

DÉPARTEMENT ACOUSTIQUE ET ÉCLAIRAGE

Laboratoire d'essais acoustiques

RAPPORT D'ESSAIS N° AC11-26031530 CONCERNANT DEUX PLANCHERS ET UNE CHAPE FLOTTANTE

L'accréditation de la section Laboratoires du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation.

Ce rapport d'essais atteste uniquement des caractéristiques de l'objet soumis aux essais et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue pas une certification de produits au sens de l'article L 115-27 du code de la consommation et de la loi du 3 juin 1994.

En cas d'émission du présent rapport par voie électronique et/ou sur support physique électronique, seul le rapport sous forme de support papier signé par le CSTB fait foi en cas de litige. Ce rapport sous forme de support papier est conservé au CSTB pendant une durée minimale de 10 ans.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Il comporte quatorze pages.

**À LA DEMANDE DE : PLACOPLATRE
Avenue Franklin Roosevelt
92282 SURESNES**

N/Réf. : BR-70028615
26031530
PK/GA

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

TÉL. (33) 01 64 68 84 87 | FAX. (33) 01 64 68 83 14 | www.cstb.fr

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

OBJET

Déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique R de deux planchers et l'amélioration de l'isolation au bruit de choc ΔL d'une chape flottante.

TEXTES DE RÉFÉRENCE

Les mesures acoustiques sont réalisées :

- pour l'indice d'affaiblissement acoustique R, selon les normes NF EN ISO 140-1 (1997), NF EN 20140-2 (1993) et NF EN ISO 140-3 (1995) complétées par la norme NF EN ISO 717/1 (1997) et amendements associés,
- pour l'amélioration de l'isolation au bruit de choc ΔL , selon les normes NF EN ISO 140-1 (1997), NF EN 20140-2 (1993), NF EN ISO 140-8 (1997) et NF EN ISO 140-6 (1998) complétées par la norme NF EN ISO 717/2 (1997) et amendements associés.

Les mesures effectuées pour le calcul de la raideur dynamique de la sous-couche sont réalisées selon la norme NF EN 29052-1 (1992).

OBJET SOUMIS À L'ESSAI

Date de réception au laboratoire : 2 Septembre 2011
Origine : Demandeur
Mise en œuvre : Demandeur et CSTB

LISTE RÉCAPITULATIVE DES ESSAIS

N° essai	Objet soumis à l'essai	Type d'essai
1	Plancher avec chape flottante avec sous couche Solissimo®	R
2	Plancher support seul	R
3	Chape flottante avec sous couche Solissimo®	ΔL

Fait à Marne-la-Vallée, le 21 septembre 2012

Le chargé d'essais



Pierre KERDUDOU

Le responsable du pôle



Jean-Baptiste Chéné

**DESCRIPTION
D'UN PLANCHER ET DE SA CHAPE FLOTTANTE**

Essais 1 à 3
Dates 11 et
12/10/11
Poste DELTA

DEMANDEUR PLACOPLATRE
FABRICANTS PLACOPLATRE (sous-couche)
CSTB (plancher support et chape flottante)
APTITUDE À L'EMPLOI En cours de certification ACERMI

DESCRIPTION (les dimensions sont données en mm)

Plancher support	<ul style="list-style-type: none"> - Nature : Béton armé - Dimensions utiles : 4200 x 3600 x 140 - Masse surfacique : 325 kg/m²
Sous-couche	<ul style="list-style-type: none"> - Appellation : Solissimo® - Nature : PSE - Épaisseur : 80 - Masse volumique : 22,5 kg/m³ - Présentation : Panneaux de dimensions 1000 x 1200 - Date de fabrication : 12 juillet 2011 à Le Meux (lot 721) - Raideur dynamique : <ul style="list-style-type: none"> • s' = 93 MN/m³ sous une charge de 8 kg • s' = 84 MN/m³ sous une charge de 4 kg (à titre indicatif)
Bande de rive	<ul style="list-style-type: none"> - Appellation : Tramiplinte - Fabricant : TRAMICO - Nature : Bande de mousse de polyéthylène à cellules fermées, avec un adhésif trois pistes sur une face et un film débordant thermo soudé sur l'autre face. - Épaisseur : 8 - Présentation : Rouleau de largeur 150 et de longueur 25000
Chape flottante	<ul style="list-style-type: none"> - Nature : Mortier de ciment non armé - Dimensions : 4200 x 3600 x 60 - Masse surfacique : 135 kg/m²

MISE EN ŒUVRE DE LA CHAPE FLOTTANTE

Essais 1 à 3
Dates 11 et
12/10/11
Poste DELTA

DEMANDEUR PLACOPLATRE

FABRICANTS PLACOPLATRE (sous-couche)
CSTB (plancher support et chape flottante)

APTITUDE À L'EMPLOI En cours de certification ACERMI

MISE EN ŒUVRE

Une bande de rive est collée sur les rebords du plancher support.

Les panneaux de la sous couche sont disposés bord à bord. L'étanchéité de leurs jonctions est assurée par une bande adhésive.

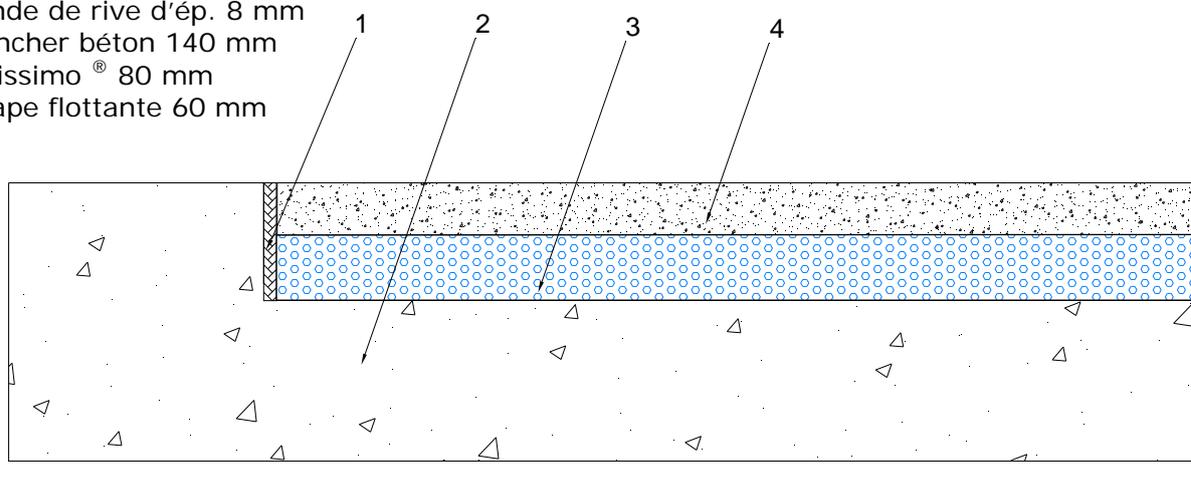
La chape flottante est coulée selon les précautions d'usage (pose selon le DTU 26-2).
Sa durée de séchage est d'un mois.



REMARQUE

La chape flottante est non chargée.

- 1 : Bande de rive d'ép. 8 mm
- 2 : Plancher béton 140 mm
- 3 : Solissimo® 80 mm
- 4 : Chape flottante 60 mm



CONDITIONS DE MESURES

	Salle émission	Salle réception
Essai 1 :	Température : 23,5 °C Humidité relative : 62 %	Température : 23 °C Humidité relative : 60 %
Essai 2 :	Température : 23 °C Humidité relative : 58 %	Température : 23 °C Humidité relative : 55 %
Essai 3 :	Température : 23,5 °C Humidité relative : 62 %	Température : 23 °C Humidité relative : 60 %

**INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE R
D'UN PLANCHER AVEC ET SANS CHAPE FLOTTANTE**

AD43

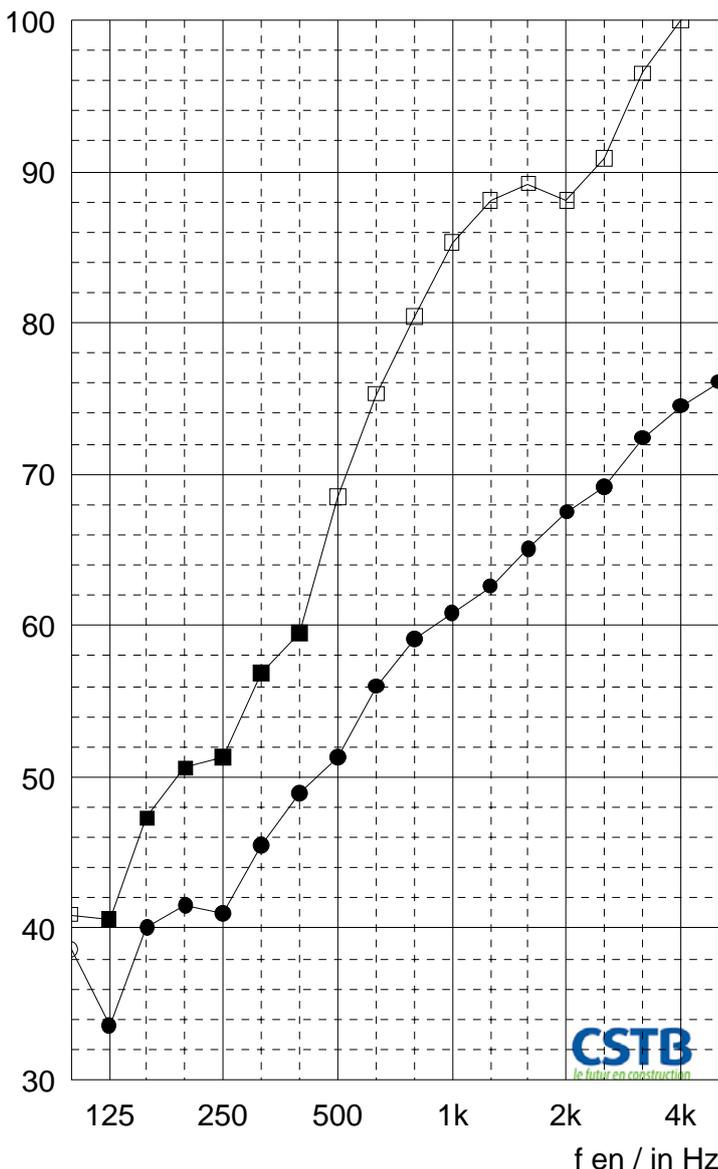
Essais 1 et 2
Dates 11 et
12/10/11
Poste DELTA

DEMANDEUR	PLACOPLATRE	
	SOUS-COUCHE	CHAPE FLOTTANTE
FABRICANTS	PLACOPLATRE	CSTB
APPELLATION	Solissimo®	
CARACTÉRISTIQUES		
Nature	PSE	Chape de mortier ciment
Épaisseur en mm	80	60
Masse surfacique en kg/m ²	1,8	135
Raideur dynamique en MN/m ³	93 sous plaque de charge de 8 kg 84 sous plaque de charge de 4 kg (à titre indicatif)	
Mise en œuvre	Posée	Coulée
APTITUDE À L'EMPLOI	En cours de certification ACERMI	
PLANCHER SUPPORT	Plancher à rebord en béton armé de dimensions 4200 x 3600 x 140 mm, et de masse surfacique 325 kg/m ²	

RÉSULTATS

- Essai : Plancher béton + sous-couche + chape flottante
- Essai : Plancher béton seul

R en / in dB



Code	■	●
f	R	R
100	40,9 ⁺ (51,6)	38,6 ⁺ (51,6)
125	40,6	33,6
160	47,3	40,1
200	50,6	41,5
250	51,3	41,0
315	56,9	45,5
400	59,5	48,9
500	68,5 ⁺ (82,1)	51,3
630	75,3 ⁺ (83,9)	56,0
800	80,4 ⁺ (91,4)	59,1
1k	85,3 ⁺ (93,2)	60,8
1,25k	88,1 ⁺ (97,1)	62,6
1,6k	89,2 ⁺ (100,1)	65,1
2k	88,1 ⁺ (102,3)	67,5
2,5k	90,9 ⁺ (104,3)	69,2
3,15k	96,5 ⁺ (103,0)	72,4
4k	100,0 ^{*+} (101,1)	74,5
5k	102,1 ^{*+} (101,0)	76,1
Hz	dB	dB

(*) : valeur corrigée/corrected value. (+) : limite de poste/station limit.

■	$R_w (C;C_{tr}) = 64(-2;-8) \text{ dB}$ Pour information / For information: $R_w = R_w + C = 62 \text{ dB}$ $R_{w,cr} = R_w + C_{cr} = 56 \text{ dB}$
●	$R_w (C;C_{tr}) = 54(-1;-6) \text{ dB}$ Pour information / For information: $R_w = R_w + C = 53 \text{ dB}$ $R_{w,cr} = R_w + C_{cr} = 48 \text{ dB}$

**AMÉLIORATION DE L'ISOLATION AU BRUIT DE CHOC ΔL
D'UNE CHAPE FLOTTANTE**

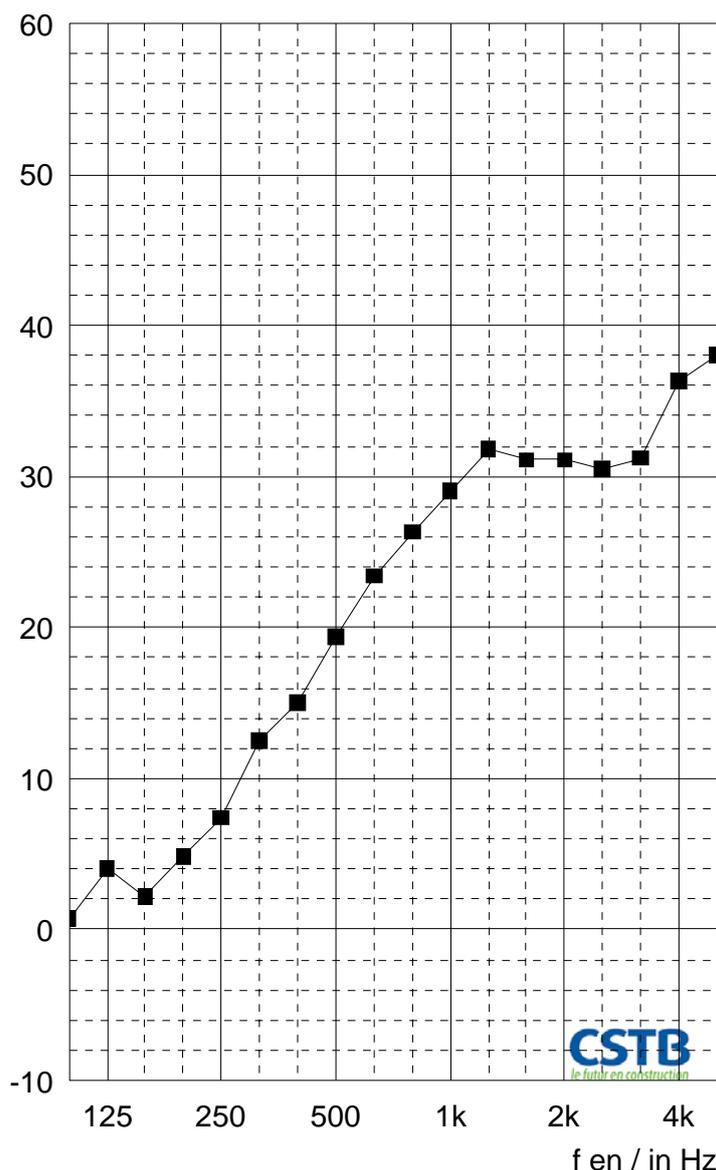
CD66

Essai 3
Dates 11 et 12/10/11
Poste DELTA

DEMANDEUR	PLACOPLATRE	
	SOUS-COUCHE	CHAPE FLOTTANTE
FABRICANTS	PLACOPLATRE	CSTB
APPELLATION	Solissimo®	
CARACTÉRISTIQUES		Chape de mortier ciment
Nature	PSE	60
Épaisseur en mm	80	135
Masse surfacique en kg/m ²	1,8	
Raideur dynamique en MN/m ³	93 sous plaque de charge de 8 kg 84 sous plaque de charge de 4 kg (à titre indicatif)	
Mise en œuvre	Posée	Coulée
APTITUDE À L'EMPLOI	En cours de certification ACERMI	
PLANCHER SUPPORT	Plancher à rebord en béton armé de dimensions 4200 x 3600 x 140 mm, et de masse surfacique 325 kg/m ²	

RÉSULTATS

ΔL en / in dB



f	ΔL
100	0,7
125	4,0
160	2,2
200	4,8
250	7,4
315	12,5
400	15,0
500	19,4
630	23,4
800	26,3
1000	29,0
1250	31,8
1600	31,1
2000	31,1
2500	30,5
3150	31,2
4000	36,3
5000	38,0
Hz	dB

(*) : valeur corrigée/corrected value. (+) : limite de poste/station limit.

$\Delta L_w = 21$ dB

Pour information / For information:

$C_{v,1} = -11$ dB

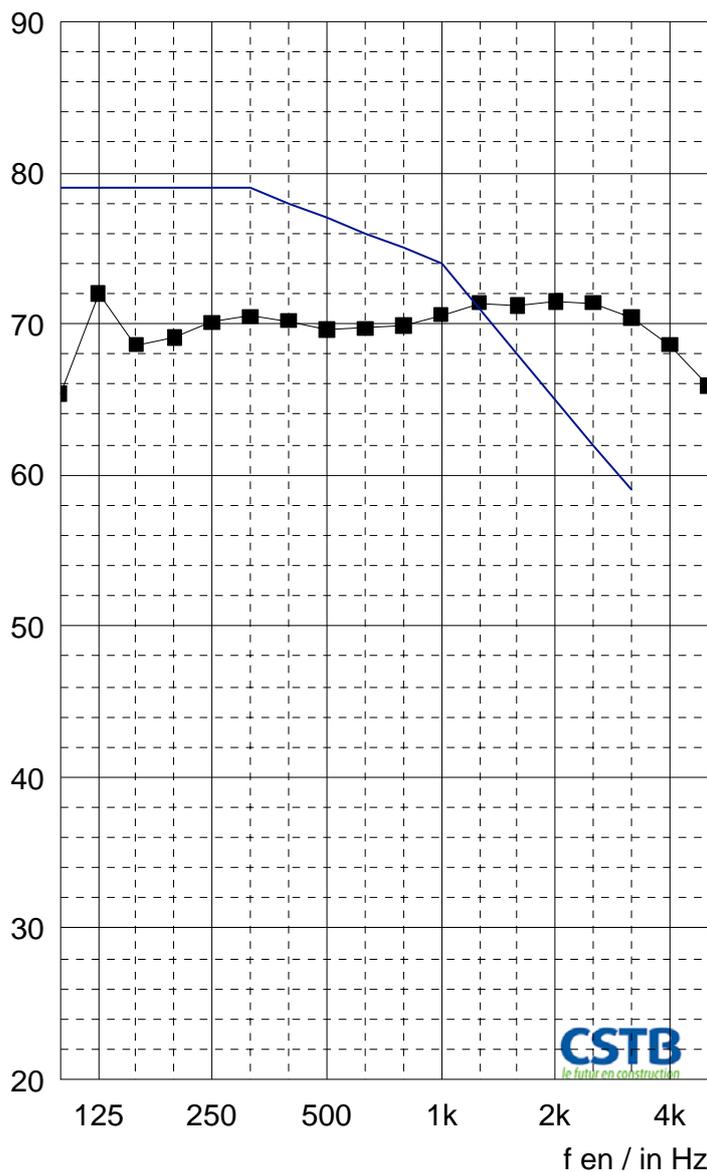
$\Delta L = 22$ dB(A)

**ANNEXE 1 – NIVEAU DE BRUIT DE CHOC NORMALISÉ L_n
DU PLANCHER SUPPORT**

Date 12/10/11
Poste DELTA

RÉSULTATS

■ L_n en / in dB — Courbe de référence / Reference curve



f	L_n
100	65,4
125	72,0
160	68,6
200	69,1
250	70,1
315	70,5
400	70,2
500	69,6
630	69,7
800	69,9
1000	70,6
1250	71,4
1600	71,2
2000	71,5
2500	71,4
3150	70,4
4000	68,6
5000	65,9
Hz	dB

(*) : valeur corrigée/corrected value. (±) : limite de poste/station limit.

$L_{n,w} = 77$ dB

Pour information / For information:

$C_1 = -10$ dB

$L_n = 81$ dB(A)

ANNEXE 2 MÉTHODE D'ÉVALUATION ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE AU BRUIT AÉRIEN R

➤ **Méthode d'évaluation : NF EN ISO 140-3 (1995)**

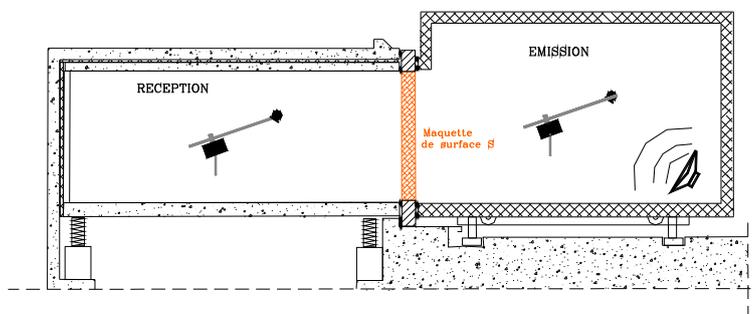
La norme NF EN ISO 140-3 (1995) est la méthode d'évaluation de l'isolement acoustique aux bruits aériens des éléments de construction tels que murs, plancher, portes, fenêtres, éléments de façades, façades, ...

Le mesurage doit être réalisé dans un laboratoire d'essai sans transmissions latérales.

Le poste d'essai utilisé est composé de deux salles : une salle fixe contre laquelle nous fixons le cadre support de l'échantillon à tester et une salle mobile réalisant ainsi un couple « salle d'émission – salle de réception ». Ces salles et le cadre sont totalement désolidarisés entre eux (joints néoprènes) et sont conformes à la norme NF EN ISO 140-1 (1997). La conception des salles (boîte dans la boîte) procure une forte isolation acoustique vis-à-vis de l'extérieur et permet de mesurer des niveaux de bruit de fond très faibles.

Mesure par tiers d'octave, de 100 à 5000 Hz :

- du niveau de bruit de fond dans le local de réception L_{BdF}
- de l'isolement brut : $L_E - L_R$
- de la durée de réverbération du local de réception T



Calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique R en dB pour chaque tiers d'octave :

$$R = L_E - L_R + 10 \log (S/A)$$

L_E : Niveau sonore dans le local d'émission en dB

L_R : Niveau sonore dans le local de réception, corrigé du bruit de fond en dB

S : surface de la maquette à tester en m^2

A : Aire équivalente d'absorption dans le local de réception en m^2

$$A = (0,16 \times V)/T \quad \text{où } V \text{ est le volume du local de réception en } m^3 \text{ et } T \text{ est la durée de réverbération du même local en s.}$$

Plus R est grand, plus l'élément testé est performant.

➤ **Expression des résultats : Calcul de l'indice unique pondéré $R_w(C;C_{tr})$ selon la norme NF EN ISO 717-1 (1997)**

Prise en compte des valeurs de R par tiers d'octave entre 100 et 3150 Hz avec une précision au 1/10ème de dB.

Déplacement vertical d'une courbe de référence par saut de 1 dB jusqu'à ce que la somme des écarts défavorables soit la plus grande tout en restant inférieure ou égale à 32,0 dB.

R_w en dB est la valeur donnée alors par la courbe de référence à 500 Hz.

Les termes d'adaptation à un spectre (C et C_{tr}) sont calculés à l'aide de spectres de référence pour obtenir :

- L'isolement vis-à-vis de bruits de voisinage, d'activités industrielles ou aéroportuaire : **$R_A = R_w + C$ en dB**
- L'isolement vis-à-vis du bruit d'infrastructure de transport terrestre : **$R_{Atr} = R_w + C_{tr}$ en dB**

ANNEXE 2 MÉTHODE D'ÉVALUATION ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

AMELIORATION DE L'ISOLATION AU BRUIT DE CHOC ΔL

Détermination de la réduction de la transmission des bruits de choc par les revêtements de sol sur un plancher lourd normalisé excités par une machine à choc normalisée.
Le mesurage doit être exécuté dans un laboratoire d'essai.

➤ **Méthode d'évaluation : NF EN ISO 140-8 (1997)**

Mesure par tiers d'octave, de 100 à 5000 Hz :

- du niveau de bruit de choc L_i dans la salle de réception
- du niveau de bruit de fond
- de la durée de réverbération du local de réception T

Calcul du niveau de bruit de choc normalisé L_n en dB pour chaque tiers d'octave :

$$L_n = L_i + 10 \log (A_0/A)$$

L_i : Niveau de bruit de choc mesuré dans la salle de réception et éventuellement corrigé du bruit de fond

A_0 : Aire de référence égale à 10 m² en laboratoire

A : Aire équivalente d'absorption dans le local de réception en m²

$A = (0,16 \times V)/T$ où V est le volume du local de réception en m³ et T est le durée de réverbération du même local en s

Calcul de l'amélioration de l'isolation au bruit de choc ΔL en dB pour chaque tiers d'octave :

$$\Delta L = L_{n0} - L_n$$

L_{n0} : Niveau de bruit de choc normalisé du plancher lourd normalisé sans le revêtement de sol,

L_n : Niveau de bruit de choc normalisé du plancher lourd normalisé avec le revêtement de sol.

➤ **Expression des résultats :**

Calcul du niveau de bruit de choc normalisé du plancher de référence recouvert du revêtement de sol soumis à l'essai en tiers d'octave de 100 à 3150 Hz :

$$L_{n,r} = L_{n,r,o} - \Delta L$$

- $L_{n,r,o}$ = niveau de bruit de choc du plancher de référence,

- ΔL = amélioration de l'isolation au bruit de choc

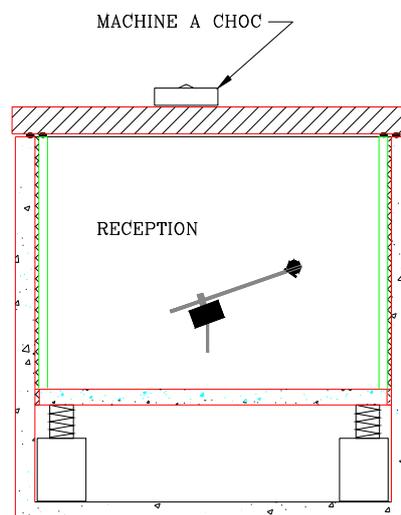
Calcul du ΔL_w :

$$\Delta L_w = L_{n,r,o} - L_{n,r,w} = 78 \text{ dB} - L_{n,r,w}$$

Pour le calcul du $L_{n,r,w}$, prise en compte du $L_{n,r}$ par tiers d'octave de 100 à 3150 Hz avec une précision au 1/10^{ème} de dB.

Déplacement vertical d'une courbe de référence par saut de 1 dB jusqu'à ce que la somme des écarts défavorables soit la plus grande tout en restant inférieure ou égale à 32,0 dB.

$L_{n,r,w}$ est la valeur donnée alors par la courbe de référence à 500 Hz.



**ANNEXE 2 / APENDIX 2 –
APPAREILLAGE / EQUIPMENT**

**POSTE DELTA
DELTA STATION**

Salle d'émission / *Emission room* : DELTA 3

DÉSIGNATION DÉSIGNATION	MARQUE BRAND	TYPE TYPE	N° CSTB
Chaîne microphonique <i>Microphone network</i>	Bruël & Kjær Bruël & Kjær	Microphone 4166 Préamplificateur / <i>Pre-amplifier</i> 2669	CSTB 01 0210
Bras tournant <i>Rotating arm</i>	Bruël & Kjær	3923	CSTB 97 0166
Amplificateur <i>Amplifier</i>	LAB GRUPPEN	LAB1000	CSTB 97 0197
Source <i>Speaker</i>	CSTB-PHL AUDIO	Cube	CSTB 97 0185
Source <i>Speaker</i>	CSTB-PHL AUDIO	Cube	CSTB 97 0186
Machine à choc / <i>Tapping machine</i>	Bruël & Kjær	3204	CSTB 98 0182

Salle de réception / *Reception room* : DELTA 2

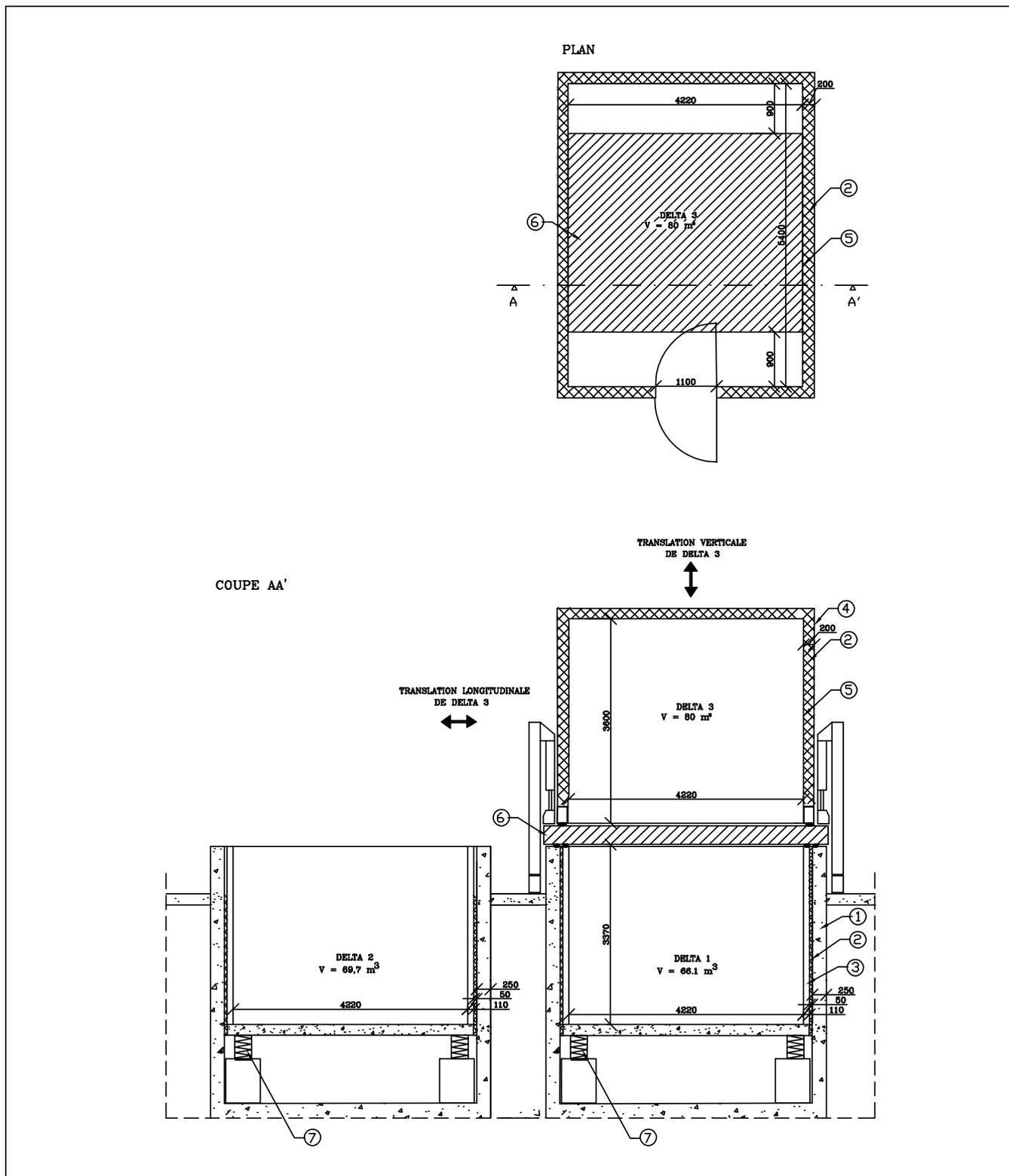
DÉSIGNATION DÉSIGNATION	MARQUE BRAND	TYPE TYPE	N° CSTB
Chaîne microphonique <i>Microphone network</i>	Bruël & Kjær Bruël & Kjær	Microphone 4166 Préamplificateur / <i>Pre-amplifier</i> 2669	CSTB 01 0208
Bras tournant <i>Rotating arm</i>	Bruël & Kjær	3923	CSTB 90 0089
Amplificateur <i>Amplifier</i>	CARVER	PM600	CSTB 91 0116
Source <i>Speaker</i>	CSTB-ELECTRO VOICE	Pyramide	CSTB 97 0203

Salle de commande / *Control room*

DÉSIGNATION DÉSIGNATION	MARQUE BRAND	TYPE TYPE	N° CSTB
Analyseur temps réel <i>Real Time Analyser</i>	Bruël & Kjær	2144	CSTB 96 0176
Micro-ordinateur <i>Microcomputer</i>	DELL	OPTIPLEX GX 270	
Calibreur <i>Calibrator</i>	Bruël & Kjær	4231	CSTB 95 0145

ANNEXE 4 – PLAN DU POSTE D'ESSAIS

POSTE DELTA



dimensions en mm

7	Boîte à ressort	échelle:	1/100
6	Surface de l'ouverture S=15 m²		
5	Tôle acier 6mm	POSTE DELTA ACOUSTIQUE	
4	Tôle acier 2mm		
3	Bloc de béton plein e=100 mm		
2	Laine minérale		
1	Béton e=200 mm		
REP	DESIGNATION		

ANNEXE 5 – DÉTERMINATION DE LA RAIDEUR DYNAMIQUE S' D'UNE SOUS-COUCHE

DEMANDEUR, FABRICANT PLACOPLATRE

RÉSULTATS

FICHE RESULTAT RAIDEUR DYNAMIQUE										
ESSAI DE RAIDEUR DYNAMIQUE										
Numéro d'essai :	R11-26031530-B						Date de scellement:			27/09/2011
Nom du client :	PLACOPLATRE						Date de l'essai:			28/09/2011
Désignation du produit :	Solissimo® 80 mm						Température en °C :			22
Appellation :	Sous couche sous chape						Humidité relative en % :			53
Type:	PSE									
Dossier AC11-26031530		Essai avec vaseline sous 4 kg				Essai avec vaseline sous 8 kg				
IDENTIFICATION EPROUVETTE	R11-26031530- B/1	R11-26031530- B/2	R11-26031530- B/3	MOYENNE	Incertitude	R11-26031530- B/1	R11-26031530- B/2	R11-26031530- B/3	MOYENNE	Incertitude
Masse surfacique de la charge appliqué sur le produit en kg/m²	98	100	98	99	± 1,01	199	201	199	200	± 2,03
Epaisseur du produit en mm	80,0	80,0	80,0	80,0	± 3,02	80,0	80,0	80,0	80,0	± 3,02
Epaisseur de la partie poreuse du produit en mm	0,0	0,0	0,0	0,0	± 0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	± 0,00
fr en Hz	144,0	135,0	161,0	146,7	± 6,60	104,0	104,5	117,0	108,5	± 4,88
η en %	13,1	28,7	11,1	17,6	± 1,37	13,1	21,6	8,6	14,4	± 1,13
S't en MN/m³	80,6	72,0	100,5	84,4	± 5,44	85,1	86,6	107,5	93,1	± 5,99
S'a en MN/m³	0,0	0,0	0,0	0,0	± 0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	± 0,00
S' en MN/m³	80,6	72,0	100,5	<u>84</u>	± 5,44	85,1	86,6	107,5	<u>93</u>	± 5,99

ANNEXE 6 – BANC DE MESURE DE RIGIDITE DYNAMIQUE

DÉSIGNATION	MARQUE	TYPE	N° CSTB
Balance	Précia	Quartz 3	CSTB 9300131
Comparateur	Digico		CSTB 06 0168
Thermo - hygromètre	Testo Therm	Thermo – hygromètre 6100	CSTB 91 0110
Analyseur	Bruël & Kjær	PULSE	CSTB 04 1501
Tête d'impédance	Bruël & Kjær	8001	CSTB 05 0371
Amplificateur de charge	Bruël & Kjær	2635	CSTB 04 1502
Amplificateur de charge	Bruël & Kjær	2635	CSTB 04 1503
Excitateur de Vibrations	Bruël & Kjær	4809	CSTB 10 0069
Amplificateur de puissance	Bruël & Kjær	2718	CSTB 05 0369
Calibreur	Bruël & Kjær	4294	CSTB 89 0064

PRINCIPE

La détermination de la fréquence de résonance f_r du système masse / ressort / masse permet d'obtenir la raideur dynamique apparente par unité de surface s'_t de l'éprouvette suivant l'équation :

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}}$$

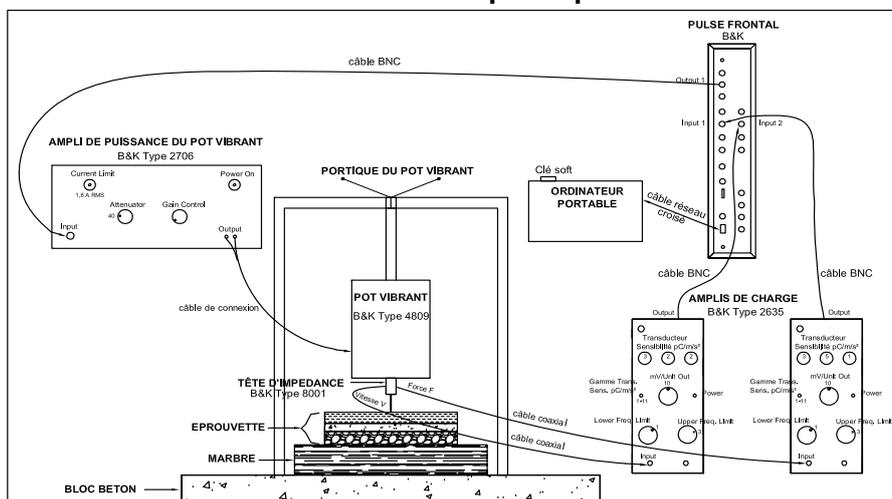
avec : m'_t la masse totale par unité de surface utilisée pendant l'essai

Le dispositif de mesure utilisé par le laboratoire est constitué d'un système Pulse qui génère un signal d'excitation dit "bruit blanc", amplifié par un amplificateur de puissance avant d'être transmis à un pot vibrant.

Une tête d'impédance permet de récupérer la force injectée ainsi que la vitesse de déplacement du système masse / ressort / masse.

Ces signaux sont ensuite amplifiés par des amplificateurs de charge avant d'être transmis au système Pulse pour être traités et analysés.

Schéma de principe



ANNEXE 7 – EXPRESSION DES RÉSULTATS DE RIGIDITÉ DYNAMIQUE

- Raideur dynamique par unité de surface s' , en MN/m^3 :

$$s' = s'_t + s'_a$$

avec : • s'_t : raideur dynamique apparente par unité de surface de l'éprouvette, en MN/m^3

$$s'_t = 4\pi^2 \cdot m_t \cdot f_r^2$$

où : m_t est la masse surfacique de la charge appliquée sur l'éprouvette en kg/m^2 ,
 f_r est la fréquence de résonance en Hz du système Masse – Ressort – Masse

• s'_a : raideur dynamique par unité de surface du gaz captif, en MN/m^3

$$s'_a = \frac{Po}{d_t \cdot \varepsilon}$$

où : Po est la pression atmosphérique, en Mpa
 d_t l'épaisseur de la partie poreuse de l'éprouvette sous la charge statique appliquée, en mm
 ε est la porosité du matériau

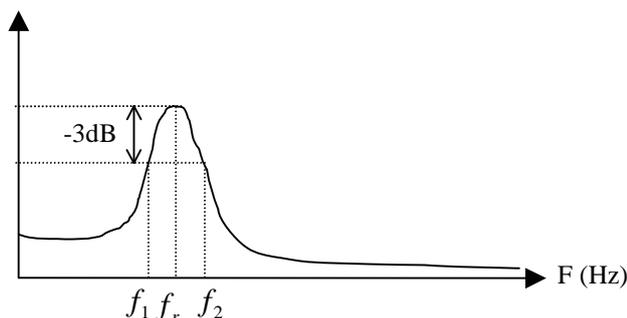
$$\varepsilon = 1 - \frac{M}{\rho \cdot d_t}$$

où : M est la masse surfacique du matériau fibreux de l'éprouvette, en kg/m^2
 ρ est la masse volumique du constituant solide du matériau fibreux, en kg/m^3

- Facteur de perte, en % :

$$\eta = \frac{\Delta f}{f_r} \cdot 100$$

$$\text{avec } \Delta f = \frac{f_2 - f_1}{f_r}$$



FIN DE RAPPORT