

Procédés de rupteurs de ponts thermiques réalisés avec des éléments en béton armé formant des liaisons ponctuelles dans des planchers à dalles pleine ou coulés sur prédalles, entre lesquels sont intercalés des blocs d'isolants afin de désolidariser la dalle de la façade

Cahier des charges des éléments de justification à établir afin de justifier l'aptitude à l'emploi des rupteurs de ponts thermiques

Demander de l'étude :

SOCIETE : FRANCE THERMOPREDALLE

ADRESSE : 16 rue de Hirtzbach, 68200 MULHOUSE

Rédacteur(s)	Approbateur	Version	Date
Elodie MORAND	David HENRIQUES	1.0	12/07/2017
Elodie MORAND	David HENRIQUES	2.0	04/07/2017
Elodie MORAND	David HENRIQUES	3.0	10/07/2017
Elodie MORAND	David HENRIQUES	4.0	12/07/2017

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

Ce rapport d'étude comporte 25 pages.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION.....	4
2. RECENSEMENT DES EXIGENCES TECHNIQUES ET REGLEMENTAIRES EN REGARD DU DOMAINE D'EMPLOI ENVISAGE	4
2.1. STABILITE	4
2.1.1. Stabilité à froid	4
2.1.2. Sécurité incendie	7
2.2. THERMIQUE.....	9
2.2.1. Rappels concernant la Réglementation Thermique	9
2.2.2. Exigences générales à respecter	9
2.2.3. Justification de la prise en compte de la réglementation :	10
2.3. ACOUSTIQUE.....	10
2.4. ETANCHEITE DES TOITURES TERRASSES	11
2.5. RISQUE DE CONDENSATION.....	12
3. LISTE DES ELEMENTS DE PREUVE A FOURNIR AFIN DE JUSTIFIER L'APTITUDE A L'EMPLOI DES PROCEDES DE RUPTEURS VISES PAR L'ETUDE	12
3.1. STABILITE HORS VERIFICATIONS SISMIQUES	12
3.1.1. Résumé des justifications nécessaires.....	12
3.1.2. Principe des justifications	13
3.2. STABILITE - VERIFICATIONS COMPLEMENTAIRES EN ZONE SISMIQUE	18
3.2.1. Résumé des justifications nécessaires.....	18
3.2.2. Principe des justifications	18
3.3. VERIFICATION DE LA RESISTANCE AU FEU.....	19
3.3.1. Résumé des justifications nécessaires.....	19
3.3.2. Principe des justifications	19
3.4. PERFORMANCE THERMIQUE	20
3.4.1. Résumé des justifications nécessaires.....	20
3.4.2. Principes des justifications.....	20
3.5. PERFORMANCE ACOUSTIQUE	21
3.5.1. Résumé des justifications nécessaires.....	21
3.5.2. Principe des justifications	21
3.6. ETANCHEITE DES TOITURES TERRASSES	22
3.6.1. Résumé des justifications nécessaires.....	22
3.7. FABRICATION	23
3.7.1. Résumé des justifications nécessaires.....	23
3.8. MISE EN ŒUVRE	23
3.8.1. Résumé des justifications nécessaires.....	23

4. EXAMEN DE LA PERTINENCE DES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES PROPOSEES POUR CONTRIBUER AU RESPECT DES EXIGENCES TECHNIQUES ET REGLEMENTAIRES	24
4.1. APPORT DE LA CONTINUITÉ D'UNE PAROI BETON D'ÉPAISSEUR AU MOINS ÉGALE À 5 CM	24
4.2. PROTECTION DES ÉLÉMENTS D'ISOLATION CONTRE L'HUMIDITÉ	24
4.3. CARACTÉRISTIQUES DE COMPRESSIBILITÉ ET COMPATIBILITÉ POUR L'ADHÉRENCE DU PARE-VAPEUR DANS LE CAS D'UTILISATION EN TOITURE-TERRASSE	25
5. CONCLUSION	25

1. INTRODUCTION

Le Groupe d'Intérêt Economique « France THERMOPREDALLE » a sollicité le CSTB pour élaborer un cahier des charges des éléments de preuve à établir afin de justifier l'aptitude à l'emploi des procédés de rupteurs de ponts thermiques à appuis discontinus (au sens du guide RAGE « Mise en œuvre des rupteurs de ponts thermiques sous Avis Techniques » de Février 2013). Ces rupteurs sont réalisés avec des éléments en béton armé formant des liaisons ponctuelles dans des planchers à dalle pleine ou coulés sur prédalles, entre lesquels sont intercalés des blocs isolants qui règnent sur tout ou partie de la hauteur de la dalle afin de désolidariser la dalle de la façade.

Un rupteur de pont thermique (le procédé sera désigné dans la suite du document sous le nom « rupteur ») est un procédé visant à créer une coupure de continuité du gros œuvre entre la façade et la dalle, capable de transmettre des efforts de la dalle à la façade porteuse et permettant de diminuer le pont thermique linéique ψ à l'interface plancher/façade.

Le procédé permet de traiter les ponts thermiques au niveau des jonctions mur-plancher, prolongé ou non d'un balcon, en périphérie d'un bâtiment dont l'isolation est réalisée par l'intérieur.

Les ouvrages concernés par la présente étude sont les bâtiments munis de rupteurs (tel que décrits ci-dessus) utilisés au niveau de l'interface entre les planchers béton (dalle pleine ou coulé sur prédalle) et les façades en Isolation Thermique par l'Intérieur (ITI). **Les rupteurs considérés sont constitués de blocs d'isolant interrompus à intervalles réguliers par des nervures en béton armé.** Le procédé de rupteur est destiné à tous les niveaux de plancher (y compris toiture terrasse), à tout type de structure et à toutes les catégories d'importance de bâtiments, réguliers ou non. La présente étude est élaborée pour une utilisation des rupteurs en France Européenne pour les zones de sismicité 1 à 4 au sens de l'arrêté du 22/10/2010 modifié.

Les rupteurs de ponts thermiques continus (sans éléments en béton armé formant des liaisons ponctuelles entre le plancher et la façade) constitués de blocs d'isolant traversés par des barres ou des profilés en inox sont exclus du champ d'application du présent cahier des charges.

Le présent document s'articule autour de deux chapitres principaux : le chapitre 2 liste l'ensemble des exigences applicables au procédé et le chapitre 3 récapitule les justifications permettant de répondre à ces exigences.

2. RECENSEMENT DES EXIGENCES TECHNIQUES ET REGLEMENTAIRES EN REGARD DU DOMAINE D'EMPLOI ENVISAGE

2.1. Stabilité

2.1.1. Stabilité à froid

2.1.1.1. Généralités :

Le procédé de rupteur est un procédé structural constituant une coupure partielle de la jonction entre le plancher et la façade : **il participe donc à la stabilité globale de l'ouvrage et doit permettre de transmettre des efforts de la dalle à la façade porteuse.**

Le dimensionnement de la liaison façade/plancher a pour finalité de vérifier que $E_d \leq R_d$ avec E_d les effets des actions s'appliquant à la jonction façade/plancher et R_d la capacité résistante de la liaison.

En ce qui concerne la capacité résistante R_d d'une liaison munie de rupteur, les constatations suivantes s'imposent :

- Une amélioration de l'isolation thermique de la liaison plancher/façade implique une diminution de la section de béton, donc une réduction de la capacité résistante de la liaison.
- **Il n'est pas possible de caractériser analytiquement uniquement les performances mécaniques des nervures en béton armé situées entre deux blocs d'isolants** (raideur, ductilité cyclique, coefficient de comportement et résistance) car ce type de liaison ponctuelle n'est pas traité par les règles de calcul usuelles (NF EN 1992-1-1, NF EN 1998-1). La capacité résistante et la raideur des nervures béton armé doivent donc être préalablement caractérisées expérimentalement ou caractérisées analytiquement avec validation par essai afin de valider le niveau de sécurité du mode de dimensionnement envisagé (voir le §3.1.2.1 ci-dessous).

De plus, il n'est pas possible de proposer une hypothèse sécuritaire sur la raideur de la liaison pour les vérifications ultérieures. En effet, une raideur importante est défavorable pour les vérifications sous gradient thermique tandis qu'une raideur faible est défavorable pour la reprise des efforts de contreventement. Il est donc nécessaire de mesurer cette raideur expérimentalement, avec des conditions d'essais représentatives de la situation des rupteurs dans l'ouvrage.

La liaison traitée à l'aide de rupteurs doit être capable de transmettre les sollicitations concomitantes dues aux charges gravitaires (charges permanentes et d'exploitation rapportées par le plancher), de vent (transmission des efforts de contreventement à la jonction plancher/façade), de dilatation thermique, de retrait et sismiques qui s'appliquent au bâtiment (E_d) sous les combinaisons d'actions suivant l'EC0, à l'ELS et ELU dans toutes les situations de projet.

Les éléments porteurs de la liaison munie de rupteur doivent pouvoir continuer à transmettre les charges gravitaires, même lorsqu'ils sont soumis à des charges horizontales dues aux effets du vent, de la dilatation thermique de la façade, du retrait du plancher ou du séisme.

2.1.1.2. *Stabilité sous les efforts de contreventement (vent, séisme) :*

L'insertion des rupteurs dans la structure va modifier les caractéristiques mécaniques de la liaison plancher/façade porteuse (liaison continue → liaison discontinue : diminution de la raideur et de la section résistante de la liaison) et donc modifier le comportement structural de l'ouvrage.

L'insertion des rupteurs va notamment entraîner une redistribution des efforts de contreventement dans l'ouvrage (vent, séisme) dont il faut tenir compte dans le calcul de E_d . En effet, l'insertion de rupteurs vient assouplir la liaison plancher/façade. Or les efforts de contreventement transitent dans les éléments porteurs au prorata de leur raideur et de celle de la liaison discontinue plancher/façade. La redistribution des efforts sur les éléments de contreventement verticaux va donc se trouver modifiée.

2.1.1.3. *Cas particulier du séisme*

Vis-à-vis du séisme, la structure doit être conçue et construite de manière à résister aux actions sismiques de calcul, sans effondrement local ou général, conservant ainsi son intégrité structurale et une capacité portante résiduelle après l'évènement sismique. Pour satisfaire à ces exigences fondamentales de performance, **il conviendra de vérifier la capacité résistante sous sollicitation dynamique des**

rupteurs (fonction diaphragme du plancher → cisaillement horizontal / fonction tirant-buton du plancher → traction-compression) et l'influence des rupteurs sur le comportement dynamique de l'ouvrage (fréquence propre, redistribution des efforts, coefficients de comportement q).

2.1.1.4. *Prise en compte des effets de la dilatation thermique et du retrait :*

Le gradient thermique peut avoir un effet important sur la liaison plancher/façade munie de rupteurs : en effet, il y aura un écart significatif de température entre la façade (ambiance extérieure soumise aux variations météorologiques) et le plancher (ambiance intérieure relativement constante). La présence de blocs d'isolant incorporés à la jonction entre le plancher et la façade va modifier l'effet des actions thermiques en accentuant le gradient thermique différentiel entre la façade et le plancher : il conviendra donc de tenir compte de cet impact dans le dimensionnement de la liaison plancher/façade. Effectivement, l'augmentation de l'effet de l'action thermique et la réduction de la section résistante de béton mobilisée à la jonction plancher/façade conduit à augmenter la sensibilité de l'ouvrage vis-à-vis des effets de la température qui ne peuvent pas être négligés même dans le cas de bâtiments séparés par des joints de dilatation selon les prescriptions de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.

En hiver, la façade va se contracter sous les effets des basses températures, ce qui n'est pas le cas du plancher, qui sera isolé thermiquement de la façade et donc uniquement soumis à une température de 20°C constante à l'intérieur du bâtiment. En été, au contraire, la façade va se dilater sous les effets des hautes températures. Dans les deux cas, les rupteurs situés à l'interface entre la façade et le plancher seront soumis à un déplacement imposé dû à la dilatation thermique. **Sous l'effet des cycles de dilatation/contraction de la façade, il y a un risque de défaillance de la liaison plancher/façade, n'assurant plus la reprise des efforts verticaux.** Il conviendra notamment de s'assurer de la non-plastification des rupteurs à l'ELS sous combinaison fréquente sous l'effet des phénomènes de dilatation thermique. En effet, en cas de plastification sous l'effet des cycles de chargement thermique à l'ELS (de nature cyclique et alternée : cycles journalier et saisonniers de température), il y a un risque de rupture par fatigue (rupture brutale suite à un endommagement cumulé) du rupteur thermique : ce risque n'est pas acceptable et doit être correctement appréhendé.

Etant donné la discontinuité de la jonction entre le plancher et la façade, il convient également de tenir compte du retrait différentiel entre la façade et le plancher pour le dimensionnement des rupteurs (comportement des nervures).

Pour la vérification de non-plastification à l'ELS des rupteurs sous combinaison fréquente : le retrait peut être négligé étant donné qu'il ne génère pas de phénomène de fatigue.

Pour la vérification du ferrailage de la façade (sous combinaison ELS quasi-permanente) et le dimensionnement des liaisons ponctuelles : il convient de tenir compte du retrait différentiel du béton entre la façade et le plancher. La déformation différentielle de retrait entre les voiles de façade et le reste de la structure pourra être supposée uniforme dans chaque partie de l'ouvrage.

Il est également nécessaire de vérifier le non-dépassement des capacités résistantes des rupteurs à l'ELU sous combinaisons de charges incluant les charges gravitaires, le vent, la dilatation thermique et le retrait.

2.1.1.5. *Comportement dynamique du plancher :*

L'assouplissement de la jonction plancher/façade risque de perturber le comportement du plancher (fréquence verticale) vis-à-vis des actions dynamiques pouvant engendrer des vibrations dont l'amplitude ou les fréquences sont susceptibles de dépasser les exigences d'aptitude au service.

2.1.1.6. *Robustesse de la liaison – actions accidentelles :*

L'intégration des rupteurs génère des liaisons ponctuelles à la jonction entre le plancher et la façade porteuse ce qui diminue le degré de robustesse de la liaison par rapport à une jonction plancher/façade continue (redistribution des efforts à travers des liaisons ponctuelles). Il convient de vérifier que, suite à l'insertion des rupteurs, la structure présente une robustesse et une intégrité structurale suffisante conformément aux prescriptions de la NF EN 1990 et de la NF EN 1991-1-7. **L'objectif étant de conférer à un bâtiment un niveau de robustesse suffisant pour supporter une défaillance locale sans provoquer de dégâts disproportionnés (effondrement en chaîne).**

2.1.2. Sécurité incendie

Le procédé doit être examiné vis-à-vis de la réaction au feu. Lorsque l'isolant, éventuellement revêtu d'une plaque de protection, règne sur la totalité de l'épaisseur de la dalle, il doit faire l'objet d'un PV de classement de réaction au feu.

L'exigence essentielle de sécurité incendie repose sur le postulat que l'ouvrage doit être conçu et construit de manière à assurer en situation d'incendie :

- La résistance mécanique et la stabilité de l'ouvrage pour une durée définie.
- La limitation de la génération du feu et de fumée dans l'ouvrage.
- L'évacuation des occupants de l'ouvrage.
- La sécurité des unités de secours.

Les principes généraux de la sécurité incendie étant de :

- réduire les risques d'éclosion du feu.
- limiter la propagation de l'incendie.
- assurer l'évacuation des personnes.
- favoriser l'intervention des secours.

Dans le cas de rupteurs discontinus, outre la vérification de la résistance de la travée, les essais ont pour but de démontrer la résistance du support soumis aux réactions d'appuis localisées.

Conformément à la réglementation incendie en vigueur, les exigences de résistance au feu des structures sont les suivantes :

- Pour l'habitation, les exigences sont les suivantes (Arrêté du 31 janvier 1986) :
 - Eléments porteurs verticaux :
 - R15 dans la 1ère famille
 - R30 dans la 2ème famille

- R60 dans la 3ème famille
- Parois séparatives de logements :
 - REI15 pour les habitations individuelles jumelées ou en bande des 1ère et 2ème familles
 - REI30 pour les enveloppes de logements collectifs de la 2ème famille et pour les habitations de la 3ème famille
- Eléments planchers :
 - REI15 dans la 1ère famille
 - REI30 dans la 2ème famille
 - REI60 dans la 3ème famille

Cette prescription ne s'applique pas :

-Aux planchers situés au-dessus d'un vide sanitaire non accessible ;

-Aux planchers hauts, aux faux planchers ou plafonds du dernier niveau habitable lorsque les parois verticales de l'enveloppe des logements, visés par l'article 8 de l'arrêté, sont prolongées jusqu'à la couverture du bâtiment.

- Pour les ERP, les exigences sont les suivantes (Arrêté du 25 juin 1980) :

- Simple RDC :

Catégorie	Structure	Planchers	Règle du C+D
1	R30	REI30	Non
2	R30	REI30	Non
3	R30	REI30	Non
4	R30	REI30	Non

- Plancher bas du niveau haut ≤ 8 m du sol

Catégorie	Structure	Planchers	Règle du C+D
1	R60	REI60	Oui

- Plancher bas du niveau haut > 8 m du sol et ≤ 28 m du sol

Catégorie	Structure	Planchers	Règle du C+D
2	R60	REI60	Oui
3	R60	REI60	Oui
4	R60	REI60	Oui

Etant donné que les rupteurs assurent la liaison entre les éléments porteurs verticaux et les planchers, ils doivent satisfaire aux exigences de résistance au feu mentionnées ci-dessus.

Le plancher intégrant des rupteurs de ponts thermiques doit être capable de répondre aux prescriptions de la réglementation incendie applicable à l'ouvrage visé (arrêté du 31 janvier 1986 modifié pour les habitations, arrêté du 25 juin 1980 modifié pour les ERP et arrêté du 18 octobre 1977 modifié pour les IGH) afin de garantir des conditions satisfaisantes pour l'évacuation des occupants du bâtiment en cas d'incendie. **La conformité du procédé aux exigences précitées est attestée par une Appréciation de Laboratoire Feu agréé.**

2.2. Thermique

2.2.1. Rappels concernant la Réglementation Thermique

La réglementation Thermique 2012 est régie par le décret n°2010-1269 du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions et l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

La réglementation thermique 2012 fixe des objectifs de performance à l'échelle du bâtiment, avec trois indicateurs de performance calculés conventionnellement, et des exigences de moyens et de performance minimale sur certains éléments. Les principaux textes structurant cette réglementation sont (en complément du décret et de l'arrêté du 26 octobre 2010): La méthode Th-BCE approuvée par l'arrêté du 20 juillet 2011 et les règles Th-U.

La réglementation Thermique 2012 repose sur trois coefficients :

- le Besoin Bioclimatique (BBio) : exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti $B_{bio,max}$ qui impose une limitation du besoin en énergie pour les composantes liées au bâti (chauffage, refroidissement et éclairage artificiel).
⇒ $B_{bio} \leq B_{bio,max}$ (efficacité énergétique du bâti)
- la Consommation énergétique conventionnelle (Cep) : exigence maximale de consommation d'énergie primaire à 50 kWhEP/m².an en moyenne ; 5 usages pris en compte : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes).
⇒ $Cep \leq Cep_{,max}$ (consommation d'énergie)
- la Température intérieure conventionnelle (Tic) : exigence sur la température intérieure atteinte au cours d'une séquence de 5 jours chauds (calcul effectué sur la journée la plus froide des 5 jours les plus chauds de l'année) inférieure à une température de référence (Tic,ref).
⇒ $Tic \leq Tic_{,ref}$ (confort d'été)

2.2.2. Exigences générales à respecter

La réglementation thermique 2012 exige le respect de différentes exigences de moyens, définies aux Titres III des arrêtés du 28 décembre 2012 et du 26 octobre 2010. Ces exigences incluent notamment :

- Ponts thermiques :
 - Pont thermique linéique moyen global : le ratio de transmission thermique linéique moyen global, ratio des ponts thermiques du bâtiment, n'excède pas 0,28 W/m²SRT/K . Sur justification écrite du maître d'ouvrage, ce ratio maximal peut être porté à 0,5 W/m²SRT/K

dans le cas où l'application de l'article R. 112-1 ou des articles R. 121-1 à R. 123-55 du code de la construction et de l'habitation conduirait à l'absence de technique disponible permettant de traiter les ponts thermiques des planchers bas et/ou intermédiaires.

- Le coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé n'excède pas 0,6 W/(ml.K).
 - Paroi séparant une partie du bâtiment à usage continu d'une partie à usage discontinu (locaux à occupation partielle) : coefficient de transmission thermique inférieur à 0,36 W/m²/K
- Etanchéité à l'air des habitations: Traitement de l'étanchéité à l'air (test de la porte soufflante) : la perméabilité à l'air de l'enveloppe mesurée selon la NF EN 13829 sous 4 Pa, Q4Pa-surf, est inférieure ou égale à : 0,60 m³/(h.m²) de parois déperditives, hors plancher bas, en maison individuelle ou accolée et 1,00 m³/(h.m²) de parois déperditives, hors plancher bas, en bâtiment collectif d'habitation.
 - Recours aux énergies renouvelables : Dans le cas des maisons individuelles, tel que défini à l'article 16 de l'arrêté du 26 octobre 2010.
 - Confort d'été : Facteurs solaires des baies tels que définis dans les arrêtés sus mentionnés.
 - Accès à l'éclairage naturel : Surface minimale de baies vitrées : 1/6 de la surface de la surface habitable.
 - Mesure ou estimation des consommations d'énergie par usage et affichage différencié.
 - Prise en compte de la production locale d'électricité en habitation (Cepmax + 12 kWhEP/m²/an).

2.2.3. Justification de la prise en compte de la réglementation :

Deux attestations doivent être produites concernant le respect de la réglementation thermique, une au dépôt du permis de construire, concernant le respect de l'exigence concernant le coefficient Bbio, et une deuxième à réception de l'ouvrage, concernant le respect de l'ensemble de la réglementation thermique.

Le procédé de rupteur (jonction plancher/façade) est principalement concerné par les exigences de ponts thermiques mentionnées au §2.2.2 ci-dessus. Il conviendra donc de justifier les performances thermiques des rupteurs et les valeurs de pont thermique associées.

2.3. Acoustique

La Nouvelle Réglementation Acoustique (NRA) est basée sur une obligation de résultats, et non de moyens, et s'adapte aux normes européennes pour les nouveaux bâtiments d'habitation depuis 1999. Depuis, de nouveaux arrêtés ont conduit les hôtels, bâtiments d'enseignement et de santé à entrer dans le champ de la réglementation acoustique.

Ce n'est donc pas la performance propre des produits ou des systèmes qui est visée, mais la performance globale du bâtiment. **Donc, pour concevoir un bâtiment de façon à ce qu'il puisse atteindre les exigences fixées, il est nécessaire de bien connaître la performance des systèmes qui le composent ainsi que leurs connexions.**

Il existe à ce jour principalement quatre domaines réglementés sur le plan acoustique pour les bâtiments neufs ou les extensions de bâtiment :

- bâtiments d'habitation (arrêté du 30 juin 1999) ;
- hôtels (arrêté du 25 avril 2003) ;
- établissements d'enseignement (arrêté du 25 avril 2003) ;
- établissements de santé (arrêté du 25 avril 2003).

Il existe cinq caractéristiques règlementées à ce jour :

- l'isolement au bruit aérien entre l'intérieur et l'extérieur ;
- l'isolement au bruit aérien entre les locaux intérieurs;
- le niveau de bruit de choc ;
- le niveau de bruit d'équipements ;
- l'absorption acoustique.

La conformité acoustique peut uniquement être vérifiée par essais (mesures) à l'achèvement des travaux.

Dans ce contexte réglementaire, les performances acoustiques (bruits aériens et bruits d'impact) du procédé de rupteur devront être déterminées afin d'évaluer son influence vis-à-vis d'une configuration dalle-façade sans rupteurs.

En effet, vis-à-vis des bruits aériens, il y a un risque de transmission acoustique directe supplémentaire apportée par un rupteur non masqué par le doublage de façade conduisant à une dégradation de l'isolement entre logement (isolements verticaux)...

2.4. Etanchéité des toitures terrasses

Si le plancher du dernier niveau du bâtiment est équipé de rupteurs et que ce bâtiment comporte une toiture-terrasse, il convient de vérifier que les isolants des rupteurs sont compatibles avec la méthode de mise en œuvre du pare-vapeur et de l'étanchéité. En effet, dans cette configuration, les blocs d'isolant du procédé de rupteur jouent le rôle de support d'étanchéité : **il conviendra donc de vérifier la compatibilité entre le revêtement d'étanchéité (selon les différents modes de pose) et le bloc d'isolant support (liaison entre rupteur et étanchéité).**

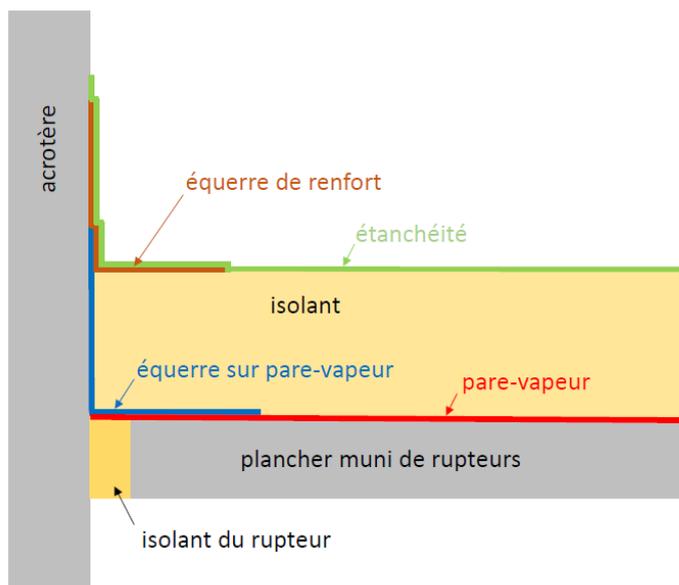


Figure 1 Coupe sur toiture-terrasse

2.5. Risque de condensation

Les dispositions constructives doivent permettre de maîtriser les migrations de vapeur d'eau dans les éléments de structure. Etant donné la modification de la jonction plancher/façade apportée par l'insertion des rupteurs (jonction continue → jonctions ponctuelles séparées par des blocs d'isolant), une justification au cas par cas de la position du point de rosée est à prévoir. **Un dispositif pare vapeur peut assurer la protection du pain isolant vis-à-vis du risque de condensation.**

3. LISTE DES ELEMENTS DE PREUVE A FOURNIR AFIN DE JUSTIFIER L'APTITUDE A L'EMPLOI DES PROCEDES DE RUPTEURS VISES PAR L'ETUDE

Les justifications nécessaires pour répondre aux exigences techniques et règlementaires applicables telles que précisées au §2 sont détaillées ci-dessous.

3.1. Stabilité hors vérifications sismiques

3.1.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
Caractérisation des capacités résistantes et des raideurs des rupteurs (liaisons ponctuelles en béton armé) + justification de la prise en compte de la concomitance des sollicitations sur la capacité résistante des rupteurs (voir le §3.1.2.1)	Voir le §2.1.1 ci-dessus. Il est nécessaire de réaliser un modèle EF prenant en compte la raideur des rupteurs afin de déterminer la répartition des efforts dans l'ouvrage et de calculer les sollicitations sur les rupteurs.
Justification du comportement dynamique du plancher (fréquence verticale)	Une méthode de calcul par analyse linéaire simplifiée ne permet pas d'évaluer l'influence des rupteurs sur le comportement global de l'ouvrage
Note de calcul basée sur un modèle EF du bâtiment justifiant (voir le §3.1.2.2) : -la non-plastification des nervures béton à l'ELS sous	L'objectif est de quantifier l'influence des rupteurs sur la réponse globale de l'ouvrage, notamment en termes d'efforts de

<p>combinaisons de charges fréquente incluant notamment les sollicitations d'origine thermique</p> <p>-le non-dépassement des capacités résistantes des rupteurs à l'ELU sous combinaisons de charges incluant les charges gravitaires, le vent, la dilatation thermique et le retrait.</p> <p>-la robustesse et l'intégrité structurale d'ensemble : vérification de la stabilité d'ensemble en considérant la défaillance d'un élément ponctuel du rupteur pour les vérifications vis-à-vis des combinaisons de charges accidentelles. Par défaut, un coefficient $\gamma_{rep} = 1.5$ est à considérer sur les capacités portantes + pression de 600 daN/m²</p> <p>La compatibilité avec un balcon en prolongement du plancher est à vérifier.</p>	<p>contreventement).</p> <p>La modalisation doit être réalisée à partir des raideurs déterminées ou validées par essais (voir §3.1.2.2)</p>
---	---

3.1.2. Principe des justifications

3.1.2.1. *Caractérisation des raideurs et capacités résistantes des nervures en béton armé par essai*

La méthode expérimentale de détermination des capacités résistantes et des raideurs des rupteurs consiste à tester une maquette de plancher muni de rupteur représentative du domaine d'emploi du procédé sous différentes configurations de chargement. Dans chaque configuration, il convient de réaliser 3 essais au minimum pour une caractérisation expérimentale afin de pouvoir appliquer la méthode d'exploitation statistique de l'Annexe D.7.2 de l'Eurocode 0. Dans le cadre d'une validation expérimentale, 1 seul essai dans chaque configuration est nécessaire.

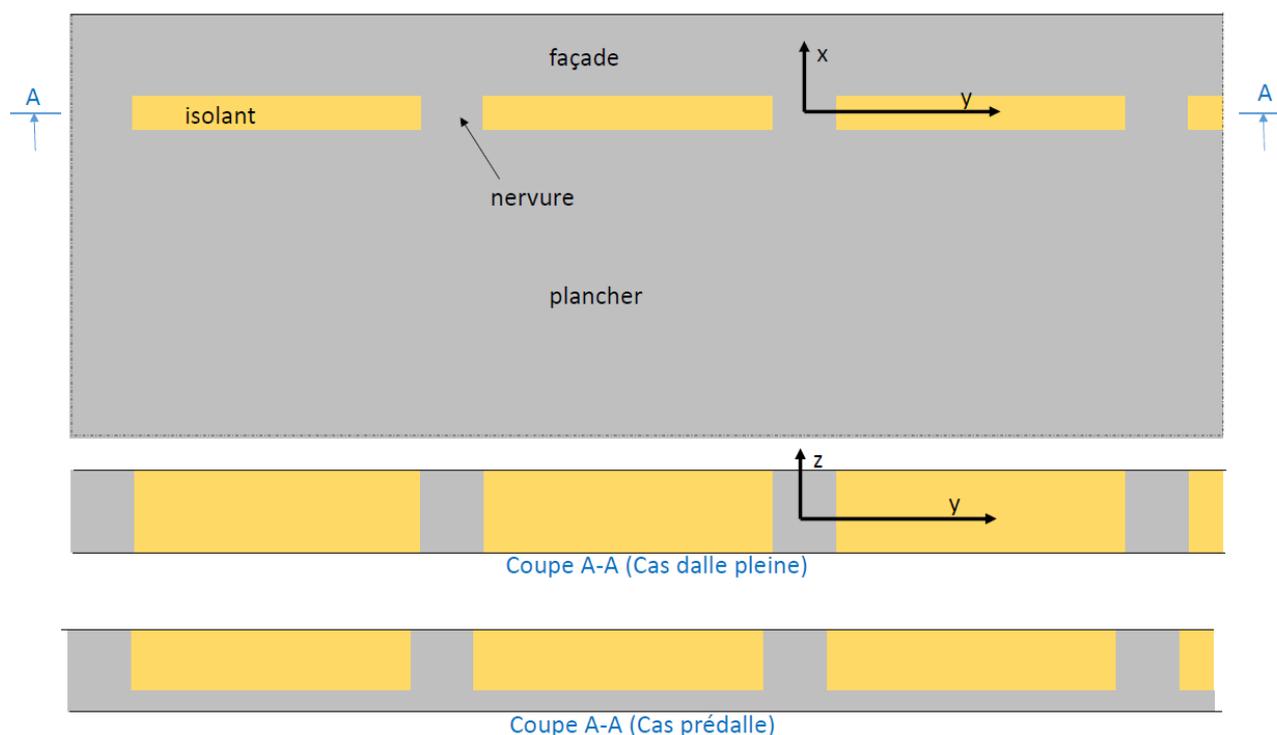


Figure 2 Représentation du plancher muni de rupteurs

Les caractéristiques mécaniques des nervures béton armé des rupteurs à quantifier par essai sont listées ci-après :

- $V_{x,d,ELU}$: Capacité résistante de la nervure dans le sens axial (traction/compression) à l'ELU
- $V_{y,d,ELU}$: Capacité résistante de la nervure sous effort tranchant horizontal à l'ELU
- $V_{z,d,ELU}$: Capacité résistante de la nervure béton sous effort tranchant vertical à l'ELU (peut également être déterminée par application de la NF EN 1992-1-1 et de son AN)
- $V_{x,d,ELS}$: Capacité résistante de la nervure dans le sens axial (traction/compression) à l'ELS
- $V_{y,d,ELS}$: Capacité résistante de la nervure sous effort tranchant horizontal à l'ELS
- $V_{z,d,ELS}$: Capacité résistante de la nervure béton sous effort tranchant vertical à l'ELS (peut également être déterminée par application de la NF EN 1992-1-1 et de son AN)
- $K_{x,d}$: Raideur de la nervure dans le sens axial
- $K_{y,d}$: Raideur de la nervure dans le sens horizontal
- $K_{z,d}$: Raideur de la nervure dans le sens vertical (peut également être déterminée par application de la NF EN 1992-1-1 et de son AN)

Un exemple de protocole d'essai pourrait être celui proposé ci-dessous :

- Etape 1 : Essai(s) de chargement vertical sous chargement horizontal nul. Mener le ou les essai(s) jusqu'à la ruine. Ce ou ces essais permettent de déterminer $V_{z,d}$ et $K_{z,d}$

- Etape 2 : Essai(s) de chargement horizontal sous chargement vertical égal à $V_{z,d}$ (correspondant au chargement admissible en service). Mener le ou les essai(s) jusqu'à la ruine. Ce ou ces essais permettent de déterminer $V_{y,d}$ et $K_{y,d}$.

Il convient d'appliquer un chargement vertical monotone et un chargement horizontal cyclique alterné. En effet, certaines charges horizontales appliquées aux nervures seront de nature cyclique (Dilatation Thermique dans tous les cas, séisme, ...). Il est primordial d'identifier le chargement horizontal limite tel que les nervures en béton armé restent dans leur domaine élastique. En effet, il n'est pas acceptable que les nervures plastifient sous l'application des combinaisons de charges ELS (sous combinaison fréquente) incluant les sollicitations d'origine thermique, eu égard à la nature cyclique de ces sollicitations. Ces essais permettront de déterminer la ductilité cyclique des rupteurs ainsi que le coefficient de comportement q associé afin de permettre un dimensionnement de la jonction plancher/façade en situation sismique.

- Etape 3 : Essai(s) de traction et essai(s) en compression dans l'axe tirant/buton du rupteur. Mener le ou les essai(s) jusqu'à la ruine. Ce ou ces essai(s) permettent de déterminer $V_{x,d}$ et $K_{x,d}$. Il est envisageable d'appliquer un chargement monotone si les applications parasismiques ne sont pas visées. Si le parasismique est visé, il convient d'envisager un chargement alterné dans ce dernier cas.

3.1.2.2. Conditions de modélisation EF d'un bâtiment muni de rupteurs

Un modèle EF du bâtiment munis de rupteur est nécessaire pour déterminer les effets E_d des charges gravitaires, climatiques et sismiques. Ce modèle devra être basé sur la raideur des nervures en béton armé entre isolants déterminée ou validée par essai (se référer au §3.1.2.1).

Les voiles et les planchers sont généralement modélisés par des éléments de type coque. Les dalles sont liaisonnées aux voiles par les nervures. La liaison au droit de chaque nervure devra être modélisée de façon à représenter le comportement mécanique réel des nervures à partir des raideurs déterminées ou validées par essais (intégration des lois de comportement en cisaillement et en traction des nervures).

L'objectif principal de l'étude numérique est d'étudier la répartition des efforts dans les nervures des planchers lorsque le bâtiment est soumis aux actions de type charges thermiques, charges de retrait, charges de vent ou charges sismiques et d'appréhender la transmission des efforts entre les voiles des façades et les planchers.

Outre le dimensionnement des rupteurs eux-mêmes, le modèle EF permettra également de vérifier le bon dimensionnement des voiles et des planchers de l'ouvrage. Effectivement, en venant modifier le cheminement des charges, l'insertion de rupteurs peut conduire à la création de concentration de contraintes sur certains éléments.

L'Avis Technique du procédé peut définir d'autres méthodes de justification répondant à ces exigences et validées dans le cadre de l'instruction.

Efforts de vent

Les hypothèses de vent sont définies selon l'Eurocode 1991-1-4. Les efforts sont fonction de la géométrie de l'ouvrage analysé. Le vent va générer des efforts de contreventement horizontaux qui vont transiter par les rupteurs à la liaison plancher/façade porteuse. Les effets du vent seront donc à prendre en compte dans le dimensionnement. On peut noter que, généralement, les combinaisons de charge incluant les effets thermique (voir § « Efforts d'origine thermique » ci-dessous) sont plus pénalisantes que les combinaisons de charges incluant les effets du vent. La détermination des efforts de vent à la jonction plancher/rupteur

doit être réalisée à partir d'une modélisation EF (élastique linéaire ou non linéaire) avec intégration des raideurs des rupteurs (déterminées ou validées expérimentalement tel que défini en préambule du § 3.1.2.2 ci-dessus). Il convient de tenir compte de la distribution des efforts de vent dans les rupteurs suivant les différentes directions. Lorsqu'une pression du vent est appliquée sur une façade, les efforts sont transmis aux planchers à travers les nervures. Les nervures sont alors comprimées ou tendues et le plancher, bloqué par les voiles perpendiculaires (voiles de contreventement pour le vent donné), transmet les efforts à ces derniers par cisaillement horizontal.

L'Avis Technique du procédé peut définir des méthodes de justification répondant à ces exigences et validées dans le cadre de l'instruction.

Efforts d'origine thermique

Les charges de gradient thermique correspondent à un écart de température entre les voiles de façade et le reste de la structure.

A défaut d'une détermination précise du gradient thermique, on pourra considérer un différentiel thermique entre façade et élément porté considéré $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$.

Ce différentiel thermique se décompose en :

-24 °C de régime permanent associé à un module différé du béton

-6°C de variation journalière associé à un module instantané du béton.

La détermination des sollicitations dans les rupteurs sous l'effet de ce gradient thermique est réalisée à partir d'une modélisation éléments finis (élastique linéaire ou non linéaire) comme indiqué en préambule du §3.1.2.2 ci-dessus. La température est supposée uniforme dans chaque partie de l'ouvrage. Cette charge est introduite comme une variation uniforme de température sur les voiles de façade.

Cette vérification par étude numérique doit être organisée autour des 3 axes suivants :

- Détermination de la répartition des efforts (transmission des efforts entre les voiles des façades et les planchers) dans les nervures en béton du procédé lorsque le bâtiment est soumis aux actions de type charges thermiques (gradient thermique différentiel entre la façade et le plancher) et charges de retrait (voir § « Efforts liés au retrait différentiel plancher/façade » ci-dessous)
- Vérification de la résistance (section, ferrailage) des nervures béton à l'ELU (Retrait + gradient thermique) et à l'ELS (Gradient thermique seul) combinés avec les autres sollicitations (voir § « Efforts liés au retrait différentiel plancher/façade » ci-dessous)

Il conviendra de s'assurer que les nervures en béton armé restent bien dans leur domaine élastique linéaire sous combinaisons de charges ELS fréquente. De plus, la modélisation devra également permettre de justifier que les capacités résistantes des nervures ne sont pas dépassées à l'ELU.

- Détermination des efforts engendrés par le gradient thermique et le retrait (voir § « Efforts liés au retrait différentiel plancher/façade » ci-dessous) dans les façades de l'ouvrage avec rupteur thermique et sans rupteur thermique (liaison continue entre façade et plancher). Cette étude comparative portera sur la modélisation (calcul aux éléments finis selon préambule du §3.1.2.2 ci-dessus) de l'ouvrage et permettra d'analyser l'influence du procédé de rupteur sur le ferrailage des façades.

L'Avis Technique du procédé peut définir des méthodes de justification répondant à ces exigences et validées dans le cadre de l'instruction.

Efforts liés au retrait différentiel plancher/façade

En l'absence d'un calcul du retrait différentiel entre la façade et le plancher, il convient de considérer une valeur de retrait différentiel forfaitaire de 1×10^{-4} .

La déformation différentielle entre les voiles de façade et le reste de la structure peut être supposée uniforme dans chaque partie de l'ouvrage.

Dans ces conditions, le comportement des rupteurs sous les sollicitations dues au retrait étant équivalent à celui obtenu sous l'effet de gradient thermique, la valeur de retrait différentiel forfaitaire de 1×10^{-4} peut être appliquée sous la forme d'un gradient de température supplémentaire de 10°C .

A défaut d'adopter un retrait différentiel forfaitaire de $1 \cdot 10^{-4}$, la valeur de retrait différentiel à retenir devra être déterminée au cas par cas dans les conditions suivantes :

- On retient un plancher « libre » en béton coulé en place d'une épaisseur et de longueur correspondant à celles du projet et une façade « libre » en voile béton d'une épaisseur et de longueur correspondant à celles du projet.
- On considère que le retrait du plancher et de la façade évolue simultanément : le calcul du retrait de la façade et du plancher considérés « libres » est réalisé indépendamment afin d'en déduire le différentiel de retrait entre ces deux éléments.
- L'humidité relative à considérer pour le calcul du retrait est la suivante : 50 % pour le plancher et 70 % pour le mur de façade.

Le module de béton à retenir pour le calcul du retrait est le module différé $E_{\text{eff}} = E_i / 3$ (E_i étant le module instantané).

Critère de robustesse

Etant donné que les rupteurs thermiques génèrent une liaison ponctuelle en remplacement de la liaison continue traditionnelle, il convient d'effectuer une vérification de la robustesse des rupteurs thermiques (capacité de répartition et de reprise des efforts en cas de défaillance de rupteurs).

Pour chaque situation de projet, il est nécessaire de vérifier la stabilité d'ensemble du plancher muni de rupteurs en considérant la défaillance ponctuelle d'une nervure en béton armé pour les vérifications vis-à-vis des combinaisons de charges accidentelles. Par défaut, un coefficient diviseur $\gamma_{rep}=1.5$ est à considérer sur les capacités résistantes des rupteurs.

De plus, il convient de prendre en compte une pression localisée isotrope sur la façade extérieure et les balcons agissant dans toutes les directions de 600 daN/m^2 à l'ELU accidentel. Cette vérification permet de tenir compte des sollicitations exceptionnelles de vent pouvant s'appliquer sur la façade.

L'Avis Technique du procédé peut définir des méthodes de justification répondant à ces exigences et validées dans le cadre de l'instruction.

3.2. Stabilité - Vérifications complémentaires en zone sismique

Cas d'un bâtiment nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié

3.2.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<p>-Justification des capacités résistantes du rupteur sous sollicitations sismiques ($V_{x,d,s}$; $V_{y,d,s}$; $V_{z,d,s}$; $M_{Rd,s}$; raideurs K, ductilité cyclique et coefficient de comportement q : voir le §3.1.2.1)</p> <p>-Note de calculs basée sur une étude sismique par modélisation EF prenant en compte l'insertion des rupteurs (voir le §3.2.2)</p>	<p>Voir §2.1.1 et §3.1.1 ci-dessus.</p> <p>Modification des caractéristiques mécaniques de la liaison plancher/façade porteuse et du comportement structural de l'ouvrage avec redistribution des efforts de contreventement dans l'ouvrage.</p>

3.2.2. Principe des justifications

Comme indiqué aux §2.1.1.2 et §2.1.1.3, l'insertion des rupteurs dans la structure va modifier les caractéristiques mécaniques de la liaison plancher/façade porteuse et donc modifier le comportement structural global de l'ouvrage.

Il convient donc de tenir compte de l'influence des rupteurs sur la redistribution des efforts de contreventement dans l'ouvrage.

Le calcul des forces de sollicitation sismique horizontales doit être conforme aux prescriptions de la norme NF EN 1998-1 et son AN en tenant compte du coefficient de comportement déterminé à partir des essais évoqués au §3.1.2.1.

Une modélisation EF est nécessaire. Le modèle devra prendre en compte les raideurs des rupteurs caractérisées expérimentalement. Le maillage devra être raffiné au niveau des nervures béton armé.

La distribution des efforts sismiques dans les rupteurs est faite au prorata des raideurs ($K_{x,d,s}$; $K_{y,d,s}$; $K_{z,d,s}$) ; il conviendra de justifier que l'on a bien R_d (capacité résistante en situation sismique) $\geq E_d$ (solicitations en situation sismique).

L'Avis Technique du procédé peut définir des méthodes de justification répondant à ces exigences et validées dans le cadre de l'instruction.

3.3. Vérification de la résistance au feu

3.3.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<p>Rapport d'essai feu et appréciation de laboratoire agréé donnant lieu à un équivalent de classement de résistance au feu</p> <p>(voir le §3.3.2)</p> <p>PV de réaction au feu concernant le matériau isolant utilisé</p>	<p>Etant donné la présence de blocs d'isolant régnant sur tout ou partie de l'épaisseur du plancher :</p> <ul style="list-style-type: none"> -les règles simplifiées de la NF EN 1992-1-2 et son AN de détermination de la distribution de la température ne s'appliquent pas pour déterminer le critère R (résistance) ; -les méthodes de justification de la NF EN 1992-1-2 et son AN ne permettent pas de déterminer le critère E (étanchéité) et le critère I (isolation).

3.3.2. Principe des justifications

Les performances vis-à-vis de l'incendie des procédés de rupteurs ne peuvent pas être justifiées directement par application des règles Eurocodes.

En effet, étant donné la présence de blocs d'isolant régnant sur tout ou partie de l'épaisseur du plancher, les règles simplifiées de la NF EN 1992-1-2 et son AN de détermination de la distribution de la température dans le béton ne peuvent pas s'appliquer pour déterminer le critère R (résistance) , et les méthodes de justification de la NF EN 1992-1-2 et son AN ne permettent pas de déterminer le critère E (étanchéité) et le critère I (isolation).

Ainsi, d'un point de vue réglementaire, par référence à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié par l'arrêté du 14 mars 2011 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, le comportement au feu du procédé doit être justifié par un essai de résistance au feu et une appréciation de laboratoire agréé.

Un essai de résistance au feu est nécessaire pour étudier la réponse d'un plancher muni de rupteurs et évaluer les critères E et I. De plus, l'essai s'avère également nécessaire pour mettre en avant les phénomènes éventuels de concentration de contrainte non maîtrisés par la modélisation analytique, par suite de l'impossibilité de prendre en compte l'endommagement de la structure suite à l'incendie analytiquement.

En effet, le rupteur venant modifier la liaison plancher/façade et donc le comportement du plancher sur appuis, il est difficile d'appréhender correctement par le calcul les phénomènes de bord en cas de feu et la résistance de l'élément porteur. D'après notre retour d'expérience, une grande différence a été constatée entre les résultats du calcul et ceux de l'essai.

Cependant, les conditions d'appui du plancher diffèrent des conditions normalisées décrites dans le §6.4.6.1 de la norme NF EN 1365-2 « Essais de résistance au feu des éléments porteurs – Planchers et toitures ». Par conséquent, il ne peut pas y avoir de PV de classement de laboratoire agréé donnant un équivalent de classement sur un système de rupteur, car il ne s'agit pas d'un élément de structure listé dans le §1 de la norme NF EN 1365-2.

A partir des résultats d'essai de résistance au feu (permettant d'évaluer les critères E et I et de valider les champs de distribution de la température dans les nervures en béton), la justification du comportement au feu des rupteurs doit donc faire l'objet d'une appréciation de laboratoire agréé donnant un équivalent de classement REI sur un plancher intégrant des rupteurs de ponts thermiques .

3.4. Performance thermique

3.4.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<p>Modélisation 3D prenant en compte le coefficient de transmission thermique linéique des rupteurs et prenant également en compte la présence des nervures en béton armé (voir le §3.4.2)</p>	<p>L'insertion de rupteurs transforme la liaison plancher/façade en liaison discontinue afin de renforcer les performances thermiques de celle-ci.</p> <p>Le procédé de rupteur (jonction plancher/façade) est principalement concerné par les exigences de ponts thermiques mentionnées au §2.2.2 ci-dessus.</p> <p>Il conviendra donc de justifier les performances thermiques des rupteurs et les valeurs de pont thermique associées pour chaque configuration.</p>

3.4.2. Principes des justifications

Une modélisation thermique du bâtiment doit être réalisée au cas par cas pour chaque situation de projet. Ce modèle doit nécessairement être réalisé en 3D (Sous un logiciel de type TRISCO, par exemple) afin de prendre en compte les interfaces plancher/façade traitées avec blocs d'isolant, mais également les nervures en béton armé (en tenant compte du taux de ferrailage des nervures), qui constituent des ponts thermiques.

Le calcul des ponts thermiques s'obtient par modélisation numérique en 3D en retranchant au flux total traversant le modèle, le flux traversant les éléments de parois adjacents et en se basant sur les conventions de dimensions intérieures définies dans les règles Th-bât et la norme NF EN ISO 13789.

Les coefficients de transmission thermiques linéiques des liaisons plancher/façade au niveau des pains d'isolant peuvent être déterminés en prenant en compte la conductivité thermique des isolants utilisés.

La valeur utile de la conductivité thermique de l'isolant et celles des autres composants du rupteur sont déterminées conformément à la Réglementation Thermique 2012. Ces valeurs sont déterminantes dans les modélisations thermiques.

A noter : Les valeurs de conductivité thermique déclarées dans le cas d'isolant ne bénéficiant pas d'une certification ACERMI ou reconnue équivalente sont majorées de 15%.

3.5. Performance acoustique

3.5.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<ul style="list-style-type: none"> -PV de caractérisation par essai de l'indice d'affaiblissement acoustique R_w d'un plancher muni de rupteurs -PV acoustique caractérisant la réduction aux bruits d'impact quand le domaine d'emploi vise les planchers séparatifs -Détermination des coefficients Kij des jonctions -Modélisation acoustique du bâtiment (voir le §3.5.2) 	<p>L'insertion de rupteurs transforme la liaison plancher/façade en liaison discontinue. L'influence des rupteurs sur la performance acoustique du plancher est donc à évaluer pour chaque configuration.</p>

3.5.2. Principe des justifications

3.5.2.1. *Compatibilité avec la réglementation*

Le procédé de rupteur étant systématiquement présent à la jonction entre la façade et planchers intérieurs, porte une contrainte acoustique spécifique, principalement orientée sur l'isolement au bruit aérien intérieur, sur l'isolement au bruit aérien vis-à-vis de l'extérieur et également sur les bruits de chocs.

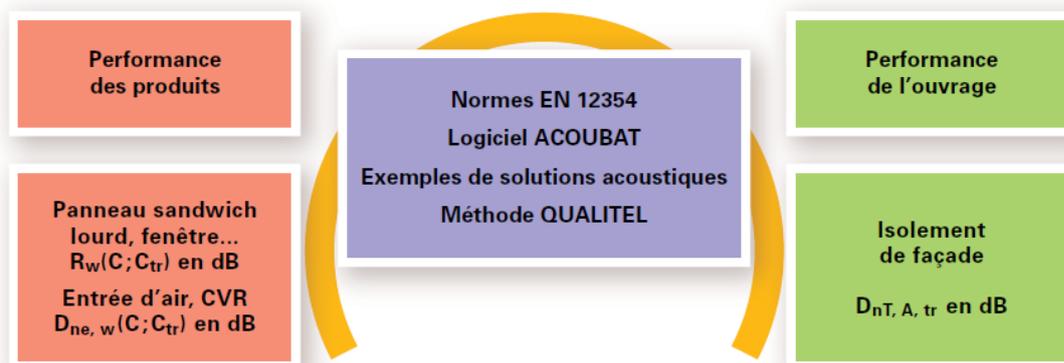
Les exigences réglementaires ne portant pas sur un élément de structure (plancher, mur) ou les matériaux utilisés mais sur le bâtiment fini, les performances du plancher ou des matériaux (déterminées conformément aux prescriptions du §3.5.2.2 ci-dessous) devront être utilisées en tant que données nécessaires à l'examen de la conformité d'un bâtiment vis-à-vis de la réglementation acoustique en vigueur (arrêté du 30 juin 1999 relatif aux bâtiments d'habitation).

Dans le cas général, trois approches sont utilisables pour cela (les deux premières approches étant potentiellement utilisables dans le cas des rupteurs) :

- Le calcul (selon NF EN 12354-1 à 5 ; objet du logiciel ACOUBAT). Pour les procédés de rupteur, le calcul (transmission latérale, jonction en T, ...) peut être réalisé suivant les normes EN 12354-1 à 5 à partir des performances déterminées selon le §3.5.2.2.

- Le référentiel QUALITEL

- Les Exemples de Solutions Acoustiques (publié en mai 2002 par la DHUP).



La conformité de l'ouvrage est vérifiée par des essais in situ.

3.5.2.2. Performances acoustiques à déterminer par essai pour le calcul de la performance de l'ouvrage

Détermination de l'indice d'affaiblissement acoustique au bruit aérien de la liaison munie de rupteur R_w .

La valeur de ce coefficient R_w doit être déterminée par essais. Le dispositif d'essai est composé d'une salle d'émission et d'une salle de réception isolées acoustiquement de l'extérieur et permettant de mesurer des niveaux de bruit de fond très faible. Le plancher muni de rupteur visé est monté entre la salle de réception et la salle d'émission. L'isolation acoustique au bruit aérien du produit est ensuite mesurée conformément à l'EN ISO 140-3. Elle doit être exprimée par bande de tiers d'octave de 100 Hz à 5000 Hz sous la forme d'un indice unique avec des termes adaptés au spectre, conformément à l'EN ISO 717-1.

Détermination du niveau de bruit de choc

En ce qui concerne les bruits d'impact, un PV acoustique caractérisant la réduction aux bruits d'impact quand le domaine d'emploi vise les planchers séparatifs, par exemple pour ouvrages d'habitations collectives, ou un emploi en toiture-terrasse (vis-à-vis des bruits extérieurs) est nécessaire. Le dispositif d'essai est composé d'une salle d'émission sur laquelle est montée une maquette du plancher à tester. Cette salle est isolée acoustiquement de l'extérieur. Une machine à choc est posée au-dessus du plancher. La mesure est ensuite effectuée conformément à l'EN ISO 140-6. Le niveau de bruit de choc dans la salle de réception est mesuré par tiers d'octave de 100 Hz à 5000 Hz.

Indices d'affaiblissement vibratoire de jonction : K_{ij}

La mise en place d'un rupteur à la liaison entre le voile de façade et un plancher ou un refend modifie les écoulements d'énergie vibratoire. Ceci a des conséquences sur l'évaluation des transmissions latérales.

Il convient de mesurer ces indices d'affaiblissement de jonction (notés K_{ij}) selon la norme NF EN ISO 10848-1. Ces mesures peuvent être réalisées en conditions réelles de mises en œuvre (sur chantier) ou sur une maquette bâtie à ce seul effet.

3.6. Etanchéité des toitures terrasses

3.6.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<p>-Justification de la compatibilité de l'isolant des rupteurs avec le pare-vapeur utilisé en toiture-terrasse</p> <p>-Justification de la bonne tenue de l'isolant du rupteur dans le cas de la mise en œuvre de l'étanchéité à la flamme.</p> <p>-Justification de l'absence de risque de condensation en toiture terrasse dans le cas des planchers isolés en sous face.</p> <p>-Justification d'absence de condensation dans le pain isolant.</p> <p>Les dispositions de mise en œuvre devront être conformes au document de la CCFAT « Règles de conception des toitures terrasses, balcons et coursives étanchés sur éléments porteurs en maçonnerie munis de procédés de rupteurs de ponts thermiques faisant l'objet d'un Avis Technique » - Version 4 du 19 juin 2017.</p> <p>Dans le cas contraire, la compatibilité de la solution d'étanchéité visée avec le système de rupteur est à justifier au cas par cas.</p>	<p>En cas d'utilisation en toiture terrasse, les blocs d'isolant du procédé de rupteur jouent le rôle de support d'étanchéité : il conviendra donc de vérifier la compatibilité entre le revêtement d'étanchéité (selon les différents modes de pose) et le bloc d'isolant support (liaison entre rupteur et étanchéité).</p> <p>La compatibilité du procédé est analysée vis-à-vis de la conformité au CPT « Règles de conception des toitures-terrasses, balcons et coursives étanchés sur éléments porteurs en maçonnerie munis de procédés de rupteurs de ponts thermiques faisant l'objet d'un Avis Technique. » - Version 4 du 19/06/2017</p>

3.7. Fabrication

3.7.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<p>Détail de la nature et de la fréquence des contrôles réalisés lors de la production du procédé de rupteur (blocs d'isolant : caractéristiques dimensionnelles, performances thermiques, compressibilité de l'isolant, ... ; prédalles équipées de rupteurs).</p>	<p>Les performances du procédé de rupteur (mécanique, thermique, ...) dépendent directement de la qualité de ses composants (blocs d'isolants, prédalles le cas échéant, ...). Le processus de contrôle de production adopté doit permettre d'assurer la constance de la performance des rupteurs.</p>

3.8. Mise en œuvre

3.8.1. Résumé des justifications nécessaires

Justification d'aptitude à l'emploi	Raisons pour lesquelles la justification est nécessaire
<p>-Notice de pose des rupteurs</p> <p>-Plans d'exécution précisant la configuration des rupteurs</p> <p>-Phasage d'exécution (voile de façade (position de l'arrêt de coulage), rupteur et plancher).</p>	<p>La performance finale du plancher muni de rupteurs dépend sensiblement de la qualité de leur mise en œuvre, sachant que celle-ci diffère de la mise en œuvre d'un plancher « traditionnel ».</p> <p>La mise en œuvre doit donc être soignée et faire l'objet d'un plan d'assurance qualité chantier adapté.</p>

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">-Conditions de positionnement des rupteurs (dans l'épaisseur du plancher et sur le linéaire façade/plancher) et justification du maintien des rupteurs lors du coulage.-Déclaration et justification des tolérances d'exécution (impact significatif sur les performances de la liaison plancher/façade).-Conditions de ferrailage des nervures (enrobage, ancrage et recouvrement des aciers, ...) et du plancher (chaînage côté dalle, ...)-Justification du traitement des points singuliers (angles rentrant, sortant, refends,). Conditions de découpage des blocs d'isolant.-Prescriptions pour l'association avec des balcons préfabriqués. | |
|--|--|

4. EXAMEN DE LA PERTINENCE DES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES PROPOSEES POUR CONTRIBUER AU RESPECT DES EXIGENCES TECHNIQUES ET REGLEMENTAIRES

4.1. Apport de la continuité d'une paroi béton d'épaisseur au moins égale à 5 cm

Dans le cas des planchers à prédalles, les blocs d'isolant sont généralement positionnés à la surface de la prédalle lors de la fabrication. L'interface plancher/façade est quant à elle constituée : d'une épaisseur de béton continue de 5 cm minimum au niveau de la prédalle et d'une surépaisseur de béton au niveau des nervures ou bien d'une épaisseur d'isolant entre deux nervures.

Cette épaisseur de béton de 5 cm est pénalisante d'un point de vue thermique et doit donc être prise en compte dans le calcul des performances thermiques du procédé.

Néanmoins, cette interface continue de béton d'une épaisseur au moins égale à 5 cm permet :

- de se rapprocher du fonctionnement habituel d'une liaison plancher/façade en béton continue (transmission des charges mécaniques).
- d'éviter la propagation du feu aux niveaux supérieurs via l'interface façade-plancher en assurant une protection vis-à-vis des flammes et des gaz chauds.
- d'assurer la fonction pare-vapeur.
- d'améliorer la performance acoustique du plancher.
- de constituer une table de compression dans le cas des balcons (équilibre du moment négatif sur appuis).

4.2. Protection des éléments d'isolation contre l'humidité

En général, les performances mécaniques (compressibilité) et thermique des isolants diminuent drastiquement si les matériaux sont humidifiés. Il convient donc de prendre les mesures adéquates (emballage étanche autour des blocs d'isolant, par exemple) pour éviter que ceux-ci soient imprégnés d'humidité lors de la mise en œuvre (laitance du béton) afin de garantir la constance des performances des blocs d'isolant. Cet emballage permet également d'assurer la protection de l'isolant par rapport aux risques de condensation dans le cas de l'ouvrage en service.

4.3. Caractéristiques de compressibilité et compatibilité pour l'adhérence du pare-vapeur dans le cas d'utilisation en toiture-terrasse

Les caractéristiques des blocs d'isolant et les dispositions de mise en œuvre de l'étanchéité devront être conformes aux prescriptions du document de la CCFAT « Règles de conception des toitures terrasses, balcons et coursives étanchés sur éléments porteurs en maçonnerie munis de procédés de rupteurs de ponts thermiques faisant l'objet d'un Avis Technique » - Version 4 du 19 juin 2017. Pour les toitures accessibles aux véhicules légers, la classe de compressibilité de l'isolant devra être la classe D selon le Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes isolants support d'étanchéité des toitures plates et inclinées. .

L'Avis Technique du procédé peut définir des méthodes de justification répondant à ces exigences et validées dans le cadre de l'instruction.

5. CONCLUSION

L'aptitude à l'emploi des procédés de rupteurs de ponts thermiques à appuis discontinus nécessite de justifier les points suivants:

- stabilité sous charges verticales;
- résistance au gradient thermique et au retrait différentiel;
- stabilité au contreventement;
- stabilité sous efforts sismiques;
- vérification de la sécurité incendie (réaction et résistance au feu);
- performances thermiques;
- protection des éléments d'isolation contre l'humidité;
- isolation acoustique;
- compatibilité avec les complexes d'étanchéité en toiture-terrasse;
- le contrôle et le suivi de la production;
- la fourniture des documents assurant la qualité de la mise en œuvre.

L'Avis Technique examiné par les Groupes Spécialisés compétents est une garantie du respect de l'ensemble des exigences formulées ci-dessus.