

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Dans le cadre du programme « **préparer le Bâtiment à l'horizon 2010** », BOUYGUES BATIMENT IDF s'est associée avec EDF R&D et trois industriels BPB-Placo, Knaf et Rockwool pour mettre au point une solution de Rupteur de Pont Thermique en Façades Maçonnées porteuses des planchers intermédiaires.

L'équipe a répondu à l'appel à propositions ADEME - PUCA « préparer le Bâtiment à l'horizon 2010 » lors de la consultation 2002 sur la « Qualité Energétique, Environnementale et Sanitaire ».

Le brevet déposé par Bouygues Bâtiment IdF concerne la mise en œuvre de l'appui en béton armé

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### LE PLAN DE LA PRESENTATION :

Le Principe de la solution de Rupteur en Façade Maçonnée porteuse ;

La mise en œuvre sur un chantier test ;

Les essais de validation acoustique ;

Les essais de Résistance au feu en laboratoire ;

Les calculs thermiques par EDF-R&D :

- les valeurs des coefficients linéiques  $\psi$ ,

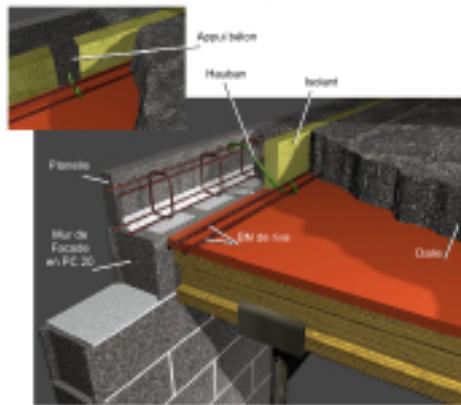
- l'évaluation des risques de condensation ;

Les premières conclusions.

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### LE PRINCIPE DU RUPTEUR EN FACADE MACONNEE PORTEUSE :

**Le RUPTEUR avec appui  
en béton armé**



Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

3

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### L'ORGANISATION DE LA MISE EN ŒUVRE :

- le mur de la façade porteuse en maçonnerie est monté avec une planelle en rive de dalle ou un bloc chaînage ;
- le coffrage du plancher reçoit la cage d'armature qui comporte les aciers de la bande noyée de rive de dalle, les aciers inclinés de type haubans pour la transmission des efforts du plancher au mur de façade et le chaînage en tête de mur ;
- les éléments isolants sont installés entre les aciers des haubans ;
- le béton est mis en œuvre au niveau du chaînage en tête du mur de façade et sur tout le plancher, il pénètre entre les éléments isolants pour enrober les haubans.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

4

**JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004  
SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT**

**LA MISE EN ŒUVRE  
SUR LE CHANTIER  
TEST :**

Cette photo donne une  
vue d'ensemble de la  
mise en œuvre des  
composants en rive de  
plancher, peu avant le  
coulage de la dalle  
béton.



Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

5

**JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004  
SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT**

Le détail sur appui  
avec la cage  
d'armature et  
l'isolant :



Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

6

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Le Rupteur vertical en jonction  
du refend en Acoustybloc dB à  
gauche et de la façade en PC 20  
à droite.



Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

7

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### **LES ESSAIS DE VALIDATION ACOUSTIQUE :**

Les essais de vérification de l'isolement acoustique aux bruits aériens entre des pièces de logements ont été réalisés par le CERIB conformément à la norme **NF EN ISO 140-4** de décembre 1998 pour l'indice  $D_{nT,w}$  ( $C_1, C_2$ ) en dB, avec une réception en quatre ou cinq points pour trois positions de la source de bruit.

La norme **NF EN ISO 140-4** permet de moyenner les niveaux de pression acoustique dans les locaux de réception et d'émission, afin de « gommer » les effets de certains phénomènes (nœud, ventre), ces derniers subsistent lorsque les mesures sont réalisées en un point unique avec le respect de l'ancienne norme **NF S 31-057**.

Le tableau ci-après définit l'environnement de chaque solution de rupteur thermique horizontal en rive de dalle et de rupteur vertical en about de refend, pour une jonction en T sur le chantier témoin où ont été testés les trois solutions de rupteurs à âme en laine de roche de chez Rockwool et en polystyrène expansé de chez Knauf ou BPB-Placo :

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

8

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### L'ENVIRONNEMENT DU RUPTEUR EN FACADE MACONNEE PORTEUSE

Rupteur horizontal	En façade maçonnée porteuse réalisée en blocs de béton PC20 : selon le « brevet Bouygues »
Mur de façade	Blocs PC20, enduit et doublage thermique collé
Murs de refends	Acoustybloc dB15, enduit, doublage acoustique (1)
Dalle courante	Béton de 19 cm sans chape flottante
Cloison de distribution	Ame alvéolaire de 5 cm
Organisme, dates	CERIB les 31.07 ainsi que 08 et 21.08.2003
Isolement aux bruits aériens	Recherche de la conformité à la RA2000 [ $D_{nTw} + C$ ] 53 dB

(1) Les refends, mitoyens entre deux logements, sont montés en Acoustybloc dB de 15 cm avec un enduit au plâtre sur une face et sur l'autre face un doublage acoustique collé de type Ultra ThA 32 Prégymax de chez Lafarge en épaisseur 13 + 40

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

9

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### LES RESULTATS DES MESURES D'ISOLEMENT ACOUSTIQUE :

Les indices globaux de l'isolement acoustique aux bruits aériens [  $D_{nTw} + C$  ] en dB, sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

Mesures	Date de mesure	31.07.03	08.08.03	21.08.03		
Horizontales : refends en acoustybloc dB15 (1)	Nature des doublages	PSE Th 38	Sans doublage	Ultra ThA 32 Label Rock		
	Isolement en dB	[ $D_{nTw} + C$ ]	[ $D_{nTw} + C$ ]	[ $D_{nTw} + C$ ]		
	A7/A8	BPB	2e	48 (4)	51	55
	A5/A6	RW	1er	51 (6)	49 (1)	55
	A2/A3	K	RDC	51 (6)	49 (1)	55

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

10

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Mesures	Date de mesure			31.07.03	08.08.03	21.08.03
	Nature des doublages			PSE Th 38	Sans doublage	Ultra ThA 32 Label Rock
Verticales en plancher haut du 1 <sup>er</sup> étage	<b>2PA8</b>	RW	cham	50 (5)	52	57
	3PA6		séjour	54	56	57
	<b>3PA7</b>	BPB	séjour	52 (6)	54	55
	3PA5		cham	53 (2)	59	60
Verticales en plancher haut du rez de chaussée	<b>3PA6</b>	K	cham	52 (6)	50 (1)	57
	3PA3		séjour	52 (6)	53	55
	<b>3PA5</b>	Sans rupteur	séjour	52 (6)	53	54
	3PA2		cham	X (3)	57	61

Un doublage thermique et acoustique apporte des résultats > **53 dB**.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

11

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

- (1) L'écart négatif des résultats, entre le mur de façade isolé par un doublage en **PSE Th 38** et le mur nu, démontre une légère transparence du complexe de rupteur vertical ou horizontal.
- (2) La mesure a été effectuée en cuisine lors de la **1<sup>ère</sup> campagne du 31 juillet 2003**.
- (3) Un défaut d'étanchéité était impossible à calfeutrer lors de cette campagne d'essais.
- (4) Une valeur d'isolement, située hors tolérance de **3 dB**, est non conforme.
- (5) Une valeur est située à la limite de la tolérance de **3 dB**.
- (6) Six valeurs sont situées dans la tolérance de **3 dB** ; et seulement une valeur est réglementaire en présence d'un doublage en polystyrène standard de type **PSE Th 38** d'épaisseur 10 + 80.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

12

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

**LES ESSAIS DE STABILITE AU FEU**, pour un CF 2 heures avec des dalles chargées à 250 kg/m<sup>2</sup>.

- 1) Les éléments isolants en laine de roche de chez **Rockwool** vont être testés dans les laboratoires du CSTB de Champs-sur-Marne.

Les murs de façade et de refend sont montés sans bourrage des joints verticaux et ne sont pas revêtus des doublages d'isolation thermique ou acoustique

- La jonction verticale, entre une façade porteuse réalisée en parpaings creux de 20 cm revêtus d'un enduit extérieur et un refend en parpaing plein perforé de 15 cm revêtu d'un enduit plâtre sur une face, devrait pouvoir être justifiée par le PV d'essais CF 3h du CERIB, et avec un avis du CSTB pour un degré CF 2 heures en présence d'un élément isolant vertical en laine de roche.
- La liaison horizontale, entre une façade porteuse réalisée en parpaings creux de 20 cm revêtus d'un enduit extérieur et une dalle en béton de 18 cm, nécessite un essai feu au grand four.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

13

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

- 2) Les éléments isolants avec une âme en polystyrène expansé et deux peaux de surface de chez **BPB-Placo et Knauf** sont testés dans les laboratoires du CTICM de Maizières-Lès-Metz.

La liaison verticale prévoit la mise en œuvre d'éléments isolants à âme en PSE, entre une façade porteuse en parpaings creux de 20 cm avec un enduit extérieur, un doublage intérieur en PSE Th 38 d'épaisseur 10 + 80 d'une part et un refend en parpaings pleins perforés de 15 cm revêtu d'un enduit plâtre sur une face et d'un doublage acoustique sur l'autre face, de type PSE Elastifié Ultra ThA 32 d'épaisseur 13 + 40 d'autre part ; un degré CF 1h30 a été obtenu le 21/11/03.

La liaison horizontale, entre une façade porteuse en parpaings creux de 20 cm revêtus d'un enduit extérieur avec un doublage intérieur en PSE Th 38 d'épaisseur 10 + 80, et une dalle en béton de 18 cm avec une planelle en rive de dalle, nécessite un essai feu au grand four ; un degré CF 1h30 minimum devrait être obtenu.

Les murs de façade ou de refend sont montés sans bourrage des joints verticaux et revêtus des enduits et des doublages isolants.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

14

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### LA SYNTHESE DE L'ETUDE THERMIQUE REALISEE PAR EDF-R&D :

Le calcul des valeurs du coefficient linéique  $\psi$  en W/(m.K) :

Le calcul des pertes énergétiques totales de la liaison a été réalisé par des outils de modélisation numérique aux éléments finis pour des régimes permanents.

Le maillage apporte une précision suffisante avec un temps de calcul raisonnable ; il est affiné dans les zones à fort gradient thermique.

Les conditions aux limites sont conformes à la norme européenne EN 6946, les valeurs prises en compte sont issues de la RT 2000.

Après une résolution par **Code\_Aster**, logiciel interne à EDF, les champs de températures et de flux de chaleur sont caractérisés au sein du rupteur et de son environnement immédiat, les pertes totales de la jonction sont alors déterminées.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

15

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Le calcul de  $\psi$  est déduit de l'expression du flux de chaleur total :

$$= [ \dots + \dots ] \times T \quad [\text{en W/K}] \quad (1)$$

-  $\Phi$  [en W/K] représente la perte énergétique totale de la paroi ;

-  $\psi$  [en W/(m.K)] concerne le coefficient linéique des pertes thermiques que l'on cherche à déterminer.  $l$  [en m] est la largeur de la jonction étudiée entre la façade et le refend ;

-  $U_{mur_i}$  [en W/(m.K)] représente la conductance thermique du mur :

$$[U_{mur_i}]^{-1} = 1/h_e + \sum_j e_j / \lambda_j + 1/h_i \quad [\text{en W/(m.K)}] \quad (2)$$

- Avec pour chacun des composants du mur  $e_j$  [en m] son épaisseur,  $\lambda_j$  [en W/(m.K)] sa conductivité ainsi que  $h_e$  et  $h_i$  les coefficients d'échanges superficiels extérieur et intérieur de la paroi concernée.

- Le taux de correction  $\tau_c$  apporté par la solution de rupteur de pont thermique est donné en % par la formule :

$$\tau_c = 100 ( \psi_{\text{réf}} - \psi ) / \psi_{\text{réf}} \quad [\text{en \%}] \quad (3)$$

$\psi_{\text{réf}}$  est le coefficient linéique de la liaison non corrigée.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

16

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

L'étude de la liaison verticale en T entre une façade et des refends :

Le refend intérieur peut-être envisagé suivant les quatre possibilités déclinées dans le tableau ci-après, le mur en Acoustybloc dB de 15 cm d'épaisseur est équivalent à un parpaing plein perforé de 15 cm.

Les doublages du refend, prévus soit en polystyrène expansé élastifié de type **PSE Ultra ThA 32** ou en laine de roche de conductivité thermique [ $\lambda = 0.034 \text{ W/(m.K)}$ ], sont utiles pour l'isolation acoustique.

Les doublages du mur de façade réalisé en parpaings creux de 20 cm sont prévus en polystyrène expansé standard de type **PSE Th 38**, ou en polystyrène expansé élastifié de type **Ultra ThA 32** ou encore en laine de roche LR 34.

Le rupteur thermique en laine de roche est le plus performant, car ses propriétés ignifuges ne nécessitent pas de parements Coupe-Feu, contrairement aux rupteurs en PSE ; ces peaux réalisent un petit pont thermique qui dégrade légèrement l'efficacité du système.

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

17

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Les taux de correction  $\epsilon_c$  sont très bons,  $\epsilon_c$  [ 64% ; 85% ] ; les valeurs du coefficient linéique sont situés dans l'intervalle suivant [ 0.10 ; 0.17 ]

Le tableau ci-dessous rassemble les valeurs enveloppes du linéique :

Type de liaison Composition refend		Référence				
		sans rupteur	Avec rupteur en T vertical			
			Rockwool	Knauf	BPB	
Béton banché	Épaisseur en cm	18 cm	0.68	0.11	0.14	0.15
		20 cm	0.73	0.12	0.15	0.16
Parpaings perforés 20 cm			0.49	0.13	0.16	0.17
Parpaings creux de 20 cm			0.47	0.13	0.16	0.17
Acoustybloc dB de 15 cm			0.41	0.11	0.14	0.15

Le rupteur de pont thermique Bouygues en façade maçonnée

18

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

EDF R&D a mené d'autres simulations en régime stationnaire pour le complexe du Fibrarupteur vertical de Knauf avec un doublage en PSE Th 38 d'épaisseur **10 + 80** sur le mur de façade en PC 20 ; l'épaisseur des plaques CF a peu d'influence, avec un coefficient  $\psi$  # **0.13**

Jonction entre une façade en PC20 et un refend en acoustybloc dB de 15	Epaisseur du panneau de Triply en mm	18	15	12
	Coefficient $\psi$ en W/m.K	0.134	0.131	0.128

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

### LES PREMIERES CONCLUSIONS :

Le chantier test a permis :

- de vérifier la simplicité de mise en œuvre du système, la cage d'armature sert de gabarit et de repérage pour l'implantation des éléments isolants ;
- de faire accepter cette solution par les équipes du chantier, tant au niveau des conducteurs que des chefs et des compagnons ;
- de réaliser une campagne d'essais acoustiques aux bruits aériens et de justifier l'intérêt de doublages thermique et acoustique soit en polystyrène expansé élastifié de marquage **PSE Ultra ThA 32** en épaisseur **13 + 80**, soit en laine minérale d'épaisseur **10 + 80** ;
- de valider les éléments isolants afin de lancer les essais feu en laboratoire ainsi que les calculs thermiques et l'évaluation des risques de condensation auprès de EDF-R&D.

## JOURNEE ADEME – PUCA DU 11.03.2004 SUR L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Les essais feu sont en cour au CTICM et au CSTB :

- le 21/11/2003 un degré **CF 1h30** a été obtenu pour la liaison verticale avec les complexes à base de **PSE** ;
- un degré **CF 1h30** est attendu pour la jonction horizontale d'une dalle sur un mur de façade.

Les simulations thermiques réalisées par EDF-R&D :

- le rupteur en liaison verticale apporte un taux de correction compris entre **64 et 85%** ;
- la jonction horizontale entre une dalle et la façade, dont l'étude démarre, devrait confirmer un taux de correction proche de **60%**.
- les évaluations des risques de condensation seront alors envisagées.

Une pré-étude des surcoûts, inférieure à **1%** du coût de construction, laisse augurer de bons espoirs pour le développement de cette solution.