les compositions sont conformes à la NF EN 206/CN (dosages ciment, rapport E/C, etc...).

#### 3.2 Caractéristiques du béton frais

- pH :  $13 \pm 0,5$
- Consistance : S4 et S5, SF1 et SF2, maintient 1h30
- Le délai pratique d'utilisation des bétons THERMICAT est de 1 heure 30. Tout besoin spécifique de limitation ou de prolongation de ce délai souhaité par l'entreprise nécessite une acceptation de BÉTON VICAT.

#### 3.3 Caractéristiques du béton durci

Tableau 2 : Principales caractéristiques du béton durci THERMICAT

|  | THERMICAT 0.53              | THERMICAT 0.45 |
|--|-----------------------------|----------------|
| Classe de masse volumique au sens de la norme NF EN 206/CN | D1,6                        | D1,4           |
| Coefficient de dilatation thermique moyen (mm/m.K)         | 0,008                       |                |
| Classe de réaction au feu                                  | A1 ininflammable            |                |
| Classe d'exposition  | XC1/XC2/XC3/XC4/XF1/XD1/XS1 |                |
| Classe de résistance mécanique                             | LC 25/28 ou LC 30/33        |                |
| Conductivité thermique utile (W/(m.K))                     | 0,53                        | 0,45           |

Les caractéristiques mécaniques du béton durci s'obtiennent par l'application de l'Eurocode 2 « 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 à l'Eurocode 2 (NF EN 1992-1-1/NA).

## 4. Fabrication, livraison et contrôles

### 4.1 Fabrication

Le béton est préparé dans les centrales à béton, faisant l'objet d'une certification NF BPE, équipées pour produire du THERMICAT (ou UP Unité de Production) de BÉTON VICAT, contrôlé par les laboratoires mandatés et rattachés aux UP, et sous la supervision du Manager Technique Qualité.

Avant chargement sous la goulotte du malaxeur, les camions doivent systématiquement dévisser afin d'arriver cuve vide, c'est à dire sans eau.

L'agent technique, chargé de la fabrication, doit s'assurer de la réalisation effective de cette opération.

### 4.2 Livraison

Les bétons THERMICAT 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.

Pendant le transport et les attentes sur chantier, le camion malaxeur doit obligatoirement rester en rotation (vitesse lente).

Avant déchargement, le camion malaxeur est mis en rotation à vitesse rapide pendant 3 à 5 minutes afin de bien homogénéiser le béton.

Avant le début du déchargement des camions, les responsables du chantier s'assurent auprès des chauffeurs que le béton livré correspond à celui qu'ils doivent mettre en place, à travers le bon de livraison qui est remis au chantier (par exemple en cas de coulage simultané avec divers types de béton).

Lors du dernier déchargement, le camion malaxeur est mis en rotation à vitesse lente afin d'assurer une vidange optimale du béton.

### 4.3 Contrôles

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

**Tableau 3 : Fréquence de contrôle**

| Propriétés                     | THERMICAT 0,53   | THERMICAT 0,45                | Fréquences                         |
|--------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|
| Masse volumique à l'état frais | 1455 à 1540 kg/m <sup>3</sup>  | 1270 à 1405 kg/m <sup>3</sup> | Chaque camion                      |
| Consistance Etaiement          | BAP SF2<br>660 à 750 mm  | BAP SF1<br>560 à 650 mm       | Chaque camion                      |
| Masse volumique sèche          | 1290 à 1365 kg/m <sup>3</sup>  | 1135 à 1255 kg/m <sup>3</sup> | 1 fois tous les 100 m <sup>3</sup> |
| Résistance à la compression    | Moyenne de n essais (n ≥ 15) : ≥ f <sub>ck</sub> + 1,48σ<br>Chaque résultat individuel : ≥ f <sub>ck</sub> - 4 |                               | 1 fois tous les 400 m <sup>3</sup> |
| Conductivité thermique sèche   | ≤ à 0,490 W/(m.K)  | ≤ à 0,415 W/(m.K)             | 2 fois par an                      |

La masse volumique à l'état frais ainsi que l'étalement sont deux mesures effectuées en centrale à béton et sont directement renseignées dans l'outil de production.

Les essais de compression sont réalisés dans des laboratoires externes accrédités (Exemple : Sigma Béton), les éprouvettes confectionnées en centrale sont envoyées dans ces laboratoires. Les résultats sont ensuite renseignés dans l'outil de production.

Les essais de masse volumique sèche sont réalisés dans un laboratoire externe accrédité (Exemple : Sigma Béton).

Les éprouvettes confectionnées pour les mesures de conductivité thermique sèche sont envoyées dans un laboratoire tiers accrédité (Exemple : LNE). Les résultats d'essai sont par la suite transmis semestriellement à la Direction Technique de BÉTON VICAT sous forme de rapport d'essai.

Les contrôles de production externes sont réalisés par le CSTB à raison de 2 fois par an :

- Avec prélèvement semestriel pour des essais de vérification ;
- Avec audit semestriel dans une UP ;
- Avec validation des valeurs déclarées.

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

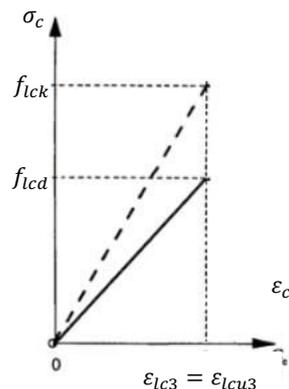
BÉTON VICAT informe le CSTB lors de tout changement majeur de matière première dans la fabrication des bétons THERMICAT.

## 5. Conception et dimensionnements

### 5.1 Règles appliquées et données

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

- 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 son Annexe Nationale. Pour le calcul des sections, un diagramme contrainte-déformation linéaire est à prendre en compte tel que  $\epsilon_{lc3} = \epsilon_{lcu3}$ . L'analyse structurale non linéaire selon le §11.3.4 de la NF EN 1992-1-1 est exclue. Les voiles en béton THERMICAT doivent être dimensionnés selon la section 12 « Structure en béton non armé ou faiblement armé » de la NF EN 1992-1-1 et son AN ;



- 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 et son Annexe Nationale.

### 5.2 Justifications structurales

Le procédé de murs extérieurs en THERMICAT implique que, toute la hauteur du voile soit réalisée en THERMICAT. En effet cette disposition permet d'éviter une éventuelle fissuration due au retrait différentiel entre le béton courant et le béton THERMICAT.

De plus, le retrait plus important des bétons THERMICAT, ne constitue pas une source de désordre des façades si les dispositions constructives courantes 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 éventuelles (retrait, dilatation thermique).

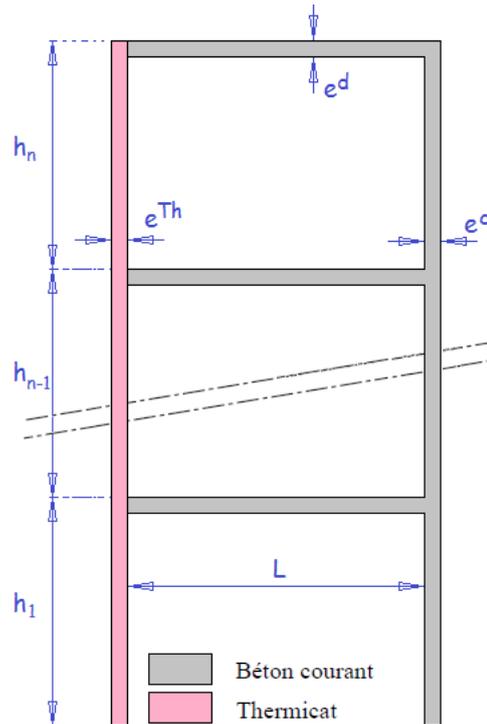
L'application des dispositions constructives de la NF EN 1992-1-1 et en particulier de la section 11, est généralement suffisante dans les cas courants.

#### 5.2.1 Variations dimensionnelles

Pour des bâtiments de hauteur importante, soit au-delà de 5 niveaux, une étude particulière doit être effectuée pour tenir compte des effets hyperstatiques des éventuelles dénivellations d'appui. Il convient donc de justifier l'influence des voiles de façade en béton « THERMICAT » sur le comportement global de l'ouvrage, et notamment sur le dimensionnement des dalles sous l'effet du possible raccourcissement relatif de la façade en béton THERMICAT et des murs intérieurs en béton courant.

La méthode de calcul présentée dans ce paragraphe permet de vérifier, sur la base d'un modèle conventionnel simplifié (sans prise en compte de la présence des ouvertures en façade), les effets hyperstatiques sur les sollicitations dans la dalle.

Modélisation de la structure : (nombre d'étages variable)



**Figure 1 : Calcul des sollicitations additionnelles liées au raccourcissement relatif des murs**

Calcul des déplacements :

Raccourcissement relatif au niveau  $i > 5$  :

$$s_i = \sum_{j=0}^i \Delta h_j^{Th} - \Delta h_j^C$$

Raccourcissement d'un niveau  $j$  :

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

$$\Delta h_j^c = \frac{h_j \sigma_j^c}{E^c} (1 + \phi^c)$$

Contrainte dans les murs à un niveau  $j$  :

$$\sigma_j^{Th} = \frac{N_j^{Th}}{e^{Th}}$$

$$\sigma_j^c = \frac{N_j^c}{e^c}$$

Effort normal dans les murs à un niveau  $j$  :

$$N_j^{Th} = \sum_{k=0}^i \rho^{Th} e^{Th} h_k + pL/2$$

$$N_j^c = \sum_{k=0}^i \rho^c e^c h_k + pL/2$$

Avec  $p = 1.35(g + g') + 1,5q$

Il convient de réaliser 2 vérifications du raccourcissement relatif avec et sans prise en compte du fluage du béton tel que :

- Premier calcul avec  $\phi^{Th} = \phi^c = 0$
- Deuxième calcul avec  $\phi^c = 2$  et  $\phi^{Th} = \phi^c \times (\rho^{Th}/2200)^2$

On retiendra le cas le plus défavorable pour déterminer les sollicitations additionnelles.

Note : Dans les cas courants, les murs de refend sont généralement plus chargés que les façades ayant une largeur d'influence plus importante ; ne considérer que la descente de charge de la dalle de rive est une hypothèse défavorable car accentue les déplacements relatifs entre façade et refend.

#### Calcul des sollicitations :

Moment de flexion sur appui (côté façade THERMICAT) :

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

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

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

Effort tranchant sur appui (côté façade THERMICAT) :

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

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

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

Avec :

- $E$  : module d'élasticité instantané du béton
- $I$  : moment d'inertie de la section droite de la dalle
- $L$  : portée utile de la dalle
- $h$  : hauteur d'étage
- $e^{Th}$  : épaisseur de la façade
- $e^c$  : épaisseur du refend
- $e^d$  : épaisseur de dalle
- $d$  : hauteur utilise de la dalle
- $\rho^{Th}$  : masse volumique du béton THERMICAT
- $\rho^c$  : masse volumique du béton courant
- $E^{Th}$  : module d'élasticité du béton THERMICAT
- $E^c$  : module d'élasticité du béton courant
- $\phi^{Th}$  : coefficient du fluage du béton THERMICAT
- $\phi^c$  : coefficient du fluage du béton courant
- $g'$  : surcharge permanente
- $q$  : surcharge d'exploitation

## 5.22 Ancrages et recouvrements

La partie 11 de l'Eurocode 2 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.

La contrainte ultime d'adhérence  $f_{bd}$  dans le béton THERMICAT doit être suffisante pour éviter la rupture d'adhérence :

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

$$f_{lctd} = \alpha_{lct} \times \frac{f_{lctk_{0,05}}}{\gamma_c} \quad [\text{EC2-1 11.8.2 (1)}]$$

Avec  $\alpha_{lct} = 1$

Il convient dans le cas des bétons de granulats légers de majorer de 50 % les valeurs des diamètres de mandrin données pour des bétons de masse volumique normale (EC2-1 8.3) afin d'éviter l'éclatement du béton à l'arrière des coudes, des crochets et des boucles.

Note : L'emploi des bétons de granulats légers diminue la capacité d'adhérence entre les armatures et le béton. Par conséquent, les longueurs d'ancrage et de recouvrement sont supérieures ou égales à celles dans les bétons courants.

## 5.23 Liaison plancher/voile THERMICAT

Pour traiter le pont thermique aux jonctions entre la façade et le plancher, il est indispensable d'assurer la continuité du béton THERMICAT 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.

La vérification de la reprise de bétonnage doit être réalisée selon le §6.2.5 de la NF EN 1992-1-1 et son AN.

## 5.3 Balcons et loggias en THERMICAT

Il peut être envisagé de réaliser les balcons et les loggias en THERMICAT pour :

- Améliorer le traitement du pont thermique à la liaison balcon - façade - plancher ou loggia - façade - plancher ;
- Optimiser le temps de mise en œuvre en réduisant les séquences de coulages (coulage en 1 fois du balcon, du chaînage et de la talonnette) ;
- Réduire le poids propre de la structure,

et ce, en tenant compte des contraintes liées à l'accessibilité pour les personnes à mobilité réduite (arrêté du 1er 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 THERMICAT), métallique et en bois ;
- Soit solidarisés à la façade, et dans ce cas être en béton coulé en place ou préfabriqués en béton. Les balcons solidarisés nécessitent une méthodologie de mise en œuvre particulière (annexe 2). 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 THERMICAT 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.

Le calcul et le dimensionnement des balcons ou des loggias en THERMICAT se font conformément à la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale en retenant la loi de comportement linéaire de la résistance en compression du béton THERMICAT conformément au §5.1 du Dossier Technique.

Dans le cas des balcons solidarisés et supportés, le calcul et le dimensionnement sont identiques à une dalle isostatique en béton léger.

Dans le cas des balcons solidarisés en porte-à-faux, le déroulement du calcul et du dimensionnement est le suivant :

- 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).

Note : L'utilisation de boîtes d'attentes entre le voile de façade et la dalle intérieure est incompatible avec la réalisation d'un balcon. En effet, les armatures supérieures du balcon doivent impérativement traverser le nœud d'appui et se prolonger en recouvrement des armatures supérieures de la dalle intérieure.

### 5.31 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 la NF EN 1992-1-1 §9.2.1.1).

### 5.32 Vérification de la contrainte du béton et des armatures 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.

La NF EN 1992-1-1 ; § 7.2) préconise de limiter la contrainte de compression dans le béton à :  $0,6 \times f_{tck}$  ; et la contrainte de traction dans les armatures à :  $0,8 \times f_{yk}$ .

### 5.33 Vérification de 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.

### 5.34 Longueur d'ancrage et de recouvrement des armatures

L'ancrage des armatures du balcon commence dans le voile en THERMICAT et se poursuit dans le plancher. Pour la longueur d'ancrage il faut tenir compte de la contrainte d'adhérence du béton THERMICAT (spécifiées au §5.22 du dossier technique) pour la partie ancrée dans le voile de façade et de la contrainte du béton courant pour la partie ancrée dans la dalle du plancher intérieur.

La longueur d'ancrage de calcul  $L_b$  dans du béton courant, est déterminée avec :

$$L_b = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}}$$

Avec :  $\phi$  : diamètre de la barre ;  $\sigma_{sd}$  : contrainte de calcul de l'acier

La longueur d'ancrage des armatures du balcon  $L_b$  est égale :

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

Avec :

- $L_{b1}$  = la longueur d'ancrage théorique dans le voile en THERMICAT, homogénéisée vis-à-vis du béton courant tel que :

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

Etant  $t$  l'épaisseur du voile en THERMICAT

- $L_{b2}$  = la longueur d'ancrage dans le plancher en béton courant

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

La longueur d'ancrage droit nécessaire dans le plancher en béton courant  $L_{b2,req}$  est :

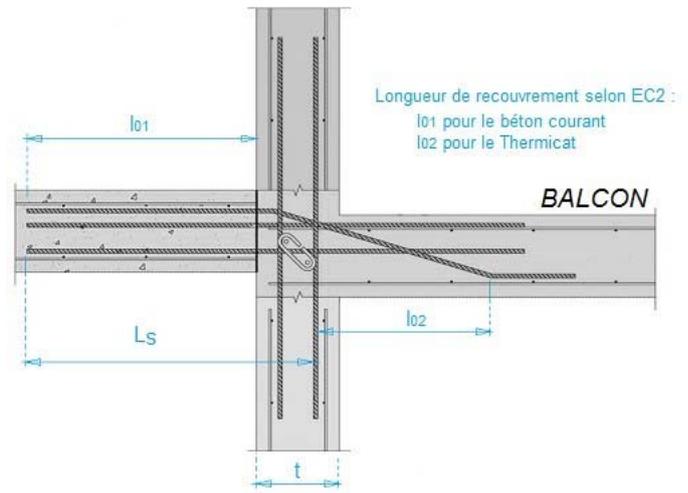
$$L_{b2,req} = (L_b - L_{b1}) A_{s,req} / A_{s,pro}$$

Avec :

- $A_{s,req}$  : Section des armatures requises par le calcul
- $A_{s,pro}$  : Section réelle des armatures

La longueur totale d'ancrage  $L_s$  (figure 2) est :

$$L_s = L_{b2,req} + t$$



l01 : longueur de recouvrement de la partie horizontale de l'armature inclinée du balcon avec le treillis soudé supérieur du plancher (côté plancher)  
l02 : longueur de recouvrement de l'armature inclinée du balcon avec l'armature supérieure du balcon (côté balcon)

Figure 2 : longueur d'ancrage  $L_s$

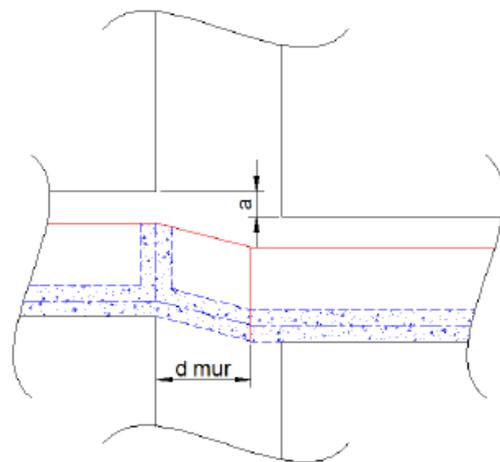
### 5.35 Vérification de la flèche nuisible

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

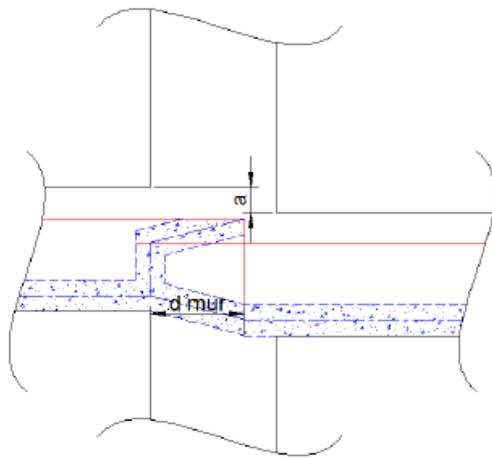
Les moments de flexion pour l'évaluation des flèches sont pris à l'encastrement de la dalle du balcon.

### 5.36 Vérification de la bielle de compression inclinée dans le cas d'un balcon avec décalage de niveau

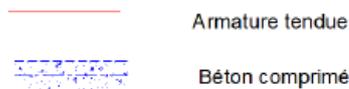
L'accessibilité des balcons aux personnes à mobilité réduite, implique la suppression des obstacles qui entravent cette accessibilité, soit une continuité des sols finis intérieurs et extérieurs. Par ailleurs, une hauteur suffisante est requise pour assurer l'étanchéité à l'eau de l'ouvrage. Par conséquent, la mise en œuvre de cette disposition conduit à un dénivellement de la structure entre la dalle des balcons et la dalle de plancher intérieur. Il est à noter que, quel que soit le dénivellement, la méthode de calcul sera identique. La différence intervient principalement au niveau des dispositions constructives du ferrailage.



a > 4cm : ajout d'une armature inclinée



$a < 4\text{cm}$  : recouvrement des armatures



**Figure 3 : Schéma mécanique de la transmission d'un moment d'encastrement avec décalage de niveau**

Note : Les schémas ci-dessus sont des schémas mécaniques, permettant de calculer les efforts dans les armatures. Les dispositions réelles de ferrailage intégreront notamment les longueurs de recouvrement, selon le matériau constitutif de la zone considérée (béton de granulats légers pour la façade et le balcon, béton standard pour le plancher)

L'angle de la bielle de béton comprimé vaut :

$$\alpha = \text{atan}(a/d_{mur})$$

Avec :

$a$  : dénivellement

$d_{mur}$  : hauteur utile du voile

L'inclinaison de la bielle induit une augmentation de l'effort incliné et une diminution de sa largeur, de sorte que la contrainte de compression est augmentée d'un facteur valant  $1/(\cos\alpha)$  par rapport à la contrainte des bielles horizontales de part et d'autre de l'appui. Il convient donc pour vérifier cette bielle inclinée vis-à-vis du risque d'écrasement de prendre en compte une valeur réduite  $f'_{lcd}$  pour le calcul des sections d'acier en flexion simple.

$$f'_{lcd} = \cos^2(\alpha) f_{lcd}$$

La bielle de compression inclinée induit également des efforts de compression et de traction verticale au sein du nœud façade/plancher.

Les efforts horizontaux de compression du béton et de traction de l'armature sont identiques, et sont égaux à

$$F_{ch} = F_{th} = A_{s,calc} \times f_{yd}$$

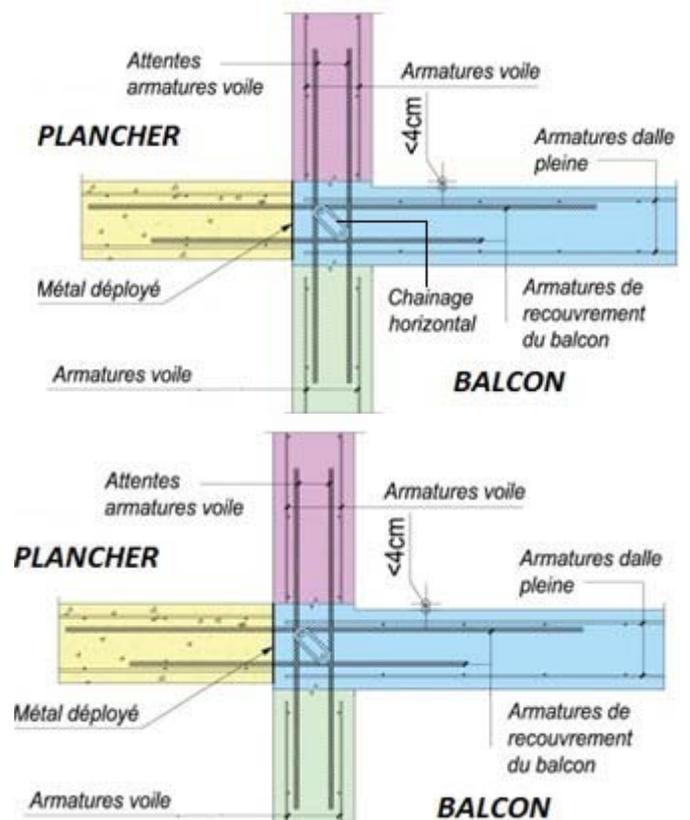
Les efforts verticaux de compression et de traction équilibrant les nœuds de changement de direction sont égaux et valent :

$$F_{cv} = F_{tv} = A_{s,calc} \times f_{yd} \times (a/d_{mur})$$

L'effort dans l'armature inclinée, dans le cas d'un décalage supérieur à 4 cm, vaut :

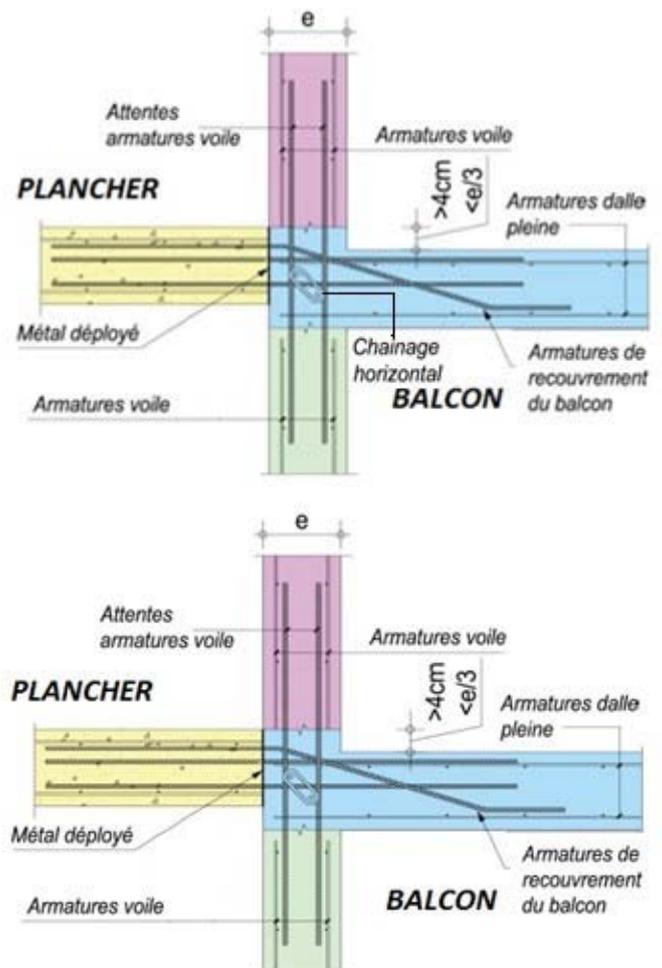
$$F_{ti} = F_{th} / \cos(\alpha)$$

Le dénivellement « a » entre le balcon et le plancher conduit à prévoir deux types de ferrailages (figure 4 et figure 5) pour les balcons en porte-à-faux tel que :



**Figure 4 : Dénivellement  $a < 4\text{ cm}$**

Pour un dénivellement  $a < 4\text{ cm}$ , le recouvrement des armatures du balcon et du plancher correspond au recouvrement à distance. La longueur de recouvrement  $l_r$  est égale à la longueur d'ancrage augmentée d'une valeur égale à la distance libre entre les armatures.



## Figure 5 : Dénivellement $a \geq 4$ cm

Pour un dénivellement  $a \geq 4$  cm, l'ancrage des armatures du balcon et du plancher est direct.

Dans les deux cas 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  $\Sigma A_{st}$  (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.

Dans le cas de balcons préfabriqués, leur face latérale en contact avec le clavetage en THERMICAT 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 la NF EN 1992-1 (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.

## 5.4 Sécurité incendie

### 5.4.1 Réaction au feu

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

### 5.4.2 Résistance au feu

L'ensemble des essais de résistance au feu, comportement au feu, de caractérisations thermomécaniques ainsi que la modélisation numérique synthétisés dans l'appréciation de laboratoire AL n° 010945 du CERIB, ont permis d'établir pour les différentes épaisseurs de voiles, la charge maximale admissible vue par la section.

Ainsi, les murs de façade réalisés en béton THERMICAT (THERMICAT 0,53 LC25 et LC30 ainsi que THERMICAT 0,45 LC25 et LC30) et dimensionnés à partir des règles de calculs en vigueur (mise en œuvre à minima d'un PAF 10 en face non exposée), sont justifiés pour une performance de résistance au feu REI 120 moyennant le respect de la charge maximale admissible donnée dans le tableau suivant en fonction des épaisseurs de murs (pour une excentricité maximale en tête de  $0,15 \times e$ ,  $e$  correspond à l'épaisseur du voile). La hauteur des murs entre éléments de structure est limitée à 3 m.

**Tableau 4 : Charge maximale admissible sur les voiles en THERMICAT pour une résistance au feu REI 120 en fonction des épaisseurs de murs**

| Épaisseur du voile $e$ | Charge maximale admissible REI 120 |
|------------------------|------------------------------------|
| 16 cm                  | 27 tonnes/ml                       |
| 18 cm                  | 30 tonnes/ml                       |
| $\geq 20$ cm           | 33 tonnes/ml                       |

Par ailleurs, vis-à-vis de la propagation verticale du feu, les murs de façade en béton THERMICAT (THERMICAT 0,53 LC25 et LC30 ainsi que THERMICAT 0,45 LC25 et LC30) participent au « C+D ».

## 5.5 Résistance au séisme

Le procédé est utilisable en zone sismique 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié. Le dimensionnement est conduit selon les spécificités mentionnées au §5.1 du dossier technique.

Les hypothèses de dimensionnement courantes d'un bâtiment comportant des murs en THERMICAT sont décrites et développées en annexe 1.

Les murs en THERMICAT peuvent être des éléments primaires ou secondaires, au sens de la NF EN 1998-1 § 4.2.2.

## 6. Performances thermiques

Les murs en THERMICAT constituent une réponse à l'exigence d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments sans changer les méthodes constructives traditionnelles : ITI et ITE.

Le procédé permet de traiter les ponts thermiques dans les zones de liaison entre les murs extérieurs et la structure interne au niveau desquelles l'isolation thermique rapportée est interrompue. Ainsi, les murs extérieurs en THERMICAT, en limitant les déperditions par les ponts thermiques, écartent les risques de condensation.

Les coefficients de transmission linéiques des liaisons se calculent au cas par cas, conformément à la norme NF EN ISO 10211.

BÉTON VICAT fournit des valeurs de coefficients de ponts thermiques utilisables pour les calculs thermiques réglementaires intégrant des murs en THERMICAT.

## 7. Performances acoustiques

Des essais acoustiques réalisés au CSTB, complétés par des simulations numériques (CSTB), donnent les valeurs de performances acoustiques mentionnées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 5 : Performances Acoustiques des murs THERMICAT seuls**

| Épaisseur du voile $e$<br>Tous les THERMICAT | Rw (C ; Ctr) en dB<br>sans doublage |
|--|-------------------------------------|
| 16 cm  | 53(-2 ; -6)                         |
| 18 cm  | 54(-1 ; -6)                         |
| 20 cm  | 55(-1 ; -6)                         |

## 8. Mise en œuvre

La mise en œuvre des bétons THERMICAT est identique à celle d'un béton banché standard en référence à la norme NF 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).

BÉTON VICAT assure une information technique auprès des entreprises et porte une attention particulière aux dispositions suivantes :

### 8.1 Coffrage

La fluidité importante du THERMICAT 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.

### 8.2 Coulage

L'organisation des coulages se déroule généralement comme suit :

- Les voiles en THERMICAT,
- Les planchers et les voiles de refends.

A l'arrivée de la toupie sur le chantier, l'étalement du béton est vérifié.

Il doit être soit S4 ou S5, soit être SF1 ou SF2.

Pour les affaissements S4 et/ou S5 :

- Le coulage s'effectue par passes successives de 50 cm pour les affaissements S4 ou S5 uniquement.
- La vibration se déroule au fur et à mesure, celle-ci doit être soignée pour obtenir un aspect de parement homogène. Il est conseillé d'utiliser une aiguille vibrante standard de 50 mm de diamètre.

Pour l'étalement SF1 et SF2 (auto-plaçant), aucune vibration n'est nécessaire pour la mise en œuvre. Toutefois, la chaussette de diamètre 100 mm doit descendre au plus bas et remonter en même temps que le remplissage. En cas d'impossibilité à introduire la chaussette, des tubes plongeurs sont à prévoir.

La température extérieure lors du coulage doit être  $>$  à 5°C et ce également pendant les 24 heures suivant le coulage.

Tout besoin ou adaptation spécifique aux conditions climatiques ou à la mise en œuvre nécessite une acceptation de BÉTON VICAT.

### 8.3 Décoffrage

L'enlèvement des mannequins de fenêtre ou de porte fenêtre doit se dérouler préférentiellement, juste après le décoffrage des banches.

Sous réserve des précautions d'emploi décrites ci-dessous, les bétons THERMICAT permettent d'obtenir des parements identiques à ceux d'un béton de densité courante :

- les banches doivent être correctement nettoyées et huilées, avec de préférence l'utilisation d'une huile de synthèse pour des  $T < 10^\circ\text{C}$  ;
- la fluidité de ces bétons étant importante, l'étanchéité des coffrages (pied de coffrage, mannequins) doit être soignée.

### 8.4 Phasage de la mise en œuvre

Le phasage de la mise en œuvre et des coulages est relaté en Annexe 2 du dossier technique selon les cas.

*Note : L'utilisation de boîtes d'attentes entre le voile de façade et la dalle intérieure est incompatible avec la réalisation d'un balcon. Par conséquent, seuls les cas A2-1, A2-2, A2-3 et A2-5 de l'annexe 2 du Dossier Technique permettent l'utilisation de boîtes d'attente à mettre en œuvre dans le coffrage du voile.*

Dans le cas des balcons coulés, il 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 THERMICAT. 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).

## 9. Finitions, percements et fixations

### 9.1 Finitions intérieures

Les conditions d'utilisation et de mise en œuvre des complexes de doublage rapportés sur les murs extérieurs en THERMICAT isolés par l'intérieur sont les mêmes que celles pour les bétons de densités courantes.

Dans le cas des autres finitions prévues sur les murs extérieurs en THERMICAT isolés par l'extérieur, les conditions d'utilisation et de mise en œuvre sont également possibles dans les mêmes conditions que pour des murs en béton de densité courante.

### 9.2 Finitions extérieures

Dans le cas de murs extérieurs en THERMICAT isolés par l'intérieur, toutes les finitions admises sur les bétons de densité courantes sont admises. Et ce, notamment :

- Les enduits de mortier conformément aux prescriptions du DTU 26.1.
- Le béton laissé apparent répondant à l'exigence de la classe d'exposition. Ces surfaces peuvent recevoir des finitions de types peintures, lasures-béton, hydrofuges etc. ;
- Les revêtements collés céramiques et assimilés et pierres naturelles conformément aux prescriptions du DTU 52.2 P1-1-2, à condition de vérifier la compatibilité entre le mortier-colle et le support en THERMICAT. Le mortier-colle utilisé doit être certifié C2-S1/S2 et pour l'application en façade. La preuve de la compatibilité entre le support THERMICAT 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  $\geq 1$  MPa selon la norme d'essai EN 1348 ;
  - Adhérence par traction après cycles de gel-dégel  $\geq 1$  MPa selon la norme d'essai EN 1348 ;
  - Cisaillement après action de la chaleur selon l'annexe du DTU 52.2 P-2 avec une contrainte mesurée  $> 0,7$  MPa.

Le mortier colle C2S1 Collifaçade répond aux différentes exigences de compatibilité.

Dans le cas de murs extérieurs en THERMICAT isolés par l'extérieur, seule l'utilisation des fixations mécaniques est admise. Les chevilles à utilisés doivent être indiquées dans l'AT ou DTA du système ETICS, et, elles devront être évaluées conformément :

- Au cahier du CSTB 3035 V2 Annexe 2 systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé ;
- Aux spécifications des chevilles décrites au 9.3 du présent dossier technique pour les éléments rapportés de type bardage, etc.

### 9.3 Fixations

L'utilisation de chevilles de fixations est possible dans du béton THERMICAT. 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 THERMICAT.

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 THERMICAT, 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 « Recommandations à l'usage des professionnels de la construction pour la réalisation d'essais de chevilles sur site (ou sur chantier) »

### 9.4 Percements

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

### 9.5 Dispositions constructives relatives aux balcons et aux loggias

Les balcons et les loggias doivent ou pas recevoir un revêtement d'étanchéité selon les précisions des Documents Particuliers du Marché (DPM).

Dans le cas d'un balcon préfabriqué, un revêtement d'étanchéité doit être interposé entre les balcons préfabriqués et le mur de façade afin d'éviter tout risque d'infiltration.

Les balcons doivent présenter une pente d'au moins 1% vers l'extérieur du bâtiment, le caractère autoplaçant du THERMICAT impose la réalisation après coulage d'une forme.

L'annexe 3 du Dossier Technique donne des exemples.

Les principales côtes à respecter sont :

- Décrochement de 2 cm minimum entre l'arase supérieure du balcon et celle du plancher intérieur ;
- Pour les portes fenêtres : garde d'eau de 5 cm minimum au-dessus de l'arase supérieure du balcon. Il convient aussi de procéder à un entretien régulier afin d'éviter toute rétention d'eau en surface du balcon.

## 10. Conditions d'exploitation

Calcul des structures :

Il est réalisé par le Bureau d'Etudes Techniques (B.E.T.) de l'opération, en tenant compte des spécificités du procédé développées dans le présent Avis Technique et des autres parties d'ouvrage associées (planchers coulés en place, planchers préfabriqués). Ainsi, le B.E.T. coordonne l'ensemble des informations utiles à la conception et au dimensionnement. Le calepinage et les plans d'exécution sont effectués par le B.E.T.

BÉTON VICAT pourra intervenir à la demande comme conseiller, pour l'aide à la conception des ouvrages à réaliser en THERMICAT.

Calcul thermique :

Il est réalisé par le Bureau d'Etudes Thermique de l'opération, en tenant compte des spécificités du procédé développées dans le présent Avis Technique. BÉTON VICAT pourra intervenir à la demande comme conseiller, pour l'aide à la conception des ouvrages à réaliser en Thermicat. BÉTON VICAT pourra également fournir les valeurs de ponts thermiques intégrant le procédé THERMICAT.

Mise en œuvre :

Elle est réalisée par l'entreprise titulaire du marché. BÉTON VICAT assure l'information et l'aide aux entreprises qui en font la demande pour le démarrage d'un chantier afin de préciser les dispositions spécifiques de mise en œuvre du procédé. Cette assistance ne peut être assimilée ni à la conception de l'ouvrage, ni à la réception des supports, ni à un contrôle des règles de mise en œuvre, ces dernières étant décrites dans le présent document, il appartient à l'entreprise applicatrice de les respecter.

## B. Résultats expérimentaux

### Matériaux

- Caractérisation du THERMICAT 0,45, rapport d'étude synthétisant l'ensemble des propriétés mesurées : compression, fendage, module d'élasticité, retrait total, conductivité thermique sèche et masse volumique sèche, SIGMA BÉTON, R&D2017FC14, 3 avril 2018
- Caractérisation du THERMICAT 0,53, rapport d'étude synthétisant l'ensemble des propriétés mesurées : compression, fendage, module d'élasticité, retrait total, conductivité thermique sèche et masse volumique sèche, SIGMA BÉTON, R&D2017FC15, 20 novembre 2017

### Structure

- Étude de dimensionnement des différentes parties d'ouvrages (voiles et balcons) et d'un ouvrage (collectif) selon l'Eurocode 2 et son annexe nationale, BETREC, rapport BETREC N° 17208, 29 mars 2018
- Rapport relatif à l'utilisation du BIS THERMICAT en façade d'immeuble en zone sismique, expertise matériau et étude paramétrique effectuée sur un collectif en situation sismique, M. Philippe BISCH, Rapport VICAT 22052018BISCH, EGIS INDUSTRIE, 22 mai 2018
- Essais de compression sur THERMICAT sous sollicitations statiques et cycliques, LMC<sup>2</sup>, janvier 2018
- Rapport des essais de cyclage. SIGMA BÉTON, R&D2017JFo24, novembre 2017
- Essais d'adhérence des armatures. SIGMA BÉTON, R&D2017JFo25, novembre 2017
- Appréciation de laboratoire, CERIB, AL 010945 BV\_THERMICAT, 22\_03\_2018

### Acoustique

- Rapport d'essais CSTB R15 26060451 concernant un voile THERMICAT
- Rapport d'étude CSTB AC15 26060451 concernant la simulation de la performance acoustique d'un voile THERMICAT

### Thermique

- Rapports d'essai LNE, Dossier P173269 – Document DE/4, avril 2017
- Rapport d'étude du coefficient de passage  $\lambda_{sec}$  à  $\lambda_u$ , SIGMA BÉTON, R&D2017 BM07, juillet 2017

### Fixations

- Rapports d'essais HILTI n°34217, 34218 et 34219, novembre 2017

### Finitions

- Rapports d'essais sur les enduits extérieurs, VPI, REF 18-010 et REF 18-011, avril 2018
- Rapport d'essais de compatibilité de colles sur béton Thermicat, VPI, REF 18-012/18-16647-564 rapport de Applus, avril 2018
- Essais d'adhérence des colles pour collage de complexes de doublage isolant, SIGMA BÉTON, PIC64 Indice2, juillet 2016

## C. Références

### C.1 Données environnementales

Le procédé « Murs extérieurs isolants structurels en THERMICAT » ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés.

### C.2 Références chantier

Plus de 5000 m<sup>3</sup> sur environ 30 chantiers

- Le Bell 'vue, 830 m<sup>3</sup>, Juillet 2016, La Valette du Var 83160, Maître d'Ouvrage : S.P.L.M 83160 La Valette du Var, Entreprise : Léon Grosse Aix en Provence, Contrôleur technique : Bureau Veritas La Valette du Var. Réalisation des voiles de façades pour des locaux commerciaux au Rdc et 87 Logements en R+7.
- Le Casanova, 296 m<sup>3</sup>, Mai 2016, Toulon, 83000, Maître d'Ouvrage : SEGEPRI 83400 Hyères, MGB constructions 06200 Nice, Contrôleur technique : Bureau Veritas 83160 La Valette du Var – 04 94 14 19 41. Réalisation des voiles de façades 47 Logements.
- Coeur de Village, 100 m<sup>3</sup>, Mai 2016, Fréjus 83370, Maître d'Ouvrage : ROXIM- SCI les Platanes 34000 Montpellier, FRECOSUD 83600 Fréjus, Contrôleur technique : SOCOTEC 83700 Saint Raphaël. Réalisation des voiles de façades 16 Logements
- Villa Praetoria, 80 m<sup>3</sup>, Novembre 2016, Saint-Raphaël, 83700, Maître d'Ouvrage : ANDELIM 83700 Saint-Raphaël, Entreprise : FRECOSUD 83600 Fréjus, Contrôleur technique : SOCOTEC 83700 Saint Raphaël. Réalisation des voiles de façades 12 Logements
- Les Calanques de St Aygulf, 116 m<sup>3</sup>, Mai 2016, Saint-Aygulf, 833370, Maître d'Ouvrage : SCI SAINT-AYGULF BERLIOZ, Entreprise : FRECOSUD 83600 Fréjus, Contrôleur technique : BTP Consultants 06580 VALBONNE. Réalisation des voiles de façades 20 Logements
- Les Jardins d'Ozoir, 400 m<sup>3</sup>, Octobre 2017, Ozoir-La-Ferrière 77330, Maître d'Ouvrage : France Pierre, Entreprise : UEC, Contrôleur Technique : SOCOTEC. Réalisation des voiles de façades de 122 logements
- Saône Park, 1300 m<sup>3</sup>, 2016 – 2017, Vaise, 69009, Maître d'Ouvrage : SSCV Lyon Dock – Demathieu & Bard Immobilier 69727 GENAY, Entreprise : BLB, 480 Rue Thimonnier, 69730 Genay, Contrôleur technique : Bureau Veritas 69570 Dardilly. Réalisation des voiles de façades de 207 Logements
- Le domaine de Flore, 100 m<sup>3</sup>, Juillet 2017, Fleurieux-sur-l'arbresle, 69210, Maître d'Ouvrage : SARL le domaine de Flore – IMMO DEVELOPPEMENT 69210 FLEURIEUX SUR L ARBRESLE, Entreprise : BADOUT 69310 Pierre-Bénite, Contrôleur technique : Bureau Veritas 69570 Dardilly. Réalisation des voiles de façades de 12 Logements
- Le Beaurevoir, 300 m<sup>3</sup>, 2017 – 2018, Seyssins 38360, Maître d'Ouvrage : SAFILAF 38000 Grenoble, Entreprise : DCC 38000 GRENOBLE, Contrôleur technique : SOCOTEC, 38130 Échirolles. Réalisation des voiles en matrice

---

## Annexe 1 : Calcul sismique

---

### A1-1 Modélisation

#### A1-1.1 Rigidité des éléments en béton armé

Le béton « courant » et le béton THERMICAT ont des modules différents et cela doit être correctement pris en compte dans la modélisation du bâtiment pour le calcul sismique :

- Les éléments en béton armé courant doivent être considérés avec un module d'Young instantané conformément à la NF EN1992-1-1.
- Les éléments en THERMICAT doivent être considérés avec un module sécant issu des tests effectués en cyclique sur échantillons. Par homogénéité avec le béton courant, cette valeur sécante est évaluée à  $0,4 f_c$ . A défaut de valeurs proposées par le fabricant, la valeur de module d'Young à prendre en compte est celle donnée par la NF EN 1992-1-1, chapitre 11.
- Il est rappelé que, conformément à la NF EN 1992-1, le coefficient de Poisson est pris égal à 0 à l'ELU pour le béton courant (compte tenu de la fissuration). Il est admis la même valeur pour le THERMICAT.

Il est rappelé que les valeurs moyennes doivent être utilisées pour les calculs de structure, alors que les valeurs caractéristiques à 5 % sont utilisées pour les vérifications de résistance.

Pour le calcul sismique, la NF EN 1998-1 prescrit que l'inertie fissurée doit être pris en compte pour la modélisation de la rigidité des éléments en béton armé. Cette inertie fissurée peut être évaluée :

- Sur la base de la définition donnée dans la NF EN 1998-1
- En utilisant les tables d'abattement sur l'inertie non fissurée trouvées dans la littérature.
- À défaut, par un abattement uniforme de 50 % sur tous les éléments structuraux primaires.

Quelle que soit la méthode utilisée pour prendre en compte la fissuration, ce doit être la même pour le béton courant et le THERMICAT. Néanmoins, il peut se produire que, pour certaines configurations et des niveaux faibles de séisme, les façades et/ou les voiles intérieurs restent comprimés. Dans ce cas, l'abattement ne doit pas être pratiqué sur ces éléments. Un cas intermédiaire peut se présenter, avec des éléments comprimés en vertical, mais tendus en horizontal (par exemple à cause du retrait) ; dans ces situations, un choix de compromis peut être fait, par exemple avec un abattement de 75 %.

Finalement, l'abattement sur la rigidité doit être pratiqué avec discernement dans les éléments de façade, car cela contrôle la répartition des efforts entre intérieur et façade, et il y a lieu de se placer du côté de la sécurité pour les façades afin de ne pas sous-estimer les efforts qui les sollicitent. Il convient donc de ne pas sous-estimer la raideur des façades.

#### A1-1.2 Choix du type de structure primaire

Les valeurs de rigidité étant fixées, les murs de façade peuvent être considérés comme :

- Des éléments secondaires si les limites correspondantes données dans la NF EN 1998-1 sont respectées, auquel cas les efforts dus à la sollicitation sismique sont totalement équilibrés par les murs intérieurs en béton courant.
- Des éléments primaires, ils participent donc à la reprise des efforts sismiques, le mode de fonctionnement structurel et les vérifications correspondantes doivent être adaptés aux propriétés du matériau. Le THERMICAT ne dispose pas de ductilité et ne peut donc pas être utilisé dans un système structurel dont le fonctionnement est basé sur la ductilité. Cela exclut notamment de pouvoir considérer la structure primaire comme système de murs ductiles. En revanche, comme le comportement non linéaire de ce type de murs est dû à une non-linéarité géométrique, un système de murs incluant des murs en THERMICAT peut relever des murs en béton faiblement armé, sous réserve des limites données dans la NF EN 1998-1 pour ce type de murs.

#### A1-1.3 Classe de ductilité

Dans le cadre énoncé au paragraphe précédent :

- En classe DCL, il n'y a pas de dispositions particulières à adopter autres que celles de la NF EN 1992-1-1 en respectant la classe d'armatures imposée par la NF EN 1998-1 et en procédant au calcul sismique avec les vérifications particulières au THERMICAT données au § A1-3. Les seules limites à l'utilisation de la classe DCL sont celles données par l'Annexe Nationale de la NF EN 1998-1. Le coefficient de comportement  $q$  est limité à 1,5.
- En classe DCM, en respectant les dispositions constructives de la NF EN 1998-1 pour les murs de grande dimension, et en faisant les vérifications particulières au THERMICAT données au § A1-3. La valeur du coefficient de comportement  $q$  est au maximum celle donnée par l'application de la NF EN 1998-1 et doit être limitée à 2.
- En classe DCH, elle n'est pas autorisée pour ce type d'éléments structuraux.

### A1-2 Méthodes de calcul sismique

Les méthodes de calcul sismique doivent être conformes à la NF EN 1998-1, en respectant leurs limites d'utilisation. L'excentricité accidentelle doit être prise en compte suivant les méthodes indiquées dans la norme.

L'exploitation des calculs doit faire apparaître la répartition des efforts tranchants à la base entre les murs en béton courant et les façades en THERMICAT, et l'état de contrainte dans les trumeaux et linteaux des éléments de façade. Cela doit permettre de justifier des choix faits pour la rigidité des éléments (cf. §A1-1.1)

Il est attiré l'attention sur les points suivants :

- Le fait d'avoir en façade des voiles de contreventement en THERMICAT moins raides que des voiles en béton courant peut entraîner une sensibilité à la torsion n'existant pas dans le cas du béton courant. C'est le cas lorsque les premiers modes contiennent une part significative de torsion, ce qui s'apprécie en visualisant la déformée des modes ; la vérification finale doit alors être effectuée sur un modèle 3D.

- Compte tenu de la flexibilité des voiles de façade vis-à-vis de la flexion hors plan, des modes associés à peu de masse totale peuvent être importants pour ces flexions locales. Il convient de les prendre en compte dans le calcul pour vérifier ces flexions locales hors plan.
- Une autre conséquence de la flexibilité des façades est que la masse du bâtiment peut être dispersée dans beaucoup de modes. La masse des modes ayant une période inférieure à 0,02 s peut être prise en compte dans un mode résiduel.
- Le comportement dynamique d'ensemble, notamment la répartition des masses entre les modes, est notablement différent selon qu'on considère la façade en béton courant ou en THERMICAT. Il n'est donc pas possible d'extrapoler le calcul dynamique d'une situation à l'autre.
- Les façades en THERMICAT sont moins chargées sous l'effet des charges permanentes que les façades en béton courant (pour une même épaisseur). Il en résulte que les trumeaux peuvent subir des tractions plus élevées sous l'effet du séisme.
- La plus faible raideur des voiles de façade en THERMICAT entraîne un report des efforts sismiques vers les voiles intérieurs, par rapport à la situation où tous les voiles sont en béton courant. Il convient donc que les voiles intérieurs soient aptes à reprendre une part significative des efforts sismiques.

### A1-3 Vérification des éléments de façade en THERMICAT

Les vérifications doivent être faites dans les trumeaux et les linteaux par application de la NF EN 1992-1-1. Ceci nécessite dans chaque section d'élément, objet de la vérification (trumeau ou linteau), de constituer le torseur résultant (M, N, V) pour la vérification dans le plan de l'élément, selon les méthodes du béton armé. Les vérifications de flexion et stabilité hors plan doivent également être effectuées.

Il est attiré l'attention sur le fait que, pour le béton THERMICAT, le chapitre 11 de la NF EN 1992-1-1 s'applique.

Le calcul est effectué dans le même esprit que pour le béton courant, avec cependant les modifications particulières suivantes :

- Le comportement du matériau THERMICAT est quasiment linéairement élastique fragile. Le calcul de la section doit donc prendre en compte ce comportement :
  - Soit par un calcul similaire à celui effectué à l'ELS pour le béton courant. Dans ce cas, l'armature a un comportement élastique.
  - Soit par un calcul prenant en compte un comportement linéairement élastique du béton et élasto-plastique des armatures (conformément aux dispositions de la NF EN 1992-1-1)
- La déformation admissible du béton THERMICAT en compression cyclique dépend de la résistance du béton à la compression. Comme le béton THERMICAT a un comportement quasi élastique, cette déformation admissible correspond à une contrainte de compression admissible. Toutes les vérifications reposent donc sur la valeur de calcul de la résistance à la compression du béton. Celle-ci doit être définie à partir de la résistance caractéristique  $f_{ck}$  à la compression garantie par le fabricant.

En situation sismique, on détermine la valeur de calcul de la résistance à la compression  $f_{cd}$  du béton THERMICAT de la façon suivante :

$$f_{cd} = 0.4 \times f_{ck}$$

Note : Justification de la détermination du coefficient de réduction de 0,4 appliqué en situation sismique :

- Sous sollicitation cyclique, la résistance du béton léger est diminuée par rapport à la sollicitation monotone. Pour prendre en compte la dégradation cyclique, il y a lieu de prendre un  $\gamma_M$  égal à 1,3 pour traduire la dispersion statistique des résultats d'essais.
- Le second aspect est lié à la constitution même de l'Eurocode 8, pour lequel la valeur de  $a_g$  a une probabilité de 10% d'être dépassée au cours de la vie de l'ouvrage. C'est donc le code qui organise le comportement au-delà de la valeur de calcul en évitant les « effets falaises ». Ceci est fait en organisant la ductilité des éléments structuraux. Il est clair que dans le cas du THERMICAT, le béton a un comportement fragile qui limite fortement le comportement ductile à la flexion. Dans ce cas-là, il convient d'appliquer un coefficient de sécurité complémentaire  $\gamma_{RD}$  de l'ordre de 2 sur le mécanisme, ce qui n'est pas équivalent à appliquer un coefficient matériau  $\gamma_M$ .

Ainsi, la valeur de 0,4 est un coefficient résultant de la multiplication des deux valeurs ci-dessus.

---

## Annexe 2 – Mise en œuvre : Phasages

---

A2-1 Coupe étage courant – Dalle intérieure pleine suspendue

A2-2 Coupe étage courant – Prédalle intérieure suspendue

A2-3 Coupe étage courant – Prédalle intérieure suspendue avec boîte d'attente et règle magnétique

A2-4 Coupe étage courant – Balcon solidarisé et supporté : Cas du balcon coulé en THERMICAT

A2-5 Coupe étage courant – Balcon solidarisé et supporté : Cas du balcon coulé en béton courant

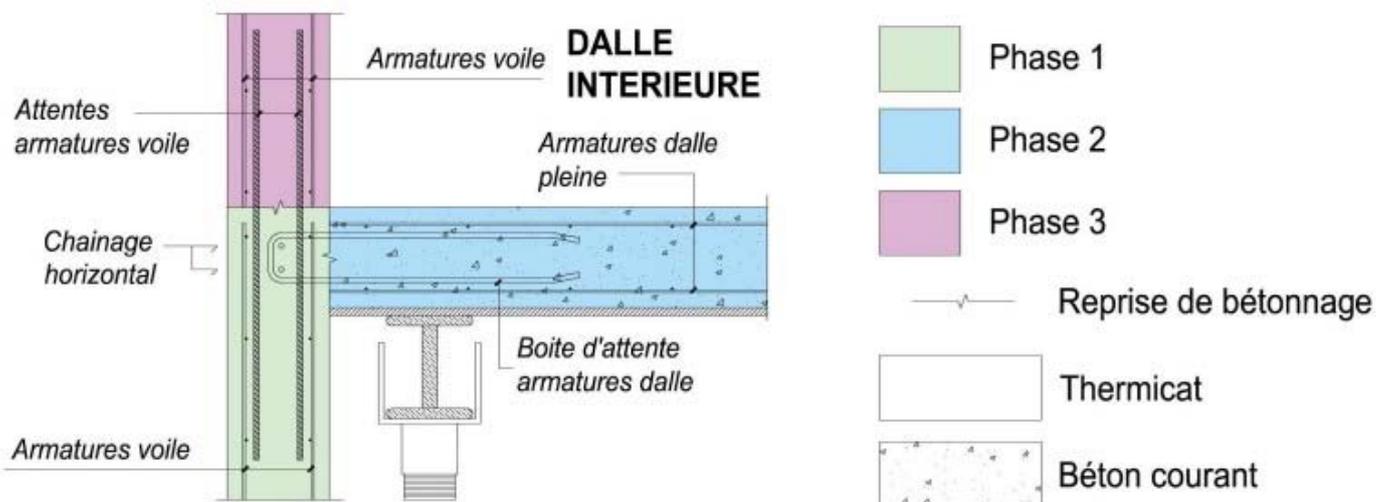
A2-6 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d'un dénivellement <4cm

A2-7 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d'un dénivellement >4cm

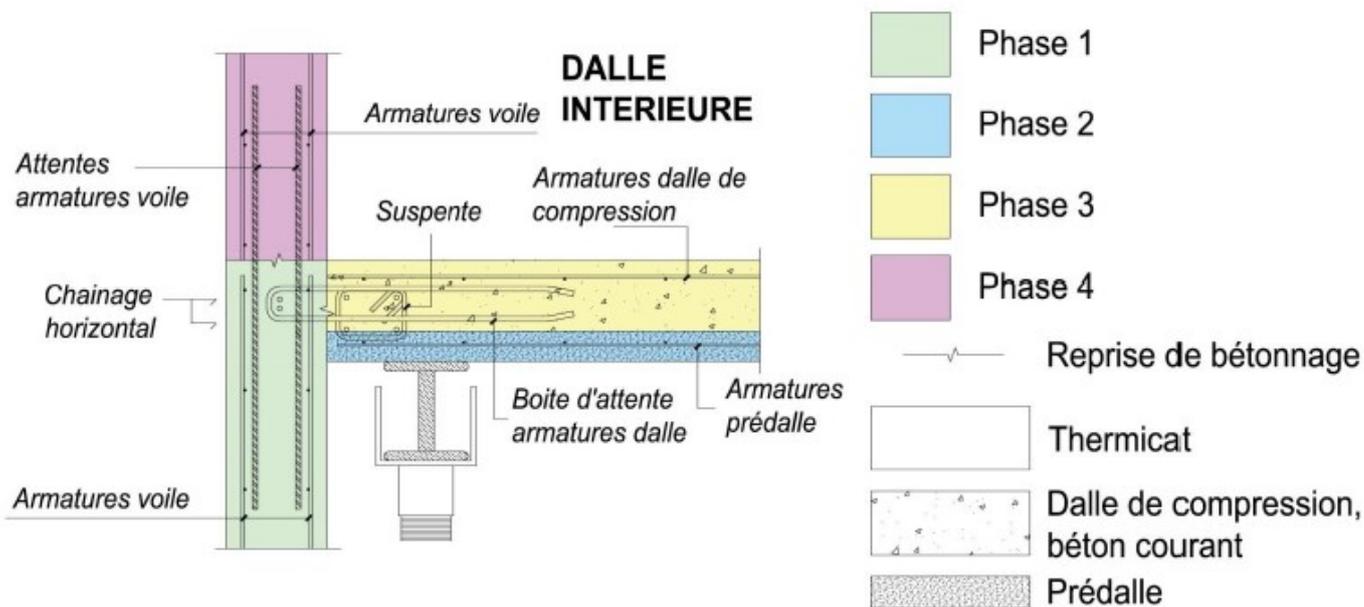
A2-8 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d'un dénivellement <4cm et d'un balcon coulé en béton courant

A2-9 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d'un dénivellement >4cm et d'un balcon coulé en béton courant

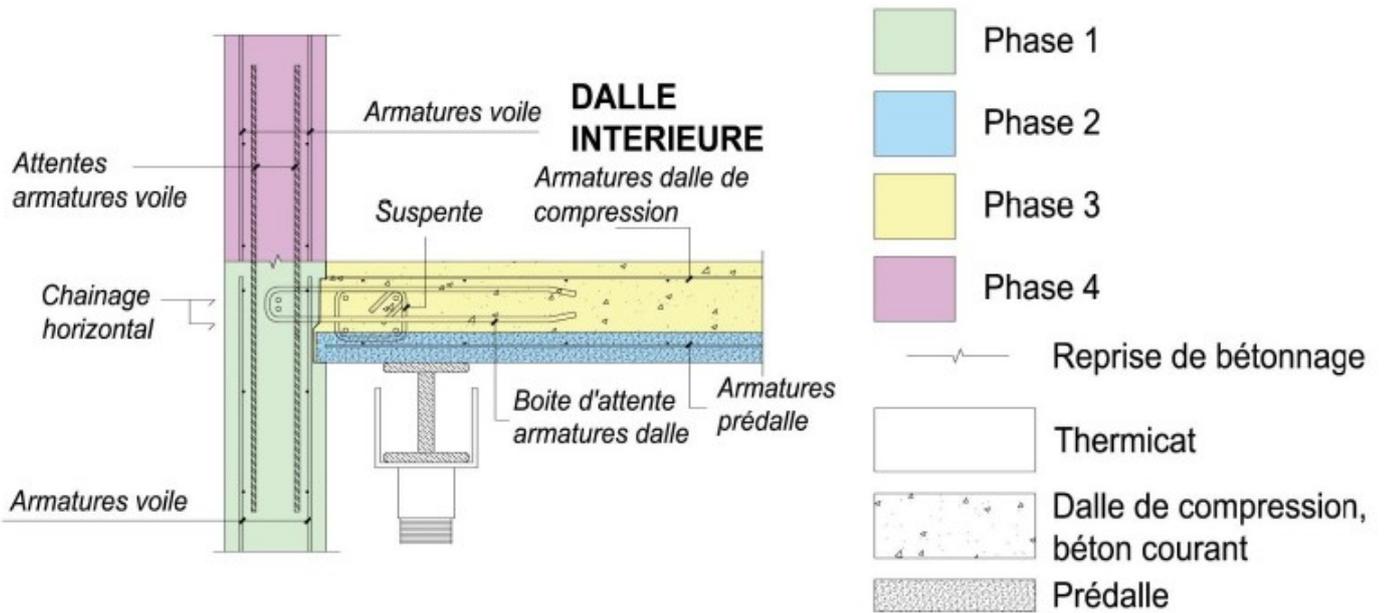
## A2-1 Coupe étage courant – Dalle intérieure pleine suspendue



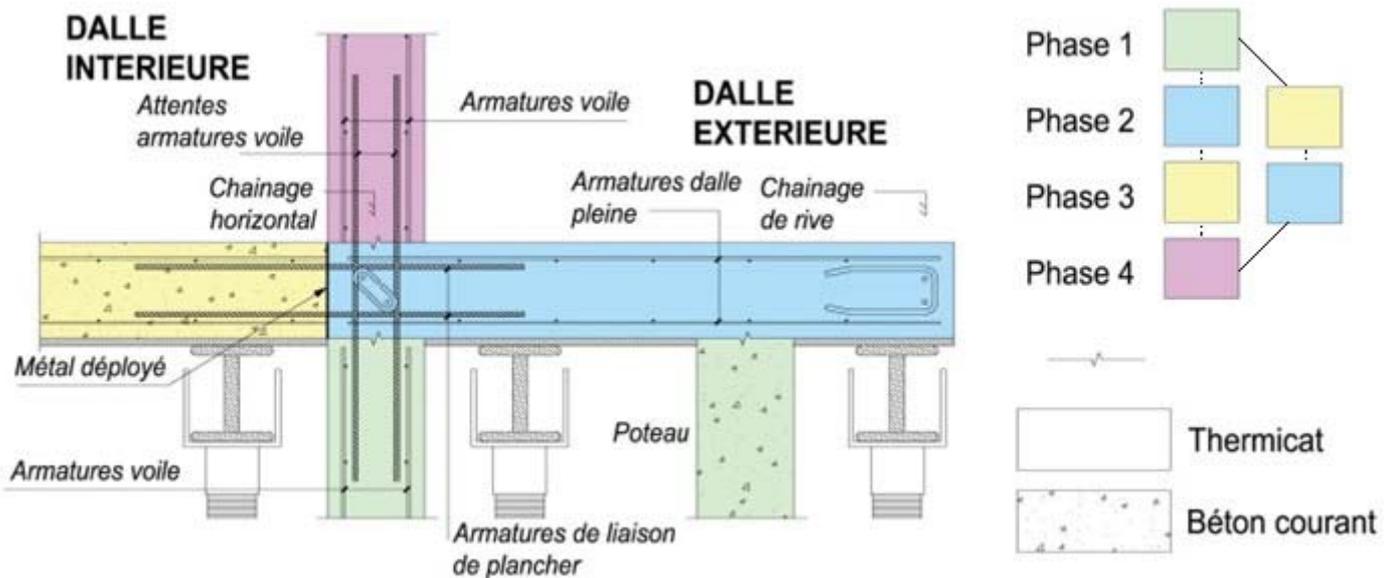
## A2-2 Coupe étage courant – Prédalle intérieure suspendue (hors zone sismique)



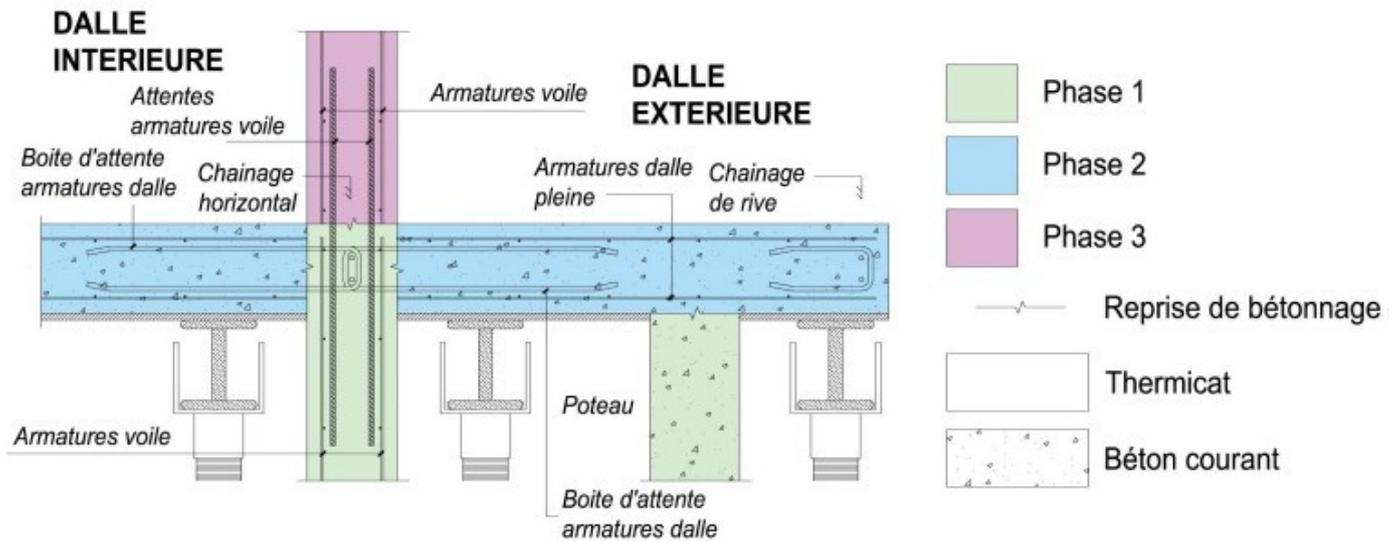
### A2-3 Coupe étage courant – Prédalle intérieure suspendue avec boîte d'attente et règle magnétique (LPPVE)



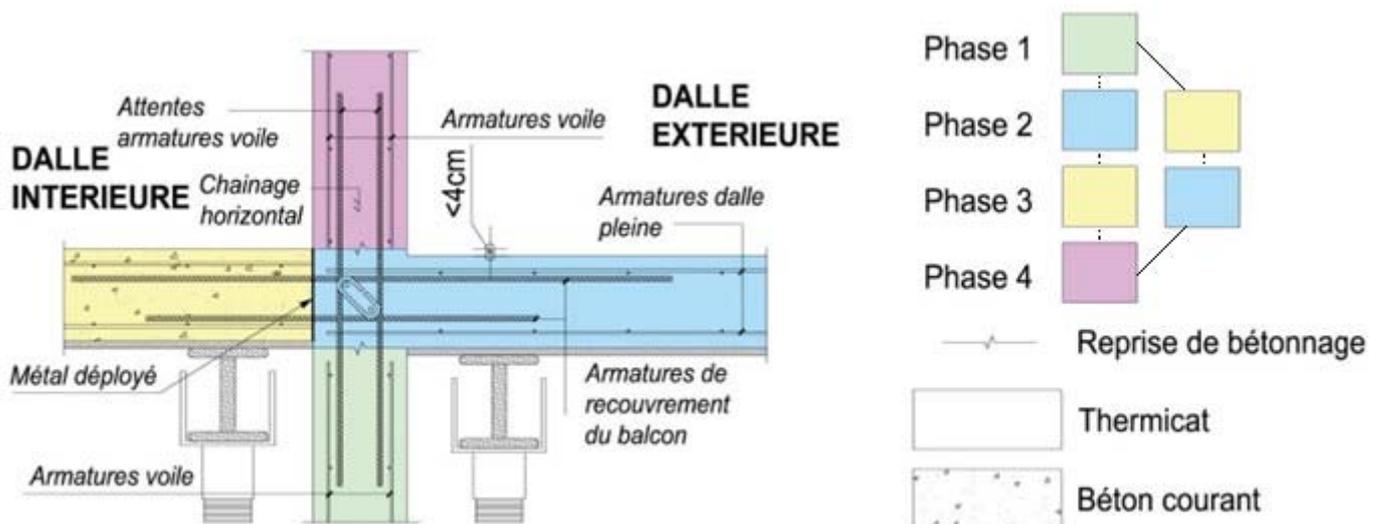
### A2-4 Coupe étage courant – Balcon solidarisé et supporté : Cas du balcon coulé en THERMICAT



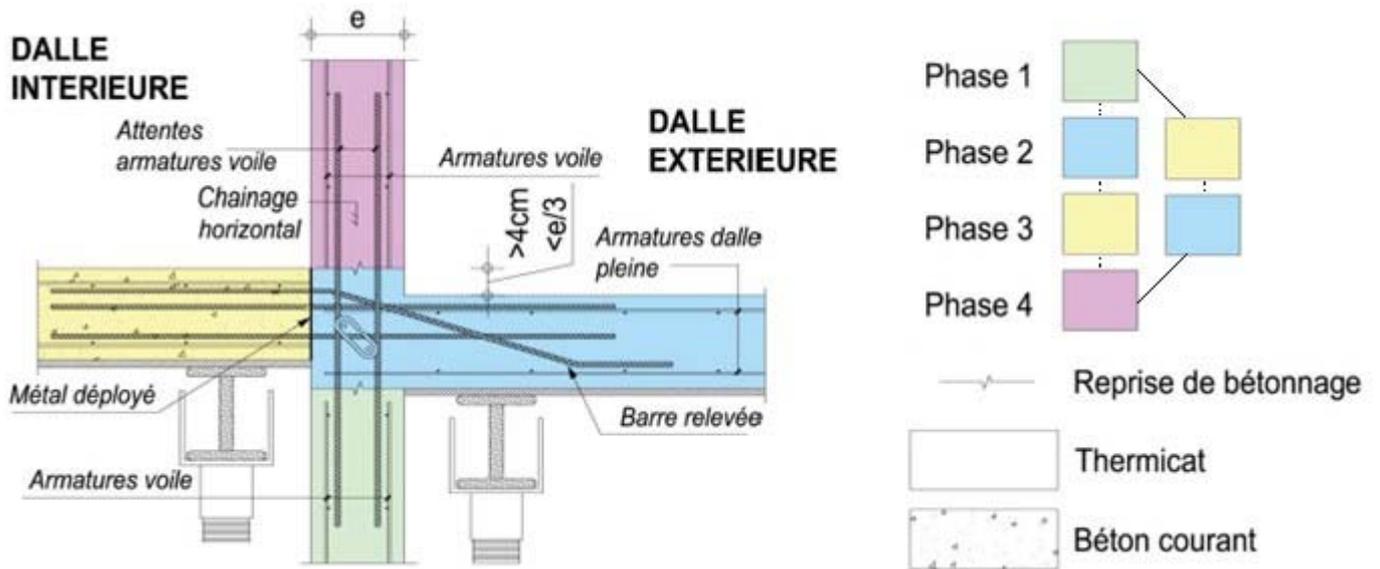
## A2-5 Coupe étage courant – Balcon solidarisé et supporté : Cas du balcon coulé en béton courant



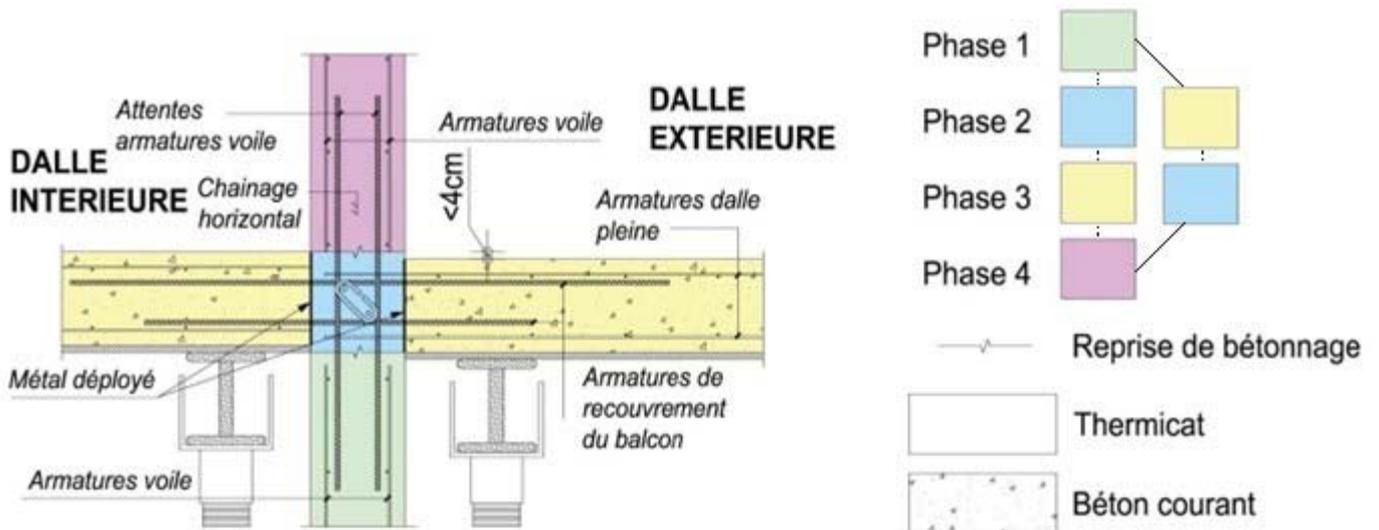
## A2-6 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d'un dénivellement < 4cm



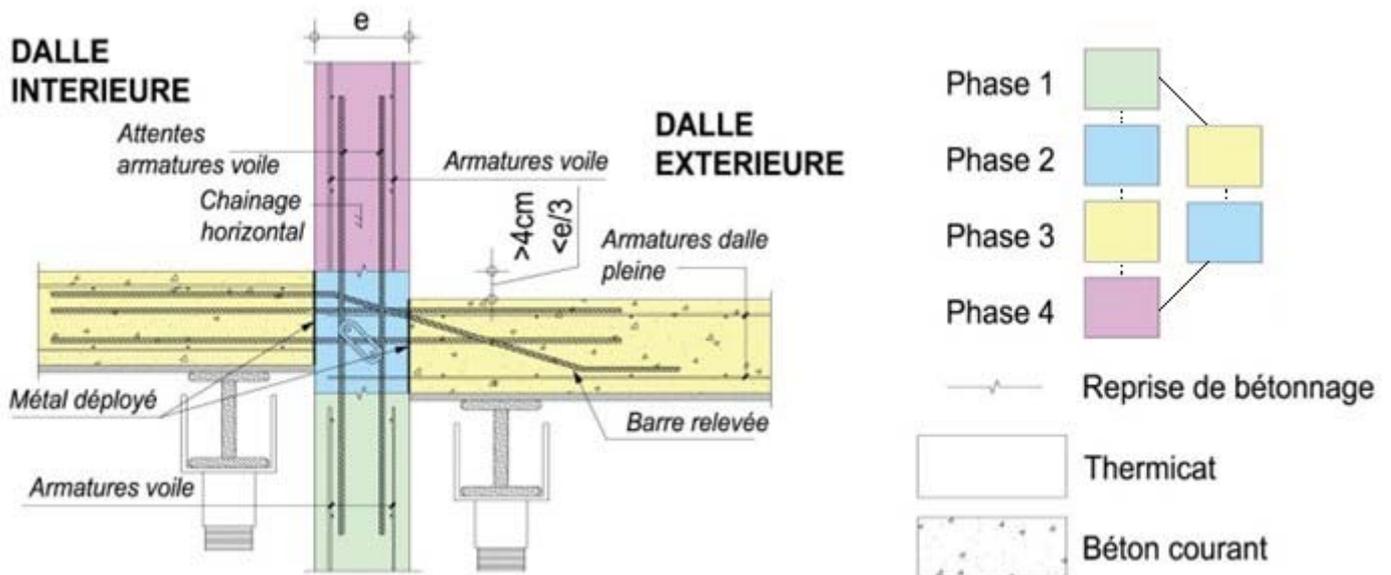
**A2-7 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d’un dénivellement >4cm**



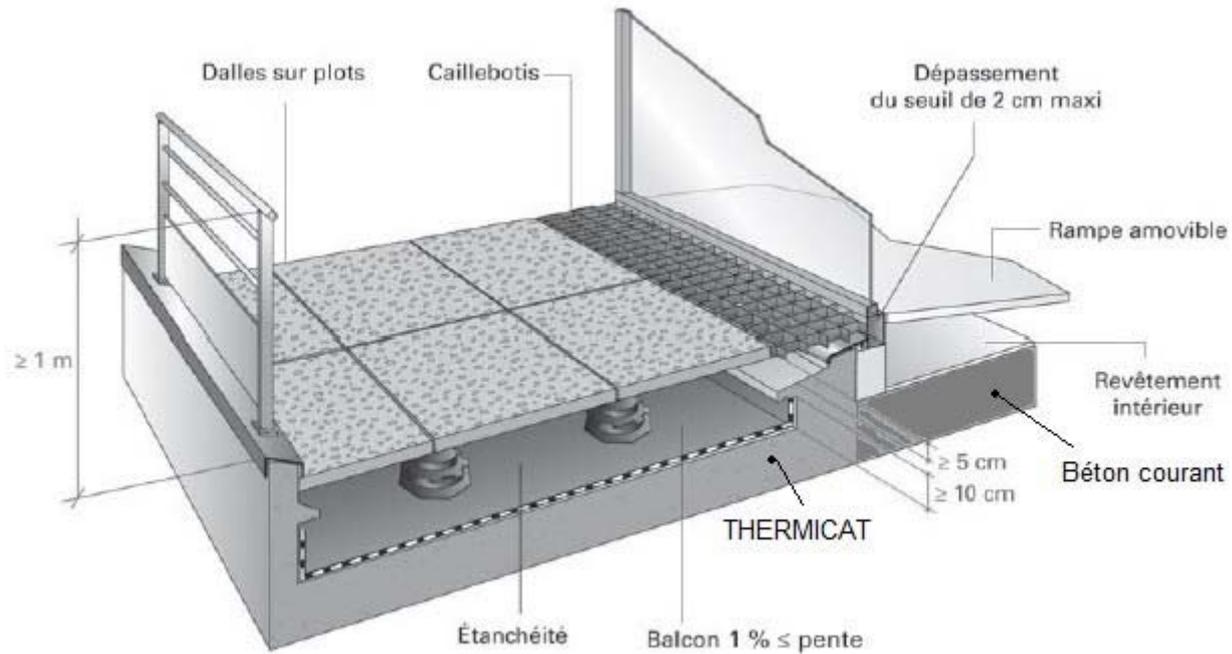
**A2-8 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d’un dénivellement <4cm et d’un balcon coulé en béton courant**



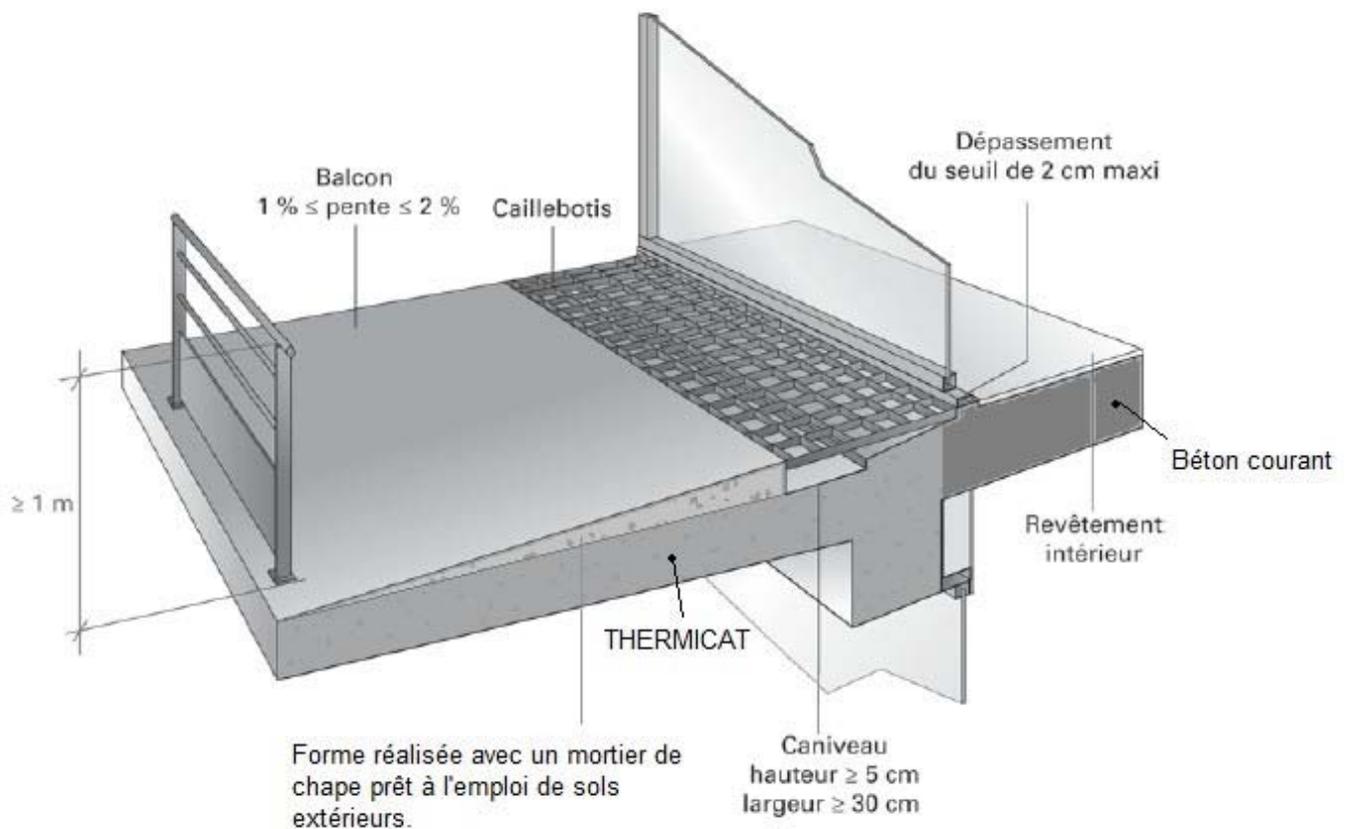
**A2-9 Coupe étage courant – Balcon solidarisé en porte-à-faux – Cas d'un dénivellement >4cm et d'un balcon coulé en béton courant**



## Annexe 3 – Dispositions constructives relatives aux balcons



**Balcon avec revêtement d'étanchéité et une garde d'eau assurée par un ressaut coulé en œuvre (dénivellement < à 4 cm)**



**Balcon sans revêtement d'étanchéité et une garde d'eau assurée par un caniveau (dénivellement > à 4 cm ; limiter le dénivellement entre les sous-faces du balcon et de la dalle du plancher au tiers de l'épaisseur du voile)**