



cstc
wtcb .be

Fiches Normes BETON - MORTIER - GRANULATS



Développé dans le cadre de l'Antenne Normes Béton-Mortier-Granulats avec le soutien de:



2020

Sommaire

INTRODUCTION	5
ESSAIS SUR BÉTON DURCI -----	6
<u>NBN EN 678</u> Détermination de la masse volumique sèche du béton cellulaire autoclavé (1994)	
<u>NBN EN 679</u> Détermination de la résistance en compression du béton cellulaire autoclavé (2005)	
<u>NBN EN 1353</u> Détermination du taux d'humidité du béton cellulaire autoclavé (1997)	
<u>NBN EN 12390-2</u> Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance (2019)	
<u>NBN EN 12390-3</u> Résistance à la compression des éprouvettes (2019)	
<u>NBN EN 12390-5</u> Résistance à la flexion des éprouvettes (2019)	
<u>NBN EN 12390-6</u> Détermination de la résistance en traction par fendage d'éprouvettes (2010)	
<u>NBN EN 12390-7</u> Masse volumique du béton durci (2019)	
<u>NBN EN 12390-8</u> Profondeur de pénétration d'eau sous pression (2019)	
<u>CEN/TS 12390-9</u> Résistance au gel dégel - dégel en présence de sels de déverglaçage (écaillage) (2016)	
<u>NBN EN 12390-11</u> Détermination de la résistance du béton à la pénétration des chlorures - diffusion unidirectionnelle (2015)	
<u>NBN EN 12390-13</u> Détermination du module sécant d'élasticité en compression (2014)	
<u>NBN EN 12390-16</u> Détermination du retrait du béton (2019)	
<u>NBN EN 12390-17</u> Détermination du fluage du béton en compression (2019)	
<u>NBN EN 12504-1</u> Carottes, prélèvement, examen et essais en compression (2019)	
<u>NBN EN 12504-2</u> Essais non destructifs - détermination de l'indice de rebondissement (2012)	
<u>NBN EN 12504-3</u> Détermination de la force d'arrachement (2005)	
ESSAIS SUR BÉTON FRAIS -----	51
<u>NBN EN 12350-1</u> Prélèvement et appareillage commun (2019)	
<u>NBN EN 12350-2</u> Essai d'affaissement (2019)	
<u>NBN EN 12350-3</u> Essai Vébé (2019)	
<u>NBN EN 12350-4</u> Indice de serrage (2019)	
<u>NBN EN 12350-5</u> Essai d'étalement à la table à choc (2019)	
<u>NBN EN 12350-6</u> Masse volumique (2019)	
<u>NBN EN 12350-7</u> Teneur en air - Méthode de la compressibilité (2019)	
<u>NBN EN 12350-8</u> Béton auto-plaçant - Essai d'étalement au cône (2019)	
<u>NBN EN 12350-9</u> Béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'entonnoir en V (2019)	
<u>NBN EN 12350-10</u> Béton auto-plaçant - Essai à la boîte en L (2010)	
ESSAIS SUR BÉTON PROJETÉ -----	74
<u>NBN EN 14487-1</u> Définitions, spécifications et conformité (2006)	

<u>NBN EN 14487-2</u>	Exécution (2007)
<u>NBN EN 14488-1</u>	Echantillonnage de béton frais et de béton durci (2005)
<u>NBN EN 14488-2</u>	Résistance à la compression au jeune âge du béton projeté (2006)
<u>NBN EN 14488-3</u>	Résistances à la flexion d'éprouvettes parallélépipédiques en béton renforcé par des fibres (2006)
<u>NBN EN 14488-4</u>	Adhérence en traction directe sur carottes (2008)
<u>NBN EN 14488-5</u>	Détermination de la capacité d'absorption de l'énergie d'une dalle-éprouvette renforcée par des fibres (2006)
<u>NBN EN 14488-6</u>	Epaisseur du béton sur un support (2006)
<u>NBN EN 14488-7</u>	Teneur en fibres du béton renforcé par des fibres (2006)

ESSAIS SUR MORTIERS DE MAÇONNERIE ----- 107

<u>NBN EN 1015-1</u>	Détermination de la répartition granulométrique par tamisage (1998+add1 2007)
<u>NBN EN 1015-2</u>	Echantillonnage global des mortiers et préparation des mortiers d'essai (1998+add1 2007)
<u>NBN EN 1015-3</u>	Détermination de la consistance du mortier frais (à la table à secousses) (1999+add1 2004+add2 2007)
<u>NBN EN 1015-6</u>	Détermination de la masse volumique apparente du mortier frais (1998+add1 2007)
<u>NBN EN 1015-7</u>	Détermination de la teneur en air du mortier frais (1998)
<u>NBN EN 1015-9</u>	Détermination de la période d'ouvrabilité et du temps ouvert du mortier frais (1999+add1 2007)
<u>NBN EN 1015-10</u>	Détermination de la masse volumique apparente sèche du mortier durci (1999+add1 2007)
<u>NBN EN 1015-11</u>	Détermination de la résistance en flexion et en compression du mortier durci (2019)
<u>NBN EN 1015-12</u>	Détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports (2016)
<u>NBN EN 1015-18</u>	Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité des mortiers (2003)
<u>NBN EN 1015-19</u>	Détermination de la perméabilité à la vapeur d'eau des mortiers d'enduits durcis (1998+add1 2004)
<u>NBN EN 1015-21</u>	Détermination de la compatibilité des mortiers d'enduit extérieur monocouches avec leur armature (2003)

MÉTHODES D'ESSAI DE LA MAÇONNERIE ----- 132

<u>NBN EN 772-1</u>	Détermination de la résistance à la compression (2015)
<u>NBN EN 772-13</u>	Détermination de la masse volumique absolue et apparente sèches des éléments de maçonnerie (excepté les pierres naturelles) (2000)
<u>NBN EN 772-14</u>	Détermination de la variation due à l'humidité des éléments de maçonnerie en béton de granulats et en pierre reconstituée (2002)
<u>NBN EN 1052-1</u>	Détermination de la résistance à la compression (2016+AC 2017)
<u>NBN EN 1052-2</u>	Détermination de la résistance à la flexion (2016+AC 2017)
<u>NBN EN 1052-3</u>	Détermination de la résistance initiale au cisaillement (2002)
<u>NBN EN 1052-5</u>	Détermination de la résistance à la rupture d'un joint de muret selon la méthode du moment de la flexion en tête de muret (2005)

MÉTHODES D'ESSAIS POUR MORTIER DE JOINTS ----- 152

- NBN EN 12808-1 Détermination de la résistance chimique des mortiers à base de résines réactives (2008)
- NBN EN 12808-2 Détermination de la résistance à l'abrasion (2008)
- NBN EN 12808-3 Détermination de la résistance à la flexion et à la compression (2008)
- NBN EN 12808-4 Détermination du retrait (2009+AC 2011)
- NBN EN 12808-5 Détermination de l'absorption d'eau (2008)

CHAPES ----- 165

- NBN EN 13813 Matériaux de chapes – Propriétés et exigences (2002)
- NBN EN 13318 Terminologie (2000)
- NBN EN 13892-1 Echantillonnage, Conception et cure des éprouvettes d'essais (2003)
- NBN EN 13892-2 Détermination de la résistance à la flexion et à la compression (2003)
- NBN EN 13892-5 Détermination de la résistance à l'usure par roulette pivotante – Méthodes pour matériaux de chape avec couche d'usure (2003)
- NBN EN 13892-6 Détermination de la dureté superficielle (2003)

GRANULATS ----- 184

- NBN EN 933-1 Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage (2012)
- NBN EN 933-6 Evaluation des caractéristiques de surface - Coefficient d'écoulement des granulats (2014)
- NBN EN 933-9 Qualification des fines - Essai au bleu de méthylène (2009+A1 2013)
- NBN EN 1744-1 § 15.1 Détermination de la teneur potentielle en matières humiques des granulats (2013)
- NBN EN 1097-1 Détermination de la résistance à l'usure – Micro-Deval (2011)
- NBN EN 1097-2 Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation (2020)
- NBN EN 1097-3 Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire (1998)
- NBN EN 1097-4 Détermination de la porosité du filler sec compacté (2008)
- NBN EN 1097-5 Détermination de la teneur en eau par séchage en étuve ventilée (2008)
- NBN EN 1097-6 Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau (2013)
- NBN EN 1097-7 Détermination de la masse volumique absolue du filler - Méthode au pycnomètre (2008)
- NBN EN 1097-8 Détermination du coefficient de polissage accéléré (2020)
- NBN EN 1097-10 Hauteur de succion d'eau (2014)

ADJUVANTS ----- 212

- NBN EN 934-5 Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage (2008)

CIMENTS ----- 215

- NBN B12-108 Ciments à haute résistance aux sulfates (2015)

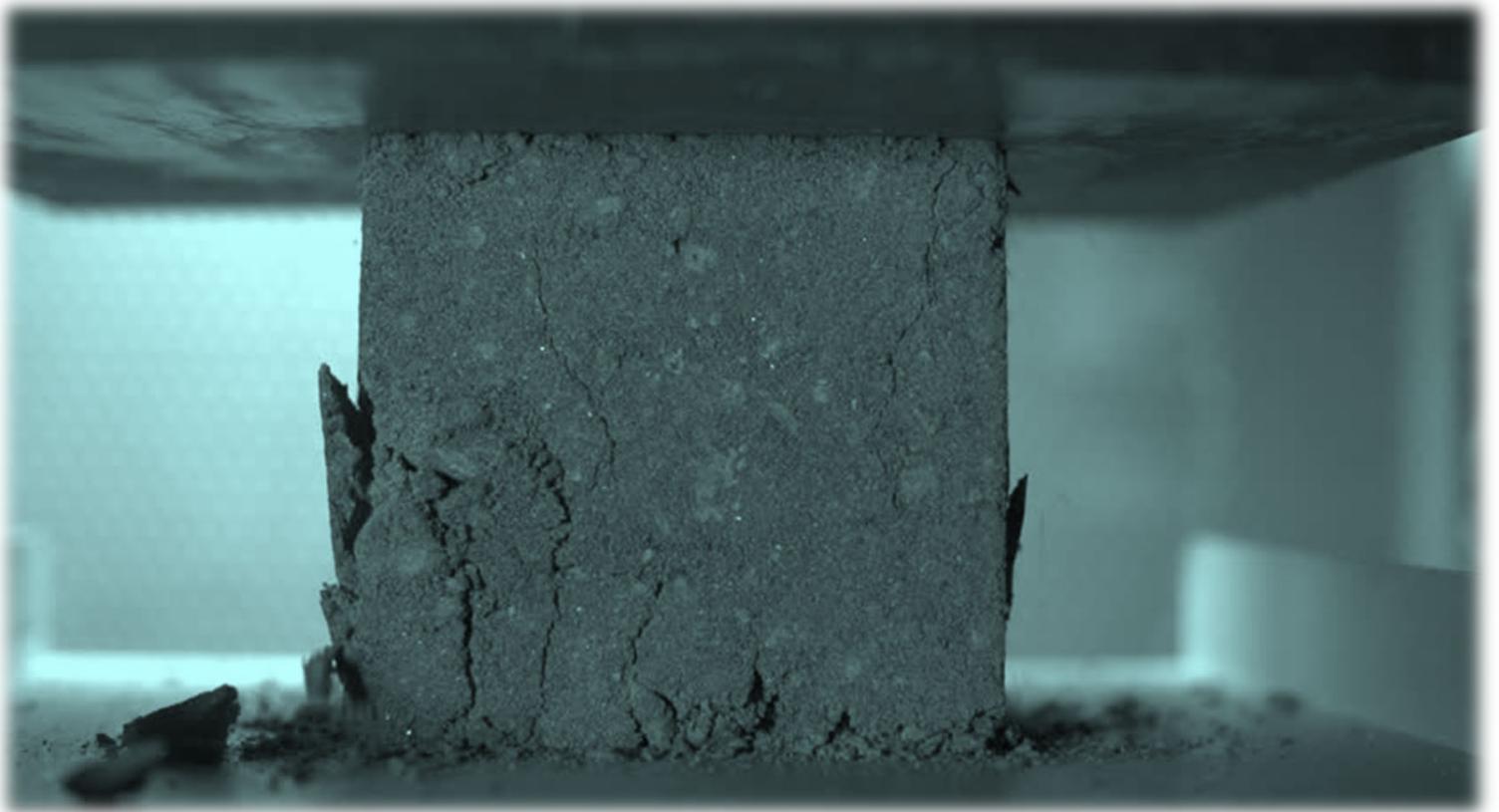
Introduction

Cette publication contient des fiches de résumés de normes relatives au béton, mortier et granulats.

Chaque fiche décrit les particularités de la norme. Si nécessaire, une comparaison avec l'ancienne norme belge ou avec un autre document de référence est effectuée.

La liste complète des normes de ce domaine peut être consultée sur le site Web du NBN (www.nbn.be).

Vous trouverez une sélection de normes dans la rubrique [Publication et normes](#) sur le site web du CSTC.



Essais sur béton durci

NBN EN 678

Détermination de la masse volumique sèche du béton cellulaire autoclavé (1994)

Principe

Les éprouvettes sont prélevées dans des composants préfabriqués. La masse volumique sèche est définie comme étant le rapport entre la masse des éprouvettes séchées à $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante et leur volume.

Nombre d'échantillons

Trois échantillons.

Dimensions des échantillons

Les éprouvettes doivent être prismatiques, cubiques ou cylindriques avec comme dimension minimale 50 mm et un volume individuel d'au moins $0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Formule

$$\rho_i = \frac{m_{di}}{V_i} \text{ exprimé à } 5 \text{ kg/m}^3 \text{ près}$$

où:

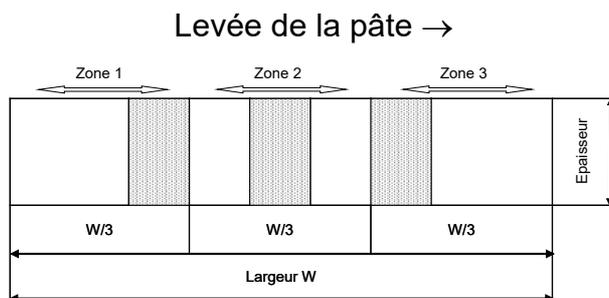
ρ_i Masse volumique sèche de chaque échantillon (i)

m_{di} Masse sèche en kg

V_i Volume en m^3

Quelques particularités

- Les échantillons doivent, dans la mesure du possible, provenir de chaque tiers de l'élément.



- Aucune valeur de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision n'est reprise dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

NBN EN 679

Détermination de la résistance en compression du béton cellulaire autoclavé (2005)

Principe

La résistance à la compression est déterminée sur des éprouvettes et définie comme le rapport entre la charge de rupture en compression axiale et l'aire de la section de l'échantillon perpendiculaire à la direction de l'effort de compression.

Nombre d'échantillons

Trois échantillons.

Dimensions des échantillons

Les éprouvettes doivent être cubiques avec des longueurs d'arête de 100 mm. La norme autorise d'autres formes ou dimensions sous certaines conditions.

Formule

$$f_{ci} = \frac{F_i}{A_{ci}} \text{ exprimé à } 0,05 \text{ N/mm}^2 \text{ près}$$

où:

f_{ci} Résistance en compression de l'échantillon (i)

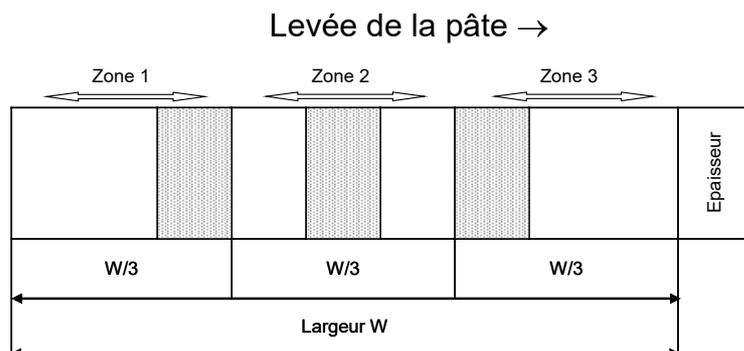
F_i Charge maximale lors de la rupture en N

A_{ci} Aire de la section transversale sur laquelle agit la charge en mm^2

La résistance moyenne $f_c = (f_{c1} + f_{c2} + f_{c3})/3$ doit être arrondie au 0,1 MPa près.

Quelques particularités

- Les échantillons doivent, dans la mesure du possible, provenir de chaque tiers de l'élément comme schématisé ci-dessous.



- Le taux d'humidité doit être de $(6 \pm 2) \%$ de la masse au moment de l'essai. Ce taux est calculé à partir de la mesure de la masse volumique sèche (voir NBN EN 678).
- Le taux d'humidité réel au moment de l'essai doit être déterminé après l'essai de compression conformément à la norme NBN EN 1353.
- La vitesse de montée en charge est de $(0,1 \pm 0,05)$ MPa par seconde.

Remarques

- Aucune valeur de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure n'est reprise dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

Principe

Des échantillons sont prélevés dans des éléments préfabriqués en s'assurant que le taux d'humidité reste constant jusqu'à la première pesée. La masse des éprouvettes est déterminée à l'état humide et après séchage à $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante. De plus, le volume des éprouvettes est déterminé à partir des dimensions mesurées.

Nombre d'échantillons

Trois échantillons au minimum.

Dimensions des échantillons

Les échantillons doivent être des prismes, cubes ou cylindres avec une dimension minimale au moins égale à 50 mm et un volume individuel au moins égal à $0,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Formules

Le taux d'humidité peut être exprimé par rapport à la masse (μ_m) ou au volume (μ_v).

Les formules sont les suivantes:

$$\mu_m (\%) = 100 \frac{m_{\text{hum}} - m_d}{m_d} \text{ exprimé à } 0,1\% \text{ près}$$

$$\mu_v (\%) = 100 \frac{m_{\text{hum}} - m_d}{V} 10^6 \text{ exprimé à } 1 \text{ kg/m}^3 \text{ près}$$

μ_m Taux d'humidité par rapport à la masse, en %

m_{hum} Masse de l'échantillon à l'état humide, en g

m_d Masse de l'échantillon à l'état sec, en g

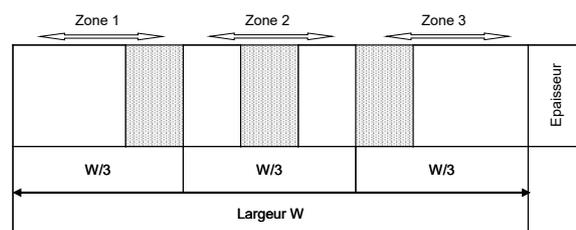
μ_v Taux d'humidité par rapport au volume, en kg par m^3

V Volume de l'échantillon, en mm^3 .

Quelques particularités

- Les échantillons doivent, dans la mesure du possible, provenir de chaque tiers de l'élément comme schématisé ci-dessous.

Levée de la pâte →



- Sciage à sec en évitant que le taux d'humidité ne soit influencé.

Remarques

- Aucune valeur de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure n'est reprise dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

NBN EN 12390-2

Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance (2019)

Objet de la norme

Cette norme spécifie des méthodes pour réaliser des échantillons d'essais mécaniques et pour leur cure. Elle couvre la préparation et le remplissage des moules, le serrage, le lissage, la cure et le transport. Cette norme peut être utilisée pour la confection et la conservation des échantillons pour d'autres méthodes d'essai.

Particularités

Quelques différences entre la version de la norme NBN EN 12390-2 de 2009 et de 2019 figurent dans le tableau suivant:

	NBN EN 12390-2	
	2009	2019
Moules	NBN EN 12390-1	NBN EN 12390-1
Hausse de remplissage	Optionnelle	Optionnelle
Matériel pour serrage	Tige métallique (extrémités arrondies) de section circulaire de 16 mm de diamètre et de 600 mm de longueur	Pas des spécifications pour: Aiguille vibrante Table vibrante Tige de piquage Barre de damage
	Table vibrante avec fréquence d'au moins 40 Hz	
	Aiguille vibrante avec diamètre ne pouvant dépasser un quart de la plus petite dimension de l'éprouvette. La fréquence de vibration est égale à au moins 120 Hz	
	Barre de serrage avec une section transversale de 25 mm x 25 mm et une longueur approximative de 380 mm	
Main-écope	100 mm de largeur	Pas des spécification
Echantillonnage	NBN EN 12350-1	NBN EN 12350-1
Remplissage et serrage	<u>Serrage mécanique (aiguilles vibrantes, tables vibrantes)</u> Appliquer la vibration durant le temps minimal nécessaire au serrage à refus du béton	<u>Serrage mécanique (aiguilles vibrantes, tables vibrantes)</u> Appliquer la vibration durant le temps minimal nécessaire au serrage à refus du béton Lors du serrage d'échantillons prismatiques, l'aiguille vibrante est introduite dans au moins trois positions uniformément réparties sur la longueur de l'échantillon
	<u>Cas des serrages manuels</u> Soumettre le béton à un nombre suffisant de coups par couche,	<u>Cas des serrages manuels</u> Soumettre le béton à un nombre suffisant de coups par couche, généralement 25 pour les

	NBN EN 12390-2	
	2009	2019
	généralement 25 pour les bétons de consistance équivalente classes d'affaissement S1 et S2	bétons de consistance équivalente aux classes d'affaissement S1 et S2
Conservation	Min. 16h et max 3j dans moule à 20 ± 5°C	Min. 16h et max 3j dans moule à 20 ± 5°C Tant que le béton peut être réhomogénéisé, les échantillons peuvent être transportés du lieu de confection jusqu'au lieu de conservation, à condition qu'ils soient maintenus à l'abri de la dessiccation Dans des cas spéciaux, le démoulage peut être réalisé avant 16 h (Ex: béton à prise rapide) D'autres méthodes de conservation peuvent être spécifiées dans des dispositions valables sur le lieu d'utilisation du béton
Rapportage	Le mode de serrage, ainsi que le nombre de coups - dans le cas d'un serrage manuel - doit être repris dans le rapport	Le mode de serrage

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure ne sont pas reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise disponible auprès du NBN.

NBN EN 12390-3

Résistance à la compression des éprouvettes (2019)

Principe

La résistance en compression déterminée sur des échantillons en béton durci est définie sur base de rapport entre la charge maximale à la rupture en compression axiale et l'aire de la section de l'échantillon perpendiculaire à la direction de l'effort de compression.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Les échantillons peuvent être cubiques avec des arêtes de 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm ou 300 mm ou cylindriques avec des diamètres de 100 mm, 113 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm ou 300 mm. La hauteur est, dans le cas des cylindres, égale à 2 fois le diamètre. Des échantillons prismatiques peuvent être également utilisés.

Formule

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

où

f_c Résistance en compression en MPa (N/mm²), exprimée à 0,1 N/mm² près

F Force maximale, en N

A_c Surface transversale sur laquelle la force de compression est exercée. Celle-ci est calculée sur base des dimensions nominales de l'échantillon. Si les dimensions de l'échantillon sont en dehors des tolérances spécifiées dans la norme NBN EN 12390-1, l'Annexe B sera appliquée.



Quelques particularités

- Quelques différences entre les versions de la norme NBN EN 12390-3 de 2009 et 2019 sont reprises dans le tableau ci-dessous:

		NBN EN 12390-3	
		2009	2019
Dimensions nominales des échantillons d	Cubes avec arêtes de 100, 150, 200, 250 et 300 mm Cylindres avec un diamètre de 100, 113, 150, 200, 250 et 300 mm et hauteur égale à 2 x le diamètre d Prismes avec des cotés (d) de 100, 113, 150, 200, 250 et 300 mm et longueur supérieure ou égale à 3,5 x d		
		NBN EN 12390-1	
		2000	2012
Tolérances	Dimensions		
	<u>Cubes et prismes:</u> ± 0,5 % (entre faces moulées) ± 1,0 % (autres faces) <u>Cylindres:</u> Hauteur = ± 5 % Diamètre = ± 0,5 %	<u>Cubes et prismes:</u> 1,0 % (entre faces moulées) 1,5 % (autres faces) <u>Cylindres:</u> Hauteur = 5 % Diamètre = 1,0 %	
	Orthogonalité		
	± 0,5 mm	Cubes et prismes: 0,5 mm Cylindres: 0,007 x d mm	
	Planéité des faces d'appui		
	0,0006 x d mm		
Classe de la machine de compression	Classe 1, 2 ou 3	Classe 1 si machine construite après 2000 Classe 2 autorisée si construite avant 2000	
Contre-plateau	Contre-plateau inférieur et supérieur admis		
Conservation avant essais de compression après démoulage	Sous eau à (20 ± 2)°C ou à (20 ± 2)°C et HR ≥ 95 %		
Mode opératoire entre l'instant où la conservation prend fin et essai de compression	Echantillon soumis à essai dans un délai < 10 h. Installation à (20 ± 5)°C Si délai > 4 h, protection contre perte d'humidité		
Vitesse de montée en charge	(0,6 ± 0,2) MPa/s Vitesse constante ± 10 % La charge initiale ne peut pas dépasser 30 % de la charge de rupture		
f_c	En N/mm ² jusqu'à 0,1 N/mm ² près		
Critère sur la rupture	Schémas avec rupture acceptable et non acceptable		
Masse volumique apparente	Jusqu'à 10 kg/m ³ près		

- Dans l'annexe B, le mode opératoire pour le traitement de l'échantillon pour lequel les dimensions tombent en dehors des tolérances de la norme NBN EN 12390-1 (voir tableau ci-dessus) est décrit. Dans ce cas, les dimensions réelles de l'éprouvette sont prises (jusqu'à 1 mm près) et la surface transversale de celle-ci est calculée (jusqu'à 1 mm²). Toutefois si une des dimensions est supérieure ou inférieure de 3 % de la dimension nominale, l'éprouvette doit alors être ajustée ou rejetée.

- Comme mentionné dans le tableau ci-dessus, si des ruptures incorrectes sont constatées, elles doivent être mentionnées dans le rapport d'essai. Dans la version de 2009, la figure reprenant les exemples de rupture incorrecte d'éprouvettes cubiques a été légèrement modifiée.
- Dans l'annexe A, différentes méthodes de travail sont décrites pour la préparation des faces d'appui des échantillons. Quatre méthodes sont considérées: rectification, le surfaçage au mortier avec un ciment calcium-alumineux, le surfaçage au mortier de soufre et le surfaçage à la boîte à sable. La méthode de référence est la rectification.

Remarques

- La norme ne reprend aucune valeur de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) pour l'appréciation de la précision de la mesure.

NBN EN 12390-5

Résistance à la flexion des éprouvettes (2019)

Principe

Des éprouvettes prismatiques sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons selon la norme NBN EN 12390-1

Prismes avec sections cubiques de côtés d de 100, 150, 200, 250 ou 300 mm. La longueur est supérieure ou égale à $3,5 d$.

Formule

Dans le cas d'une flexion avec deux demi-charges:

$$f_{ct,fl} = \frac{F \cdot \ell}{d_1 \cdot d_2^2} \text{ exprimé à } 0,1 \text{MPa} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \text{ près}$$

où

F Force maximale, en N

ℓ Portée, en mm

d_1 et d_2 Dimensions latérales de l'échantillon, en mm, d_2 étant la hauteur et d_1 la largeur

Dans le cas d'une flexion avec une charge unique (cas considéré dans l'annexe A normative):

$$f_{ct,fl} = \frac{3}{2} \frac{F \cdot \ell}{d_1 \cdot d_2^2}$$

Quelques particularités

- La machine d'essai doit être conforme à la norme NBN EN 12390-4.
- Quelques différences entre les versions de la norme NBN EN 12390-4 de 2009 et 2019 sont reprises dans le tableau ci-dessous:

	NBN EN 12390-5	
	2009	2019
Côtés normalisés d_n	100, 150, 200, 250, 300 mm	
Côtés réels d_e	$d_e = d_n$	$d_e = d_n \pm 10 \% d_n$
En cas de non-conformité des surfaces et angles	Sciage et rectification uniquement	
Vitesse de chargement	0,04 à 0,06 N/mm ² s à une vitesse constante de $\pm 10 \%$	

Charge initiale	≤ 20 % de la charge de rupture estimée	
Expression	En N/mm ² , à 1 décimale	
Longueur prisme L	≥ 3,5 d	
Portée l	= 3 d	
Couteaux	Longueur > largeur éprouvette + 10 mm Rouleaux cylindriques de 20 à 40 mm de diamètre	
Tolérances		
Tolérance pour planéité	0,002 d _e pour les côtés internes pour max. 150 mm 0,004 d _e pour la face inférieure pour max. 150 mm	Planéité des faces internes: 0,001 d _e (moules neufs) et de 0,002d _e (moules en service) la planéité de la face supérieure: 0,002 d _e (moules neufs) et de 0,004 d _e (moules en service)
Tolérance sur la rectitude des faces en contact avec rouleaux	± 0,2 mm	
Tolérance sur l'orthogonalité	± 0,5 mm	
Mode opératoire entre l'instant où la conservation prend fin et essai de flexion		Echantillon soumis à essai dans un délai < 10h Installation à 20 ± 5* C. Si délai > 4h, protection contre perte d'humidité
Rapportage	Doit être repris dans le rapport: Etat d'humidité constaté à la surface au moment de l'essai Peut être repris dans le rapport: L'âge de l'échantillon au moment de l'essai	Doit être repris dans le rapport: Les détails de la préparation par rectification (le cas échéant) L'âge de l'échantillon au moment de l'essai Peut être repris dans le rapport: Etat d'humidité constaté à la surface au moment de l'essai La masse d'échantillon en kg La masse volumique apparente de l'échantillon conformément à l'EN 12390-7, à 10 kg/m ³ près Les conditions de conservation depuis la réception

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure ne sont pas reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise disponible auprès du NBN.

Détermination de la résistance en traction par fendage d'éprouvettes (2010)

Principe

Une éprouvette cylindrique est soumise sur toute sa longueur à un effort de compression appliqué sur une zone étroite. Les contraintes de traction orthogonales qui en résultent provoquent la rupture de l'éprouvette par traction.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Echantillons de forme cylindrique conformes à la NBN EN 12390-1 avec un diamètre 100, 113, 150, 200, 250, 300 mm. La hauteur doit être au moins 1 fois le diamètre. En cas de doute ou litige, l'échantillon de référence sera toujours de 150 mm de diamètre et 300 mm de longueur.

Etant donné que plusieurs pays utilisent des échantillons de forme cubique ou prismatique, leur utilisation est traitée dans une annexe normative.

Formule

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi \times L \times d}$$

où:

f_{ct} Résistance à la traction par fendage en N/mm²

F Charge maximale en Newton

L Longueur de la ligne de contact de l'éprouvette en mm

D Diamètre de l'échantillon en mm

Quelques particularités

- La machine d'essai doit être conforme à la norme NBN EN 12390-4 mais la catégorie de la précision d'échelle n'est pas spécifiée.
- Quelques différences par rapport à la précédente norme NBN B15-218 et à la version précédente de cette norme:

	NBN 15-218	NBN EN 12390-6 : 2000	NBN EN 12390-6 : 2009
Echantillons	Cube ou cylindre	Cylindres L'utilisation de cubes ou prismes est traitée dans l'annexe	
Plan de chargement	Radial en cas d'échantillons cylindriques. Situé à une distance d/2 du côté le plus proche de l'échantillon dans le cas de prismes	Radial dans le cas d'échantillons cylindriques En cas de prismes ou cubes: perpendiculaire à la surface de décharge	
d_n diamètre nominal (mm) - cylindre	100, 150, 200, 300	100, 113, 150, 200, 250, 300	

	NBN 15-218	NBN EN 12390-6 : 2000	NBN EN 12390-6 : 2009
d_n côté nominal (mm) – prisme d_n côté nominal (mm) - cube	100, 150, 200, 300 100, 150, 200, 300	100, 150, 200, 250, 300 100, 150, 200, 250, 300	
d_e diamètre réel mm	$d_n - 10 \leq d_e \leq d_n + 10$	$d_e = d_n$ (prismes ou cubes) $d_e = d_n \pm 10 \% d_n$ (cylindre)	
Elancement en cas de cylindre	$1 < L/d < 2$	$1 \leq L/d \leq 2$	
Intercalaire acier pour échantillon cubique ou prismatique	Rayon= 75 mm Longueur > L + 10 mm Hauteur = 20 mm	Rayon= 75 mm Hauteur = 20 mm	
Bande de chargement	Epaisseur = 4 ± 1 mm Longueur > L Largeur > 15 mm Caractéristique lors d'un essai de poinçonnement	Bande de fibre de bois conforme à EN 316. Epaisseur: 4 ± 1 mm Largeur: 10 ± 1 mm Densité: > 900 kg/m ³ Longueur: \geq longueur de l'échantillon	Bande de fibre de bois conforme à EN 316. Un autre matériau peut être utilisé s'il satisfait aux exigences de rigidité. Epaisseur: 4 ± 1 mm Largeur: 15 ± 1 mm Densité: ≥ 900 kg/m ³ Longueur: \geq longueur de l'échantillon
Vitesse de chargement	$0,06 \pm 0,004$ N/mm ²	0,04 jusqu'à 0,06 N/mm ² s Vitesse constante à ± 1 % près	
Planéité plateaux presses	0,05 mm par 100 mm (spécifié dans NBN B15-218)	0,03 mm pour la zone de contact avec éprouvette	
Tolérances			
Rectitude des faces sur les faces en contact avec la charge dans le cas des cylindres et rectitude des génératrices dans le cas des cylindres	Cas des génératrices des cylindres 0,001 d _e	Cas des prismes $\pm 0,2$ mm Cas des génératrices des cylindres $\pm 0,2$ mm	
Planéité	0,1 mm pour 100 mm	Spécifiée sur les moules: Prismes: 0,002 d _n (côtés) 0,004 d _n (fond) Cubes: 0,0005 d _n (côtés) 0,001 d _n (fond) Cylindres 0,0005 d _n (base)	
Orthogonalité	$90 \pm 0,5^\circ$	$\pm 0,5$ mm	

Remarques

- La norme n'indique aucune valeur 'r' (répétabilité) et R (reproductibilité) permettant d'évaluer la précision de la mesure.
- Il n'y a pas de version française, ni néerlandaise de la norme.

NBN EN 12390-7

Masse volumique du béton durci (2019)

Principe

La masse volumique du béton durci est définie pour 3 états différents:

- à l'état reçu,
- à l'état saturé en eau,
- à l'état sec.

Le volume de l'échantillon de béton durci et la masse dans différentes conditions sont déterminés; on calcule ensuite la masse volumique par le biais du rapport entre la masse et le volume.

Cette norme s'applique au béton léger, au béton de masse volumique normale et au béton lourd.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Le volume minimum d'un échantillon est de 0,785 litre. Si la valeur déclarée de D pour les granulats effectivement utilisés dans le béton (D_{max}) est supérieur 25 mm, le volume minimal ne sera pas inférieur à $50 D^3$.

Normalement, l'échantillon entier tel que reçu sera utilisé pour l'essai. Si la taille ou la forme de l'échantillon sont tels qu'il est impossible de l'utiliser tel quel, un plus petit échantillon sera cassé ou scié de l'échantillon d'origine.

Formule

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ exprimé à } 10\text{kg/m}^3 \text{ près}$$

où:

ρ Masse volumique relative à l'état de l'échantillon et la méthode de détermination du volume, en kg/m^3

m Masse de l'échantillon dans son état au moment de l'essai, en kg

V Volume déterminé par la méthode particulière en m^3 .

Quelques particularités

Trois méthodes pour déterminer le volume de l'échantillon:

- Par pesée hydrostatique (méthode de référence):

L'échantillon est au préalable saturé.

La masse dans l'eau du dispositif (m_{st}) est déterminée.

La masse dans l'eau du dispositif et de l'échantillon ($m_{st} + m_w$) est déterminée.

La masse de l'échantillon humide dans l'air (m_a) est déterminée.

Le volume est calculé:

$$V = \frac{m_a - ((m_{st} + m_w) - m_{st})}{\rho_w} \text{ avec } (\rho_w = 998 \text{ kg/m}^3)$$

- Par calcul sur base des dimensions réelles.
- Pour les cubes, par calcul en utilisant les dimensions nominales.

Trois états pour la détermination de la masse:

- A l'état reçu: mesure de la masse m_r avec une erreur maximale tolérée de 1g de la masse de l'échantillon;
- A l'état saturé: mesure de la masse m_s après immersion dans l'eau jusqu'à masse constante (différence entre deux mesures de masse en 24 h < 0,2 %);
- A l'état sec: mesure de la masse m_o après séchage dans un four ventilé à $105 \pm 5^\circ\text{C}$.

Quelques différences par rapport à l'ancienne norme belge NBN B15-221 (1989) et la version précédente de la norme NBN EN 12390-7 (2001) sont reprises dans le tableau ci-dessous:

	NBN EN 12390-7	
	2009	2019
Echantillons	Si $D_{\max} > 25 \text{ mm}$: $V \geq 50 D_{\max}^3$ Volume minimal: $V \geq 0,785 \text{ l}$ (ou $0,785 \text{ dm}^3$)	
Précision balance	Précision de 0,1 % de la masse	Précision de 0,1 g de la masse
Masse de l'échantillon à l'état de réception	Précision égale à 0,01 %	Erreur maximale tolérée de 1 g de la masse de l'échantillon
Précision température pour séchage	$105^\circ \pm 5^\circ\text{C}$	
Domaine d'application	Béton avec des granulats légers, courants et lourds	
Expression des résultats	à 10 kg/m^3 près	

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure sont reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

NBN EN 12390-8

Profondeur de pénétration d'eau sous pression (2019)

Principe

De l'eau sous pression est appliquée à la surface du béton durci. L'échantillon est ensuite cassé par fendage et le front de pénétration d'eau est mesuré.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Les échantillons sont des cubes, des prismes ou des cylindres avec une surface de l'échantillon soumise à essai ne pouvant être de moins de 150 mm et aucune autre dimension ne doit être inférieure à 100 mm. Des échantillons de plus petite taille sont aussi autorisés mais leurs dimensions et la zone d'essai doivent être consignées dans le rapport. Le diamètre des carottes doit être d'au moins de 95 mm.

Quelques particularités

- Quelques différences entre les versions de la norme NBN EN 12390-8 de 2009 et 2019 sont reprises dans le tableau ci-dessous:

	NBN EN 12390-8	
	2009	2019
Echantillons	Cubes, cylindres ou prismes avec dimensions minimales de la surface soumise à l'essai ≥ 150 mm. Toutes les autres dimensions ≥ 100 mm	Cubes, cylindres ou prismes avec dimensions minimales de la surface soumise à l'essai ≥ 150 mm. Toutes les autres dimensions ≥ 100 mm. Des échantillons de plus petite taille sont aussi acceptées mais informations consignées dans le rapport. Diamètre des carottes d'au moins de 95 mm.
Conservation	En-dessous de l'eau selon la norme NBN EN 12390-2	
Face soumise à la pression	Face brossée immédiatement après le démoulage avec une brosse métallique.	
Pressions appliquées	(500 ± 50) kPa durant $72 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$	
Mesures	Mesure de la profondeur de pénétration (en mm) de l'eau introduite	
Rapport d'essai		Doit contenir: L'âge de l'échantillon au moment de l'essai (si connu)

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure ne sont pas reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

La spécification technique CEN/TS 12390-9 décrit trois méthodes d'essai. La méthode de référence, le slab-test, est ici décrite.

Principe

La surface des échantillons de béton durci est saturée et recouverte d'une substance liquide (eau déminéralisée ou une solution saline), elle est ensuite soumise à 56 cycles de gel-dégel. La résistance au gel-dégel est évaluée sur base de la quantité de pertes mesurées.

Nombre d'échantillons

Quatre échantillons.

Dimension et préparation des échantillons

Des cubes avec une arête de 150 mm sont fabriqués suivant la NBN EN 12390-2 et conservés dans l'eau ensuite. A 7 jours d'âge, ils sont placés en chambre climatique à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et 65 % HR. A 21 jours, un échantillon est prélevé dans chaque cube, perpendiculairement à la surface supérieure, avec une épaisseur de (50 ± 2) mm. La surface d'essai correspond au milieu du cube. A 25 jours, chaque échantillon est entouré d'un revêtement en caoutchouc: seule la surface d'essai reste libre (Figure 1).

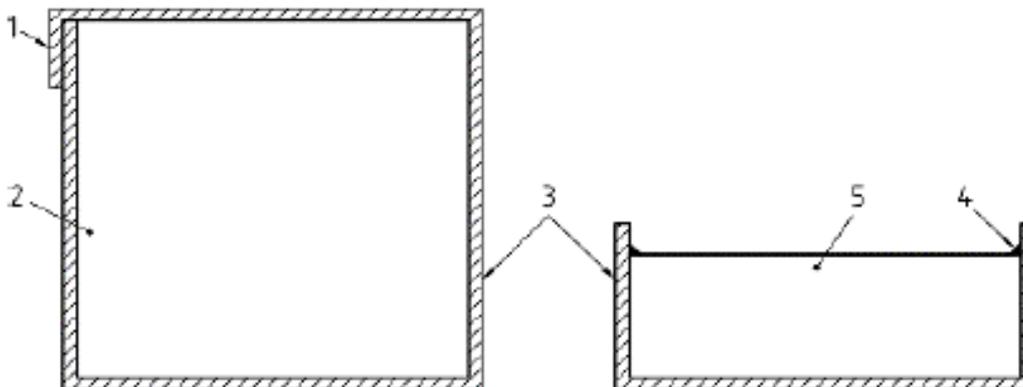


Figure 1: Préparation des échantillons (gauche: vue d'en haut, droite: coupe transversale)

1 = recouvrement film de caoutchouc; 2 = surface d'essai; 3 = film de caoutchouc; 4 = colle; 5 = échantillon

A 28 jours d'âge, avant le démarrage de l'essai, les surfaces d'essai sont saturées d'eau déminéralisée pendant (72 ± 2) heures et les autres surfaces sont isolées thermiquement (Figure 2). Ensuite, sur la surface d'essai, un "milieu gelant" est ajouté: eau déminéralisée ou une solution de NaCl (3 % de NaCl). Afin d'éviter que le milieu gelant ne s'évapore, un film est posé sur l'échantillon.



Figure 2: Echantillon recouvert d'un film en caoutchouc et d'une isolation thermique

Procédure d'essai

Les échantillons sont placés dans une chambre climatique avec une évolution en température programmée. La température du milieu gelant est constamment observée et doit satisfaire aux exigences de la Figure 3. La température de l'air dans la chambre climatique ne peut jamais être inférieure à -27°C .

Limite supérieure		Limite inférieure	
Durée (heure)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Durée (heure)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
0	+24,0	0	+16,0
5	-3,0	3	-5,0
12	-15,0	12	-22,0
16	-18,0	16	-22,0
18	-1,0	20	-1
22	+24,0	24	+16,0

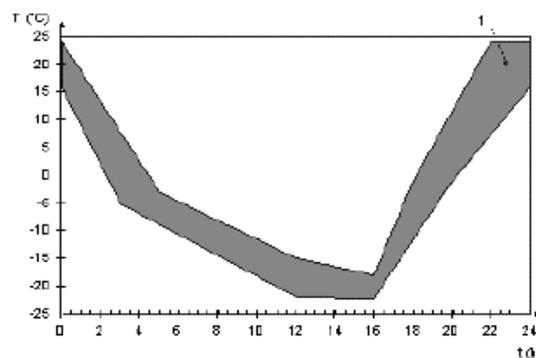


Figure 3: Cycle gel-dégel du milieu gelant au milieu de la surface d'essai

Après 7, 14, 28, 42 et 56 cycles, on mesure, pendant la période de dégel, la perte de masse. La matière écaillée libérée est rassemblée et séchée jusqu'à masse constante à $(110 \pm 10)^{\circ}\text{C}$.

Formule

Pour chaque échantillon, après chaque mesure, la perte en masse cumulée est déterminée par unité de surface:

$$S_n = \frac{m_{s,n}}{A} \cdot 10^3$$

où:

$m_{s,n}$ Masse cumulée à la matière écaillée après n cycles jusqu'à 0,1 g précisément, en g

S_n Masse de la matière écaillée après n cycles, en kg/m^2

A Surface totale de la surface d'essai jusqu'à 100 mm^2 précisément, en mm^2

Quelques particularités

- Des écarts par rapport à la procédure standard décrite sont autorisés mais si elle mentionne que ceux-ci peuvent influencer les résultats. Chaque écart par rapport à la procédure standard doit être mentionné dans le rapport d'essai. Par exemple:
Une autre géométrie (p.ex. carottages, voir Figure 4);
Un autre recouvrement (p.ex. tube PVC, voir Figure 4);
Une autre surface d'exposition (p.ex. la surface libre ou coffrée);
Un autre milieu «gelant»;
Un autre nombre de cycles,
- Les exigences imposées à la chambre climatique sont élevées: $T = 20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$, $HR = 65 \pm 5 \%$, vitesse d'évaporation de $45 \pm 15 \text{ g/m}^2\text{h}$ et une teneur en CO_2 journalier moyen de (300 – 1000) ppmv pour permettre une certaine carbonatation.
- Il faut vérifier que l'épaisseur du milieu gelant soit d'au moins 1 mm après chaque échéance de cycle. Si tel n'est pas le cas, les échantillons doivent être écartés.
- A côté de l'essai slab-test, deux méthodes alternatives sont traitées dans la spécification technique CEN/TS 12390-9: le "Cube test" et le "CF/CDF test".



Figure 4: Echantillon avec géométrie et enrobage dévié, qui a été soumis à des cycles de gel-dégel

Remarques

- La norme donne des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) pour l'appréciation de la précision de la mesure.
- La norme est uniquement disponible au NBN dans sa version anglaise et allemande.

Détermination de la résistance du béton à la pénétration des chlorures - diffusion unidirectionnelle (2015)

Principe

Les éprouvettes de béton durci sont plongées pendant 90 jours dans une solution de chlorures. Ensuite à des profondeurs différentes de l'éprouvette, le profil de la teneur en chlorures solubles dans l'acide est déterminé. On peut de la sorte déterminer un coefficient de diffusion des chlorures.

Nombre d'éprouvettes

Au minimum deux.

Dimension et préparation des éprouvettes

Des cylindres avec un diamètre > 100 mm ou cubes avec une arête > 100 mm sont confectionnés et conservés suivant les recommandations de la norme NBN EN 12390-2. La moitié de la longueur des éprouvettes est supérieure à trois fois le diamètre nominal maximal des granulats.

A 28 jours d'âge, les éprouvettes sont sciées en deux, parallèlement à la surface supérieure. On obtient pour chaque éprouvette, une éprouvette "teneur initiale de chlorures" et une "éprouvette de profil"

Préparation éprouvette "teneur initiale de chlorures"

Les éprouvettes sont immédiatement, après sciage, placées dans un sac plastique hermétique.

Préparation "éprouvette de profil"

Après sciage, les éprouvettes sont saturées d'eau déminéralisée sous vide et maintenues ensuite sous eau. Toutes les surfaces, exceptée la surface sciée, sont imperméabilisées, p.ex. avec de l'époxy ou polyuréthane (excepté dans le cas de grandes éprouvettes, cfr. Annexe D de la norme).

Les éprouvettes sont placées dans une solution de CaOH pendant au minimum 18 heures, ensuite elles sont trempées dans une solution de NaCl (3 % NaCl) à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ (voir Figure 1). La période de référence pour l'exposition à la solution de NaCl est 90 jours.

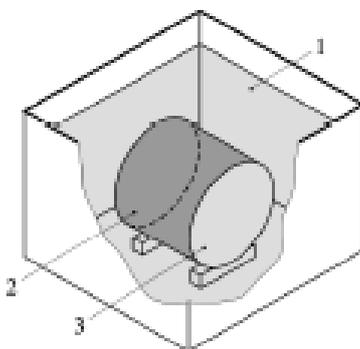


Figure 1: Immersion des éprouvettes de profil

1 = solution NaCl; 2 = surfaces étanches; 3 = surface exposée

Procédure d'essai

Déterminer la teneur initiale en chlorures (C_i) au moyen des éprouvettes "teneur initiale de chlorures"

La partie supérieure de la surface sciée (1 mm) est enlevée, puis cette surface est grignotée afin d'obtenir une poudre d'échantillon de 20 g. La teneur en chlorures solubles aux acides (en % masse du béton) de cet échantillon est ensuite déterminée suivant la NBN EN 14629.

Déterminer le profil des chlorures au moyen des "éprouvettes de profil"

Après 90 jours d'exposition, les éprouvettes sont retirées de la solution et au minimum 8 couches sont abrasées à partir de la surface exposée, de sorte qu'on obtienne un échantillon de poudre sèche d'au moins 5 g par couche.

Formules

La teneur en chlorures calculée à la surface (C_s) et le coefficient de diffusion des chlorures en régime non stationnaire (D_{nss}) sont déterminés par la comparaison ci-dessous afin de correspondre le mieux possible au profil de chlorures obtenu, au moyen d'une analyse de régression non linéaire par la méthode des moindres carrés:

$$C_x = C_i + (C_s - C_i) \left(1 - \operatorname{erf}_{(x)} \left[\frac{x}{2\sqrt{D_{nss}t}} \right] \right)$$

où:

C_x Teneur en chlorures mesurée sur une profondeur x après un temps d'exposition t (masse % béton)

C_s Teneur en chlorures de la surface exposée (masse % béton)

C_i Teneur initiale en chlorures (masse % béton)

X Profondeur de la couche par rapport à la surface exposée (m)

D_{nss} Coefficient de diffusion pour les chlorures en régime non stationnaire (m^2s^{-1})

T Durée d'exposition (s)

$\operatorname{erf}_{(x)}z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-u^2) du$

Le coefficient de corrélation doit être supérieur à 0,950 afin d'être certain que le profil des chlorures mesuré est correctement modélisé.

Un exemple d'analyse de régression est donné en Figure 2. Dans cette figure:

axe Y la teneur en chlorures (masse % béton)

axe X la profondeur (mm)

" Δ " les points de mesure

1 le premier point de mesure est toujours exclu de l'analyse de régression

2 le premier point qui est utilisé pour l'analyse de régression

3 le "point zéro" avec une teneur en chlorures entre C_i et $C_i + 0,015$ %

4 les points de mesure après le "point zéro" sont exclus de l'analyse de régression

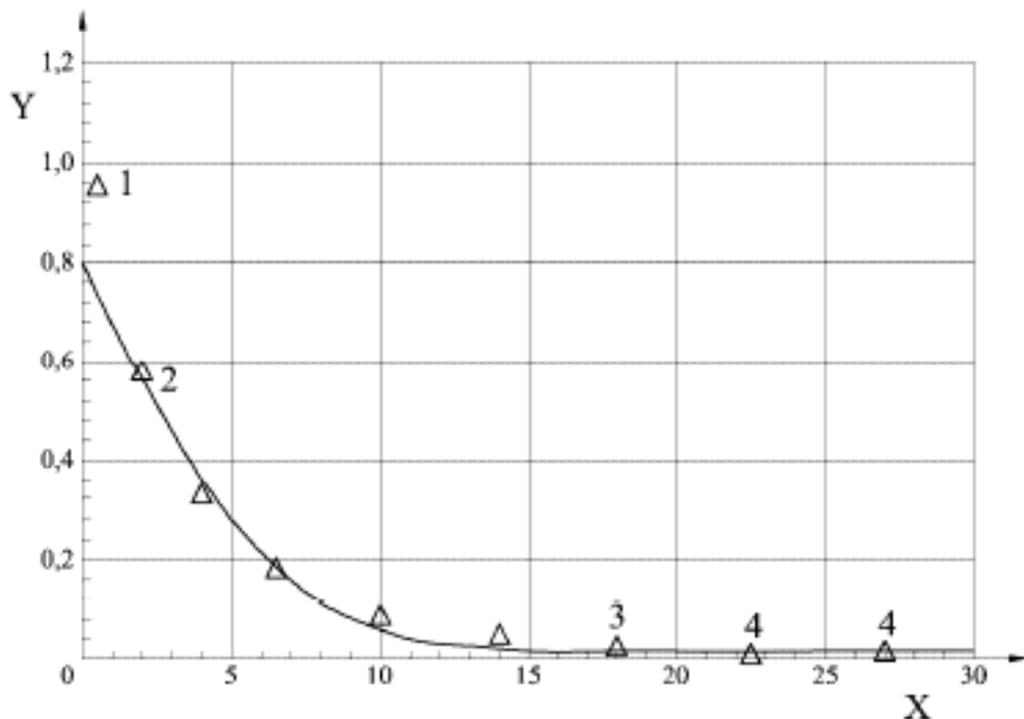


Figure 2: Analyse non-linéaire de régression

Quelques particularités

Les écarts dans la procédure standard décrite sont autorisés (par exemple écarts de la géométrie, solution en chlorures, durée d'exposition, ...). Chaque écart par rapport à la procédure standard doit être mentionné dans le rapport d'essai.

Les résultats peuvent également être utilisés d'une autre manière, par exemple pour la détermination de la profondeur pour laquelle une teneur en chlorures critique doit être atteinte.

Les échantillons peuvent être retirés d'un élément en béton existant (ceci est décrit dans l'annexe 2 de la norme).

Remarques

Les valeurs pour les paramètres de fiabilité de l'essai, r (répétabilité) et R (reproductibilité), sont reprises dans la norme.

Des exemples portant sur l'étalonnage de la procédure de calcul pour l'analyse de régression sont fournis dans une annexe informative.

Comparaison de NBN EN 12390-11 ET NT BUILD 443

Une autre procédure d'essai fréquemment utilisée pour déterminer la résistance à la pénétration de chlorures est NT Build 443 "Hardened concrete: accelerated chloride penetration" (1995). La norme a été rédigée à l'aide du NT Build 443.

Les différences importantes entre les méthodes d'essai NBN EN 12390-11 et NT BUILD 443 sont reprises dans le tableau ci-dessous:

Tableau 1: Différences importantes entre NBN EN 12390-11 et NT Build 443.

	NBN EN 12390-11	NT Build 443
Echantillons		
Nombre	Minimum 2	Minimum 3
Forme et dimension	Cylindre: $\varnothing \geq 100$ mm Cube: arête ≥ 100 mm Longueur échantillon $> 3D$	Cylindre: $\varnothing \geq 75$ mm et $\varnothing \geq 3D$ Longueur échantillon ≥ 100 mm
Préparation échantillon		
Saturation	Sous eau, sous vide (10-50 mbar) pendant 1 h	Dans une solution $\text{Ca}(\text{OH})_2$ - (max 0,1%) de 23°C jusqu'à masse constante
Re-saturation	Dans une solution $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour minimum 18h	Dans une solution $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jusqu'à masse constante
Exposition		
Solution saline	3 % en masse de NaCl	16,5 % en masse de NaCl
Température d'exposition	$(20 \pm 2)^\circ\text{C}$	$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$
Durée	Minimum 90 jours	Minimum 35 jours
Détermination concentration Cl^-		
Méthode d'essai	NBN EN 14629	NT Build 208 ou autre
Coefficient de corrélation		
Minimum	0,950	-

Remarque

La NBN ne dispose pas de version néerlandaise de cette norme européenne.

Principe

Un échantillon de béton durci est soumis à une contrainte de compression axiale et une courbe de contrainte-déformation est tracée. Sur base de cette courbe, le module sécant d'élasticité peut être déterminé.

La méthode d'essai permet de déterminer les deux modules sécants d'élasticité: le module initial $E_{c,0}$ mesuré lors de la première application de la charge et le module stabilisé $E_{c,S}$ mesuré après trois cycles de chargement. Deux méthodes sont indiquées. La méthode A ici décrite porte à la fois sur la détermination du module initial et stabilisé alors que la méthode B ne porte que sur la détermination du module stabilisé.

Nombre d'échantillons

Minimum 2 échantillons (un pour le module sécant d'élasticité et un minimum pour déterminer la résistance à la compression).

Dimensions et préparation des échantillons

Les échantillons (cylindres/primes) peuvent être obtenus après moulage ou carottage conformément aux exigences des normes NBN EN 12390-1 ou NBN EN 12504-1.

Le diamètre (cylindre) ou largeur (prisme) d des échantillons d s'élève au moins à 3,5 fois la dimension nominale maximale des granulats D_{max} . Le rapport entre la longueur L et la dimension d doit satisfaire à $2 \leq L/d \leq 4$. L'usage de cylindres avec un diamètre de 150 mm et une hauteur de 300 mm est recommandé mais d'autres dimensions sont autorisées pour autant qu'elles respectent les exigences de la NBN EN 12390-1.

Selon leur origine, les échantillons sont conservés suivant la norme NBN EN 12390-2 ou la norme NBN EN 12504-1. Avant l'exécution de l'essai, les échantillons sont enlevés de l'eau et conservés à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Endéans les 24 heures hors de l'eau, l'appareil de mesure est installé et l'essai exécuté.

Procédure d'essai

Déterminer la résistance à la compression f_c

La résistance à la compression est déterminée suivant la NBN EN 12390-3 sur un échantillon au minimum. Le résultat est utilisé pour déterminer les niveaux de contrainte du cycle d'essai.

Cycle de préchargement

Trois cycles de préchargement sont effectués (voir Figure 1) pour contrôler la stabilité du câblage et le positionnement de l'échantillon. Faire varier la contrainte avec une vitesse régulière de $(0,6 \pm 0,2)$ MPa/s varie entre la tension de précharge et la tension minimale σ_b .

- Stabilité du dispositif de mesure: sur chaque ligne de mesure, la variation de la déformation ε_b (correspondant à la contrainte σ_b) entre le deuxième et le troisième cycle ne doit pas être supérieure à 10 %.
- Positionnement de l'échantillon: pour chaque ligne de mesure, la déformation obtenue ε_b ne peut pas s'écarter de la moyenne de plus de 20 % à l'issue du troisième cycle.

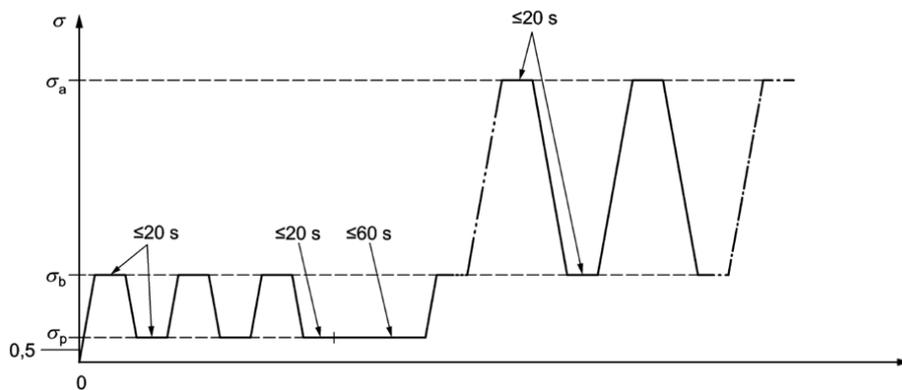
Cycle de chargement

Trois cycles de chargement sont effectués (voir Figure 1) pour définir le module sécant d'élasticité.

Pendant les cycles, les contraintes varient de la contrainte minimale σ_b et la contrainte supérieure σ_a avec une vitesse de $(0,6 \pm 0,2)$ MPa/s.

Les valeurs suivantes doivent être enregistrées:

- Les déformations pour chaque ligne de mesure à la fin de la phase de contrainte maximale (σ_a) pendant le premier et troisième cycle. Calculer la déformation moyenne $\varepsilon_{a,1}$ et $\varepsilon_{a,3}$ à ces niveaux de contrainte.
- Les déformations pour chaque ligne de mesure à la fin de la phase de contrainte minimale (σ_b) avant le premier cycle et à la fin du deuxième cycle. Calculer la déformation moyenne $\varepsilon_{b,0}$ et $\varepsilon_{b,2}$.
- La valeur moyenne pour la contrainte minimale σ_b^m
- La valeur moyenne pour la contrainte maximale σ_a^m



————	Cycle de chargement
— · · —	Cycle de chargement pour la détermination du module sécant initial d'élasticité
— · —	Cycle de chargement pour la détermination du module sécant stabilisé d'élasticité
σ	Contrainte appliquée en MPa
σ_a	Limite supérieure de contrainte - $f_c / 3$
σ_b	Limite inférieure de contrainte - $0,10 \times f_c \leq \sigma_b < 0,15 \times f_c$
σ_p	Contrainte de préchargement - $0,5\text{MPa} \leq \sigma_p < \sigma_p$
t	Temps en s

Lorsque toutes les mesures de déformation ont été exécutées à la limite supérieure de contrainte du troisième cycle de chargement, la résistance à la compression de l'échantillon doit être déterminée conformément à la norme NBN EN 12390-3.

Formules

Le *module d'élasticité initial* $E_{C,0}$ peut être défini par la formule suivante:

$$E_{C,0} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_0} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_b^m}{\varepsilon_{a,1} - \varepsilon_{b,0}} \text{ à } 0,1 \text{ GPa près}$$

Le *module d'élasticité stabilisé* $E_{C,S}$ peut être défini par la formule suivante:

$$E_{C,S} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_S} = \frac{\sigma_a^m - \sigma_b^m}{\varepsilon_{a,3} - \varepsilon_{b,2}} \text{ à } 0,1 \text{ GPa près}$$

Quelque particularité

On peut opter pour déterminer uniquement le module sécant d'élasticité stabilisé. Dans cette méthode (méthode B issue de la norme), aucun cycle de préchargement n'est effectué.

Remarques

- La norme ne mentionne pas de valeur r (répétabilité) et R (reproductibilité) pour apprécier la précision de mesure.
- Le NBN ne dispose pas de la version néerlandaise de la norme.

NBN EN 12390-16

Détermination du retrait du béton (2019)

Principe

L'essai de retrait du béton durci consiste à mesurer, en fonction du temps, la variation relative d'une longueur de référence d'un échantillon conservé dans des conditions de température et d'humidité précises.

Le retrait total du béton durci est la somme du retrait endogène et du retrait de dessiccation.

- Retrait endogène: déformation d'un échantillon dans des conditions isothermes sans échange directe d'humidité avec l'environnement.
- Retrait total: déformation d'un échantillon conservé dans des conditions de température et d'humidité relative définies.
- Retrait de dessiccation: calculé par la différence entre le retrait total et le retrait endogène.

Le retrait empêché n'est pas couvert par le présent document.

Le retrait endogène est traité dans l'annexe A.

Nombre d'échantillons

Il est recommandé d'avoir au moins 2 échantillons.

Dimensions des échantillons

L'essai est adapté aux éprouvettes ayant une valeur déclarée D de la partie la plus grosse des granulats réellement utilisés dans le béton (D_{max}) ne dépasse pas 32 mm.

Le rapport entre la longueur L et la dimension d (côté pour prisme ou diamètre pour cylindre) de l'échantillon doit se situer dans la plage $2 \leq L/d \leq 7$.

Formule

Le retrait **total** à un temps (t) est calculé par l'équation suivante:

$$\varepsilon_{CS}(t, t_0) = \frac{l(t_0) - l_{CS}(t)}{L_0} \text{ exprimé à } 10^{-6} \text{ près}$$

où:

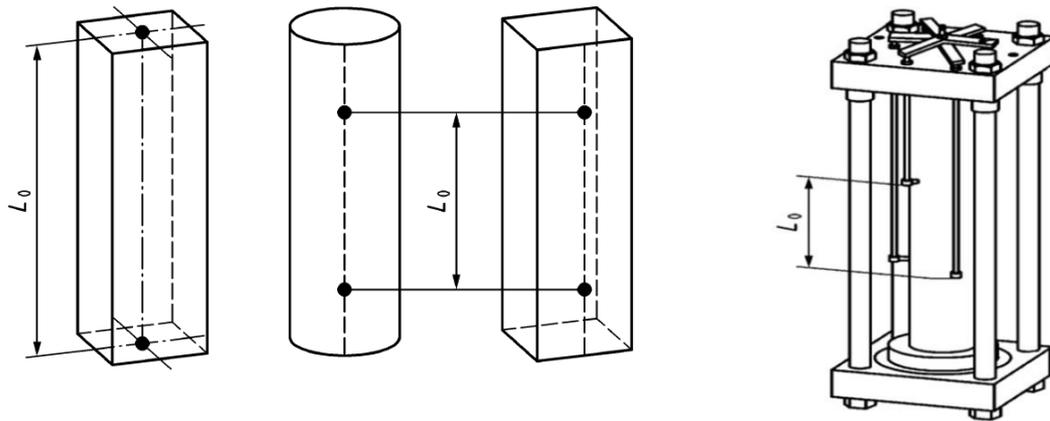
L_0 Longueur de référence, en mm

$l(t_0)$ Longueur initiale au temps t_0 (moment de placement de l'échantillon dans la Chambre de dessiccation), en mm

$l_{CS}(t)$ Longueur au temps (t), en mm

$\varepsilon_{CS}(t, t_0)$ Déformation totale de retrait au temps (t)

Si plusieurs échantillons sont utilisés, le résultat de l'essai au temps (t) est la moyenne des valeurs d'essai obtenues.



a) points de mesure le long de l'axe principal

b) points de mesure sur une ligne parallèle à l'axe principal

c) points de mesure dans deux plans

Figure 1: Points de mesure

La validité de l'essai doit être remise en question si

- La plage des valeurs d'essai $> 60 \mu\text{m/m}^*$ pour une déformation moyenne $\leq 400 \mu\text{m/m}$.
- La plage des valeurs d'essai $> 15 \%$ de la moyenne pour une déformation moyenne $> 400 \mu\text{m/m}$.

Quelques particularités

- Chambre de dessiccation:

Normalement l'humidité relative doit être entre 50 % et 70 %, mais d'autres valeurs sont acceptées si autorisées.

Les valeurs de la température et l'humidité doivent être surveillées pendant l'essai et enregistrées à des intervalles $< 24\text{h}$.

L'air doit librement circuler entre les supports de manière telle que les déformations des échantillons puissent s'effectuer librement.

- Système de mesure de la longueur:

Un système de mesure basé sur un contact par friction ne doit pas être utilisé

- Plots de déformation

Matériau dur non corrosif et ne réagit pas avec le béton

Peuvent être collés sur la surface (adhérence) ou coulés dans le béton (enrobage)

Les axes des plots d'extrémité doivent se coïncider avec l'axe principal de l'échantillon

Quelques différences concernant la version de la norme belge NBN B15-216 (1974) et de la norme européenne NBN EN 12390-16 (2019) figurent dans le tableau suivant:

	NBN B 15-216	NBN EN 12390-16
	1974	2019
Echantillon	Prisme	Prisme, cylindre ou carotte
Nombre des échantillons	Au moins 3	Au moins 2
D_{max}	≤ 40 mm	≤ 32 mm
Dimensions de l'échantillon	De préférence si D _{max} ≤ 40 mm Côté d = 15 ± 1 cm L/d ≥ 2 D'autres dimensions sont acceptés selon NBN B 15-212	Selon NBN EN 12390-1 (prisme et cylindre) : Avec d ≥ 3,5 D _{max} NBN EN 12504-1 (carotte prélevée) : Avec d ≥ 3 D _{max} De plus 2 ≤ L/d ≤ 7
Longueur de référence L₀		L ₀ ≥ L/2 Si plots d'extrémité: L ₀ = L (plots collés sur la surface) L ₀ = L-2*partie enrobée (plots coulés dans le béton)
Points de mesure		Peut être: Le long de l'axe principal Le long d'une ligne droite sur la surface latérale et parallèle à l'axe principal Dans deux plans Les points de mesure : Symétriques et situés à une distance ≥ d/3 de l'extrémité de l'échantillon (d diamètre ou largeur de l'échantillon)
Préparation de l'échantillon	Moulage à une température 20 ± 1°C dans un prisme munis d'un couvercle Démoulage après 24 ± 1 h	Echantillons coulés après max une heure du premier contact entre le ciment et l'eau Démoulage après 24 ± 1h Fixation des plots sur la surface (cas échéant si plots par adhérence) Détermination de la masse et de L ₀ de l'échantillon
Stockage de l'échantillon	Conservation de l'échantillon dans la chambre de dessiccation	
Chambre de dessiccation	Circulation d'air libre entre les échantillons Humidité 60 ± 2 % Température 20 ± 1°C	Circulation d'air libre entre les échantillons Vitesse d'air maximum 0,5 m/s à proximité des échantillons Température 20 ± 2°C 50 % < Humidité relative (maintenue ± 5 % de la valeur cible) < 70 % Les échantillons doivent être posés sur des supports d'une largeur d'appui ≤ 25 mm

Système de mesure de longueur	<p>Tout instrument permettent une mesure de déformation ($\Delta L/L_0$) avec une précision 10^{-5} près est accepté</p> <p>Soit un appareil muni des plaques de mesure (si mesure suivant l'axe longitudinal)</p> <p>Soit un extensomètre (si mesure entre deux faces latérales opposées de moulage) avec une base de mesure minimale 20 cm</p>	<p>Tout système avec</p> <p>Résolution $\geq 0,001$ mm</p> <p>Erreur maximale tolérée (EMT): $\pm 0,010$ mm si $L_0 \geq 400$ mm et $\pm 0,005$ mm si $L_0 < 400$ mm</p>
Balance		Erreur maximale tolérée (EMT) $\pm 0,02$ % de la masse
Plots de déformation (facultatif)	<p>Peuvent être :</p> <p>Collés sur les surfaces latérales</p> <p>Ne peuvent pas être collés sur la face libre et la face du fond moulée</p> <p>Sur l'extrémité: leur axe principal doit se coïncider avec l'axe principal de l'échantillon</p>	<p>Peuvent être :</p> <p>Collés sur les surfaces latérales (adhérence)</p> <p>Coulés dans le béton (enrobage)</p> <p>Pour les prismes: ne peuvent pas être collés sur la face libre et la face du fond moulée</p> <p>Sur l'extrémité: leur axe principal doit se coïncider avec l'axe principal de l'échantillon</p> <p>Si lignes de mesure choisies sur faces latérales :</p> <p>Plots situés sur au moins deux lignes de mesure espacées uniformément le long de la périphérie des échantillons</p> <p>Si lignes de mesure entre deux plans :</p> <p>Au moins trois plots par plan</p>
Moment de mesure de déformation ϵ_x	<p>Première lecture au démoulage</p> <p>Lectures suivantes: 3^e, 7^e, 14^e, 28^e, 42^e, 63^e et 91^e jours après confection</p> <p>Autre moment si nécessaire</p>	<p>Première lecture au démoulage</p> <p>Lectures suivantes (1 j près): 7^e, 14^e, 28^e et 56^e jours après confection</p> <p>Autre moment si nécessaire</p>
Délai de mesure		Dans un délai de 10 min après sorti de l'échantillon de la chambre de dessiccation
La déformation est mesurée à	10^{-5} près	10^{-6} près
Résultats	À 10 $\mu\text{m/m}$ près	À 1 $\mu\text{m/m}$ près

Remarques

- Il n'existe aucune donnée de reproductibilité et de répétabilité disponible pour la méthode d'essai décrite dans la présente norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.
- * La valeur 60 $\mu\text{m/m}$ correspond à l'incertitude de l'essai comme mentionné dans la norme.

Principe

L'essai de fluage du béton durci en compression consiste à mesurer des déformations des échantillons soumis à une charge longitudinale prolongée dans des conditions de température et d'humidité relative définies.

Le fluage total du béton durci est la somme du fluage propre et du fluage de dessiccation.

- Fluage propre: déformation d'un échantillon soumis à une charge constante dans des conditions isothermes sans échange directe d'humidité avec l'environnement.
- Fluage total: déformation d'un échantillon soumis à une charge constante dans des conditions de température et d'humidité définies.
- Fluage de dessiccation: calculé par la différence entre fluage total et fluage propre.

Le fluage total (ε_f) d'un échantillon dans des conditions de température et d'humidité définies est calculé à partir de

- La déformation instantanée (ε_i): déformation immédiatement après l'application de la charge.
- La déformation totale (ε_t): déformation sous une charge de compression prolongée.
- La déformation du retrait (ε_r): déformation d'un même échantillon non chargé.

Le fluage total au temps x est donc donné par

$$\varepsilon_{fx} = \varepsilon_{tx} - \varepsilon_{ix} - \varepsilon_{rx}$$

Nombre d'échantillons

Il est recommandé d'avoir au moins 2 échantillons.

Dimensions des échantillons

L'essai est adapté aux éprouvettes ayant une valeur déclarée D de la partie la plus grosse des granulats réellement utilisés dans le béton (D_{max}) ne dépasse pas 32 mm.

Le rapport entre la longueur L et la dimension d (côté ou diamètre) de l'échantillon doit se situer dans la plage $2 \leq L/d \leq 7$.

Formule

Le fluage **total** à un temps donné de chargement (t) est calculé par l'équation suivante:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varepsilon_{cc}(t) - [\varepsilon_{cs}(t, t_0) + \varepsilon_{cc}(t_0)] \text{ exprimé à } 10^{-6} \text{ près}$$

où:

$\varepsilon_{cc}(t)$ Déformation de l'échantillon sous la charge au temps (t)

$\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ Déformation moyenne des échantillons de retrait au moment donné, à partir du moment de chargement

$\varepsilon_{cc}(t_0)$ Déformation initiale.

Le fluage **propre** à un temps donné de chargement (t) est calculé par l'équation suivante:

$$\varepsilon_{bc}(t, t_0) = \varepsilon_{bc}(t) - [\varepsilon_{ca}(t, t_0) + \varepsilon_{bc}(t_0)] \text{ exprimé à } 10^{-6} \text{ près}$$

$\varepsilon_{bc}(t)$ est la déformation de l'échantillon scellé sous la charge au temps (t)

$\varepsilon_{c0}(t, t_0)$ est le retrait endogène au temps (t)

$\varepsilon_{bc}(t_0)$ est la déformation initiale de l'échantillon scellé sous la charge

Le fluage **de dessiccation** à un temps donné de chargement (t) est calculé par l'équation suivante:

$$\varepsilon_{dc}(t, t_0) = \varepsilon_{cc}(t, t_0) - \varepsilon_{bc}(t, t_0) \text{ exprimé à } 10^{-6} \text{ près}$$

Toutes les déformations sont exprimées à 10^{-6} près

Si plusieurs échantillons sont utilisés, le résultat de l'essai au temps (t) est la moyenne des valeurs d'essai obtenues.

La validité de l'essai doit être remise en question si

- La plage des valeurs d'essai $> 60 \mu\text{m/m}^*$ pour une déformation moyenne $\leq 400 \mu\text{m/m}$.
- La plage des valeurs d'essai $> 15 \%$ de la moyenne pour une déformation moyenne $> 400 \mu\text{m/m}$.

Quelques particularités

- Chambre de dessiccation:

Normalement l'humidité relative maintenue à $\pm 5 \%$ de la valeur cible doit être entre 50 % et 70%, mais d'autres valeurs sont acceptées si autorisées.

Les valeurs de la température et l'humidité doivent être surveillées pendant l'essai et enregistrées à des intervalles $< 24\text{h}$.

L'air doit librement circuler entre les supports de manière telle que les déformations des échantillons puissent s'effectuer librement.

- Système de mesure de la longueur:

Un système de mesure basé sur un contact par friction ne doit pas être utilisé

- Plots de déformation

Matériau dur non corrosif et ne réagit pas avec le béton

Peuvent être collés sur la surface (adhérence) ou coulés dans le béton (enrobage)

Quelques différences concernant la version de la norme belge NBN B15-228 (1976) et de la norme européenne NBN EN 12390-17 (2019) figurent dans le tableau suivant:

	NBN B 15-228	NBN EN 12390-17
	1976	2019
Echantillon	Prisme ou cylindre	Prisme, cylindre ou carotte
Nombre des échantillons	Au moins 3 échantillons pour fluage Au moins 3 échantillons de chaque essai de compression, retrait et module d'élasticité doivent être prévus de la même gâchée	Au moins 2 échantillons pour fluage D'autres échantillons pour les essais de compression, retrait et module d'élasticité doivent être prévus de la même gâchée
Essai est adapté pour D_{max}	≤ 40 mm	≤ 32 mm
Dimensions de l'échantillon	Cylindre $2 \leq L/d \leq 4$ Prisme $2,3 \leq L/d \leq 5$	Selon NBN EN 12390-1 (prisme et cylindre) : Avec $d \geq 3,5 D_{max}$ NBN EN 12504-1 (carotte prélevée) : Avec $d \geq 3 D_{max}$ De plus $2 \leq L/d \leq 7$
La longueur de référence L_0	$L_0 \geq 2d / 3$ et $L_0 \geq 100$ mm	$L_0 \geq L/2$ Si plots d'extrémité: $L_0 = L$ (plots collés sur la surface) $L_0 = L - 2 \cdot \text{partie enrobée}$ (plots coulés dans le béton)
Points de mesure	Quatre lignes droite : Cylindre: sur quatre génératrices suivant deux diamètres perpendiculaires Prisme: au milieu de quatre faces latérales selon l'axe longitudinal Les points de mesure : Situés à une distance $\geq d/2$ de l'extrémité de l'échantillon (d diamètre ou largeur de l'échantillon)	Peut être: Parallèle à l'axe principal Dans deux plans Les points de mesure : Symétriques et situés à une distance $\geq d/3$ de l'extrémité de l'échantillon (d diamètre ou largeur de l'échantillon)
Contrainte de fluage	= 1/3 de la résistance à la compression (sauf indication contraire)	$\leq 1/3$ de la résistance à la compression
Préparation de l'échantillon	Moulage à une température $20 \pm 1^\circ\text{C}$ Démoulage après 24 ± 1 h	Echantillons coulés après max une heure du premier contact entre le ciment et l'eau Démoulage après 24 ± 1 h Fixation des plots sur la surface (cas échéant si plots par adhérence)

		Détermination de la masse et de L_0 de l'échantillon Couverture de l'échantillon (avant ou après démoulage) par une enveloppe de protection (si fluage propre)
Stockage de l'échantillon	Conservation de l'échantillon après démoulage une semaine dans l'eau et jusqu'au temps t_2 dans la chambre de dessiccation Température $20 \pm 2^\circ\text{C}$	Conservation de l'échantillon après démoulage jusqu'au temps t_1 dans l'eau (conservation humide) et jusqu'au temps t_2 dans la chambre de dessiccation (conservation de dessiccation) Conservation humide ou de dessiccation est facultative Température $20 \pm 2^\circ\text{C}$
Chambre de dessiccation	Circulation d'air libre entre les échantillons Humidité $60 \pm 2\%$ Température $20 \pm 1^\circ\text{C}$	Circulation d'air libre entre les échantillons Vitesse d'air maximum 0,5 m/s à proximité des échantillons Température $20 \pm 2^\circ\text{C}$ $50\% < \text{Humidité relative (maintenue } \pm 5\% \text{ de la valeur cible)} < 70\%$ Les échantillons doivent être posés sur des supports d'une largeur d'appui ≤ 25 mm
Bâti de chargement	Charge transmise maintenue à $\pm 3\%$ Ecart maximal de centrage de l'échantillon 10% Planéité ?	Maximum trois échantillons empilés dans un même bâti de chargement (essai simultané) Charge maintenue à $\pm 3\%$ Mesure de charge avec une erreur maximale tolérée (EMT) de $\pm 2\%$ Tolérance sur la planéité des plaques de contact égale à 0,05 mm
Système de mesure de longueur	Tout instrument permettent une mesure de déformation ($\Delta L/L_0$) avec une précision 5×10^{-6} près est accepté	Tout système avec Résolution $\geq 0,001$ mm Erreur maximale tolérée (EMT): $\pm 0,010$ mm si $L_0 \geq 400$ mm et $\pm 0,005$ mm si $L_0 < 400$ mm
Balance	Erreur maximale admissible $\pm 0,1\%$ de la masse	Erreur maximale admissible $\pm 0,02\%$ de la masse
Plots de déformation (facultatif)	Cylindre: sur quatre génératrices suivant deux diamètres perpendiculaires Prisme: au milieu de quatre faces latérales selon l'axe longitudinal	Peuvent être : Collés sur les surfaces latérales (adhérence) Coulés dans le béton (enrobage) Pour les prismes: ne peuvent pas être collés sur la face libre et la face du fond moulée Sur l'extrémité: leur axe principal doit se coïncider avec l'axe principal de l'échantillon Si lignes de mesure choisies sur faces latérales : Plots situés sur au moins deux lignes de mesure espacées uniformément le long de la périphérie des échantillons, parallèle à l'axe principal ou dans deux plans. Si lignes de mesure entre deux plans : Au moins trois plots par plan

Vérification du centrage de l'échantillon placé sur les plateaux et réalisation de l'essai	<p>Appliquer une précharge de 15 % de la charge de rupture</p> <p>Essai accepté si $\epsilon_{\max} - \epsilon_{\min}$ de $L_0 < 10\%$ de ϵ_{\min}</p> <p>Augmenter la charge de 0,1 à 0,5 N/mm² par seconde jusqu'à atteindre la charge de fluage</p>	<p>Appliquer 25 % de la charge de fluage</p> <p>Essai accepté si $\epsilon_{\text{ligne de base}} - \epsilon_{\text{moyenne}} \leq 20\%$</p> <p>Augmenter la charge jusqu'à la charge de fluage dans un délai max de 30 secondes sans interruption.</p>
Moment de mesure de déformation ϵ_x	<p>2h, 6h, 1, 2^e, 3^e et 7^e jours et ensuite toutes les semaines jusqu'à 182 jours</p>	<p>2h, 6h après la première mesure puis 3 fois la première semaine, ensuite une fois par semaine du premier mois et une fois par mois par la suite</p> <p>Autre moments sont acceptés.</p> <p>Durée totale au mois de 6 mois et de préférence 12 mois</p>
La déformation est mesurée à	<p>5×10^{-6} près</p>	<p>10^{-6} près</p>

Remarques

- Il n'existe aucune donnée de reproductibilité et de répétabilité disponible pour la méthode d'essai décrite dans la présente norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.
- * La valeur 60 $\mu\text{m/m}$ correspond à l'incertitude de l'essai comme mentionné dans la norme.

Principe

Des carottes en béton prélevées sur des structures en béton sont préparées afin de subir un essai de compression conformément à la norme NBN EN 12390-3.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Les échantillons sont des échantillons cylindriques avec un élancement de 2 si la résistance de la carotte est comparée à celle d'éprouvette cylindrique et de 1 si la résistance de la carotte est comparée à celle d'éprouvette cubique.

Lorsque le diamètre des carottes est inférieur à 3 fois la dimension maximale des granulats du béton, une incidence sur la résistance en compression est à noter. L'annexe A informative de la norme donne des indications quant à l'incidence du rapport dimension des granulats/diamètre des carottes sur la résistance des carottes.

Formule

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

où

F Force maximale, en N

A_c Surface transversale sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée sur base des dimensions réelles des échantillons, en mm²

Le résultat est exprimé avec précision à 0,1 N/mm² ou MPa près.

Quelques particularités

- Une évaluation de la compacité de l'échantillon est recommandée. Elle peut être réalisée en incluant la mesure de la masse volumique avant la détermination de la résistance à la compression.
- Dans le tableau ci-dessous, quelques différences par rapport à la version précédente sont reprises:

	NBN EN 12504-1	
	2009	2019
Domaine d'application	Uniquement cylindres de chantier	
Elancement des carottes	1,0 ou 2,0	1,0 ou 2,0
Armatures	La présence d'armature longitudinale dans l'échantillon n'est pas autorisée. La position et le diamètre des armatures transversales doivent être notés au millimètre près.	
Mesure du diamètre	Mesure dans 2 directions orthogonales au milieu et au quart de la longueur	
Précision de la mesure du diamètre et de la hauteur	1 %	0.5 %

	NBN EN 12504-1	
	2009	2019
Mesure de la hauteur		A la réception, à 5 mm près Après préparation 3 emplacements à 120° l'un de l'autre à 1 mm près
Après prélèvement	Marquer les carottes, leur emplacement et orientation	
Après marquage		Carottes séchées superficiellement et placées dans une enceinte hermétique (ex: sac polyéthylène)
Conservation	Si essai saturé, 48h sous eau avant essai à $20 \pm 2^\circ\text{C}$	Si essai saturé, 48h sous eau avant essai à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ Sinon, enceinte hermétique
Tolérance		
Elancement		Pour être classé 2:1, l'élancement (longueur surfacée ou rectifiée par rapport au diamètre) doit être compris entre 1,95 à 1 et 2,05 à 1 Pour être classé 1:1, l'élancement (longueur surfacée ou rectifiée par rapport au diamètre) doit être compris entre 0,90 à 1 et 1,10 à 1
Planéité et perpendicularité	NBN EN 12390-1	
Rectitude des génératrices	0,03 d _e	
Critères sur rupture	Schémas avec ruptures acceptables et non acceptables (NBN EN 12390-3)	
Expression du résultat	à 0,1 MPa près	

Remarques

- Aucune valeur de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure n'est reprise dans la norme. Mais il est mentionné que celles-ci seront probablement plus faibles que celles enregistrées sur des éprouvettes normalisées obtenues par moulage (voir NBN EN 12390-3).
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la présente norme.

Principe

Une masse propulsée par un ressort projette une tige de percussion au contact de la surface; le résultat de l'essai est exprimé par la mesure de la distance de rebondissement de la tige, appelée "indice de rebondissement". La valeur peut aussi être obtenue en fonction de la différence d'énergie ou de vitesse avant et après l'impact de la masse.

Utilisation de l'indice de rebondissement

- L'indice de rebondissement peut être utilisé pour évaluer l'homogénéité du béton in situ et pour déterminer des zones de qualité médiocre ou détériorées.
- La présente méthode d'essai ne peut se substituer aux essais pour la détermination de la résistance du béton en compression. Cependant, elle peut fournir une estimation d'une résistance du béton in situ si des corrélations fiables sont établies.

Appareil

Le scléromètre, constitué d'un marteau en acier comprimé par un ressort qui, après libération, projette une tige de percussion en acier au contact de la surface de béton. La vitesse de déplacement du marteau produite par le ressort doit être constante et reproductible. Le rebondissement du marteau en acier par rapport à la tige de percussion en acier ou d'autres valeurs de rebondissement doit être mesuré sur une échelle linéaire solidaire du bâti de l'instrument.



Particularités

Le tableau ci-dessous reprend quelques différences entre l'ancienne norme belge NBN B15-225 (1984) et la norme européenne NBN EN 12504-2 de 2001 et celle de 2012.

	NBN B 15-225 (1984)	NBN EN 12504-2	NBN EN 12504-2
		2001	2012
Types de béton	Bétons ordinaires et légers à structure fermée, à l'exclusion des bétons caverneux et cellulaires	Tout type de béton à condition d'utiliser un scléromètre adéquat	

Enclume de calibrage	Enclume constituée par un cylindre métallique de masse et de dureté fixées et telle que le rebondissement du scléromètre donne une valeur fixe	Enclume en acier caractérisée par une dureté minimale de 52 HRC, une masse de (16 ± 1) kg et un diamètre approximatif de 150 mm	
Indications pour le calibrage	Calibrage à effectuer périodiquement	Calibrage à effectuer avant et après chaque série de mesures	
Températures lors des mesures	$T > 0^{\circ}\text{C}$	$10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 35^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 50^{\circ}\text{C}$
Zone de mesures	Aire d'environ 2 à 4 dm ² Épaisseur des parois > 10 cm Épaisseur des piliers > 12 cm Points de mesure distants d'au moins 3 cm des bords des parois	Aire d'environ 9 dm ² Épaisseur des parois > 10 cm Points de mesure distants d'au moins 2,5 cm des bords des parois	
Distances entre points de mesure	$2 \text{ cm} < d \leq 5 \text{ cm}$	$d \geq 2,5 \text{ cm}$	
Nombre de mesures par zone	12 mesures	Minimum 9 mesures. La valeur médiane doit être rapportée.	
Mesures à ne pas prendre en compte	Éliminer les deux résultats extrêmes pour chaque zone	Résultat lié à une empreinte liée à un écrasement ou une perforation d'une surface proche d'un vide d'air	
Cas de refus des mesures	Si l'écart entre les valeurs individuelles extrêmes est égal ou supérieur à 25 %, écarter les mesures	Si plus de 20 % de l'ensemble des lectures effectuées diffèrent de la valeur médiane de plus 30 %, écarter les mesures	
Mesure	Distance de rebondissement	Distance de rebondissement	Distance de rebondissement ou mesure de la variation d'énergie ou de vitesse avant et après impact

Remarques

- Aucune valeur de répétabilité (r) et de reproductibilité (R) n'est fournie dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la présente norme.
- La mention des valeurs individuelles de l'indice de rebondissement n'est pas obligatoire.

NBN EN 12504-3

Détermination de la force d'arrachement (2005)

Domaine d'application

Cette norme s'applique aux inserts intégrés et aux inserts qui peuvent être introduits dans le béton durci puis expansés mais sans création de contraintes latérales dans le béton. Elle ne s'applique pas aux méthodes qui utilisent le collage pour fixer l'insert.

Principe

Un disque métallique de petite taille, comportant une tige fixée au centre d'un côté du disque, est coulé dans le béton de sorte que l'extrémité de la tige sorte du béton. La force nécessaire pour arracher le disque du béton est mesurée.

Formule

Si l'on veut exprimer le résultat sous la forme d'une résistance à l'arrachement, la formule suivante s'applique:

$$f_p = \frac{F}{A}$$

où:

f_p Résistance à l'arrachement, en MPa ou en N/mm²

F Force d'arrachement en N

A Surface en mm donnée par la formule

$$A = \frac{1}{4} \pi (d_2 + d_1) (4h^2 + (d_2 - d_1)^2)^{1/2}$$

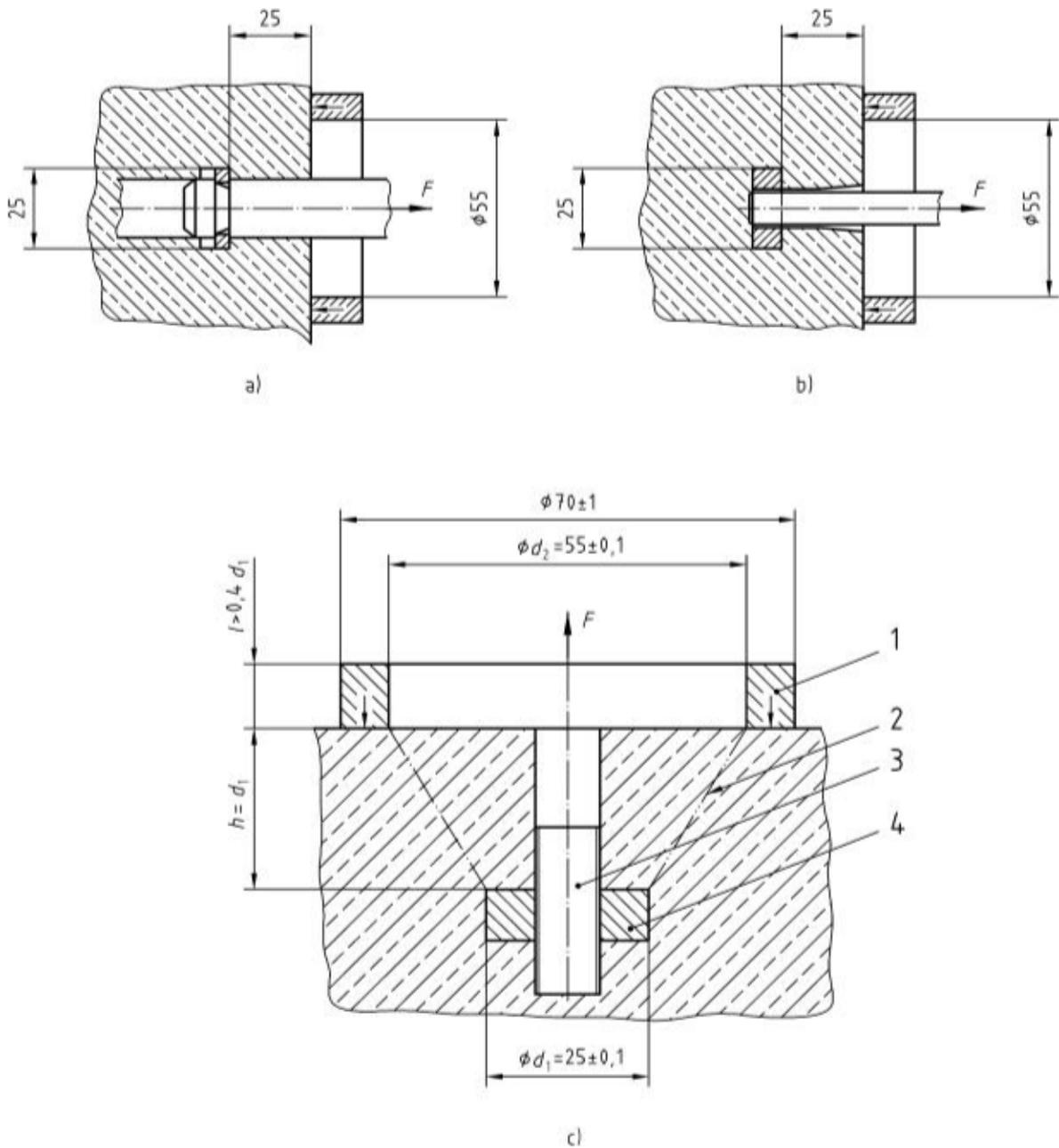
où:

d_1 est le diamètre en mm de la tête de l'insert d'arrachement (25 mm)

d_2 est le diamètre intérieur en mm de l'anneau d'appui (55 mm)

h est la distance en mm entre la tête de l'insert d'arrachement et la surface en béton.

Schéma de l'essai d'arrachement



Légende

- a) Système d'insert installé
 - b) Système d'insert coulé dans le béton
 - c) Schéma de l'essai d'arrachement
-
- 1 Anneau d'appui
 - 2 Rupture conique présumée
 - 3 Tige d'insert pour essai d'arrachement
 - 4 Disque d'insert pour essai d'arrachement

Quelques caractéristiques

Disque	Tête circulaire de $(25 \pm 0,1)$ mm de diamètre
Tige	Lisse et conique (le plus grand diamètre) du côté de la surface en béton Diamètre $\leq 0,6$ x diamètre du disque Longueur insérée dans le béton égale au diamètre du disque
Anneau d'appui	Placé autour de la tige qui dépasse, diamètre intérieur $55 \pm 0,1$ mm et extérieur 70 ± 1 mm
Précision sur la face du système de mise en charge	± 2 %
Emplacement des essais	Distant d'au moins 200 mm Armatures se trouvent à l'extérieur de la surface conique de rupture Centres situés à plus de 100 mm du bord du béton
Epaisseur du béton soumis à l'essai	> 100 mm
Vitesse de montée en charge	$0,5 \pm 0,2$ kN/s
Force exprimée	À 0,05 kN près

Remarque

- Aucune valeur de répétabilité (r) et de reproductibilité (R) n'est pas fournie dans la norme.
- Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de version néerlandophone de la norme.



Essais sur béton frais

NBN EN 12350-1

Prélèvement et appareillage commun (2019)

Objectif de la norme

La présente norme spécifie deux procédures d'échantillonnage du béton frais – le prélèvement global et le prélèvement ponctuel – en vue de la confection d'éprouvettes pour essais sur béton durci de la série EN 12390 ou de la réalisation des essais sur béton frais de la série EN 12350. De plus, la présente norme regroupe l'appareillage commun mentionné dans deux normes ou plus de la série EN 12350 et dans l'EN 12390-2.

L'attention est attirée sur le soin à apporter lors du transport et de la manutention des échantillons qui doivent alors être protégés contre toute pollution, apport ou perte d'eau et température excessive.

Il est également rappelé qu'étant donné le caractère alcalin des bétons frais, tout contact entre le ciment et la bouche, les yeux et le nez ou entre le béton frais et la peau doit être évité.

Résumé

La norme débute par une définition des concepts propres au béton frais (Gâchée, prise élémentaire, ...) et donne ensuite une description détaillée des deux méthodes possibles pour le prélèvement. Le choix de la méthode dépendra de l'utilisation prévue, sachant qu'il faut prélever au moins 1,5 fois la quantité nécessaire pour les essais.

Comparaison entre la norme européenne de 2019 et sa version précédente de 2009

Le tableau ci-dessous mentionne les différences entre la norme actuelle et sa version précédente. Les modifications concernant le regroupement de l'appareillage commun pour les essais sur béton frais (série EN 12350) et pour la confection d'éprouvettes pour les essais de résistance (dans l'EN 12390-2). De plus des recommandations sur le prélèvement pour les essais de maintien de la consistance sont présentés.

	NBN EN 12350-1 2009	NBN EN 12350-1 2019
Dénominations	Charge	Gâchée
	Echantillon global: nombre de prises élémentaires non précisé réparties sur une masse de béton Echantillon ponctuel: une ou plusieurs prises élémentaires réparties sur une partie de la masse de béton Prise élémentaire: béton prélevé en une seule fois par une pelle ou un dispositif similaire	
Appareillage		Appareillage commun pour les essais de la série EN 12350 et de l'EN 12390-2
	Pelle d'échantillonnage : d'environ 100 mm de largeur. Matériau non absorbant ni directement attaqué par le ciment Pelle à bout carré Plateau de réhomogénéisation : rigide, matériau non absorbant, non directement attaqué par le ciment, volume suffisant permettant une réhomogénéisation au moyen de la pelle.	

	<p>Cône creux : métal, muni de deux poignées et de pattes de fixation, paroi interne lisse, non directement attaquant par le ciment. Diamètre inférieur: (200 ± 2) mm; diamètre supérieur: (100 ± 2) mm; hauteur: (300 ± 2) mm et épaisseur ≥ 1,5 mm</p> <p>Plateau de base : non absorbant, rigide et plat</p> <p>Entonnoir : non absorbant, non directement attaquant par le ciment, muni d'un dispositif pour l'emplacement sur la partie supérieure de cône creux.</p> <p>Chiffon humide</p>		
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="628 510 986 2029"> <p>Thermomètre : précision ± 1°C</p> <p>Récipient : matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment</p> <p>Serrage :</p> <p>Aiguille vibrante: fréquence ≥ 120 Hz et diamètre ≤ ¼ de la plus petite dimension du cône;</p> <p>Table vibrante: fréquence ≥ 40 Hz;</p> <p>Tige de piquage: extrémités arrondies, section circulaire d'un diamètre 16 ± 1 mm et d'une longueur 600 ± 5 mm;</p> <p>Barre de damage: section carrée de côté 25 mm et d'environ 380 mm de longueur.</p> <p>Règle : Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 5 mm)</p> <p>Mètre à ruban : longueur ≥ 700 mm et graduation par intervalle ≤ 5 mm</p> <p>Chronomètre : résolution de 1 sec</p> </td> <td data-bbox="986 510 1393 2029"> <p>Thermomètre : EMT 1°C</p> <p>Récipient : étanche, rigide, matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment, face intérieure lisse. Dimension minimale ≥ 4 ; Dmax ≥ 150 mm et volume ≥ 5 Litres</p> <p>Enceinte hermétique : cylindre scellable, matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment. 0,7 ≤ Hauteur / diamètre ≤ 1,3</p> <p>Serrage :</p> <p>Aiguille vibrante: fréquence ≥ 120 Hz et diamètre ≤ ¼ de la plus petite dimension du cône;</p> <p>Table vibrante: fréquence ≥ 40 Hz;</p> <p>Tige de piquage: extrémités arrondies, section circulaire d'environ 16 mm et longueur 600 mm;</p> <p>Barre de damage: section carrée de côté 25 mm et d'environ 380 mm de longueur.</p> <p>Règle : Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 1 mm)</p> <p>Mètre à ruban : longueur ≥ 1000 mm et graduation par intervalle ≤ 5 mm</p> <p>Chronomètre : résolution de 0,5 sec</p> <p>Balance : EMT 0,01 kg</p> <p>Règle d'arasement : acier, au moins de 100 mm de plus que la dimension intérieure de la section supérieure du récipient</p> <p>Maillet</p> <p>Truelle : métal et non directement attaquant par le ciment</p> <p>Niveau à bulles</p> </td> </tr> </table>	<p>Thermomètre : précision ± 1°C</p> <p>Récipient : matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment</p> <p>Serrage :</p> <p>Aiguille vibrante: fréquence ≥ 120 Hz et diamètre ≤ ¼ de la plus petite dimension du cône;</p> <p>Table vibrante: fréquence ≥ 40 Hz;</p> <p>Tige de piquage: extrémités arrondies, section circulaire d'un diamètre 16 ± 1 mm et d'une longueur 600 ± 5 mm;</p> <p>Barre de damage: section carrée de côté 25 mm et d'environ 380 mm de longueur.</p> <p>Règle : Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 5 mm)</p> <p>Mètre à ruban : longueur ≥ 700 mm et graduation par intervalle ≤ 5 mm</p> <p>Chronomètre : résolution de 1 sec</p>	<p>Thermomètre : EMT 1°C</p> <p>Récipient : étanche, rigide, matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment, face intérieure lisse. Dimension minimale ≥ 4 ; Dmax ≥ 150 mm et volume ≥ 5 Litres</p> <p>Enceinte hermétique : cylindre scellable, matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment. 0,7 ≤ Hauteur / diamètre ≤ 1,3</p> <p>Serrage :</p> <p>Aiguille vibrante: fréquence ≥ 120 Hz et diamètre ≤ ¼ de la plus petite dimension du cône;</p> <p>Table vibrante: fréquence ≥ 40 Hz;</p> <p>Tige de piquage: extrémités arrondies, section circulaire d'environ 16 mm et longueur 600 mm;</p> <p>Barre de damage: section carrée de côté 25 mm et d'environ 380 mm de longueur.</p> <p>Règle : Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 1 mm)</p> <p>Mètre à ruban : longueur ≥ 1000 mm et graduation par intervalle ≤ 5 mm</p> <p>Chronomètre : résolution de 0,5 sec</p> <p>Balance : EMT 0,01 kg</p> <p>Règle d'arasement : acier, au moins de 100 mm de plus que la dimension intérieure de la section supérieure du récipient</p> <p>Maillet</p> <p>Truelle : métal et non directement attaquant par le ciment</p> <p>Niveau à bulles</p>
<p>Thermomètre : précision ± 1°C</p> <p>Récipient : matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment</p> <p>Serrage :</p> <p>Aiguille vibrante: fréquence ≥ 120 Hz et diamètre ≤ ¼ de la plus petite dimension du cône;</p> <p>Table vibrante: fréquence ≥ 40 Hz;</p> <p>Tige de piquage: extrémités arrondies, section circulaire d'un diamètre 16 ± 1 mm et d'une longueur 600 ± 5 mm;</p> <p>Barre de damage: section carrée de côté 25 mm et d'environ 380 mm de longueur.</p> <p>Règle : Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 5 mm)</p> <p>Mètre à ruban : longueur ≥ 700 mm et graduation par intervalle ≤ 5 mm</p> <p>Chronomètre : résolution de 1 sec</p>	<p>Thermomètre : EMT 1°C</p> <p>Récipient : étanche, rigide, matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment, face intérieure lisse. Dimension minimale ≥ 4 ; Dmax ≥ 150 mm et volume ≥ 5 Litres</p> <p>Enceinte hermétique : cylindre scellable, matériau non absorbant, non directement attaquant par le ciment. 0,7 ≤ Hauteur / diamètre ≤ 1,3</p> <p>Serrage :</p> <p>Aiguille vibrante: fréquence ≥ 120 Hz et diamètre ≤ ¼ de la plus petite dimension du cône;</p> <p>Table vibrante: fréquence ≥ 40 Hz;</p> <p>Tige de piquage: extrémités arrondies, section circulaire d'environ 16 mm et longueur 600 mm;</p> <p>Barre de damage: section carrée de côté 25 mm et d'environ 380 mm de longueur.</p> <p>Règle : Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 1 mm)</p> <p>Mètre à ruban : longueur ≥ 1000 mm et graduation par intervalle ≤ 5 mm</p> <p>Chronomètre : résolution de 0,5 sec</p> <p>Balance : EMT 0,01 kg</p> <p>Règle d'arasement : acier, au moins de 100 mm de plus que la dimension intérieure de la section supérieure du récipient</p> <p>Maillet</p> <p>Truelle : métal et non directement attaquant par le ciment</p> <p>Niveau à bulles</p>		

Echantillon	Au moins 1,5 fois la quantité nécessaire pour les essais	
Echantillon global	<p>Malaxeur discontinu ou bétonnière: ne pas tenir compte du début et de la fin de la gâchée;</p> <p>Pour un prélèvement d'une bétonnière portée un minimum de 4 prises élémentaires est recommandé;</p> <p>Gâchée déposée en un ou plusieurs tas: répartir les prises sur tout le volume et sur toute la surface exposée en au moins 5 emplacements différents;</p> <p>Prélèvement sur béton en train d'être déversé: représentatif de la largeur et de l'épaisseur de la veine.</p>	
Echantillon ponctuel	Prélèvement sur béton en train d'être déversé: représentatif de la largeur et de l'épaisseur de la veine.	
Mesure de la température de l'échantillon	Si requise, la température du béton dans le ou les récipients doit être mesurée.	Si requise, la température du béton dans le ou les récipients doit être mesurée entre 30 s et 60 s après l'insertion du thermomètre à une profondeur d'environ 50 mm
Essai maintien de la consistance		<p>Quantité: Au moins 1,5 fois la quantité nécessaire pour les essais et suffisante pour remplir l'enceinte hermétique jusqu'à 25 mm à 50 mm du couvercle;</p> <p>Le béton utilisé pour l'essai de consistance initiale ne doit pas être réutilisé pour déterminer le maintien de la consistance spécifiée.</p>
Rapport de prélèvement doit contenir		Le cas échéant, le nombre d'échantillons prélevés pour les essais de maintien de la consistance

Remarques

- La norme n'indique aucune valeur 'r' (répétabilité) et R (reproductibilité) permettant d'évaluer la précision de la mesure.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme

NBN EN 12350-2

Essai d'affaissement (2019)

Principe

Le béton frais est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance. Cet essai n'est pas applicable si la dimension maximale du plus gros granulat est supérieure à 40 mm.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Un échantillon réhomogénéisé d'environ 6 litres est nécessaire à la réalisation de l'essai.

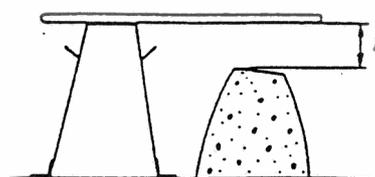
L'essai

Un moule en forme de tronc de cône (diamètre de la base inférieure = 200 ± 2 mm, diamètre de la base supérieure = 100 ± 2 mm, hauteur = 300 ± 2 mm), posé sur un plateau rigide, est rempli en trois couches; chacune correspond après serrage au tiers de la hauteur du moule. Le moule et le plateau ont été préalablement humidifiés. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage ($d = 16$ mm, $h = 600$ mm). Remonter verticalement le moule sans mouvement latéral en 5 à 10 secondes.



Le résultat

L'affaissement du béton frais est donné par la différence entre la hauteur du moule et le point le plus haut de l'échantillon affaissé.



Quelques particularités

- L'échantillon doit être conforme à la NBN EN 12350-1 (2019).
- L'appareillage nécessaire à l'exécution de cet essai doit être conforme aux spécifications données dans l'EN 12350-1(2019).
- L'essai n'est pas applicable si le diamètre maximal du gros granulat D_{max} est supérieur à 40 mm.
- L'essai n'est valable que s'il conduit à un affaissement pour lequel le béton reste dans l'ensemble intact et symétrique, sans éboulement ou cisaillement.
- L'affaissement ne peut évoluer au-delà de 60 secondes.
- Quelques différences par rapport à la précédente norme NBN EN 12350-2 (2009) sont reprises dans le tableau ci-dessous.

	NBN EN 12350-2 (2009)	NBN EN 12350-2 (2019)
Domaine d'application	Affaissement compris entre 10 mm et 210 mm. $D_{max} \leq 40$ mm	

Tolérances sur les dimensions de la tige de piquage	$\varnothing = 16 \pm 1 \text{ mm}$ $l = 600 \pm 5 \text{ mm}$	Tolérances sur les dimensions de la tige non mentionnées. $\varnothing = 16 \text{ mm}$ $l = 600 \text{ mm}$
Intervalle de la règle de mesure	Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 5 mm)	Graduée de 0 à 300 mm (intervalle ≤ 1 mm)
Résolution du chronomètre	1 seconde	0,5 seconde
Durée pour l'enlèvement du moule par remontée	2 à 5 secondes	
Mesure de maintien de l'affaissement	Non mentionné	Le béton doit être conservé dans l'enceinte hermétique. Avant chaque essai, le béton doit être vidé et réhomogénéisé sur le plateau; Quantité: Au moins 1,5 fois la quantité nécessaire pour les essais et suffisante pour remplir l'enceinte hermétique jusqu'à 25 mm à 50 mm du couvercle; Le béton utilisé pour l'essai de consistance initiale ne doit pas être réutilisé pour déterminer le maintien de la consistance spécifiée.
Expression des résultats	A 10 mm près	
Rapport d'essai		Peut préciser la classe d'affaissement spécifiée ou la valeur cible d'affaissement

Remarque

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de l'essai sont reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme.

NBN EN 12350-3

Essai Vébé (2019)

Objet de la norme

La norme décrit l'une des méthodes de détermination de la consistance du béton frais au moyen du temps à l'essai Vébé. La méthode ne s'applique que si la dimension maximale des granulats est ≤ 63 mm. Si le temps à l'essai Vébé est < 5 s ou > 30 s, un autre essai de consistance doit être utilisé.

Principe

Le béton est compacté dans un moule d'essai d'affaissement, qui est ensuite soulevé. Le béton est alors recouvert d'un disque transparent. L'affaissement du béton est mesuré. Ensuite, la table vibrante est mise en marche. Le temps nécessaire pour que la face inférieure du disque soit complètement couverte de laitance est alors mesuré (= temps Vébé).

Echantillon

L'échantillon est prélevé conformément à la norme NBN EN 12350-1.

L'essai

L'essai est effectué au moyen d'un consistomètre (machine à essai Vébé) tel que représenté à la figure 1.

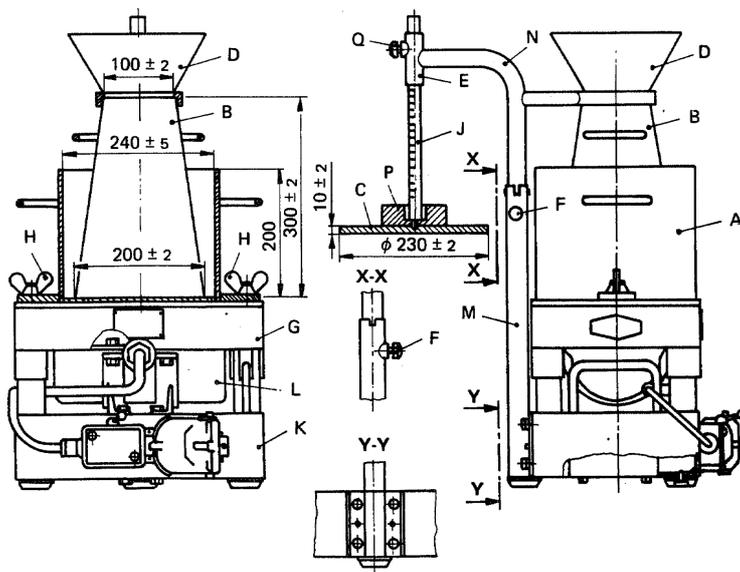


Figure 1: Consistomètre (machine à essai Vébé)

Remplir le moule (B) en trois couches, chacune piquée 25 fois (uniformément réparties sur la section). Enlever la hausse (D), agrafer le béton, et ôter le moule verticalement en 2 à 5 secondes. Faire pivoter le disque (C) au-dessus du béton et le laisser descendre jusqu'à ce qu'il entre en contact avec le béton. Noter la valeur de l'affaissement sur la règle graduée (J). Laisser le disque reposer librement sur le béton.

Mettre en marche la table vibrante et le chronomètre simultanément, et les arrêter lorsque le béton couvre toute la face inférieure du disque. Enregistrer le temps à la seconde près.

Un éventuel affaissement irrégulier du béton (cisaillement, Figure 2b, ou effondrement, Figure 2c) doit être signalé dans le rapport.

Résultat

Le temps Vébé mesuré est arrondi à la seconde près.

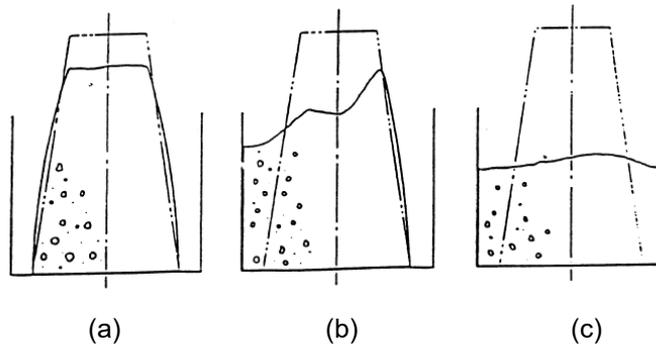


Figure 2: (a) affaissement régulier, (b) cisaillement, (c) effondrement

Comparaison avec les anciennes normes

Quelques différences par rapport à la norme belge NBN B 15-234 sont reprises dans le tableau ci-dessous.

	NBN EN 12350-3 : 2019	NBN EN 12350-3 : 2009	NBN B 15-234
D_{max}	≤ 63 mm		≤ 40 mm
Durée de l'enlèvement du moule par remontée	2 à 5 secondes		Pas d'exigence
	Le consistomètre est identique, la Figure 1 de la NBN EN 12350-3 est reprise telle quelle de la NBN B 15-234		

Remarque

- La norme n'indique aucune valeur 'r' (répétabilité) et R (reproductibilité) permettant d'évaluer la précision de la mesure.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme.

NBN EN 12350-4

Indice de serrage (2019)

Objet de la norme

La présente norme définit une méthode de détermination de la consistance du béton frais par l'évaluation de son indice de serrage. La méthode ne s'applique que si la dimension maximale des granulats est ≤ 63 mm. Si l'indice de serrage est $< 1,04$ ou $> 1,46$, un autre essai de consistance doit être utilisé.

Principe

Le béton frais est placé à la truelle dans un récipient en évitant tout compactage, puis arasé au niveau du bord supérieur. Il est ensuite compacté par vibration. La distance entre la surface du béton compacté et le bord du récipient permet de déterminer le degré de compactabilité.

Echantillon et appareillage

L'échantillon est prélevé conformément à la norme NBN EN 12350-1 et réhomogénéisé au moyen d'un plateau et d'une pelle à bout carré.

Le récipient possède une base de $200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, une hauteur de $400 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, et des parois d'au moins 1,5 mm d'épaisseur, en matériau non aisément attaqué par la pâte de ciment.

La méthode de compactage de référence est la table vibrante, avec une fréquence minimale d'environ 40 Hz (2400 cycles/min). L'aiguille vibrante peut également être utilisée, avec une fréquence minimale d'environ 120 Hz (7200 cycles/min) et un diamètre inférieur ou égal au quart de la plus petite dimension du récipient.

L'essai

Nettoyer le récipient de serrage et humidifier ses faces internes avec un chiffon humide. Remplir le récipient de béton en plaçant la truelle alternativement sur les 4 bords et en l'inclinant latéralement. Araser au moyen d'une règle par un mouvement de sciage, en évitant tout compactage. Compacter le béton à la table ou à l'aiguille vibrante jusqu'à ce que le volume ne diminue plus. Mesurer ensuite la valeur de h , la profondeur intérieure du récipient de serrage, en millimètres et la valeur s , au millimètre près, moyenne des distances entre la surface du béton compacté et le bord supérieur du récipient (Figure 1).

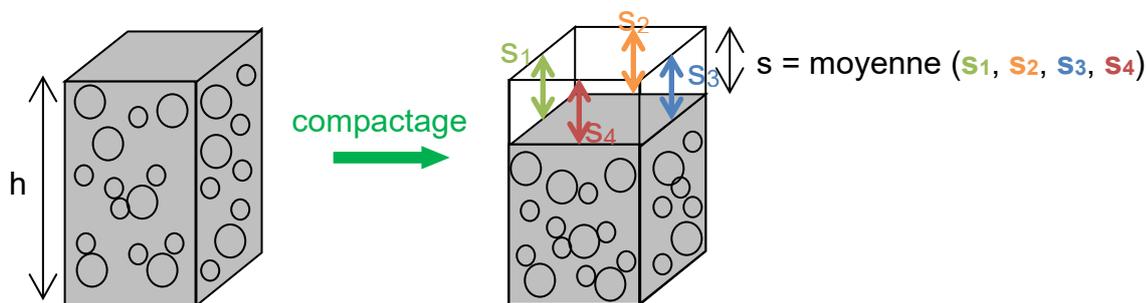


Figure 1: Mesure de la valeur s pour l'indice de serrage

Résultat

L'indice de serrage c se calcule au moyen de la formule

$$c = \frac{h}{h - s}$$

où

h Profondeur intérieure du récipient de serrage, en millimètres

s Distance moyenne, au millimètre près, entre la surface du béton compacté et le bord supérieur du récipient

Si *c* est $< 1,04$ ou $> 1,46$, une autre méthode d'essai doit être utilisée pour déterminer la consistance. Le résultat doit être consigné à 0,01 près.

Remarque

- La norme n'indique aucune valeur 'r' (répétabilité) et R (reproductibilité) permettant d'évaluer la précision de la mesure.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme.

NBN EN 12350-5

Essai d'étalement à la table à choc (2019)

Principe

La consistance d'un béton frais est déterminée par mesure de son étalement sur un plateau plan soumis à des secousses. Cette norme ne s'applique pas aux bétons cellulaires, aux bétons caverneux, aux bétons autocompactants ou aux bétons contenant des granulats de dimension supérieure à 63 mm. Si la valeur de l'étalement est < 340 mm ou > 620 mm, un autre essai de consistance doit être utilisé.



Figure 1: Photo d'une exécution d'un essai

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Dimensions des échantillons

Un échantillon réhomogénéisé d'au moins 5 litres est nécessaire à la réalisation de l'essai.

L'essai

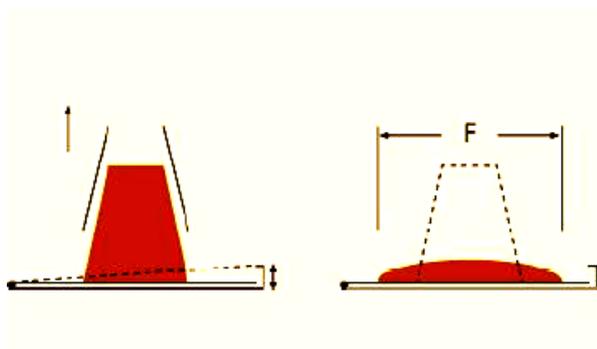


Figure 2: Présentation schématique d'une exécution d'un essai

L'essai est réalisé sur une table d'étalement mobile comportant un plateau plan relié par charnières à une base rigide. Un moule en forme de tronc de cône ($D_{\text{base}} = 200$ mm, $d_{\text{haut}} = 130$ mm, $h = 200$ mm) est posé au centre du plateau. Le moule et le plateau sont préalablement humidifiés. Le remplissage du cône se fait en deux couches successives de hauteurs équivalentes.

Compacter chaque couche par 10 piquages à l'aide d'une tige de piquage.

Remonter verticalement le moule sans mouvement latéral en 1 à 3 secondes.

La hauteur de chute du plateau mobile et de la base rigide est de 40 mm. Procéder à 15 cycles de chutes. Chaque cycle dure entre 1 et 3 secondes.

Le résultat

L'étalement du béton frais est donné par la moyenne de deux mesures (à 10 mm près) d'étalement maximal du béton parallèlement aux côtés de la table.

Si l'étalement n'est pas stabilisé au terme des 15 cycles, attendre la stabilisation avant de mesurer et enregistrer la durée entre la fin des cycles et le mesurage. Cette durée doit être mentionnée dans le rapport.

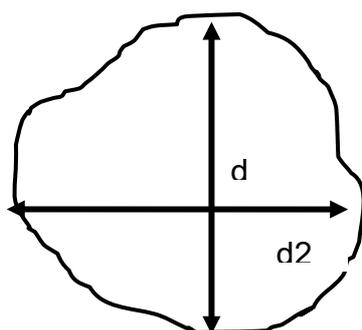


Figure 3: Schéma de la méthode de mesure

Quelques particularités

- L'échantillon doit être conforme à la NBN EN 12350-1 (2019).
- Cette norme ne s'applique pas aux bétons contenant des granulats de dimension supérieure à 63 mm.
- L'essai n'est pas applicable pour les bétons cellulaires ou caverneux.

Quelques différences par rapport à la version précédente de la norme sont reprises dans le tableau ci-dessous.

	NBN EN 12350-5 (2009)	NBN EN 12350-5 (2019)
Domaine d'application	Etalement compris entre 340 mm et 600 mm. Granulat avec $D_{max} \leq 63$ mm	Etalement compris entre 340 mm et 620 mm. Granulat avec $D_{max} \leq 63$ mm
Moule	Tronconique $D = 200 \pm 2$ mm $d = 130 \pm 2$ mm $h = 200 \pm 2$ mm Epaisseur minimale de 1,5 mm	
Table	Plateau carré = 700 ± 2 mm Marquage central d'un cercle avec diamètre = 210 ± 1 mm Masse plateau = $16 \pm 0,5$ kg Hauteur de chute = 40 ± 1 mm	

	NBN EN 12350-5 (2009)	NBN EN 12350-5 (2019)
Tige de piquage	Section carrée = 40 ± 1 mm L = 200 mm	
Mode opératoire	Remplir le moule en 2 couches Piquer chaque couche 10x Soulever le moule en 1 à 3 secondes Donner 15 secousses, la durée de chaque cycle devant être entre 1 et 3 secondes	
Résultat	Diamètre moyen de la galette = $(d1 + d2)/2$	
Mesure de maintien de l'étalement	Non mentionné	Le béton doit être conservé dans l'enceinte hermétique. Avant chaque essai, le béton doit être vidé et réhomogénéisé sur le plateau; Quantité: Au moins 1,5 fois la quantité nécessaire pour les essais et suffisante pour remplir l'enceinte hermétique jusqu'à 25 mm à 50 mm du couvercle; Le béton utilisé pour l'essai de consistance initiale ne doit pas être réutilisé pour déterminer le maintien de la consistance spécifiée.
Expression des résultats	A 10 mm près	
Rapport d'essai		Dans le cas d'essais de maintien de l'étalement, le rapport doit contenir l'âge de l'échantillon depuis le premier contact entre le ciment et l'eau. Le rapport peut contenir la classe d'étalement à la table à choc spécifiée ou la valeur cible d'étalement

Remarque

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de l'essai sont reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme.

NBN EN 12350-6

Masse volumique (2019)

Objet de la norme

La présente norme définit une méthode de détermination de la masse volumique du béton frais compacté en laboratoire et in situ.

Principe

Le béton frais est compacté dans un récipient rigide et étanche à l'eau, et pesé. Le récipient est étalonné préalablement.

Echantillon et appareillage

L'échantillon est prélevé conformément à la norme NBN EN 12350-1 et réhomogénéisé au moyen d'un plateau et d'une pelle à bout carré.

Le récipient est rigide, étanche à l'eau, en matériau non directement attaqué par la pâte de ciment. Ses parois intérieures sont lisses, son bord supérieur est plan et parallèle à la base, son volume est au moins égal à 5 l (ou moins pour les essais de gestion de la production), et sa plus petite dimension est au moins égale à 4 x la dimension nominale maximale des granulats, avec un minimum de 150 mm. Une hausse de remplissage peut être utilisée.

Quatre méthodes de compactage sont possibles:

- Aiguille vibrante: fréquence d'environ 120 Hz (7200 cycles/min), diamètre inférieur ou égal au quart de la plus petite dimension du récipient;
- Table vibrante: fréquence d'environ 40 Hz (2400 cycles/min);
- Tige de piquage: de section circulaire, rectiligne, en acier, diamètre d'environ 16 mm, longueur environ 600 mm, extrémités arrondies;
- Barre de compactage: de section carrée d'environ 25 mm x 25 mm, longueur 380 mm.

L'essai

Mesurer le volume du récipient par la méthode suivante (étalonnage):

Peser le récipient vide et une plaque en verre ensemble avec une précision de 0,01 kg (m_a). Placer le récipient sur une surface horizontale, remplir d'eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à débordement, puis glisser la plaque en verre dessus afin d'exclure toute bulle d'air. Peser le récipient avec l'eau et la plaque en verre avec une précision de 0,01 kg (m_b). La masse de l'eau nécessaire pour remplir le récipient est donnée par la différence ($m_b - m_a$) en kg qui, divisée par 998 kg/m^3 , donne le volume V du récipient à $0,00001 \text{ m}^3$ (Figure 1).

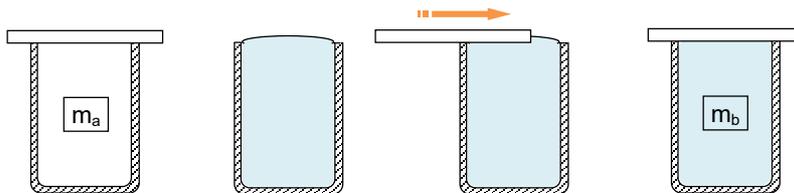


Figure 1: Etalonnage du récipient

Humidifier et peser le récipient vide (m_1). Remplir le récipient de béton et le compacter en deux couches minimum, directement après le remplissage, jusqu'à obtenir un compactage complet (plus de remontée de grosses bulles, surface relativement lisse sans ségrégation excessive). Un compactage excessif doit être évité afin de ne pas provoquer de diminution de l'air entraîné. Dans le cas de l'aiguille vibrante, celle-ci doit être maintenue verticale et ne pas entrer en contact avec les parois ou le fond du moule. Des précautions particulières doivent être prises pour éviter une diminution de l'air entraîné. Dans le cas de la table vibrante, le récipient doit être attaché ou tenu fermement contre la table. Dans le cas d'un compactage manuel (tige ou barre de compactage), les coups doivent être uniformément répartis sur toute la surface du récipient. Minimum 25 coups par couche sont nécessaires. La tige ou barre ne doit pas entrer en contact brutal avec le fond du récipient, ni pénétrer sensiblement dans une couche précédente. Les dernières bulles d'air sont éliminées en tapotant de coups secs les parois du moule au moyen d'un maillet, jusqu'à ce que plus aucune grosse bulle d'air n'apparaisse à la surface et que les traces laissées par la tige ou barre de compactage disparaissent. En cas d'utilisation d'une hausse, araser immédiatement le béton excédentaire au moyen d'une truelle puis d'une règle, puis nettoyer l'extérieur du récipient.

Peser le récipient et son contenu (m_2).

Etant donné le caractère alcalin des mélanges cimentaires frais, éviter tout contact entre le ciment et la bouche, les yeux et le nez ou entre le béton frais et la peau.

Résultat

La masse volumique est déterminée selon la formule:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

où

D Masse volumique du béton frais, en kg/m^3 , arrondi aux 10 kg/m^3 les plus proches

m_1 Masse du récipient, en kg

m_2 Masse du récipient plus la masse de béton contenu dans le récipient, en kg

V Volume du récipient, en m^3

Arrondir la masse volumique du béton à 10 kg/m^3 près.

Fidélité

La norme donne un tableau de valeurs de fidélité, qui s'appliquent aux mesures effectuées sur du béton prélevé sur le même échantillon et lorsqu'à chaque résultat d'essai correspond une détermination unique de la masse volumique (tableau 1).

La *répétabilité* s'applique à la différence entre les résultats de deux essais effectués sur le même échantillon par un opérateur utilisant le même appareillage. Le symbole r désigne la *limite de répétabilité*, valeur au-dessous de laquelle est située, avec une probabilité de 95 %, la valeur absolue de la différence entre les deux résultats d'essai. Le symbole s_r désigne l'écart-type des résultats d'essai ou *écart-type de répétabilité*.

La *reproductibilité* s'applique à la différence entre deux résultats d'essai effectués sur le même échantillon, par deux opérateurs utilisant chacun leur propre appareillage. Ce

sont ici les symboles R et s_R qui sont utilisés pour désigner respectivement la *limite de reproductibilité* et l'*écart-type de reproductibilité*.

Tableau 1: Valeurs de répétabilité et reproductibilité

Plage	Conditions de répétabilité		Conditions de reproductibilité	
	s_r	r	s_R	R
kg/m ³ de 2300 à 2400	kg/m ³ 5,5	kg/m ³ 15	kg/m ³ 10,2	kg/m ³ 29

Quelques différences par rapport à l'ancienne norme belge NBN B 15-213 précédente de la norme sont reprises dans le tableau ci-dessous.

NBN EN 12350-6:2019	NBN B 15-213
$D_{\max} \leq 63$ mm	$D_{\max} \leq 40$ mm
Echantillon prélevé selon la norme NBN EN 12350-1	Echantillon prélevé selon la norme NBN B 15-206
Précision de la balance permettant de déterminer la masse volumique du béton frais compacté: 0,1 %	Précision de la balance permettant de déterminer la masse volumique du béton frais compacté: 0,2 %
Volume minimal du récipient: 5l	Pas d'exigence de volume minimal
Symbole désignant la masse volumique: D	Symbole désignant la masse volumique: ρ
Valeurs de répétabilité et de reproductibilité	Pas de mention concernant la fidélité
Procédure de remplissage et de compactage décrites dans la norme	Procédures de remplissage et de compactage décrites dans une autre norme (NBN B 15-212)

Remarque

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de l'essai sont reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise ni allemande de la norme.

Objet

Cette norme décrit deux méthodes pour déterminer la teneur en air de béton frais compacté. Cette norme ne s'applique pas aux bétons de granulats légers, au laitier de haut-fourneau refroidi à l'air, aux granulats à forte porosité, aux bétons contenant des granulats de dimension supérieure à 63 mm ou aux bétons ayant des affaissements inférieurs à 10 mm.

Principe

Les deux méthodes recourent au même appareil s'appuyant sur la loi des gaz parfaits à température constante, c'est-à-dire la loi de Boyle-Mariotte, selon laquelle le produit du volume et de la pression est toujours une constante.

On distingue deux appareillages appelés respectivement le dispositif de mesure à colonne d'eau (Figure 1) et le dispositif de mesure par manomètre (Figure 2).

Dans le cas du premier appareillage, une colonne d'eau est appliquée sur un échantillon de béton jusqu'à une hauteur préalablement définie. Une pression d'air est exercée ensuite sur cette colonne d'eau. La réduction du volume d'air dans l'échantillon de béton s'exprime à travers une baisse du niveau de cette colonne d'eau. Le pourcentage de volume d'air dans le béton frais peut être déterminé ensuite par voie de calibrage.

Dans le cas du deuxième type d'appareillage, un volume d'air connu est porté à une pression connue. Cet air est admis ensuite dans une enceinte hermétique contenant l'échantillon de béton. La teneur en air de l'échantillon de béton peut être déterminée à nouveau à partir de la baisse de pression qui en résulte.

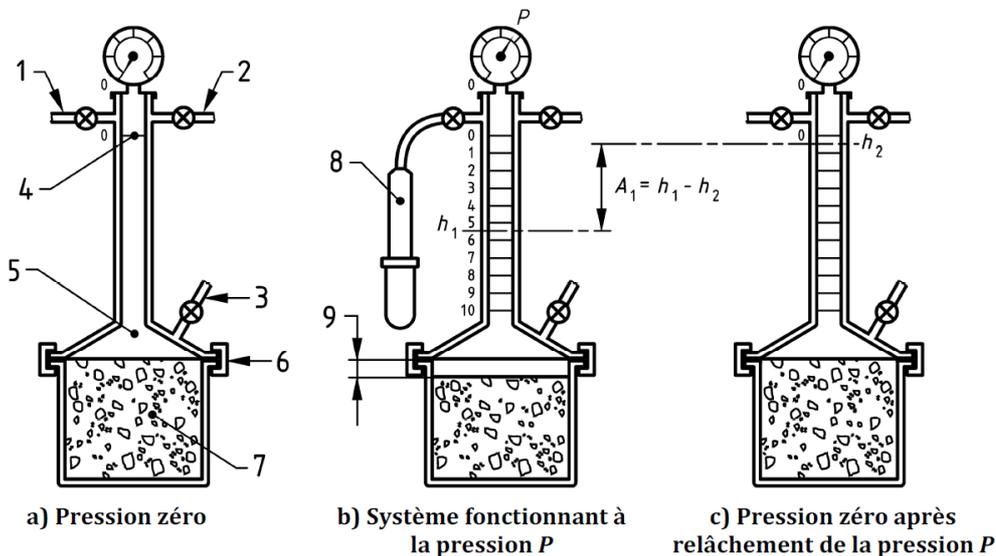


Figure 1: Dispositif de mesure à colonne d'eau



Figure 2: Photo de dispositif de mesure par manomètre

L'essai

L'essai requiert un échantillon conforme à la NBN EN 12350-1, qui doit être bien homogénéisé avant de débiter l'essai. En fonction de sa consistance, le béton est introduit en une ou plusieurs couches dans l'enceinte et compacté manuellement ou mécaniquement. Dans le cas de béton auto-plaçant, l'enceinte doit être remplie entièrement en une seule opération sans compactage.

Après le remplissage et l'éventuel compactage du récipient, le béton est lissé et les rebords de l'enceinte sont débarrassés des petites pierres et de la pâte. Ensuite, le récipient est assemblé correctement à l'appareil de mesure avant d'entamer la mesure.

Le résultat

Le résultat de la mesure est noté avec une précision de 0,1 %.

Quelques différences par rapport à la précédente de la norme sont reprises dans le tableau ci-dessous.

	NBN EN 12350-7 : 2019	NBN EN 12350-7 : 2009
Remplissage du récipient au moyen de béton S1 à S5	En autant de couches que nécessaire afin de réaliser un serrage à refus	S1 à S2: plusieurs couches S3 à S5: 1 couche
Remplissage du récipient au moyen de béton autoplaçant	Remplir en une couche et ne pas compacter	
Compactage du béton	Compactage à l'aiguille vibrante Compactage à la table vibrante Compactage manuel au moyen de 25 piquages par couche au moyen d'une barre de compactage	
Après le remplissage du récipient, lisser le béton	Obligatoire	

Quelques particularités

- L'échantillon doit être conforme à la NBN EN 12350-1.
- Cette norme ne s'applique pas au béton contenant des granulats dont le diamètre est supérieur à 63 mm.
- L'essai ne s'applique pas non plus sur le béton à base de granulats légers, de laitier de haut fourneau refroidi à l'air ou de granulats à forte porosité.
- L'essai ne convient pas aux bétons ayant des affaissements inférieurs à 10 mm conformément à l'EN 12350-2.

Remarques

- Les valeurs des paramètres de fiabilité de l'essai selon la méthode de la colonne d'eau, r (répétabilité) et R (reproductibilité) sont mentionnées dans la norme
- Aucune donnée n'est disponible sur la fidélité de la méthode du manomètre
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme

Objet

Cette norme décrit la méthode de détermination de la consistance et du temps t_{500} d'un béton auto-plaçant. Cette norme ne s'applique pas au béton contenant des granulats dont le diamètre est supérieur à 40 mm.

Principe

Lorsque le cône est retiré, la durée qui s'écoule entre le début du mouvement ascendant du cône et le moment où le béton atteint un diamètre de 500 mm est mesurée; il s'agit du temps t_{500} . Le plus grand diamètre d'étalement du béton et le diamètre de l'étalement perpendiculaire sont ensuite mesurés, l'étalement au cône étant le diamètre moyen.

L'essai

Un échantillon conforme à la NBN EN 12350-1 est placé dans un moule conique (voir la NBN EN 12350-2) sans aucunement le compacter ou l'agiter. L'échantillon doit être réhomogénéisé avant d'effectuer l'essai. Si l'échantillon est destiné à être utilisé pour mesurer le maintien de l'étalement au cône à un moment spécifié, le béton de l'enceinte hermétique doit être vidé sur le récipient ou plateau de réhomogénéisation et réhomogénéisé à l'aide de la pelle ou de la pelle d'échantillonnage (ou main-écope) avant d'effectuer l'essai.

Le moule repose sur une surface horizontale plane et préalablement humidifiée pendant une durée maximale de 30 secondes, est ensuite soulevé verticalement. (Ce mouvement dure de 1 à 3 secondes). A partir du moment de soulèvement du cône, on mesure le temps pris par le béton pour atteindre un rayon de 500 mm à 0,5 seconde près. C'est le temps t_{500} . L'étalement maximum et stabilisé est également mesuré avec une précision de 10 mm. Une deuxième mesure de l'étalement est prélevée perpendiculairement à ce sens. La valeur d'étalement du béton auto-plaçant est la moyenne de ces deux mesures.

Si deux essais consécutifs révèlent que la différence entre d_1 et d_2 est supérieure à 50 mm, la mobilité du béton est insuffisante pour que l'essai d'étalement au cône soit approprié.



Figure 1: Photo de la mesure d'étalement d'un béton

Le résultat

Temps T_{500} : le temps calculé avec une précision de 0,5 s nécessaire pour permettre au béton d'atteindre un rayon d'étalement de 500 mm.

Consistance: l'étalement moyen après stabilisation de l'étalement maximum (mesuré avec une précision de 10 mm) et de l'étalement dans le sens perpendiculaire au précédent. Ce résultat est établi avec une précision de 10 mm.

Quelques particularités

- L'échantillon doit être conforme à la NBN EN 12350-1.
- Cette norme ne s'applique pas au béton contenant des granulats dont le diamètre est supérieur à 40 mm.
- Le rapport d'essai peut préciser la classe d'étalement au cône spécifiée ou la valeur cible de l'étalement au cône spécifiée.

Remarques

- Les valeurs des paramètres de fiabilité de l'essai, r (répétabilité) et R (reproductibilité) sont mentionnées dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme.

Objet

Cette norme décrit la méthode de détermination du temps d'écoulement d'un entonnoir d'un béton auto-plaçant.

Principe

Le béton frais est coulé dans un moule ayant la forme d'un entonnoir et équipé en bas d'une trappe qui peut être ouverte ou fermée. Le temps nécessaire pour permettre au béton de s'écouler à travers la trappe ouverte est une mesure de la consistance du béton.

L'essai

Un échantillon conforme à la NBN EN 12350-1 est introduit dans un entonnoir comme présenté à la Figure 1.

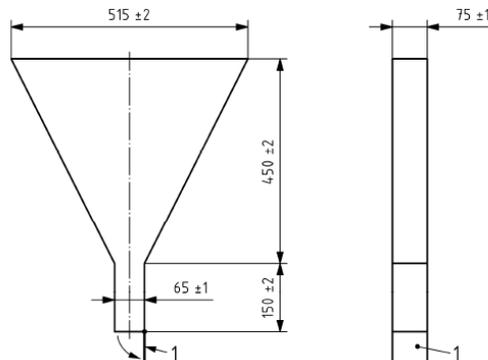


Figure 1: Présentation schématique de l'entonnoir

Cet entonnoir est préalablement nettoyé et humidifié. La trappe en bas de l'entonnoir est fermée. Ce dernier est ensuite rempli en une fois avec l'échantillon sans l'agiter ni le compacter. La surface de coulage de l'échantillon est lissée et, après avoir respecté un temps de repos de 8 à 12 secondes, la trappe est ouverte rapidement. Le temps mesuré à partir de cette action jusqu'au moment où l'on peut regarder de nouveau à partir du haut à travers la trappe ouverte est le résultat du test.

Le résultat

Le temps d'écoulement de l'entonnoir est établi avec une précision de 0,5 seconde.

Quelques particularités

- L'échantillon doit être conforme à la NBN EN 12350-1 et d'au moins 12 l.
- Cette norme ne s'applique pas au béton contenant des granulats dont le diamètre est supérieur à 22,4 mm.

Remarques

Les valeurs des paramètres de fiabilité de l'essai, r (répétabilité) et R (reproductibilité) sont mentionnées dans la norme.

NBN EN 12350-10

Béton auto-plaçant – Essai à la boîte en L (2010)

Objet

Cette norme décrit la méthode permettant de mesurer la consistance d'un béton auto-plaçant en utilisant la boîte en L.

Principe

La boîte en L est utilisée pour contrôler et mesurer la capacité auto-plaçante du béton lui permettant de couler à travers des ouvertures étroites de barres d'armature. Cet essai se compose de deux variantes, deux ou trois barres d'armature étant placées dans le canal d'écoulement afin de simuler une densité d'armature différente.

L'essai

La boîte en L est utilisée pour contrôler et mesurer la capacité auto-plaçante du béton lui permettant de couler à travers des ouvertures étroites de barres d'armature. Cet essai se compose de deux variantes, deux ou trois barres d'armature étant placées dans le canal d'écoulement afin de simuler une densité d'armature différente.

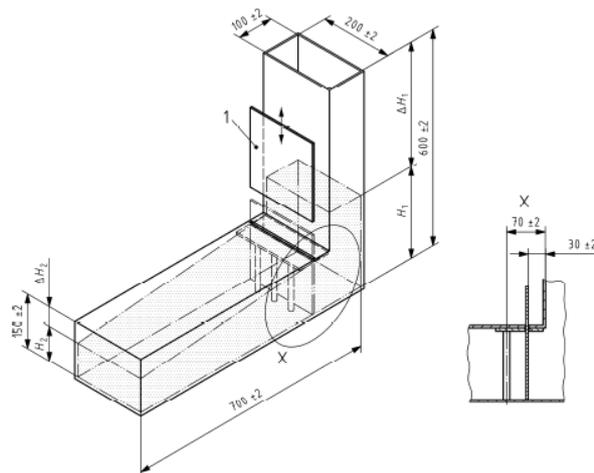


Figure 1: Présentation schématique de la boîte en L

Le résultat

La consistance est le rapport entre H_1 et H_2 , H_1 étant la hauteur moyenne du béton dans la partie verticale et H_2 la hauteur moyenne du béton dans la partie horizontale.

Quelques particularités

- L'échantillon doit être conforme à la NBN EN 12350-1 et d'au moins 14 l.
- Deux exécutions sont utilisées. Une exécution au moyen de deux barres d'armature présentant entre elles une ouverture de 41 ± 1 mm et une exécution au moyen de trois barres d'armature présentant entre elles une ouverture de 59 ± 1 mm.

Remarques

Les valeurs des paramètres de fiabilité de l'essai, r (répétabilité) et R (reproductibilité) sont mentionnées dans la norme.



Essais sur béton projeté

NBN EN 14487-1

Définitions, spécifications et conformité (2006)

Principe

La présente norme concerne le béton projeté destiné à la réparation et au renforcement de structures, aux structures neuves et au renforcement de sol. Elle couvre la classification selon la consistance, les classes d'exposition environnementales, les exigences sur les constituants, le béton frais, le béton durci et les bétons renforcés de fibres, les spécifications de mélanges à propriétés spécifiées, et les exigences de conformité. Les supports pris en compte sont le sol (roche et terre), le béton projeté, les coffrages, les composants structurels en béton, maçonnerie ou acier, les matériaux de drainage et les matériaux d'isolation.

Définitions

La norme commence par définir les termes relatifs

- *aux composants du mélange*: adjuvants, aditions, ciment, granulats, fibres
- *au produit*: mélange de base, mélange sec, béton projeté renforcé de fibres, béton projeté frais, rebond, béton projeté, béton projeté de référence, mélange mouillé, béton projeté jeune
- *aux procédés*: cure, transport en flux dense, projection par voie sèche, lance, transport en flux dilué, projection par voie mouillée
- *aux propriétés*: résistance au jeune âge, capacité d'absorption d'énergie, résistance à la flexion au premier pic, durée d'utilisation, résistance résiduelle, résistance ultime à la flexion
- *à l'exécution*: structure indépendante, réparation, effet d'ombre, soutènement, support, protection de surface, renforcement
- *à l'essai et inspection*: essai préliminaire pour béton projeté, essai préalable à la projection, inspection, catégorie d'inspection, évaluation de la conformité

Classification

1. Consistance du mélange mouillé

Le béton gâché avant la projection est classifié selon les classes définies dans la norme EN 206-1:

Tableau 1: Classes de consistance

	Affaissement (mm)		Diamètre d'étalement (mm)		Vébé (s)		Indice de serrage
S1	10 – 40	F1	≤ 340	V0	≥ 31	C0	≥ 1,46
S2	50 – 90	F2	350 – 410	V1	21 – 30	C1	1,26 – 1,45
S3	100 – 150	F3	420 – 480	V2	11 – 20	C2	1,11 – 1,25
S4	160 – 210	F4	490 – 550	V3	6 – 10	C3	1,04 – 1,10
S5	≥ 220	F5	560 – 620	V4	3 – 5		
		F6	≥ 630				

2. Classe d'exposition

Les valeurs limites pour la composition du béton en fonction des classes d'exposition définies dans la EN 206-1 s'appliquent au béton projeté, avec les différences suivantes:

- Teneur en ciment dans le mélange de base $\geq 300 \text{ kg/m}^3$
- La recommandation concernant la teneur minimale en air n'est pas applicable.

Les valeurs limites pour la composition sont définies dans une annexe informative de la norme EN 206-1. En Belgique, le [supplément national NBN B 15-001](#) complète cette norme et fournit des données normatives.

3. Béton projeté jeune

Le béton est classifié selon l'évolution en fonction du temps de sa résistance à jeune âge. Les classes J1, J2 et J3 sont les zones délimitées par les courbes A, B et C sur le graphe ci-dessous. Pour qu'un béton appartienne à une classe, il faut qu'au moins trois points de mesure se situent dans la zone correspondante. Deux méthodes de mesure sont décrites dans la norme EN 14488-2 et le choix est effectué en fonction de la résistance attendue: méthode A de 0,2 à 1,2 MPa et méthode B de 2 à 16 MPa.

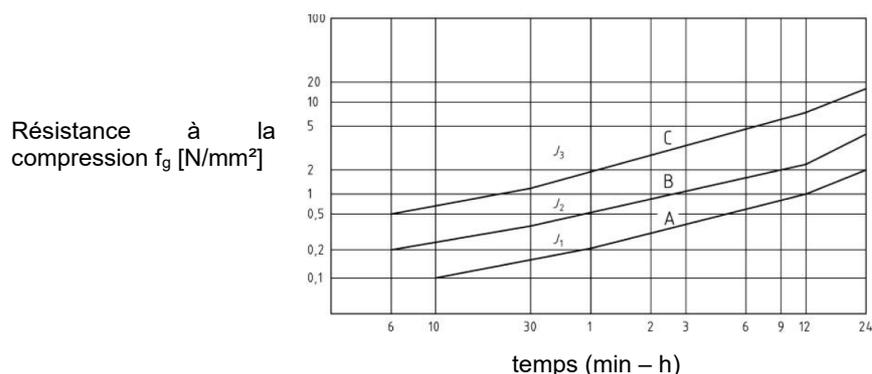


Figure 1: Classes de résistance à jeune âge

4. Résistance à la compression

La résistance à la compression est classée selon la norme EN 206-1.

Tableau 2: Classes de résistance

Bétons normaux et lourds			Bétons légers		
Classe de résistance à la compression	Résistance caract. min. sur cylindres f_{ck-cyl} [N/mm ²]	Résistance caract. min. sur cubes $f_{ck-cube}$ [N/mm ²]	Classe de résistance à la compression	Résistance caract. min. sur cylindres f_{ck-cyl} [N/mm ²]	Résistance caract. min. sur cubes $f_{ck-cube}$ [N/mm ²]
C8/10	8	10	LC8/9	8	9
C12/15	12	15	LC12/13	12	13
C16/20	16	20	LC16/18	16	18
C20/25	20	25	LC20/22	20	22

Bétons normaux et lourds			Bétons légers		
Classe de résistance à la compression	Résistance caract. min. sur cylindres f_{ck-cyl} [N/mm ²]	Résistance caract. min. sur cubes $f_{ck-cube}$ [N/mm ²]	Classe de résistance à la compression	Résistance caract. min. sur cylindres f_{ck-cyl} [N/mm ²]	Résistance caract. min. sur cubes $f_{ck-cube}$ [N/mm ²]
C25/30	25	30	LC25/28	25	28
C30/37	30	37	LC30/33	30	33
C35/45	35	45	LC35/38	35	38
C40/50	40	50	LC40/44	40	44
C45/55	45	55	LC45/50	45	50
C50/60	50	60	LC50/55	50	55
C55/67	55	67	LC55/60	55	60
C60/75	60	75	LC60/66	60	66
C70/85	70	85	LC70/77	70	77
C80/95	80	95	LC80/88	80	88
C90/105	90	105			
C100/115	100	115			

5. Béton projeté renforcé par des fibres

Dans le cas d'un béton projeté renforcé de fibres, les classifications complémentaires suivantes sont d'application:

Classe de résistance résiduelle

Le niveau de résistance spécifié dans une certaine plage de déformation, déterminé selon la norme NBN EN 14488-3, donne lieu à des classes dont la dénomination est la combinaison du sigle de la déformation (D) et de celui du niveau de résistance (S) (Ex.: D2S2 = résistance supérieure à 2 MPa pour une flèche de 0,5 à 2 mm):

Tableau 3: Classes de résistance résiduelle

Plage de déformation		Niveau de résistance (résistance minimale, MPa)			
	Flèche (mm)	S1	S2	S3	S4
D1	0,5 à 1	1	2	3	4
D2	0,5 à 2				
D3	0,5 à 4				

Cette caractéristique est intéressante en cas de boulonnage dans un rocher, pour connaître la résistance qu'offre le béton après déformation du rocher.

Capacité d'absorption d'énergie

La capacité d'absorption d'énergie peut être spécifiée et déterminée selon la norme NBN EN 14488-5.

Tableau 4: Classes d'absorption d'énergie

Classe d'absorption d'énergie	Absorption d'énergie (J) pour une flèche ≤ 25 mm
E500	500
E700	700
E1000	1000

Cette caractéristique peut être spécifiée lorsque, en cas de boulonnage dans un rocher, l'accent est mis sur l'énergie devant être absorbée durant la déformation du rocher.

Exigences relatives au béton projeté

1. Constituants

Les constituants doivent être conformes aux normes européennes correspondantes (tableau 5). L'aptitude générale à l'emploi d'un constituant ne signifie cependant pas qu'il soit adapté à toutes les situations. S'il n'existe pas de norme européenne pour un constituant ou si le matériau ne satisfait pas aux exigences d'une norme européenne existante, la vérification peut se faire selon un Agrément Technique Européen spécifique, ou selon des normes nationales applicables sur le lieu d'utilisation.

Tableau 5: Exigences relatives aux constituants

Constituant	Exigences
Ciment	EN 197-1
Granulats	EN 12620 ou EN 13055-1
Eau de gâchage	EN 1008
Adjuvants	EN 934-2 et/ou EN 934-5 et EN 934-6
Additions	EN 206-1
Béton projeté modifié par des polymères	EN 1504-3
Fibres	EN 14889-1 et EN 14889-2

2. Composition du béton

La composition doit être choisie de manière à satisfaire aux exigences sur le béton frais et durci (consistance, résistance, ...) tout en prenant en compte la technique utilisée et les rebonds et poussières. Elle doit également être conforme aux critères

imposés par les classes d'exposition (§2). Les critères s'appliquent au béton après projection et doivent donc tenir compte de l'influence de l'eau et des adjuvants accélérateurs, et du rebond (une teneur excessive en liant dans le béton adhérent au support, due à un rebond important, peut être à l'origine d'un retrait excessif).

Tableau 6: Exigences relatives à la composition du béton

Composant	Exigences et méthodes d'essai
Ciment	Spécification sur base du temps de maniabilité requis (influence de la température), du développement de la résistance et de la résistance finale, et des conditions de cure. Pour les structures permanentes, conditions environnementales et précautions concernant la résistance à la réaction alcali-silice conformes à la EN 206-1.
Granulats	Précautions concernant la réaction alcali-silice conformes à l'EN 206-1.
Adjuvants	Respect des limitations mentionnées dans l'EN 934-2 et l'EN 934-5.
Additions	Emploi d'additions conformes à l'EN 206-1.
Teneur en chlorure	Pour les structures permanentes, respect des valeurs limites de l'EN 206-1, application des valeurs concernant les armatures lorsque le béton projeté est renforcé de fibres d'acier
Rapport eau/ciment	Pour les structures permanentes, conditions environnementales conformes à la EN 206-1. Si le rapport E/C d'un mélange mouillé est spécifié, calcul conformément à l'EN 206-1.
Fibres	Conformes à l'EN 14889-1 et à l'EN 14889-2. Répartition homogène des fibres.

3. Mélange de base

Tableau 7: Exigences relatives à la composition du béton

Propriété	Exigences et méthodes d'essai
Consistance du mélange de base mouillé	Spécifiée conformément à la EN 206-1. Avec fibres: déterminée conformément à l'EN 12350-3 (essai Vebe)
Température	Mélange de base avant application entre 5°C et 30°C (maintenir maniabilité, éviter effets de prise nuisibles)
Note: la consistance requise dépend du mode de transport et de la méthode d'application	

4. Béton projeté frais

Tableau 8: Exigences relatives au béton frais

Propriété	Exigences et méthodes d'essai
Densité	Déterminée conformément à l'EN 12350-6.
Teneur en fibres	Déterminée sur béton frais prélevé in situ, conformément à l'EN 14488-7.

5. Béton projeté durci

Tableau 9: Exigences relatives au béton durci

Propriété	Exigences et méthodes d'essai
Résistance à jeune âge	Estimation conformément à l'EN 14488-2.
Résistance à la compression	Exprimée et définie conformément à l'EN 206-1. Essais à 28 jours sur carottes extraites de la structure (EN 12504-1) ou dalles (EN 14488-1). Diamètre ≥ 50 mm et hauteur/diamètre = 1 (comparaison à un cube) ou 2 (comparaison à un cylindre).
Densité	Détermination conformément à l'EN 12390-7.
Module d'élasticité	Détermination conformément à l'ISO 6784, sauf réparations (EN 13412).
Résistance à la flexion	Détermination conformément à l'EN 12390-5 pour le béton non fibré, et conformément à l'EN 14488-3 pour comparaison avec béton fibré.
Résistance à la pénétration d'eau	Détermination conformément à l'EN 12390-8 à 28 jours, profondeur d'échantillon suffisante (éviter pénétration complète), peut être réduite si l'épaisseur de la couche est ≤ 150 mm, direction de la pénétration et préparation de la surface spécifiées. Valeur de pénétration ≤ 50 mm.
Résistance au gel/dégel	Aucune norme européenne. Se référer à des normes nationales.
Adhérence au support	Détermination conformément à l'EN 1542 sauf taille du moule $\geq 500 \times 500$ mm ² pour éliminer le matériau défectueux des bords.
Béton renforcé par des fibres	
Résistance à la flexion au 1^{er} pic	Résistance moyenne au 1 ^{er} pic conformément à l'EN 14488-3, à 28 jours.
Résistance ultime à la flexion	Détermination conformément à l'EN 14488-3, à 28 jours.
Résistance résiduelle	Courbe contrainte-flèche déterminée conformément à l'EN 14488-3, à 28 jours.
Teneur en fibres	Si pas possible sur béton frais, mesure sur échantillon durci prélevé in situ conformément à l'EN 14488-7.
Capacité d'absorption d'énergie	Capacité moyenne déterminée conformément à l'EN 14488-5, à 28 jours.

Spécifications du béton projeté

1. Mélanges à propriétés spécifiées (le plus utilisé dans la pratique)

Données pour la spécification:

- consistance
- classe de résistance à la compression
- classe d'exposition
- classe de teneur en chlorure
- catégorie d'inspection (1, 2 ou 3)
- taille nominale des granulats

- *béton fibré*: résistance résiduelle et/ou capacité d'absorption d'énergie

Données complémentaires:

- teneur en ciment
- exigences spéciales des ciments (ex. résistance aux sulfates)
- rapport eau/ciment maximal lié aux classes d'exposition
- développement de la résistance au jeune âge
- résistance à la pénétration d'eau
- adhérence au support
- résistance au gel/dégel
- module d'élasticité
- *béton fibré*: résistance à la flexion au 1^{er} pic, résistance ultime à la flexion

2. Mélanges à composition prescrite

Données pour la spécification:

- type et classe de ciment
- teneur en ciment
- consistance du mélange mouillé
- rapport eau/ciment
- type de granulats, limitations de la granularité
- type et quantité d'adjuvants
- type et quantité d'additions
- origine de tous les constituants
- catégorie d'inspection (uniquement 1)
- *béton fibré*: caractéristiques des fibres et teneur en fibres

Données complémentaires:

- exigences supplémentaires relatives au granulats
- exigences spéciales concernant la température du mélange de base

Evaluation de la conformité

1. Catégories d'inspection

Sur base du projet, du degré de risque et de la durée de vie requise, on spécifie une catégorie d'inspection allant de 1 (la moins stricte) à 3 (la plus stricte). Des exemples de catégories d'inspection se trouvent dans l'annexe A de la norme.

2. Essais préalables à la projection

Des essais préalables doivent être effectués avant le début d'une projection ou en cas de changement significatif des constituants, de la composition, du personnel ou des équipements (rapport E/C, type de granulats, adjuvant, addition, ciment, fibre), sauf en cas d'expérience conséquente ou de spécification contraire. L'essai doit être réalisé dans les mêmes conditions que la projection (matériaux, équipements, personnel, méthode de projection) afin de prouver que les exigences sont satisfaites avant la projection. La quantité doit être suffisante pour obtenir un débit uniforme.

Les paramètres devant être soumis à essais sont

- la consistance du mélange mouillé
- la résistance à la compression
- la teneur en fibres (dans le cas d'un béton fibré)
- le développement de la résistance au jeune âge dans le cas d'un béton de soutènement, pour les catégories d'inspection 2 et 3
- le module d'élasticité dans le cas d'un béton de réparation ou renforcement, catégorie d'inspection 3
- l'adhérence au support pour un béton de réparation ou renforcement, catégories d'inspection 2 et 3
- la résistance ultime à la flexion et la résistance à la flexion au 1^{er} pic, pour une structure indépendante ou un béton de soutènement, catégorie d'inspection 3
- La résistance résiduelle et la capacité d'absorption d'énergie, en présence de fibres, pour une structure indépendante en catégorie d'inspection 2 ou un béton de soutènement en catégories 2 et 3

Les autres paramètres doivent être soumis à essai uniquement si cela est spécifié.

3. Contrôle de production

Afin de maintenir et réguler la qualité du béton projeté conformément aux exigences spécifiées, on effectue un contrôle de production comprenant le contrôle

- des constituants (tableau 10)
- du mélange de base (tableau 11)
- des propriétés du béton projeté (tableau 12)

Tableau 10: Contrôle des constituants

	Constituant	Inspection/essai	Objectif	Fréquence d'échantillonnage minimale		
				Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3
1	Ciment	Vérification bon de livraison	Vérification type et origine	A chaque livraison		
2	Granulat	Vérification bon de livraison	Vérification type et origine	A chaque livraison		
3		Tamisage (EN 933-1) ou infos données par le fournisseur	Vérification conformité à la norme	-	1 ^{ère} livraison d'un nouveau fournisseur	
4		Recherche d'impuretés ou infos données par le fournisseur (EN 12620)	Recherche et quantification des impuretés	-	1 ^{ère} livraison d'un nouveau fournisseur	
5	Béton léger	Essai ISO 6782	Mesure de la masse volumique apparente	-	1 ^{ère} livraison d'un nouveau fournisseur	

6	Adjuvants	Vérification bon de livraison et étiquette (EN 934-6)	Vérification correspondance entre lot et commande, et exactitude marquage	A chaque livraison	
7		Densité (ISO 758)	Vérifier exactitude valeur déclarée	En cas de doute	
8	Additions poudre	Vérification bon de livraison	Vérification origine et correspondance lot-commande	A chaque livraison	
9	Additions suspension	Vérification bon de livraison	Vérification origine et correspondance lot-commande	A chaque livraison	
10		Densité (ISO 758)	Vérification uniformité		A chaque livraison
11	Eau	Essai EN 1008	Vérification absence de constituants nocifs		Si eau non potable; doute; changement de fournisseur
12	Fibres	Vérification longueur, diamètre et forme (EN 14889-1 et -2)	Vérification origine et correspondance lot-commande	A chaque livraison	
<i>Il est recommandé de prélever et de stocker les échantillons à chaque livraison</i>					

Tableau 11: Contrôle du mélange de base

	Type d'essai	Inspection/essai	Objet	Fréquence d'échantillonnage min.		
				Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3
1	Consistance (si voie mouillée)	EN 12350-2 ou -5	Vérification conformité à la classe de consistance requise et variations teneur en eau	Au début de la production		
2	Teneur en adjuvant sauf accélérateur	Enregistrement de la quantité ajoutée	Vérification de la teneur	Facultatif	Chaque lot	
3	Teneur en additions	Enregistrement de la quantité ajoutée	Vérification de la teneur	Facultatif	Chaque lot	
4	Teneur en fibres	Enregistrement de la quantité ajoutée	Vérification de la teneur	Chaque lot		

Le contrôle du béton projeté est décrit dans le tableau 12. Les fréquences correspondent à une production normale et doivent être quatre fois supérieures au début de la production ou durant certaines phases critiques, avec un maximum de 2 essais par jour travaillé. La fréquence normale peut être appliquée après obtention de 4 résultats acceptables consécutifs.

Tableau 12: Contrôle des propriétés du béton projeté

	Type d'essai	Inspection/essai conformément à	Fréquence d'échantillonnage min.								
			Soutènement			Réparation - renforcement			Structure indépendante		
			Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3	Cat. 1	Cat. 2	Cat. 3
Contrôle du béton frais											
1	Rapport E/C (si mélange mouillé)	Calcul ou méthode d'essai			Quotidien			Quotidien			Quotidien
2	Accélérateur	Calcul (avec enreg. quantité ajoutée)			Quotidien			Quotidien			Quotidien
3	Teneur en fibres	EN 14488-7	Min 1	1/200m ³ 1/1000m ²	1/100m ³ 1/500m ²	Min 1	1/500m ² Min 2	1/250m ³ Min 3	1/200m ³ 1/1000m ² Min 1	1/100m ³ 1/500m ² Min 2	1/50m ³ 1/250m ² Min 3
Contrôle du béton durci											
4	Résistance du béton jeune	EN 14488-2	1/5000m ² 1/2mois	1/2500m ² 1/mois	1/250m ² 2/mois						
5	Résistance à la compression	EN 12504-1	1/1000m ³ 1/5000m ²	1/500m ³ 1/2500m ²	1/250m ³ 1/1250m ²	1/500m ³ 1/2500m ² Min 1	1/100m ³ 1/500m ² Min 2	1/50m ³ 1/250m ² Min 3	1/500m ³ 1/2500m ² Min 1	1/100m ³ 1/500m ² Min 2	1/50m ³ 1/250m ² Min 3
6	Densité béton durci	EN 12390-7	Lorsque la résistance à la compression est évaluée			Lorsque la résistance à la compression est évaluée			Lorsque la résistance à la compression est évaluée		
7	Résistance à la pénétration n° d'eau	EN 12390-8				1/1000m ² Min 1	1/500m ² Min 2	1/250m ² Min 3	1/1000m ² Min 1	1/500m ² Min 2	1/250m ² Min 3
8	Résistance au gel/dégel	Norme nationale (pas de norme EU)				1/1000m ² Min 1	1/500m ² Min 2	1/250m ² Min 3	1/1000m ² Min 1	1/500m ² Min 2	1/250m ² Min 3
9	Adhérence	EN 14488-4 (soutèn.) EN 1542 (répar.)		1/2500m ²	1/250m ²	1/1000m ² Min 1	1/500m ² Min 2	1/250m ² Min 3			
Contrôle du béton projeté renforcé par des fibres											
10	Teneur en fibres (si impossible sur frais)	EN 14488-7	Lorsque la résist. résiduelle ou capa. abs. énergie est évaluée			Lorsque la résistance résiduelle est évaluée			Lorsque la résistance résiduelle est évaluée		

11	Résist. résid. ou capa. abs. énerg.	EN 14488-3 ou EN 144883-5	Min 1	1/2000m ² Min 2	1/500m ² Min 3		1/2000m ² Min 2	1/500m ² Min 3		1/2000m ² Min 2	1/500m ² Min 3
12	Résist. ultime à la flexion	EN 14488-3	Lorsque la résistance résiduelle est évaluée		Lorsque la résistance résiduelle est évaluée		Lorsque la résistance résiduelle est évaluée				
13	Résist. flexion 1 ^{er} pic	EN 14488-3	Lorsque la résistance résiduelle est évaluée		Lorsque la résistance résiduelle est évaluée		Lorsque la résistance résiduelle est évaluée				

4. Critères de conformité

Développement de la résistance au jeune âge

Conformité vérifiée si les valeurs de f_c [MPa] mesurées selon l'EN 14488-2 dans le temps ne dépassent pas la plage des classes de résistance au jeune âge définies précédemment (Figure 1).

Résistance à la compression

La conformité est évaluée selon le tableau 13, où «résultat individuel» désigne la résistance à la compression moyenne sur 5 carottes prélevées sur 1 seule dalle d'essai ou sur site. Les deux critères doivent être satisfaits.

f_{ck} désigne la résistance à la compression caractéristique et d l'écart-type pour au moins 6 échantillons.

Tableau 13: Critères de conformité pour les résultats des essais de résistance à la compression

Production	Nombre de résultats «n» de résistance à la compression	Critère 1	Critère
		Moyenne de «n» résultats f_{cm} [MPa]	Tout résultat d'essai individuel f_{ci} [MPa]
Initiale	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Continue	15	$\geq f_{ck} + 1,48 d$	$\geq f_{ck} - 4$

Résistance à la pénétration d'eau

Conformité vérifiée si la valeur moyenne pour un ensemble d'éprouvettes (≥ 3) satisfait à la limite spécifiée.

50 mm est la valeur maximale pour un béton résistant à l'eau.

Résistance au gel/dégel

Conformité vérifiée si les résultats d'essai satisfont à la valeur spécifiée.

Adhérence

Conformité vérifiée si la valeur moyenne pour un ensemble d'éprouvettes (≥ 3) satisfait à la limite spécifiée.

Consistance

Conformité vérifiée si les résultats d'essai satisfont à la limite spécifiée.

Teneur en fibres (béton fibré)

Béton frais: conformité vérifiée si la valeur moyenne de la teneur en fibres mesurée sur au moins 6 échantillons est supérieure ou égale à la valeur cible -10 % en masse.

Béton durci: conformité vérifiée si la valeur moyenne mesurée sur au moins 6 échantillons est supérieure ou égale à la valeur obtenue à l'issue des essais préalables -15 % en masse.

Résistance à la flexion au 1er pic et résistance ultime à la flexion (béton fibré)

Conformité vérifiée si

- la moyenne des résultats obtenus sur 3 éprouvettes répond aux exigences
- aucun résultat individuel ne s'écarte de plus de ± 25 % de la moyenne.

Résistance résiduelle (béton fibré)

Conformité vérifiée si

- la moyenne des résultats obtenus sur 3 éprouvettes répond aux exigences spécifiées, jusqu'à la limite de flèche correspondant au niveau de déformation spécifié (tableau 4)
- en aucun point, pour le niveau de déformation spécifié, on n'obtient une contrainte résiduelle inférieure à 10 % de la contrainte correspondant à la valeur limite de la classe spécifiée.

Capacité d'absorption d'énergie (béton fibré)

Conformité vérifiée si au moins 2 éprouvettes sur 3 présentent une capacité d'absorption d'énergie supérieure ou égale à celle spécifiée.

Conseils relatifs au béton projeté

Une annexe informative de la norme donne quelques conseils tels que

- Vérifier que les propriétés du ciment soient compatibles avec l'application
- Prendre en compte le rebond dans la composition du béton adhérent au support
- Utiliser des granulats de courbe granulairé équilibrée (suffisamment de fines pour la pompabilité, pas trop pour ne pas accroître le besoin en eau, faire attention aux granulats supérieurs à 10 mm pouvant provoquer un rebond plus important)
- Vérifier la compatibilité du liant et des adjuvants accélérateurs (prise, résistance au jeune âge - finale)
- Utiliser des fibres dont la longueur ne dépasse pas 75 % du diamètre des tuyaux utilisés (sauf si il a pu être démontré que c'était possible sans causer de blocage, ou si les fibres sont ajoutées sous la forme d'un fil continu au niveau de la lance)
- Assurer un chevauchement minimal entre fibres avec la formule

$$s = \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot d_f^2 \cdot l_f}{4 \cdot \rho_f}}$$

où

l_f Longueur des fibres, d_f le diamètre équivalent d'une fibre et ρ_f le pourcentage de fibres

s doit être inférieur à $0,45 l_f$ pour garantir un chevauchement minimal

Comparaison avec le guide d'agrément n° G0019 – Bétons de gunitage

	NBN EN 14487-1	G 0019
Classifications	Consistance (selon EN 206-1) Classe d'exposition (selon EN 206-1) Résistance au jeune âge (J1 à J3) Résistance mécanique (EN 206-1) Classe de résistance résiduelle* Capacité d'absorption d'énergie*	Destination (M1 à M4, suivant que le béton joue un rôle structurel ou de finition et qu'il y ait ou non nécessité d'interaction avec le support) Classe d'exposition (1 à 5c, NBN B15-001) D_{max} granulats (2 à 28 mm) Résistance mécanique (C20/25 à C50/60)
Exigences sur constituants	Ciment EN 197-1 Granulats EN 12620 ou EN 13055-1 Eau de gâchage EN 1008 Adjuvants EN 934-2 et/ou -5 et -6 Additions EN 206-1 Béton projeté modifié par polymères EN 1504-3 Fibres* EN 14889-1 et -2	Ciment NBN 12-001, PTV 600 et 601 Granulats PTV 400, 401 et 402 Eau de gâchage EN 1008 Adjuvants EN 934-1, -2 et -5 Additions EN 450, NS 3045 (EN 13263-99) Béton projeté modifié par des polymères --- Fibres* ---
Exigences générales	Résistance à la compression (EN 206-1) Adhérence au support (EN 1542 ou EN 14488-4) Densité (EN 12390-7) Module d'élasticité (ISO 6784 ou EN 13412) Résistance à la flexion (EN 12390-5, EN 14488-3)	Résistance en compression (NBN B 15-220) Adhérence et résistance en traction (NBN B 15-211, EN 1542) Applicabilité du support (continuité, planéité, ...) Teneur en chlorures (NBN B15-250)
Exigences spécifiques	Résistance au jeune âge (EN 14488-2) Résistance à la pénétration d'eau (EN 12390-8) Résistance au gel-dégel (norme nationale) Résistance à la flexion* (EN 14488-3) Capacité d'absorption d'énergie* (EN 14488-5) Teneur en fibres sur béton frais ou durci (EN 14488-7)	Teneur en chlorures (NBN B15-250) Résistance à la carbonatation (EN 13295) Résistance à la pénétration d'eau (EN 7031) Résistance au gel (NBN B15-231, NBN B05-203) Absorption d'eau (NBN B15-215) Masse volumique sèche Teneur en fibres sur mélange sec* Mesure du rebond
Inspection	Catégories d'inspection allant de 1 (la moins stricte) à 3 (la plus stricte)	1 seule catégorie d'inspection
Fréquence des contrôles	Variable en fonction de la catégorie d'inspection et de la destination du béton	Indépendante de la destination du béton
Réaction alcali-silice	Renvoi vers les précautions de la norme EN 206-1	Annexe détaillée concernant les mesures à prendre
Type et niveau de certification	La EN 14487-1 est une norme produit européenne qui se rapporte donc à un type de produit en général (et non à un fabricant en particulier) et qui devrait servir de base à l'obtention d'un éventuel <u>marquage CE</u> de la manière classique. Aucune date d'entrée en vigueur de la norme harmonisée, qui rendrait alors le marquage CE obligatoire, n'est actuellement mentionnée.	Le guide G0019 est une ligne conductrice permettant d'obtenir un agrément technique. L' <u>agrément technique</u> ATG est un avis favorable sur un produit de construction déterminé (fabricant et application définis), pour lequel il n'existe pas de norme produit. Il s'agit d'une certification <u>belge</u> . L'ATG est <u>volontaire</u> et permet d'obtenir un niveau de certification élevé, puisqu'un contrôle par un organisme extérieur est prévu.

* Béton projeté renforcé par des fibres

Autres documents utiles

D'autres documents de référence peuvent être consultés concernant les bétons projetés. Il s'agit des documents publiés par l'EFNARC, European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, disponibles en ligne (<http://www.efnarc.org>):

- European Specification for Sprayed Concrete (1996)
- European Specification for Sprayed Concrete – Execution of spraying (revised version of Section 8) (1999)
- European Specification for Sprayed Concrete – Guidelines for the Sprayed Concrete Specification (1999)
- European Specification for Sprayed Concrete – Checklist for Specifiers and Contractors (2002)

Principe

La présente norme concerne le béton projeté destiné à la réparation et au renforcement de structures, aux structures neuves et au renforcement de sol. Elle spécifie les exigences relatives à l'exécution de la projection du béton, tant par voie sèche que par voie mouillée. *Une comparaison peut être effectuée avec le guide d'agrément G0019 'Bétons de gunitage', chapitres 5 'Description et mise en œuvre des produits et 8 'Contrôles de qualité', seul autre document de référence existant en Belgique'.*

Documentation

Spécification du projet

La spécification du projet doit comprendre toutes les informations nécessaires et exigences techniques relatives à l'exécution des travaux: type de projet (pont, habitation, voie ferrée,...), fonction de la projection (support permanent/temporaire, réparation structurelle/non structurelle), catégorie d'inspection, exigences de sécurité et santé,... La spécification doit être complète et disponible avant le commencement des travaux.

Documentation relative à l'exécution

Au besoin, un plan qualité relatif à l'exécution des travaux doit être préparé. Il faut faire référence aux exigences et critères de conformité spécifiés dans l'EN 14487-1.

Travaux préparatoires

Pour le soutènement

Préparation du substrat: débarrasser la surface de la roche des éléments instables, canaliser les infiltrations de nappe, installer les instrumentations de mesure pour la mécanique des roches. Dépoussiérage: élimination des poussières par jet d'eau sous pression. Pré-humidification: en fonction de l'avidité en eau du support (effet négatifs pouvant en résulter sur le béton). Protection contre les températures ambiantes extrêmes: actions pour protéger le béton du gel ou de températures élevées.

Pour la réparation et le renforcement de structures, et pour les structures indépendantes

Echafaudages, coffrages et étalements: se référer à l'ENV 13670-1, en y ajoutant certaines dispositions (pouvoir supporter le rebond, ne pas entraver les mouvements du porte-lance, laisser une distance suffisante entre la lance et la surface d'application, laisser des accès faciles). Préparation du substrat: décaper la surface au moyen d'eau ou d'abrasifs; se référer à l'EN 1504-10. Pré-humidification: se référer à l'EN 1504-10. Protection contre les températures ambiantes extrêmes: protéger le béton du gel et des températures élevées.

Plus de détails concernant la réparation des bétons peuvent être trouvés dans cet article.

Armatures

Les armatures peuvent se présenter sous forme de treillis ou barres (ENV 13670-1), fibres d'acier ou de polymères (EN 14489-1 ou -2), ou cintres (dans le cas des soutènements).

Il faut veiller à leur bonne fixation, à minimiser l'effet d'ombre, au bon recouvrement des différentes nappes,

Equipements

Les propriétés des constituants ne doivent pas être modifiées suite au **stockage** (mélange, climat, pollution...).

La précision des **équipements de dosage** doit être conforme aux exigences nationales et être telle que les tolérances (écart entre valeur cible et valeur mesurée) du tableau 1 soient respectées.

Le **malaxeur** doit assurer un mélange homogène des constituants.

L'**équipement de projection** doit être tel que la teneur en accélérateur du béton soit dans les tolérances précitées, et que la longueur des fibres ne dépasse pas 70 % du diamètre intérieur.

L'**équipement d'essai** doit être étalonné et les dispositifs nécessaires à son inspection doivent être disponibles.

Tableau 1: Tolérances admissibles sur le dosage des constituants

Constituants	Tolérances admissibles (% de la quantité requise)	
	Classe d'inspection 2	Classe d'inspection 3
Ciment	± 5 %	± 3 %
Eau (pour voie mouillée)	± 5 %	± 3 %
Ensemble des granulats	± 5 %	± 3 %
Additions	± 5 %	± 3 %
Fibres	± 5 %	± 5 %
Adjuvants (ajoutés sur le lieu de malaxage, ≤ 5 % du ciment)	± 7 %	± 5 %
Matériaux ajoutés à la lance	± 10 %	± 5 %

Dosage, malaxage et livraison du béton

Dosage et malaxage

Dosage des constituants en masse (ou en volume si respect de la précision requise assuré).

Malaxage jusqu'à obtention d'un béton homogène avec répartition homogène des fibres.

Livraison

Par voie sèche, les mesures nécessaires doivent être prises pour assurer un temps de maniabilité suffisant. La ségrégation du mélange sec doit être évitée.

Par voie mouillée, les mesures doivent être prises pour assurer un temps de maniabilité suffisant (essais préalables). Ségrégation, ressuage ou perte de cohésion doivent être évités lors des transports et chargements.

Exécution de la projection

Projection

Contrôler la température du béton et son affaissement. Régler l'écoulement en orientant la lance dans le sens opposé au substrat. Limiter le rebond (composition du béton, angle et distance par rapport au substrat,...). Adapter la distance au substrat (1 à 2m pour les roches). Appliquer 2 couches si nécessaire (affaissements, glissements). S'assurer que la 1^{ère} couche puisse supporter la 2nde, décaper et pré-humidifier la 1^{ère} couche si elle est sèche. Si il faut augmenter l'épaisseur de la couche, utiliser des adjuvants, additions ou ciments à prise rapide. Pour une surface rocheuse irrégulière (explosif), appliquer au préalable une couche de régularisation. Enlever les pertes et rebonds du substrat avant projection. Minimiser l'effet d'ombre (vide ou mauvaise compaction derrière l'armature) (vitesse autour de la barre suffisante, recouvrement des armatures achevé le plus vite possible pour en garantir le bon enrobage, pas d'eau ruisselante sur le substrat,...).

Parements

L'exécution d'une finition sur un béton fraîchement projeté pouvant nuire à l'adhérence et à la résistance, on le laisse généralement tel quel.

Cure et protection

La cure doit permettre de minimiser le retrait plastique et d'assurer la durabilité et résistance d'adhérence entre les couches. Pour les classes d'environnement X0 ou XC1 la cure doit durer au moins 12h, et pour les autres classes jusqu'à ce que la surface atteigne 50 % de la résistance à la compression spécifiée. La cure peut être réalisée à l'aide d'un adjuvant à ajouter pendant le malaxage, ou d'un produit à pulvériser sur la surface (et éliminé avant application de la couche suivante). Le cas échéant, les mesures de protection contre le gel doivent rester en place jusqu'à ce que le béton atteigne une résistance à la compression de 5 MPa.

Tolérances géométriques

L'épaisseur doit être contrôlée (guide, insert,...). Si requis, elle doit être déterminée selon l'EN 14488-6.

Inspection

Vérification du respect de la présente norme et des spécifications. La norme EN 14487-1 est d'application concernant les catégories d'inspection et les essais sur les constituants, mélange de base et béton projeté.

Niveau d'inspection de l'exécution

Tableau 2: Domaine de l'inspection

Objet	Catégorie d'inspection 1	Catégorie d'inspection 2	Catégorie d'inspection 3
Programmation de l'inspection	Aucune exigence	Programme d'inspection et d'essais, procédures et instructions suivant spécifications. Actions en cas de non-conformité	
Echafaudages, coffrages et étaielements	Contrôle visuel	Inspection échafaudages et coffrages principaux	Inspection tous les échafaudages et coffrages
Préparation du substrat et pré-humidification	Contrôle visuel	Inspection surfaces principales	Inspection toutes les surfaces
Protection contre les températures extrêmes	Contrôle visuel et mesures de température		
Armatures	Contrôle visuel et mesurages au hasard	Inspection armatures principales	Inspection toutes les armatures
Inserts	Contrôle visuel	Selon la spécification du projet	
Stockage des matériaux	Contrôle visuel		
Equipement de dosage	Contrôle visuel	Inspection selon doc. fournisseurs	Mesurages au hasard sur constituants
Malaxeurs	Contrôle visuel		
Equipement de projection	Contrôle visuel	Inspection selon doc. fournisseurs	Mesurages au hasard de la production et du dosage d'accélérateur
Equipement d'essai	Contrôle visuel		
Dosage et malaxage	Contrôle visuel		
Livraison du béton	Contrôle visuel	Mesurages au hasard du temps d'utilisation (mélange sec) et de maniabilité (mélange mouillé)	
Projection du béton	Contrôle visuel		
Traitement de surface	Contrôle visuel		
Cure et protection du béton	Contrôle visuel	Contrôles au hasard température et humidité pendant projection et cure	Mesurages fréquents température et humidité pendant projection et cure
Contrôle géométrique	Contrôle visuel	Selon la spécification du projet	
Documentation de l'inspection	Consignation incidents Rapports non-conformités et actions correctives	Tous les documents de programmation Consignation inspections Rapports non-conformités et actions correctives	

Tableau 3: Actions d'inspection relatives au niveau de l'inspection

Actions d'inspection	Soutènement	Réparation et renforcement	Structures indépendantes	Inserts					
Programmation de l'inspection	X			X	Type et position selon les dessins et les spécifications		X	X	X
Échafaudages, coffrages et étalements					Attaches et fixations correctes de façon à éviter les déplacements pendant la projection		X	X	X
Geométrie et stabilité des coffrages		X	X	X	Stockage des matériaux				
Étanchéité des coffrages		X	X	X	Protection contre l'humidité		X	X	X
Élimination des débris (poussière, neige etc.) de la zone à projeter		X	X	X	Non-contamination par des substances nuisibles		X	X	X
Préparation de la surface du coffrage		X	X	X	Équipement de dosage		X	X	X
Estimation de la résistance du béton comme étant compatible avec la dépose des coffrages		X	X	X	Malaxeurs		X	X	X
Préparation du substrat et pré-humidification					Équipement de projection				
Purge de la roche exécutée selon la spécification	X				Précision de l'équipement de dosage de l'accélérateur		X	X	X
Le substrat est propre, humide et sa surface est sèche	X	X	X		Équipement d'essai				
Les instruments de mesure requis pour la mécanique des roches sont installés	X				Contrôle visuel		X	X	X
Les drains ponctuels de la nappe phréatique ont été installés le cas échéant	X				Livraison de béton				
Protection contre les températures ambiantes extrêmes					Vérification que le temps d'utilisation ou temps de maniabilité spécifié n'est pas dépassé		X	X	X
Protection contre le gel	X	X	X	X	Vérification de l'homogénéité du béton introduit dans l'équipement de projection		X	X	X
Protection contre les températures élevées, ventilation extrême etc.	X	X	X	X	Projection de béton				
Armatures					Alimentation suffisante en air comprimé permettant d'obtenir un bon compactage		X	X	X
Type et position selon les dessins et les spécifications	X	X	X	X	Dosage d'accélérateur suffisamment faible pour éviter l'accumulation de béton sur les armatures		X	X	X
Attaches et fixations correctes de façon à éviter les déplacements pendant la projection	X	X	X	X	Distance de projection bien adaptée et variation d'angle de projection nécessaire		X	X	X
Non-contamination par des substances nuisibles (huile, graisse, peinture etc.)	X	X	X	X	Traitement de surface				
Espace suffisant entre les barres pour permettre un compactage convenable	X	X	X	X	Vérification que le traitement de surface est exécuté selon les spécifications		X	X	X
Pas de chevauchements inutiles entre les barres	X	X	X	X	Cure et protection				
Enrobage selon la spécification	X	X	X	X	Vérifier que la cure du béton projeté est réalisée comme spécifié		X	X	X
Fibres d'acier et de polymères					Vérification que le produit de cure pulvérisé est éliminé selon la spécification avant l'application de toute couche supplémentaire de béton projeté		X	X	X
Type selon les spécifications	X	X	X	X	Contrôle géométrique de l'ouvrage				
					Mesure de l'épaisseur		X	X	X
					Documentation		X	X	X

La norme contient également une annexe informative listant les informations à inclure dans la spécification du projet (guide pour la documentation).

Comparaison avec le guide d'agrément n° G0019 – Bétons de gunitage

Le chapitre 5 du guide décrit également de façon plus détaillée la manière

- de préparer les supports
 - béton: décapage, humidification au moins 2h avant application,...
 - protection d'armature dépassivée: décapage, mise à nu des armatures,...
 - maçonnerie: enlèvement des éléments instables, comblement des joints et fissures, humidification, ...
- de mettre en place les armatures
- de mettre en œuvre le béton (projection, coffrages, conditions de surface, cure du béton, joints de reprise).

Il est à noter que dans le cas de supports en béton, les prescriptions pour le décapage en cas de dépassivation des bétons sont reprises dans le guide d'agrément [UBAtc G007 "Mortiers de réparation à base de liants hydrauliques"](#), qui est remplacé par le [PTV 563 "Mortiers de réparation du béton"](#). [Cliquez ici pour consulter l'article complet concernant les mortiers de réparation du béton.](#)

Le chapitre 8, quant à lui, liste les contrôles internes et externes devant être effectués sur les produits et leur mise en œuvre, avec leurs fréquences, de même que les modalités pratiques du contrôle.

Autres documents utiles

L'EFNARC, fédération européenne des producteurs et applicateurs de produits spéciaux de construction, a également rédigé des lignes directrices pour les spécificateurs et entrepreneurs concernant les bétons projetés. Ce document

comprend des spécifications concernant la composition et la mise en œuvre du béton projeté, des exigences sur le produit fini, méthodes d'essai et recommandations pour le contrôle de la qualité. Le document complet peut être trouvé [ici](#). En complément à ce document, il existe également une "[checklist](#)" destinée à aider les spécificateurs et entrepreneurs concernant le béton projeté.

NBN EN 14488-1

Echantillonnage de béton frais et de béton durci (2005)

Objet de la norme

La norme spécifie une méthode d'obtention d'échantillons de mortier/béton frais ou durci.

Principe

Un échantillon frais est prélevé à partir du mélange de base, du matériau in situ ou d'un panneau d'essai.

Un échantillon durci est prélevé in situ ou dans un panneau d'essai.

Ces différents modes de prélèvements sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous.

Les échantillons sont ensuite identifiés et marqués (nature du mélange, emplacement, orientation de l'échantillon, date, opérateur).

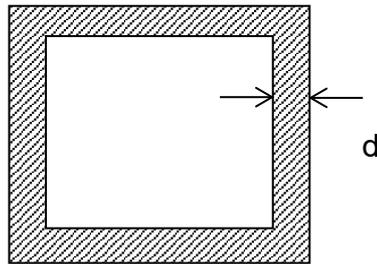
Tableau 1: Modes de prélèvement des échantillons

	Echantillon de béton frais	Echantillon de béton durci
Mélange de base	Prélèvements de mélange de base dans le malaxeur, à la lance ou dans la pompe à l'aide d'une pelle-écope, puis recombinaison d'un échantillon homogène (EN 12350-1)	---
In situ	Découpage à la truelle dans le béton projeté avant prise	Prélèvement dans le matériau projeté après prise (EN 12504-1)
Panneau d'essai	Découpage dans le panneau avant prise, sans matériau présentant des zones défectueuses (Figure 1)	Carottage ou sciage dans le panneau d'essai après prise, sans matériau présentant des zones défectueuses (Figure 1) (sauf extrémités des poutres pour essais de résistance à la flexion et résistance résiduelle selon prEN 14488-3: matériaux défectueux tolérés hors de la partie centrale de 250 mm)

Préparation d'un panneau d'essai

Moules: $\geq 500 \times 500 \text{ mm}^2$ si projection manuelle, $\geq 1000 \times 1000 \text{ mm}^2$ si projection par robot, épaisseur $\geq 100 \text{ mm}$, dimensions adaptées à la taille des éprouvettes à découper, matériau rigide n'absorbant pas l'eau, côtés ajourés ou chanfreinés pour éviter l'emprisonnement du rebond, incliné de 0° à 20° par rapport à la verticale (sauf autre inclinaison spécifiée).

Béton projeté dans les mêmes conditions que le travail réel (équipement, technique, épaisseur, distance, opérateur). Panneau protégé contre la perte d'humidité et non déplacé avant 18h, cure ≥ 7 jours.



largeur de la zone défectueuse d = profondeur du panneau d'essai

Figure 1: Zone défectueuse du panneau d'essai

Comparaison avec le guide d'agrément technique UBAtc n° G0019 – Bétons de gunitage

	NBN EN 14488-1	Guide UBAtc G 0019
Type d'échantillon	Panneau d'essai ou in situ	Projection sur dalle
Réalisation du panneau d'essai	Projection dans moule $\geq 500 \times 500 \times 100 \text{ mm}^2$ ou $1000 \times 1000 \times 100 \text{ mm}^2$	Projection sur dalle en béton armé $\geq 1000 \times 1000 \times 80 \text{ mm}^2$
Inclinaison du panneau	± 0 à 20° par rapport à la verticale Autre inclinaison si spécifiée	Dalle fixée au plafond Dalle verticale si application uniquement verticale
Conditions de réalisation du panneau	Conditions de l'application	A $20 \pm 5^\circ\text{C}$ (hall fermé)
Conservation de l'échantillon	Cure pendant au moins 7 jours. Dans l'eau à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 3 jours avant l'essai flexion à 28 jours	1 j dans les conditions d'application à l'abri du vent, 27 jours à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $60 \pm 5 \%$ HR
Prélèvement des échantillons dans le panneau d'essai	Prélèvements interdits dans une bande de largeur d (profondeur du panneau) sur le pourtour du panneau	Prélèvements permis sur l'ensemble du panneau
Prélèvement des échantillons frais	Découpage à la truelle dans le matériau in situ ou panneau d'essai hors zone défectueuse	Raclage jusqu'au support sur $200 \times 200 \text{ mm}^2$ dans un coin de la dalle pour analyse granulométrique (et teneur en eau si voie sèche)
Prélèvement des échantillons durcis	Carottage ou sciage dans le matériau in situ ou le panneau d'essai hors zone défectueuse	Carottage de diamètre 50 ou 113 mm dans la dalle d'essai

Objet de la norme

La norme spécifie deux méthodes d'estimation de la résistance à la compression au jeune âge du béton projeté durci, sur chantier. Le choix de la méthode est déterminé par la plage de résistance considérée.

Description et comparaison des méthodes de mesure

	Méthode A Pénétration d'une aiguille	Méthode B Enfoncement d'un clou fileté
Plage de résistances	0,2 MPa à 1,2 MPa	3 MPa à 16 MPa
Principe	Force nécessaire pour faire pénétrer une aiguille de diamètre $3 \pm 0,1$ mm et pointe conique d'angle $60 \pm 5^\circ$ dans le béton à une profondeur de 15 ± 2 mm mesurée au moyen d'un pénétromètre avec ressort étalonné, donnant une estimation de la résistance en compression avec une courbe de conversion fournie avec l'équipement.	Rapport entre la force exercée pour extraire un clou enfoncé par percussion jusqu'à une profondeur connue (≥ 20 mm) et la profondeur de pénétration, donnant une estimation de la résistance à la compression avec une courbe de conversion fournie avec l'équipement d'extraction. Le clou est fileté sur sa partie saillante.
Echantillons	Couche de béton d'épaisseur ≥ 100 mm. Essai réalisable en tout point, sans préparation.	
Nombre de mesures	10 mesures, le plus rapidement possible (< 1 min pour résistances $< 0,5$ MPa) sur surface représentative	10 mesures, avec distance $> 80 \pm 10$ mm entre les clous
Résultat	Force moyenne de résistance des 10 mesures \rightarrow résistance à la compression correspondante (courbe de conversion)	Force d'extraction moyenne des 10 mesures \rightarrow rapport force / longueur \rightarrow résistance à la compression (courbe de conversion)

Remarques

La norme fournit des exemples de courbes d'étalonnage pour les deux méthodes.

On peut constater que certaines courbes sont entourées d'une limite de confiance, ce qui signifie par exemple que pour une valeur de force de pénétration, on obtiendra une valeur de résistance à la compression et un intervalle de confiance entourant la valeur.

Les courbes varient en fonction de la taille des granulats utilisés dans le béton.

Comparaison avec le guide d'agrément technique de l'UBAtc n° G0019 – Bétons de gunitage

Le guide G0019 ne prévoit pas ce type de mesures à jeune âge. Il prévoit de mesurer la résistance à la compression pour la première fois après 7 jours sur une carotte prélevée dans la dalle d'essai, selon la norme NBN B15-220 (entre-temps remplacée par les normes européennes NBN EN 12504-1 'Essais pour béton dans les structures – Partie 1: Carottes, prélèvement, examen et essais de compression' et NBN EN 12390-3 'Essais pour béton durci – Partie 3: Résistance à la compression'). La mesure du temps de prise y est mentionnée mais sans indication de méthode d'essai et de critère; ils sont à définir avec le titulaire de l'agrément.

Résistances à la flexion d'éprouvettes parallélépipédiques en béton renforcé par des fibres (2006)

Principe

Appliquer sur une éprouvette parallélépipédique sciée dans un panneau d'essai (EN 14488-1) un moment de flexion via une charge sur rouleaux inférieurs et supérieurs, enregistrer les charges appliquées au 1^{er} pic, maximale et résiduelle à partir de la courbe charge/flèche, puis calculer les résistances à la flexion correspondantes.

Nombre d'échantillons

Non précisé.

Dimensions des échantillons

Prismes de 75 mm (hauteur) x 125 mm (largeur) x ≥ 500 mm (longueur).

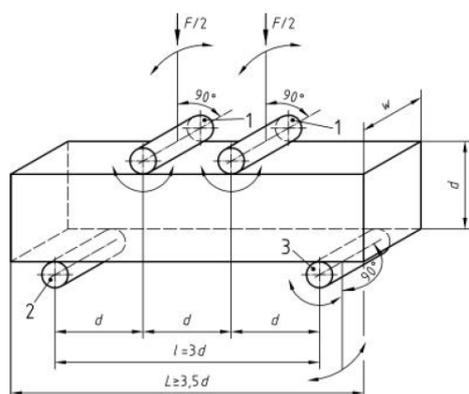
Chaque éprouvette doit répondre aux exigences de l'EN 12390-1 ou être rectifiée (meulage surfaces irrégulières, découpe et/ou meulage écarts d'angle).

L'essai

La machine doit être conforme à l'EN 12390-4 et permettre de réaliser l'essai en contrôlant la flèche. Elle doit être pourvue d'un enregistreur électronique de données ou traceur de courbes.

L'essai est réalisé à 28 jours. Les prismes sciés doivent être conservés dans l'eau à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ pendant au moins 3 jours, jusqu'à maximum 3 heures avant de réaliser les essais.

La charge est appliquée via deux rouleaux supports et deux rouleaux supérieurs entre lesquels la charge appliquée est répartie également. Les rouleaux ont une longueur supérieure d'au moins 10 mm à la largeur de l'éprouvette et un diamètre entre 20 et 40 mm. La configuration du dispositif de mise en charge est reprise en détails sur la Figure 1. La face inférieure (en tension) est la face moulée de l'échantillon.



Légende

- 1 Rouleau de mise en charge (pouvant tourner et s'incliner)
- 2 Rouleau support
- 3 Rouleau support (pouvant tourner et s'incliner)
- F est la charge (P_{sup} ou P_{inf}) définie ci-dessus, en newtons
- l est la portée
- w est la largeur moyenne de l'éprouvette
- d est la hauteur de l'éprouvette
- L est la longueur de l'éprouvette

Figure 1: Configuration de la mise en charge de l'éprouvette

L'éprouvette est chargée à mi-portée à une vitesse de flèche constante de $(0,25 \pm 0,05)$ mm/minute, jusqu'à une flèche de 0,5 mm, puis à une vitesse de 1,0 mm/minute.

Calcul des résultats (Figure 2)

Résistance à la flexion au 1^{er} pic:

- Déterminer la ligne droite initiale de la courbe charge/flèche (données $\leq 50\%$ charge maximale)
- Tracer une parallèle à cette droite, décalée de 0,1 mm de flèche vers la droite
- Dans la partie de la courbe se situant à gauche de cette droite, relever la charge correspondant au 1^{er} pic P_{fp} et calculer la résistance à la flexion au 1^{er} pic correspondante f_{fp} .

Résistance ultime à la flexion:

- Relever la charge maximale enregistrée P_{ult} et calculer la résistance ultime à la flexion f_{ult} .

Formule de calcul de la résistance à la flexion à partir de la charge:

$$f = \frac{P \cdot l}{w \cdot d^2} \quad (1)$$

où

f Résistance à la flexion [MPa]

P Charge (P_{fp} ou P_{ult}) [N]

w Largeur moyenne de l'éprouvette dans le plan de rupture (valeur nominale 125 mm)

d Hauteur moyenne de l'éprouvette dans le plan de rupture (valeur nominale 75 mm)

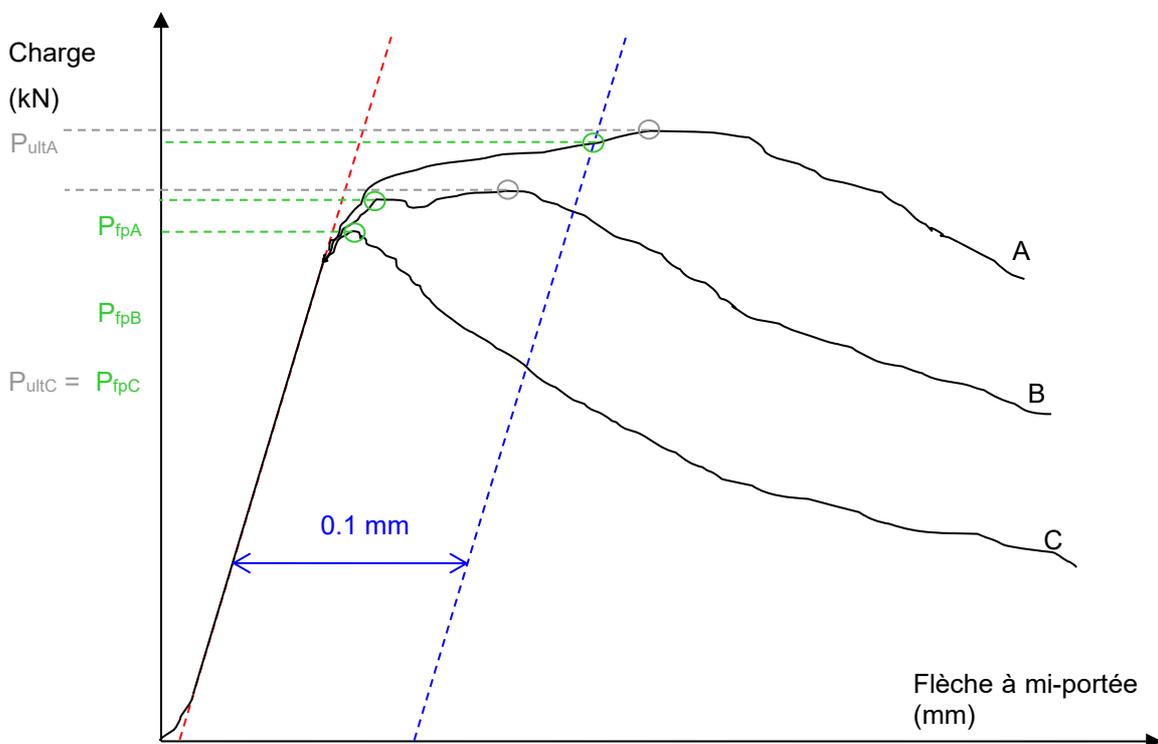


Figure 2: Exemple de calculs des résultats avec les courbes charge/flèche

Résistance résiduelle à la flexion:

- Relever sur la courbe charge/flèche les charges minimales
 - P_{r1} : entre 0,5 et 1 mm (classe de déformation faible D_1)
 - P_{r2} : entre 0,5 et 2 mm (classe de déformation normale D_2)
 - P_{r4} : et entre 0,5 et 4 mm (classe de déformation forte D_3)
- Calculer les résistances résiduelles fr_1 , fr_2 et fr_4 à l'aide de la formule (1).

Comparaison avec le guide d'agrément technique de l'UBA^{tc} n° G0019 – Bétons de gunitage

La mesure de résistance en flexion des bétons renforcés de fibres n'est mentionnée telle quelle dans le guide d'agrément n° G0019. Les essais en relation avec la présence de fibres sont à définir par le bureau exécutif. Pour ce faire, le G0019 conseille de consulter par exemple le document EFNARC 'European specification for Sprayed concrete', qui prescrit les essais suivants:

- Résistance à la flexion, soit selon la méthode EFNARC identique à la présente norme et incluant la mesure de résistance à la flexion au 1^{er} pic, soit selon la norme EN 12359 'Testing concrete – Determination of flexural strength of test specimens'.
- Classe de résistance à la flexion résiduelle, mesurée sur base de la forme de la courbe contrainte/déformation, de la même manière que dans la présente norme (à 0,5, 1, 2 et 4 mm) et classée en 5 catégories.

NBN EN 14488-4

Adhérence en traction directe sur carottes (2008)

Objet de la norme

Méthode permettant de déterminer l'adhérence en traction entre le béton projeté et le support soumis à un essai de traction directe en laboratoire. L'adhérence est la capacité à transférer la traction entre deux couches, calculée comme l'effort ultime de traction divisé par la section soumise à la contrainte.

Dimensions des échantillons

Carotte prélevée par forage dans le béton projeté et une portion de son support (EN 12504-1).

Diamètre $d = 50$ à 100 mm, $\geq 4 D_{\max}$ granulats, ≤ 4 fois l'épaisseur de la couche.

Hauteur initiale $> 2d$, coupée transversalement de manière à ce que sa longueur soit égale à $2d$ et à ce que la zone d'adhérence se situe près du milieu de l'éprouvette, avec une distance entre le plan d'adhérence et chacune des extrémités au moins égale à $0,5 d$.

Les exigences de planéité sont celles de l'EN 12390-1.

Nombre d'échantillons

Non spécifié.

Principe

Des plaquettes en acier sont collées sur les extrémités de la carotte, qui est soumise à une contrainte croissante jusqu'à sa rupture.

Les valeurs obtenues sont évaluées en fonction de la nature de la rupture:

- Rupture dans la zone de collage → adhérence réelle mesurée
- Rupture pas seulement dans la zone d'adhérence → adhérence $>$ contrainte ultime obtenue.

L'essai

La machine d'essai de traction (EN 10002-1) doit permettre de mesurer la contrainte à ± 2 % près et régler l'augmentation de la contrainte dans la plage de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s. Les plaquettes en acier fixées aux extrémités de l'éprouvette ont un diamètre égal à celui de la carotte et une épaisseur $\geq 0,4$ diamètre.

L'essai est effectué lorsque la couche de béton projeté est âgée de 28 jours. Avant cela, la cure des éprouvettes se fait sous l'eau.

La traction s'exerce en continu à la vitesse de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s.

On enregistre l'effort maximal de traction et on estime la proportion de surface de rupture située dans la zone d'adhérence, à 10 % près.

Calcul des résultats

$$\frac{\text{effort maximal de traction}}{\text{aire de la section}} = \text{adhérence si plus de } 80 \text{ \% de la fracture traverse la surface d'adhérence}$$

= limite inférieure de l'adhérence sinon

Comparaison avec le guide d'agrément technique UBAtc n° G0019 – Bétons de gunitage

	NBN EN 14488-4	Guide d'agrément technique UBAtc G0019
Prélèvement des éprouvettes	Carottes prélevées dans le béton projeté et une portion de son support	Catégorie M2*: carottes prélevées dans la dalle, face supérieure rectifiée pour enlever 1 cm d'épaisseur de la couche nominale, face inférieure rectifiée pour enlever le support et obtenir une hauteur de 5 cm Catégorie M3**: 6 carottes prélevées dans la dalle, sciées et rectifiées pour présenter une hauteur de 40 mm de part et d'autre de la zone d'adhérence
Dimensions des éprouvettes	$d = 50 \text{ à } 100 \text{ mm}, \geq 4 D_{\max} \leq 4$ x l'épaisseur de la couche $h = 2d$, zone d'adhérence près du milieu de l'éprouvette	M2*: $d = 50 \text{ mm}, h = 50 \text{ mm}$ M3**: $d = 50 \text{ mm}, h = 80 \text{ mm}$ (zone d'adhérence au milieu)
Nombre d'éprouvettes	Non spécifié	6
Essai	Selon la présente (NBN EN 14488-4)	M2*: Selon NBN B 15-211 'Essais des bétons - Traction directe' M3**: Selon EN 1542 'Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Méthodes d'essais - Mesurage de l'adhérence par traction directe'

* M2 = béton projeté destiné à reprendre des charges permanentes, sans interaction avec le support.

** M3 = béton projeté destiné à la constitution d'une couche de protection ou de finition, au ragréage de défauts ou dégradations superficielles d'un ouvrage existant, aucune participation à la résistance mécanique de la structure.

Détermination de la capacité d'absorption de l'énergie d'une dalle-échantillon renforcée par des fibres (2006)

Objet de la norme

Méthode permettant de déterminer la réponse charge/flèche d'une dalle-échantillon afin d'en déterminer la capacité d'absorption d'énergie jusqu'à une flèche spécifiée.

Principe

Mesure de la flèche au centre d'une dalle-échantillon renforcée de fibres (EN 14488-1) soumise à une charge appliquée via un bloc d'acier rigide placé en son centre, jusqu'à obtention d'une flèche d'au moins 30 mm au centre de la dalle. La courbe charge/flèche permet de tracer la courbe énergie absorbée/flèche.

Dimensions des échantillons

Carré de 600 mm x 600 mm x 100 ± 5 mm par projection dans un moule (EN 14488-1).

L'essai

La machine est conforme à l'EN 12390-4 et doit permettre de réaliser l'essai à vitesse constante en contrôlant le déplacement, et comporter un enregistreur de données ou traceur de courbes. La flèche au centre de la dalle est mesurée à l'aide d'un transducteur électronique.

L'essai est réalisé à 28 jours, après conservation des échantillons à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $\geq 95\%$ HR (EN 12390-2) au moins 3 jours avant l'essai.

La charge est appliquée au moyen du dispositif d'essai repris sur la Figure 1, sur la face projetée (face moulée en dessous), avec une vitesse de déplacement constante de $(1 \pm 0,1)$ mm/min jusqu'à 30 mm.

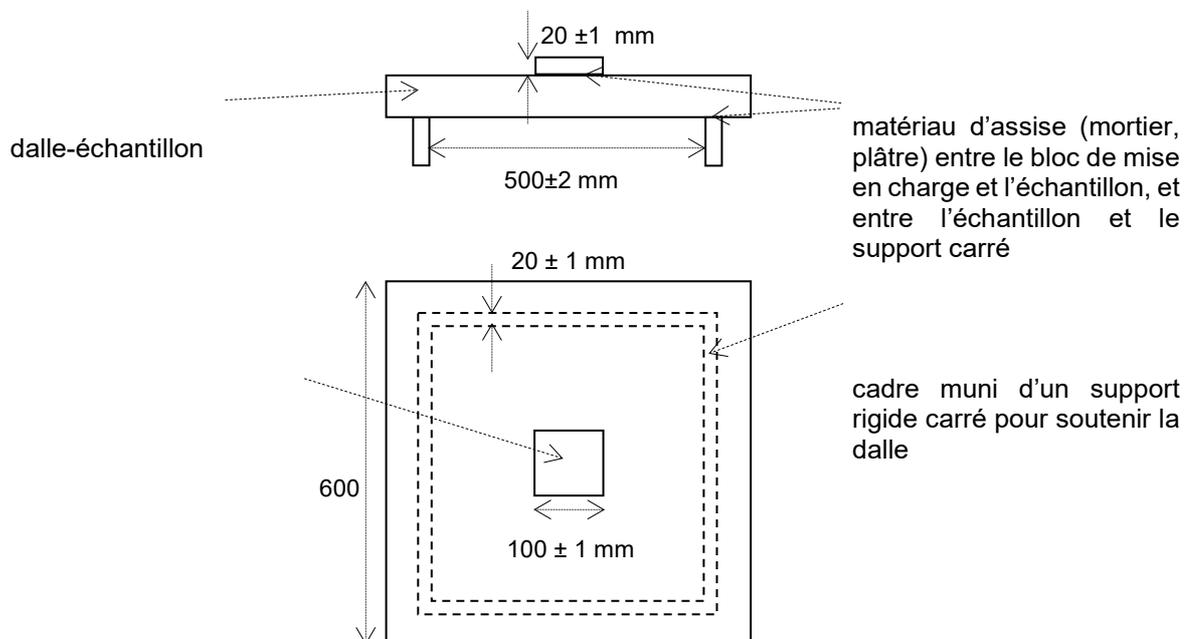


Figure 1: Dispositif de mise en charge

Expression des résultats

Les données enregistrées pendant l'essai permettent de tracer la courbe charge/flèche.

La capacité d'absorption d'énergie est l'aire située sous la courbe charge/flèche, entre 0 et 25 mm, exprimée en Joules.

$$1J = 1N \cdot m$$

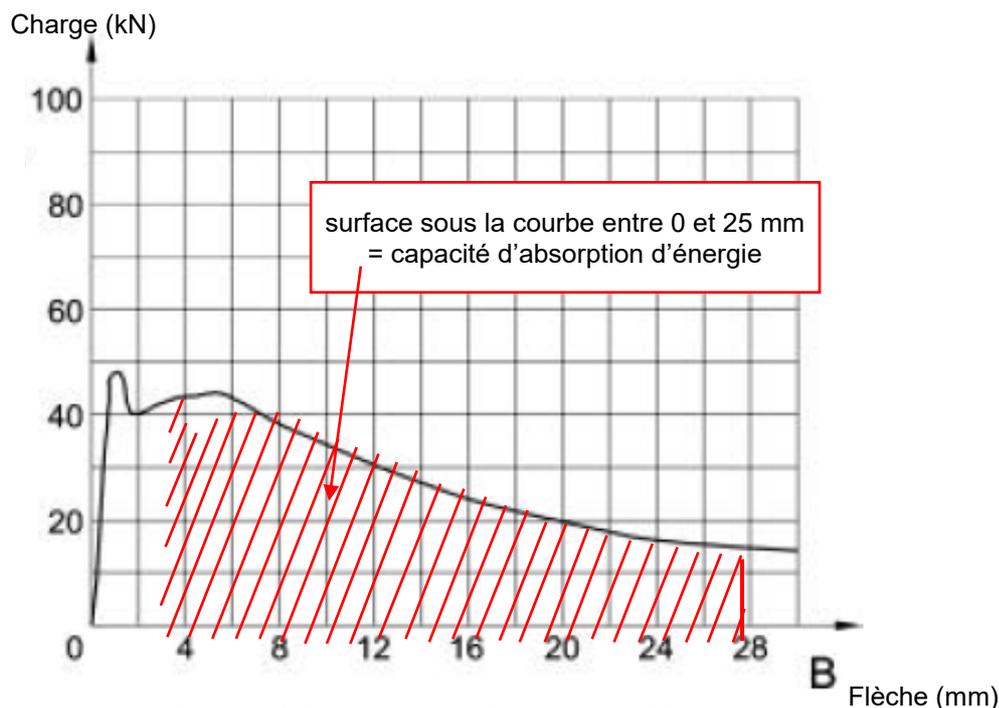


Figure 2: Calcul de la capacité d'absorption d'énergie

Comparaison avec le guide d'agrément technique UBAtc n° G0019 – Bétons de gunitage

La mesure de capacité d'absorption de l'énergie des bétons renforcés de fibres n'est pas mentionnée telle quelle dans le guide d'agrément technique n° G0019. Les essais en relation avec la présence de fibres sont à définir par le bureau exécutif. Pour ce faire, le G0019 conseille de consulter par exemple le document EFNARC 'European specification for Sprayed concrete', qui prescrit quant à lui la mesure de capacité d'absorption de l'énergie, décrite dans son annexe. Cette méthode d'essai est identique celle décrite dans la présente norme.

NBN EN 14488-6

Épaisseur du béton sur un support (2006)

Objet de la norme

Méthodes de mesure de l'épaisseur du béton projeté sur un support (béton, roche, terrain,...), donnant également une indication sur le parallélisme entre béton et support.

Principe

Béton frais: enfoncement d'une jauge de profondeur dans le béton projeté.

Béton durci: mesure de la longueur de trous percés ou de carottes prélevées jusqu'au support.

L'essai

La mesure doit être faite en cinq emplacements distants de (600 ± 50) mm sur deux perpendiculaires (Figure 1). Une plaque-gabarit pourrait être utilisée pour le repérage et marquage. À l'aide d'un foret pour perceuse à percussion ou d'un carottier, percer les 5 trous ou prélever les 5 carottes.

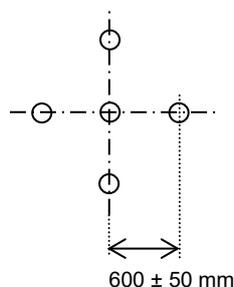


Figure 1: Plaque-gabarit

Béton frais: enfoncer la jauge perpendiculairement au béton projeté jusqu'au support et mesurer la profondeur moyenne par rapport à une règle placée sur la surface (hors aspérités).

Béton durci: mesurer de la même manière la profondeur du trou foré ou la longueur de la carotte extraite.

Expression des résultats

Épaisseur du béton projeté = moyenne des 5 mesures de profondeurs de trous ou longueurs de carottes.

Remarques

La norme ne définit ni la zone à soumettre à l'essai, ni les exigences sur les résultats obtenus.

Le choix d'un carottage plutôt qu'un perçage peut permettre par la même occasion d'obtenir des échantillons pour les autres mesures (résistance à la compression, adhérence en traction°).

Comparaison avec le guide d'agrément technique UBAtc n° G0019 – Bétons de gunitage

Le guide d'agrément n° G0019 ne spécifie pas de méthode de détermination de l'épaisseur du béton projeté sur un support.

Objet de la norme

Méthode de détermination de la teneur en fibres d'un béton projeté frais ou durci pour des fibres en acier et frais uniquement pour des fibres polymères.

Principe

Les fibres sont extraites de l'échantillon, pesées et rapportées au volume de béton.

L'essai

Les échantillons frais ou durcis peuvent être prélevés dans le matériau in situ ou dans un panneau d'essai.

Béton durci – Méthode A

Déterminer le volume V_d de chaque carotte par calcul sur base de ses dimensions réelles mesurées ou par pesées sous eau (EN 12390-7). Concasser la carotte (presse ou autre dispositif) de manière à en extraire les fibres (éventuellement avec aimant). Nettoyer mécaniquement tout résidu cimentaire restant. Peser les fibres à 0,1 g près (m_f).

Béton frais – Méthode B

Déterminer le volume V_d de chaque découpe par pesée dans l'eau (EN 12350-6). Extraire les fibres par lavage (avec tamis ou filtre). Pour des fibres synthétiques, imbiber l'échantillon d'alcool et l'agiter jusqu'à ce que les fibres flottent. Nettoyer, sécher et peser les fibres (m_f) à 0,1 g près pour des fibres en acier et 0,01 g près pour des fibres polymères.

Résultats

$$C_f = \frac{m_f \cdot 1000}{V_d}$$

où

C_f Teneur en fibres (kg/m^3)

m_f Masse des fibres extraites de l'échantillon (g)

V_d Volume de l'échantillon (m^3)

Remarques

Il n'existe actuellement aucune donnée relative à la fidélité pour cet essai.

Comparaison avec le guide d'agrément technique UBAtc n° G0019 – Bétons de gunitage

Le guide prévoit une mesure de la teneur en fibres uniquement sur les bétons préparés en usine et acheminés secs (pas sur les bétons préparés en usine et acheminés humides, ni sur les bétons durcis). Une procédure d'essai est proposée en annexe, à titre indicatif. Elle consiste à tamiser sous eau 500 g de mélange sec à l'aide d'un tamis d'environ 0,1 d'ouverture de maille, sécher le refus (granulats et fibres) puis séparer les fibres des granulats (manuellement, par aspiration, par un dispositif électronique, ...) et les peser. La teneur en fibres est exprimée en %.



Essais sur mortiers de maçonnerie

Détermination de la répartition granulométrique par tamisage (1998 + add1 2007)

Principe

L'analyse granulométrique par tamisage permet de caractériser un mortier en fonction de son pourcentage de refus ou de passant à chaque tamis de référence. La norme ne s'applique pas pour des mortiers contenant des fibres si celles-ci ne peuvent être extraites facilement au préalable.

Une série de tamis de maille croissante sont empilés les uns sur les autres sur un bac servant de base. L'échantillon est placé sur le tamis supérieur et la pile de tamis est agitée jusqu'à ce que cette agitation ne provoque plus de modification de la masse retenue par chaque tamis.

Echantillonnage

La masse sèche minimale de l'échantillon réduit est de:

200 g pour un $d_{max} \leq 4$ mm

600 g pour un $d_{max} > 4$ mm

d_{max} = dimension maximale des granulats contenus dans l'échantillon en mm.

Pour l'ensemble des mortiers contenant une fraction 0/0,125 mm, il convient de légèrement humidifier le mortier préalablement à la réduction afin d'éviter la ségrégation des éléments et/ou la perte de matière.

Tamis de références

8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,125 mm	0,063 mm
------	------	------	------	--------	---------	----------	----------

Description de l'essai

La méthode de tamisage "par voie humide" est appliquée aux mortiers contenant des granulats courants.

- Mettre l'échantillon en suspension dans un récipient d'eau et verser le mélange dans la pile de tamis.
- Effectuer le tamisage à l'aide d'un jet d'eau et vérifier à chaque tamis que l'eau passante soit bien limpide, signe d'un calibrage parfait à chaque niveau.
- Verser chaque fraction (m_r) dans une coupelle pour séchage à masse constante à $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Une masse est considérée comme constante lorsque la différence de masse entre deux pesées effectuées à deux heures d'intervalle n'excède pas 0,2 g.

La méthode de tamisage "à sec" doit être utilisée pour des mortiers légers.

- Sécher l'échantillon réduit jusqu'à masse constante à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ou à $60 \pm 5^\circ\text{C}$ s'il est composé d'éléments organiques.
- Verser délicatement l'échantillon réduit dans la pile de tamis disposés de façon décroissante.
- Agiter ou vibrer la pile de tamis au mieux.

- Déterminer la masse de chaque fraction retenue (m_r) en vérifiant au préalable que moins de 0,2 % de la masse totale de l'échantillon ne continuerait à passer endéans la minute.

Pour les deux méthodes, il faut vérifier que m_r à chaque tamis ne dépasse pas:

$$m_{r,\max} = \frac{A\sqrt{d}}{200}$$

où

A Surface du tamis (mm^2)

d Dimension de la maille du tamis (mm)

Calcul et expression des résultats

Les fractions individuelles sont exprimées en pourcentage de la masse totale de l'échantillon. Le pourcentage total de matériau passant au travers chaque tamis est également exprimé.

La quantité de particules fines est calculée par la différence entre la masse totale de l'échantillon et l'addition de toutes les masses retenues sur les tamis individuels.

NBN EN 1015-2

Echantillonnage global des mortiers et préparation des mortiers d'essai (1998 + add1 2007)

Principe

Cette norme décrit des méthodes de prélèvement global de mortier frais ainsi qu'une méthode de prélèvement global pour les essais à partir de ce prélèvement global. Elle spécifie également un mode opératoire pour fabriquer des mortiers pour essai à partir de constituants secs et d'eau.

Prélèvement global pour les essais ou pour essai individuel

- La taille minimale doit être de 10 kg
- L'échantillon global est constitué en effectuant des prélèvements unitaires répartis uniformément et puis mélangé soigneusement. Au moins trois prélèvements sont effectués.
- L'échantillon global est réduit en prélevant un nombre suffisant de pelletées au hasard dans le mélange et placé dans des conteneurs munis de couvercles. L'opération ne doit pas prendre plus de 3 minutes
- Chaque prélèvement global pour les essais doit être bien étiqueté et emballé.
- La température doit être maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, sans perte d'eau.

Préparation des mortiers à partir de constituants secs et d'eau ou à partir de mélanges prégâchés et de liants

- La quantité de mortier doit être comprise dans les plages de valeurs suivantes.

Gâchée de mortier frais	Malaxeur conforme à l'EN 196-1	Broyeur à meules
Constituants solides (kg)	1,8 – 3,0	30 – 50
Volume (dm ³)	0,5 – 2,5	25 – 75

- La consistance du mortier frais est déterminée conforme à l'EN 1015-3. Sauf spécification contraire, une valeur d'étalement en fonction de la masse volumique apparente du mortier frais doit être obtenue:

Masse volumique apparente du mortier frais (kg/m ³)	Valeur d'étalement (mm)
> 1200	175 ± 10
> 600 à ≤ 1200	160 ± 10
> 300 à 600	140 ± 10
≤ 300	120 ± 10

- Effectuer le gâchage conformément aux instructions du fabricant de mortier. Sinon, il faut suivre les modes opératoires de gâchage en utilisant un malaxeur conforme à l'EN 196-1 ou un mélangeur à pales:
 - l'eau dans le malaxeur

- ajouter les constituants solides de mortier sec, malaxeur fonctionnant à faible vitesse
- achever à la même vitesse pendant 75 s (malaxeur conforme à l'EN 196-1) ou 120 à 180 s (mélangeur à pales - mortiers légers ou mortiers à teneur élevée en chaux).

Détermination de la consistance du mortier frais (à la table à secousses) (1999 + add1 (2004) et + add2 (2007))

Principe

La valeur d'étalement est mesurée par le diamètre moyen d'un prélèvement de mortier frais, mis en place à l'aide d'un moule donné sur le plateau d'une table à secousses définie, et soumis à un nombre donné de secousses verticales en soulevant la table à secousses et en la laissant retomber librement d'une hauteur donnée.

Nombre de prélèvements

Deux prélèvements



Quelques particularités

- Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2 (volume minimal de 1,5 l).
- Le moule est rempli en deux couches compactées par au moins 10 coups brefs de dame. La surface libre du disque doit être propre et sèche.
- Au bout de 15 s, le moule est soulevé lentement et verticalement. 15 secousses à la table sont imprimées à une fréquence constante d'environ 1 secousse par seconde.
- Le diamètre dans deux directions perpendiculaires est mesuré et exprimé à 1 mm près.
- Les principales différences entre cette norme et l'ancienne norme NBN B14-207 (1983) sont reprises dans le tableau suivant:

	NBN EN 1015-3 (1999)	NBN B14-207 (1983)
Masse de l'ensemble	Entre 4,2 et 4,5 kg	Entre 3,2 et 3,35 kg
Expression du résultat	Moyenne des 2 valeurs à 1 mm près	Moyenne des 2 valeurs divisée par le diamètre initial (100 mm)

Principe

La masse volumique apparente d'un mortier frais est déterminée par le quotient de sa masse par le volume qu'il occupe lorsqu'il est introduit, ou introduit et compacté, d'une manière prescrite dans un récipient de mesurage d'une capacité donnée.



Echantillon

Deux prélèvements.

Formules

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

où:

ρ_m Masse volumique apparente du mortier frais [kg/m³]

m_1 Masse du récipient [g]

m_2 Masse du récipient rempli de mortier [g]

V Volume du récipient [litres]

Quelques particularités

- Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, en fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.
- Le mode opératoire dépend de la valeur d'étalement:

Consistance d'utilisation	Valeur d'étalement	Mode opératoire
Mortier raide	< 140 mm	Selon 7.2.1
Mortier plastique	entre 140 et 200 mm	Selon 7.2.1 ou 7.2.2
Mortier fluide	> 200 mm	Selon 7.2.3

- 7.2.1 "La méthode de vibration": Le récipient est rempli et placé sur une table vibrante jusqu'à ce qu'aucun tassement ne puisse être observé.
- 7.2.2 "La méthode des chocs": Le récipient est rempli jusqu'à mi-hauteur. Pour compacter le mortier, le récipient est basculé pendant environ 30 min et laissé tomber 10 fois sur un socle rigide (5 fois si présence d'adjuvants entraîneurs). Après remplissage du récipient jusqu'au bord, le mortier est compacté de même manière.
- 7.2.3 "La méthode de remplissage": Le récipient est rempli par écoulement du mortier jusqu'au bord et arasé.
- Les masses du récipient vide (m_1) et rempli (m_2) sont pesées à 1 g près et les masses volumiques sont calculées.

- Le résultat est la valeur moyenne des 2 mesures et exprimé à 10 kg/m^3 près.
- Les principales différences entre cette norme et l'ancienne norme NBN B14-203 sont reprises dans le tableau suivant:

	NBN EN 1015-6 (1998) – Add1 (2007)	NBN B14-203 (1972)
Consistance du mortier	Cf. ci-dessus Point 1 des particularités	Non spécifié
Réceptier	Diamètre = 125 mm Volume = 1 l (à déterminer à 0,1 % près)	Diamètre = 85 +/- 1 mm Volume = 500 cm ³ (à déterminer à 0,2 % près)
Mode opératoire	Cfr. ci-dessus point 2 des particularités	Remplir en 3 couches, 60 chocs après chaque couche
Expression du résultat	En kg/m^3 à 10 kg/m^2 près	En g/cm^3 à $0,01 \text{ g/cm}^3$ près

NBN EN 1015-7

Détermination de la teneur en air du mortier frais (1998)

Principe

Deux méthodes sont décrites pour mesurer la teneur en air des mortiers frais. Selon la première (teneur < 20 %) de l'eau est versée à la surface du mortier et, à l'aide d'une pression d'air appliquée, l'eau est introduite en force dans le mortier, délogeant ainsi l'air contenu dans les pores. Le niveau d'eau baisse et reflète le volume d'air extrait du mortier. Selon la seconde (teneur \geq 20 %), le volume d'air est délogé au moyen d'une solution d'alcool.

Echantillon

Deux prélèvements

Préparation du mortier

Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier, doit être obtenue.

Méthodes d'essais

Méthode par pression «Pour mortiers dont la teneur en air est < 20 %»

- Le récipient est rempli en 4 couches de mortier frais d'épaisseurs \pm égales et chaque couche est compactée par 10 coups brefs de la dame.
- La surface de mortier est arasée et les parois horizontales du récipient sont nettoyées.
- La valve d'aération, située entre la chambre à air et le récipient à échantillon, est fermée et l'espace d'air est rempli sous le couvercle par de l'eau. L'eau rentrant par un robinet et l'air étant chassé par l'autre robinet jusqu'à débordement au deuxième robinet.
- L'air est injecté dans la chambre à air jusqu'à stabilisation de l'aiguille de mesure étalonnée.
- Les deux robinets sont fermés et la valve est ouverte.
- Lorsque l'équilibre est atteint, la teneur en air est enregistrée à 0,1 % près.
- La moyenne des 2 mesures est calculée à 0,5 % près.

Méthode à l'alcool «Pour des mortiers dont la teneur en air est \geq 20 %»

- Un cylindre gradué est rempli avec 200 ml de mortier à l'aide d'un entonnoir et tapoté. Le volume de mortier $V_{m,i}$ est enregistré au mm près.
- La solution d'alcool (60 % d'éthanol et 40 % d'eau) est versée délicatement dans le cylindre jusqu'au 500 ml. Le cylindre gradué est fermé à l'aide d'un bouchon en caoutchouc et renversé 20 fois pour obtenir une bonne suspension.
- Le mélange est reposé pendant 5 minutes et puis le niveau de surface final $V_{m,f}$ est relevé.
- Répéter les agitations et périodes de repos jusqu'à ce que le volume final reste constant à \pm 1ml.
- La teneur en air est calculée (à 0,1 % près):

$$L = \frac{(500 - V_{m,f})}{V_{m,i}} * 100\%$$

où:

L Teneur en air [%]

$V_{m,i}$ Volume initial du mortier [ml]

$V_{m,f}$ Volume final du mortier + alcool [ml]

La moyenne des 2 mesures est exprimée à 0,5 % près.

Détermination de la période d'ouvrabilité et du temps ouvert du mortier frais (1999 + add1 (2007))

Principe

La période d'ouvrabilité d'un échantillon de mortier frais, porté initialement à une valeur d'étalement définie, est mesurée par le temps, en minutes, au bout duquel il atteint une limite définie de rigidité ou d'ouvrabilité, durant un essai de type défini.

Nombre d'essais

Deux échantillons.

Préparation du mortier

Le mortier est confectionné suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

Les modes opératoires

Méthode A – Ouvrabilité d'un mortier d'usage général

- Remplissage des moules de mortier frais
- Araser la surface supérieure et stocker en chambre humide à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $\text{HR} \geq 95 \%$ (ou dans un sac en polyéthylène)
- Un moule est placé sur la balance, la charge est tarée et puis la tige est abaissée dans le mortier jusqu'à ce que la rondelle effleure la surface. La valeur indiquée est divisée par 3 pour obtenir une résistance à la pénétration en N/mm^2 .
- La première mesure est faite 30 min avant la période d'ouvrabilité déclarée et les mesures se poursuivent toutes les 15 min jusqu'à ce que la résistance dépasse $0,5 \text{ N}/\text{mm}^2$.
- Le temps (à 1 min près) pour atteindre une résistance à la pénétration de $0,5 \text{ N}/\text{mm}^2$, est déterminé par interpolation

Méthode B – Ouvrabilité d'une couche mince de mortier

- Détermination de l'étalement à intervalles de 15 min jusqu'à ce que la valeur diffère de 30 mm par rapport à l'étalement initial (= 10 min après le gâchage).
- Le temps est déterminé à 1 min près par interpolation des résultats obtenus.
- La période d'ouvrabilité est la moyenne des valeurs individuelles.

Méthode C – Temps ouvert d'une couche mince de mortier

- Des cubes de $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ sont découpés dans les faces de pose des blocs de maçonnerie et conservés comme suit:
 - Dans l'étuve: masse constante ($< 0,2 \%$ à 2 h intervalle); température est fonction du type de maçonnerie
 - Stockage à l'air: $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $65 \pm 5 \%$ HR pendant 2 jours
- Essai:
 - appliquer une fine couche de mortier à la truelle sur la face de pose des éléments de maçonnerie entière servant de support et essayer immédiatement.
 - réappliquer une couche de mortier de 2 à 3 mm sur la même surface prétraitée

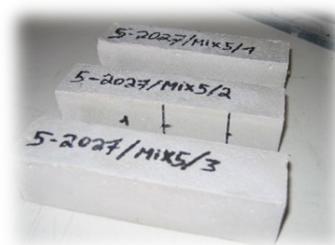
- placer la face de pose du cube sur le mortier et appliquer durant 30 s une charge de 1,2 kg si la maçonnerie a une densité $\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ ou 0,5 kg si la maçonnerie a une densité inférieure.
- retirer le cube perpendiculairement à la face de pose et estimer la zone de mortier qui adhère à la surface du cube en % à 10 % près.
- les étapes 3 et 4 sont répétées toutes les minutes avec de nouveaux cubes jusqu'à ce que l'on obtienne 50 % d'adhérence de mortier sur le cube.

Le temps ouvert est la moyenne des valeurs individuelles obtenues, à 1 min près.

Détermination de la masse volumique apparente sèche du mortier durci (1999 + add1 (2007))

Principe

La masse volumique sèche d'une éprouvette donnée de mortier durci est déterminée par le quotient de sa masse à l'état sec en étuve par le volume qu'elle occupe lorsqu'elle est immergée dans l'eau, à l'état saturé.



Echantillon

Trois éprouvettes prismatiques avec des dimensions 160 x 40 mm x 40 mm.

Quelques particularités

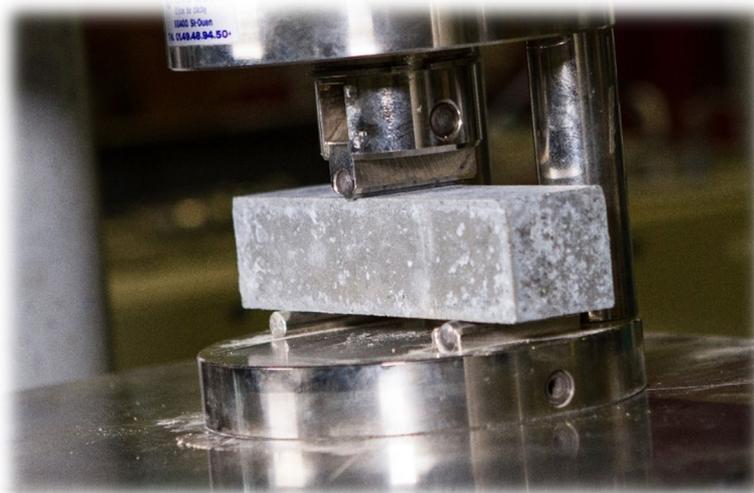
- Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.
- La préparation et le stockage des éprouvettes dépendent du type de mortier et sont conformes à la NBN EN 1015-11.
- La masse $m_{s,sec}$ est mesurée sur un échantillon séché à $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante. Pour les échantillons contenant des constituants organiques, par exemple des granulats de polystyrène expansé, le séchage est à $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Le volume est déterminé par déplacement volumétrique après saturation en eau de l'échantillon. L'état de saturation étant atteint lorsque deux pesées successives, effectuées à 15 min d'intervalle durant l'immersion, ne diffèrent pas de 0,2 % en masse.
- Le résultat est exprimé à 10 kg/m^3 près.
- Les principales différences entre cette norme et l'ancienne norme NBN B14-218 (1971) sont reprises dans le tableau suivant:

	NBN EN 1015-10 + ADD1	NBN B14-218
Consistance du mortier	Cfr. ci-dessus Point 1 des particularités	Non spécifié
Echantillon	Prisme $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ou autre dimension si plus petite dimension $> 40 \text{ mm}$	Prisme $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ Echantillon prélevé sur site mais $100 \text{ cm}^3 < V < 500 \text{ cm}^3$
Cure	Cfr. ci-dessus point 2 des particularités	Non spécifié
Masse	Echantillon sec à 70°C ou $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (cfr. ci-dessus point 3 des particularités)	A l'état reçu Echantillon humide Echantillon sec ($105 \pm 5^{\circ}\text{C}$)
Volume	Par pesée hydrostatique	Par mesure des dimensions ou par pesée hydrostatique
Expression du résultat	En kg/m^3 à 10 kg/m^3 près	En g/cm^3 à $0,01 \text{ g/cm}^3$ près

Détermination de la résistance en flexion et en compression du mortier durci (2019)

Principe

La résistance à la flexion d'un mortier est déterminée par chargement en trois points jusqu'à la rupture d'éprouvettes prismatiques moulées en mortier durci.



La résistance à la compression du mortier est déterminée sur les deux parties résultant de l'essai de résistance à la flexion.



Echantillon

Trois éprouvettes prismatiques avec des dimensions 160 mm x 40 mm x 40 mm.

Préparation du mortier

Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

Préparation et conditionnement des éprouvettes

La préparation et la cure dépendent du type de mortier:

- Mortiers avec liants hydrauliques et mortiers à base de chaux aérienne/ciment avec une masse de chaux aérienne $\leq 50\%$ de la masse totale de liant:
 - Le moule est rempli en 2 couches +/- égales et chaque couche étant compactée par 25 coups de dame.
 - Le moule peut sinon être incliné à un angle approximatif de 30° et laissé retomber dix fois, remis à l'horizontale, puis incliné et tapoté dix fois de plus.
 - La méthode de compactage doit être consignée dans le rapport.
 - L'excédent de mortier est éliminé à l'aide d'un couteau à araser, afin d'obtenir une surface de mortier plane et de niveau avec le bord supérieur du moule
 - Le stockage: voir tableau ci-dessous
- Mortiers à base de chaux aérienne et à base de chaux aérienne/ciment avec une masse de la chaux $> 50\%$ de la masse totale de liant:
 - Les éléments du moule sont assemblés sur une plaque de verre sur laquelle 2 couches de gaze de coton blanc sec ont été placées.
 - Le moule est rempli en 2 couches +/- égales et chaque couche est compactée par 25 coups de dame.
 - Le moule peut sinon être incliné à un angle approximatif de 30° et laissé retomber dix fois, remis à l'horizontale, puis incliné et tapoté dix fois de plus.
 - La méthode de compactage doit être consignée dans le rapport.
 - L'excédent de mortier est éliminé à l'aide d'un couteau à araser, afin d'obtenir une surface de mortier plane et de niveau avec le bord supérieur du moule.
 - 2 couches de gaze de coton blanc sec sont placées sur la surface du mortier et 6 couches de papier filtre absorbant sont placées au-dessus de la gaze.
 - Le papier filtre absorbant est couvert d'une plaque de verre et le moule est retourné en maintenant fermement les plaques de verre supérieure et inférieure contre le moule.
 - La plaque de verre est soigneusement retirée de la partie supérieure du moule renversé; 6 couches de papier filtre sont placées sur la gaze exposée et la plaque de verre est remise en place.
 - Le moule est remis en position droite et installé sur une table fixe. Une charge de +/- 5 kg est appliquée.
 - Au bout de 3 h, la charge et la plaque de verre sont retirées, le papier filtre et la gaze de la partie supérieure sont enlevés et la plaque de verre est remise en place. Le moule est renversé et la plaque de verre de la partie supérieure du moule renversé est retirée. Le papier filtre et la gaze sont ôtés.
 - Le stockage: voir tableau ci-dessous



Type de mortier	Durée de stockage à une température de 20 °C (+3 °C/-2 °C) , en jours		
	Humidité relative		
	95 % ± 5 % ou dans un sac en polyéthylène		65 % ± 5 %
	Dans le moule	Une fois le moule retiré	Une fois le moule retiré
Mortiers de chaux aérienne	5	2	21
Mortiers de chaux aérienne/ciment pour lesquels la masse de ciment n'est pas supérieure à 50 % de la masse totale de liant	5	2	21
Mortiers de ciment et de chaux aérienne/ciment pour lesquels la masse de chaux aérienne n'est pas supérieure à 50 % de la masse totale de liant	1-3	Jusqu'à un total de 7 j dans la chambre de stockage ou dans des sacs en polyéthylène	21
Mortiers avec autres liants hydrauliques	1-3		21
Mortiers retardés	7	-	21

Mode opératoire

Essai de flexion:

Les prismes sont positionnés sur les rouleaux supports. Une charge est appliquée à une vitesse comprise entre 10 et 50 N/s de telle sorte que la rupture se produise au bout de 30 à 90 s.

Essai de compression:

Les demi-prismes obtenus sont alors testés à la compression. Une charge est appliquée à une vitesse comprise entre 50 et 400 N/s selon les classes de mortiers de maçonnerie et d'enduits (voir Tableau B.1).

Expression des résultats

$$f = 1,5 \frac{Fl}{bd^2}$$

où

f Résistance à la flexion [N/mm²]

b Largeur [mm]

d Epaisseur [mm]

F Charge maximale appliquée en flexion [N]

L Distance entre axes des rouleaux porteurs [mm]

La résistance à la flexion est calculée à 0,05 N/mm² près et la moyenne des trois résultats obtenus est enregistrée à 0,1 N/mm² près.

$$R = \frac{F_c}{A}$$

où

R Résistance à la compression [N/mm²]

F_c Charge maximale appliquée en compression [N]

A Section transversale [mm²]

La résistance à la compression est calculée à 0,05 N/mm² près et la moyenne des six résultats obtenus est enregistrée à 0,1 N/mm² près.

Remarque

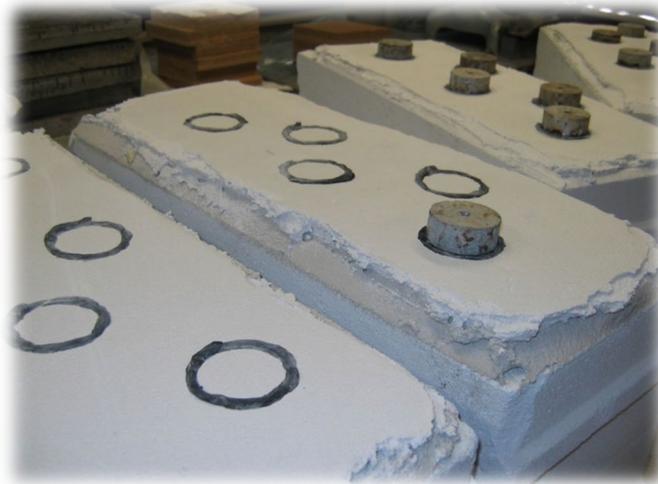
Quelques différences par rapport à la précédente norme NBN EN 1015-11(1999) sont reprises dans le tableau suivant:

	NBN EN 1015-11 (1999) + ADD1	NBN EN 1015-11 (2019)
Consistance	Fonction de la masse volumique	
Préparation	<p>Pas de vitesse de mélange spécifiée</p> <p>Introduire dans un moule en deux couches Compacter par 25 coups de dame chacune des couches</p> <p>Araser</p>	<p>Pas de vitesse de mélange spécifiée</p> <p>Introduire dans un moule en deux couches Compacter par 25 coups de dame chacune des couches</p> <p>Le moule peut sinon être incliné à un angle approximatif de 30° et laissé retomber dix fois, remis à l'horizontale, puis incliné et tapoté dix fois de plus.</p> <p>Araser</p>
Cure	Cfr. ci-dessus	<p>Cfr. ci-dessus</p> <p>Les essais peuvent aussi être effectués après une cure étendue de 90 jours dans les conditions définies dans le Tableau 2 (7 j à 95 % d'humidité relative suivis de 83 j à 65 % d'humidité relative). La période de cure modifiée doit être clairement identifiée</p>
Machine d'essai	Correspond ± Classe 2 suivant EN 12392-4 ou NBN X07-001	
Vitesse de montée en charge-flexion	Vitesse entre 10 et 50 N/s	
Vitesse de montée en charge-compression	Vitesse entre 50 et 500 N/s avec rupture au bout de 30 à 90 s	Vitesse entre 50 et 500 N/s selon les classes de mortiers de maçonnerie et d'enduits (voir Tableau B.1).

Principe

La force d'adhérence est mesurée comme la contrainte maximale de traction par charge directe perpendiculaire à la surface du mortier d'enduit appliqué sur un support. La force de traction est appliquée sur une pastille de traction définie, collée sur la surface d'essai du mortier. La force d'adhérence est le rapport entre la charge de rupture et la surface correspondante.

Echantillon



Enduit appliqué sur un support. Cinq éprouvettes cylindriques (Ø 50 mm) sont réparties sur l'enduit.

Préparation du mortier

Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

Préparation et conditionnement des éprouvettes

Le mortier frais est appliqué sur un support (en l'état séché à l'air), maintenu en position verticale. L'épaisseur totale doit être de 10 ± 1 mm.

Stockage:	7 jours dans un sac de polyéthylène étanche à 20 (+ 3/-2°C)	20 jours à l'air libre à 20 (+ 3/-2°C) et 65 ± 5 %HR	Carottage (± 2 mm dans le support) Et Collage de 5 pastilles métalliques cylindriques (Ø 50 mm, épaisseur ≥ 10 mm)	24 h à 20 (+ 3/- 2°C) et 65 ± 5 %HR.
------------------	---	--	---	--------------------------------------

Mode d'opérateur

Essai d'adhérence à 28 jours. La charge est appliquée sans choc et à une vitesse uniforme comme suivant de sorte que la rupture se produise entre 20 s et 60 s.

Force d'adhérence prévue (N/mm ²)	Vitesse de charge (N/(mm ² .s))	Vitesse de charge (N/s)
< 0,2	0,003 – 0,010	6 – 20

0,2 - < 0,5	0,011 – 0,025	22 - 49
0,5 – 1,0	0,026 – 0,050	51 - 98
> 1,0	0,050 – 0,100	98 - 196

Expression des résultats

$$f_u = \frac{F_u}{A}$$

où

f_u Force d'adhérence [N/mm²]

F_u Charge de rupture [N]

A Surface d'essai de l'éprouvette cylindrique [mm²]

Les forces d'adhérence f_u sont calculées à 0,05 N/mm² près. La moyenne sur les 5 valeurs est exprimée à 0,1 N/mm² près.

Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité des mortiers (2003)

Principe

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est mesuré sur des éprouvettes de mortier prismatiques, dans les conditions prescrites, à pression atmosphérique. Après séchage jusqu'à masse constante, la face clivée de l'éprouvette est immergée dans 5 à 10 mm d'eau pendant une durée spécifique. On détermine alors l'augmentation de la masse.

Echantillons

Trois éprouvettes prismatiques avec des dimensions 160 mm x 40 mm x 40 mm.

Préparation du mortier

Le mortier est confectionné suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

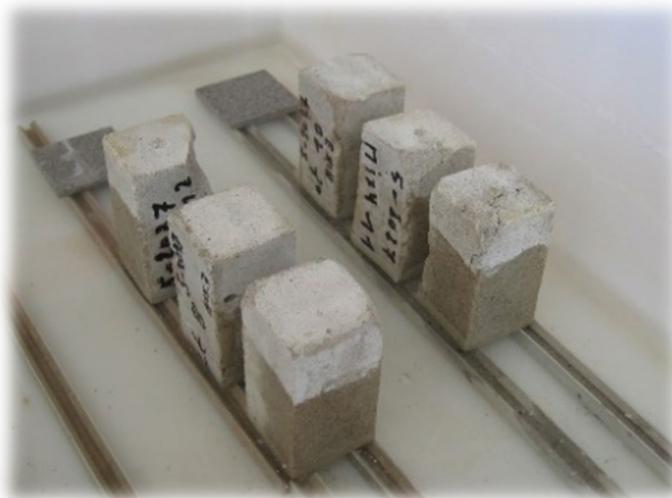
Préparation et conditionnement des éprouvettes

Les éprouvettes sont confectionnées conformément à la EN 1015-11 dans un moule préalablement muni en face inférieure d'un papier filtre absorbant bien défini. De même, une autre feuille de papier absorbant est placée sur les prismes après arasement du mortier frais.

La cure dépend du type de mortier comme indiqué dans EN 1015-11.

A la fin de la période de durcissement, le produit d'étanchéité est appliqué sur les quatre surfaces longues et les éprouvettes sont cassées en deux (prismes de 4x4x8 cm³).

Les éprouvettes sont séchées à $60 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante ($\leq 0,2 \%$ à 24h d'intervalle). La masse sèche, M_0 , de chaque éprouvette est mesurée.



Mode opératoire

Les éprouvettes sont placées sur des supports adéquats dans un bac à eau muni d'un couvercle anti évaporation et d'un système d'alimentation automatique en eau afin de respecter un niveau d'immersion partiel de 5 à 10 mm.

Expression des résultats

Pour les mortiers courants:

Les masses des éprouvettes après 10 min (M1) et 90 min (M2) d'immersion sont déterminées.

$$C = 0,1 (M2-M1) \text{ à } \pm 0,05 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$$

Le coefficient moyen d'absorption d'eau, C_m , est calculé à 0,1 kg/(m².min^{0,5}) près.

Pour les mortiers de réparation:

Les masses des éprouvettes après 24 h (M3) d'immersion sont déterminées. L'éprouvette est alors cassée longitudinalement et on mesure la hauteur de pénétration de l'eau au centre de l'éprouvette parallèlement à sa longueur de 80 mm avec une précision de 1 mm.

$$C = 0,625 (M3-M0) \text{ à } \pm 0,05 \text{ kg}/\text{m}^2$$

Le coefficient moyen d'absorption d'eau, C_m , est calculé à 0,05 kg/m² près.

Détermination de la perméabilité à la vapeur d'eau des mortiers d'enduits durcis (1998 + add1 (2004))

Principe

Les éprouvettes sont scellées au-dessus de coupelles circulaires dans lesquelles la pression de vapeur d'eau est maintenue constante à des niveaux appropriés au moyen de solutions salines saturées. Les coupelles sont placées dans un environnement à température contrôlée avec une pression de vapeur d'eau différente de celle établie à l'intérieur des coupelles. La vitesse de transfert de l'humidité est déterminée par la variation de masse des coupelles dans des conditions de régime permanent.

L'échantillon

Cinq éprouvettes d'épaisseur requise pour chaque plage d'humidité relative

Formules

$$\Lambda = \frac{1}{A \Delta_p / \left(\frac{\Delta G}{\Delta t} \right) - R_A} \quad W_{vp} = \Lambda t$$



où

Λ Perméance à la vapeur d'eau, en $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s Pa})$

W_{vp} Perméabilité à la vapeur d'eau, en $\text{kg}/(\text{m s Pa})$

$\frac{\Delta G}{\Delta t}$ Flux de vapeur d'eau, en kg/s

t Epaisseur moyenne, en m

A Surface de la coupelle d'essai, en m^2

R_A Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau de la lame d'air, en $(\text{Pa m}^2 \text{ s})/\text{kg}$

Δ_p Différence de pression de vapeur d'eau entre l'air ambiant et la solution saline, en Pa

Préparation du mortier

Le mortier est confectionné suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

Préparation des éprouvettes

Le mortier est appliqué sur un support de béton cellulaire autoclavé. Deux couches de gaze de coton sont placées sur le support avant l'application.

La cure dépend du type de mortier: voir tableau.

Type de mortier	Durée de stockage en jours, 20 ± 2°C	
	95 ± 5 % HR ou dans un sac polyéthylène	50 ± 5 % HR
	Mortier + support	Mortier et support séparés
Mortiers retardés	5	23
Mortiers de chaux aérienne	5	23
Mortiers de chaux aérienne/ciment pour lesquels la masse de ciment est < 50 % de la masse totale du liant.	5	23
Mortiers de ciment/ chaux aérienne pour lesquels la masse de ciment est > 50 % de la masse totale du liant. & mortiers de ciment	2	26
Mortiers avec d'autres liants hydrauliques	2	26

A la fin de la période de durcissement, les éprouvettes circulaires sont carottées d'un diamètre adapté aux dimensions des coupelles d'essai. L'épaisseur est mesurée en 3 positions et la moyenne "t" est calculée.

Mode opératoire

- Les éprouvettes sont placées dans les coupelles d'essai et les bords sont scellés à l'aide d'un joint d'étanchéité adéquat.
- La pression de vapeur d'eau est contrôlée en utilisant une solution saturée de:
 - nitrate de potassium (KNO₃) dans le cas d'une forte humidité relative (93,2 % HR à 20°C),
 - chlorure de lithium (LiCl) dans le cas d'une humidité relative faible (12,4 % HR à 20°C).
- La coupelle est remplie en laissant un espace d'air de 10 ± 5 mm en dessous de l'éprouvette. Les coupelles d'essai sont placées en chambre climatique (20 ± 2°C et 50 ± 5 % HR) et pesées à intervalles de temps réguliers.

Un graphique de la masse de la coupelle en fonction du temps est tracé. Si 3 points sont en ligne droite cela signifie que la quantité de vapeur d'eau traversant l'éprouvette par unité de temps est constante.

Expression des résultats

La perméance Λ à la vapeur d'eau est calculé, ainsi que la valeur moyenne des 5 éprouvettes. La perméabilité à la vapeur d'eau W_{vp} est exprimée en kg/(m s Pa) à 2 chiffres significatifs.

NBN EN 1015-21

Détermination de la compatibilité des mortiers d'enduit extérieur monocouches avec leur armature (2003)

Principe

Les mortiers d'enduits monocouches sont appliqués sur les supports spécifiés par le fabricant. Les éprouvettes d'enduit durci sont essayées après cycles de conditionnement thermique et thermique/hygrométrique.

Les éprouvettes sont soumises aux deux essais suivants:

- détermination de la perméabilité à l'eau par application d'une charge hydraulique spécifiée sur la surface enduite,
- détermination de l'adhérence par un essai de traction selon le NBN EN 1015-12.



Préparation du mortier

Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

Préparation des éprouvettes

L'essai est réalisé sur au moins deux supports différents correspondant aux conditions extrêmes. L'absorption d'eau par capillarité des supports est connue.

- Support résistant: maquette en béton (300 x 300 x 40 mm³ au minimum)
- Support faible: élément en maçonnerie (muret de minimum 400 x 400 mm² composé d'au moins un élément entier et de deux moitiés d'éléments)

Les supports sont placés à la verticale. Le mortier est appliqué sur 2 maquettes de chaque type de support avec une couche de 10 ± 1 mm sur l'un et de 20 ± 1 mm sur l'autre.

Conditionnement des éprouvettes

1.	Durcissement	au moins 28 jours	20 ± 2°C et 65 ± 5 % HR (fixer un thermocouple au centre de chaque éprouvette)
2.	4 cycles chauffage / gel	8 h ± 15 min	60 ± 2°C de température de surface (à l'aide d'un rayonnement par IR)
		30 ± 2 min	20 ± 2°C et 65 ± 5 % HR
		15 h ± 15 min	-15 ± 1°C
		30 ± 2 min	20 ± 2°C et 65 ± 5 % HR
3.	Conservation	au moins 48 h	20 ± 2°C et 65 ± 5 % HR
4.	4 cycles humidification / gel	8 h ± 15 min	Immersion partielle (5 mm) de l'enduit dans l'eau à 20 ± 1°C.
		30 ± 2 min	20 ± 2°C et 65 ± 5 % HR
		15 h ± 15 min	-15 ± 1°C
		30 ± 2 min	20 ± 2°C et 65 ± 5 % HR

Les éventuelles détériorations survenant au cours de chaque cycle sont relevées.

Mode opératoire

Essai de perméabilité à l'eau

- Conservation pendant 48 h à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $65 \pm 5\%$ HR.
- Effectuer le montage du cône avec le produit d'étanchéité et laisser sécher.
- Mesurer la quantité d'eau (ml) requise pour maintenir un niveau constant pendant 48h.

Essai d'adhérence

- 4 jours de conservation à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $65 \pm 5\%$ HR.
- Essai selon EN 1015-12.

Expression des résultats

La perméabilité à l'eau est exprimée en $\text{ml}/(\text{cm}^2 \text{ 48h})$, à $0,1 \text{ ml}/(\text{cm}^2 \text{ 48h})$ près.

L'adhérence est exprimée à $0,1 \text{ N}/\text{mm}^2$ près.





Méthodes d'essai de la maçonnerie

Principe

Les éprouvettes, après préparation si nécessaire, sont posées et centrées sur le plateau d'une machine d'essai de compression. Une charge uniformément répartie est appliquée et augmentée de façon continue jusqu'à la rupture.

Nombre d'échantillons

Le nombre minimal d'éprouvettes doit être de six. Il est de dix en cas de non-conformité d'un résultat obtenu lors de l'essai avec 6 échantillons.

Dimensions des échantillons

Non spécifié (sauf $h > 100$ mm pour une éprouvette sciée).

Formule

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ exprimé à } 0,1 \text{ N/mm}^2 \text{ près}$$

Où

F Charge maximale atteinte (en N)

A_c Surface soumise à la charge (en mm^2) qui correspond à la surface brute des éléments pleins ou à la surface nette des éléments comportant des empreintes devant, en œuvre, être remplies de mortier, lorsque celle-ci représente 35 % minimum de la surface brute.

Quelques particularités

- Les méthodes d'échantillonnage, de préparation de surface et de conservation des éprouvettes doivent être conformes à la partie appropriée de la NBN EN 771 en fonction du type de maçonnerie considéré. L'annexe B clarifie ce point.
- Dans le cas de grands éléments de maçonnerie, il est permis d'y découper des portions représentatives (par exemple, des cubes), comme indiqué dans la norme NBN EN 771-3.
- L'annexe A (informative) indique le mode de conversion de la résistance à la compression déclarée en résistance à la compression normalisée.
- Quelques différences par rapport à la précédente norme NBN B 24-201.



	NBN B 24-201	NBN EN 772-1
Planéité et parallélisme des faces de compression	Être plane jusqu'à 0,05 mm Être parallèle jusqu'à 3°	Être plane jusqu'à 0,1 mm / 100 mm Être parallèle jusqu'à 1 mm / 100 mm

	NBN B 24-201	NBN EN 772-1
Préparation	Toujours égaliser (mortier de ciment ou de polyester avec composition bien définie)	Meulage jusqu'à ce que les exigences soient rencontrées (quelque soit h) Egaliser avec un mortier de ciment de résistance > min (30 N/mm ² ; f _m) (uniquement applicable si h ≥ 100mm)
Conditions de conservation	Chambre humide (5 jours, T=(20 ± 2)°C, HR ≥ 90 %)	Séchage à l'air (14 jours ou jusqu'à masse constante, t ≥ 15°C, HR ≤ 65 %) Immersion dans l'eau (≥ 15h à (20 ± 5)°C et 15' à 20' d'égouttage)
Dimensions	Si L > 400 mm: découper en 2 Si L < 400 mm et h/b < 0,55: maçonner 2 blocs l'un sur l'autre	Si trop grandes, découper: Même w/h que bloc d'origine h > 100 mm L ≥ h
Machine d'essai	Classe 2 selon NBN X 07-001 Tolérance ± 2 % de la valeur indiquée Erreur max. sur le zéro ± 0,4% de la plage Répétabilité max.: 2 % de la valeur indiquée Dureté des plateaux > 60 Rockwell C Planéité des plateaux 0,1 mm / 100 mm sous charge	Erreur moyenne max. sur forces: ± 2 % de la valeur indiquée Erreur max. sur le zéro: ± 0,4 % de la plage Répétabilité max.: 2 % de la valeur indiquée Dureté des plateaux Vickers > 600 HV Planéité des plateaux 0,1 mm / 250 mm. Rugosité ≤ 3,2 µm Ra
Vitesse de chargement	De 0,2 à 1 N/(mm ² s) Ne rien changer à la marche de la machine d'essai lorsque survient la rupture Durée de l'essai ≥ 15 s	De 0,05 à 1 N/(mm ² s) Ajuster la vitesse à la moitié de l'essai pour que l'essai dure environ 1 minute
Conversions	Lors du calcul de la maçonnerie selon NBN B 24-301, un facteur de correction "c" est appliqué sur la valeur caractéristique	La valeur obtenue sur des éprouvettes immergées est multipliée par 1,2 La résistance à la compression (moyenne) normalisée est calculée via un facteur de forme "δ"

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure ne sont pas reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

Détermination de la masse volumique absolue et apparente sèches des éléments de maçonnerie (excepté les pierres naturelles) (2000)

Principe

La masse volumique (absolue ou apparente) sèche est définie comme étant le rapport entre la masse de l'élément séché en étuve ventilée à $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante et son volume (absolu ou apparent).

Nombre d'échantillons

Le nombre minimal d'échantillon doit être de six. Il est de 10 en cas de non-conformité d'un résultat obtenu lors de l'essai avec 6 échantillons.



Dimensions des échantillons

Non spécifié.

Formules

- Masse volumique absolue sèche

$$\rho_{n,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{n,u}} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

exprimée à 5 kg/m³ près pour des masses volumiques jusqu'à 1000 kg/m³ et, au-delà, à 10 kg/m³ près.

où

$m_{dry,u}$ Masse de l'élément séché en étuve (g);

$V_{n,u}$ Volume absolu de l'élément (mm³).

- Masse volumique apparente sèche

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \times 10^6 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

exprimée à 5 kg/m³ près pour des masses volumiques jusqu'à 1000 kg/m³ et, au-delà, à 10 kg/m³ près.

où

$m_{dry,u}$ Masse de l'élément séché en étuve (g);

$V_{g,u}$ Volume apparent de l'élément (mm³).

Quelques particularités

- Les méthodes d'échantillonnage, de préparation de surface et de conservation des éprouvettes doivent être conformes à la partie appropriée de la NBN EN 771 en fonction du type de maçonnerie considéré. Pour les éléments de maçonnerie en béton de granulats, il s'agit de la NBN EN 771-3(2003) et son addendum de 2005.
- Dans le cas de grands éléments de maçonnerie, il est permis d'y découper des portions représentatives (par exemple, des cubes), comme indiqué dans la norme NBN EN 771-3.
- L'annexe A (informative) indique le mode de conversion de la résistance à la compression déclarée en résistance à la compression normalisée.
- Quelques différences par rapport à la précédente norme NBN B 24-201.

	NBN B24-206	NBN EN 772-13
Séchage	Séchage à $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante ($\Delta m/m < 0,1 \%$)	Séchage jusqu'à $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante ($\Delta m/m_{24h} < 0,2 \%$)
Caractérisation du volume	Caractérisation l, b et h suivant NBN B24-205 $V = l \times b \times h$ jusqu'à 0,1 % près	Caractérisation l, b et h et mesures des trous suivant NBN EN 772-16 Volume absolu: $V = l \times b \times h$ volume de tous les trous Volume apparent: $V = l \times b \times h$ volume des trous qui doivent être remplis avec du mortier

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure ne sont pas reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

Détermination de la variation due à l'humidité des éléments de maçonnerie en béton de granulats et en pierre reconstituée (2002)

Principe

Cet essai permet de déterminer les variations dimensionnelles d'éléments de maçonnerie en béton dans deux conditions d'humidité extrêmes spécifiques:

- Le gonflement après immersion dans l'eau pendant 4 jours à partir des conditions initiales;
- Le retrait après séchage dans une étuve ventilée à 33°C pendant 21 jours à partir des conditions initiales.

Nombre d'échantillons

Le nombre minimal d'éprouvettes doit être de six. Il est de 12 en cas de non-conformité d'un résultat obtenu lors de l'essai avec 6 échantillons.

Dimensions des échantillons

Non spécifié.

Formules

- Gonflement à l'humidité

$$\frac{\Delta l_{gi}}{l} = \frac{l_{1i} - l_{0i}}{l_{0i}} \times 10^3 \text{ [mm/m]} \text{ (valeur moyenne } \Delta l_g \text{ exprimée à } 1 \times 10^{-5} \text{ près)}$$

où

l_{0i} Distance initiale entre les plots de mesure (éprouvette i);

l_{1i} Distance entre les plots de mesure après immersion dans l'eau (éprouvette i).

- Retrait au séchage

$$\frac{\Delta l_{ri}}{l} = \frac{l_{0i} - l_{2i}}{l_{0i}} \times 10^3 \text{ [mm/m]} \text{ (valeur moyenne } \Delta l_r \text{ exprimée à } 1 \times 10^{-5} \text{ près)}$$

où

l_{0i} Distance initiale entre les plots de mesure (éprouvette i);

l_{2i} Distance entre les plots de mesure après séchage en étuve (éprouvette i).

- Amplitude totale de variation dimensionnelle

$$\frac{\Delta l_c}{l} = \frac{\Delta l_g}{l} + \frac{\Delta l_r}{l} \text{ (exprimée à } 1 \times 10^{-5} \text{ près)}$$

- Taux d'humidité

$$w_s = \frac{m_{0,s} - m_{dry,s}}{m_{dry,s}} \times 100\% \text{ (valeur moyenne exprimée à } 1 \text{ \% près)}$$

où

$m_{0,s}$ Masse initiale de l'éprouvette;

$m_{dry,s}$ Masse de l'éprouvette après séchage en étuve (voir tableau ci-dessous pour condition de séchage).

Quelques particularités

- La méthode d'échantillonnage doit être conforme à la partie appropriée de la NBN EN 771 en fonction du type de maçonnerie considéré. Pour les éléments de maçonnerie en béton de granulats, il s'agit de la NBN EN 771-3.
- Quelques différences par rapport à la précédente norme NBN B 24-208

	NBN B 24-208	NBN EN 772-14
Base de mesure	Base de mesure > 100 mm sur les faces latérales ou les faces d'about	Base de mesure sur face de pose, longueur de la base de mesure fonction de la dimension du bloc
Conditionnement préalable	Non spécifié	14 jours dans sac étanche suivi de 14 jours dans labo) T > 15°C et HR ≤ 65 %.
Immersion	Immersion à (20 ± 2)°C jusqu'à longueur constante ($\Delta L/L_{24h} < 4 \times 10^{-5}$) et déterminer ε_1	Immerger 3 blocs à (20 ± 2)°C pendant 4 jours et déterminer l_{1i}
Séchage	Séchage à (25 ± 1)°C et (45 ± 2) % HR jusqu'à longueur constante ($\Delta L/L_{24h} < 4 \times 10^{-5}$), laisser refroidir jusqu'à 20°C et déterminer ε_2	Sécher 3 blocs à (33 ± 3)°C pendant 21 jours, laisser refroidir à 20°C pendant 6 heures et déterminer l_{2i}
Variation dimensionnelle totale	Déterminer $\varepsilon_r = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ à 2×10^{-5} près	Déterminer $\frac{\Delta l_c}{l}$ à 1×10^{-5} près

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure ne sont pas reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

NBN EN 1052-1

Détermination de la résistance à la compression (1998)

Principe

La résistance caractéristique f_k de la maçonnerie est déterminée à partir de la résistance mesurée sur des éprouvettes (murets) chargées uniformément en compression perpendiculairement aux

joints horizontaux.

Echantillonnage

Utiliser au minimum 3 corps d'éprouvettes (assemblage d'éléments de maçonnerie hourdés par du mortier) de dimensions conformes à celles indiquées dans le tableau suivant.

Dimension en parement de l'élément		Dimension du corps d'épreuve en maçonnerie			
l_u mm	H_u mm	Longueur l_s	Hauteur h_s		Epaisseur t_s
≤ 300	≤ 150	$(2 \times l_u)$	≥ 5 h_u	≥ 3 t_s et ≤ 15 t_s et ≥ l_s	
	> 150		≥ 3 h_u		
> 300	≤ 150	≥ $(1,5 \times l_u)$	≥ 5 h_u		
	> 150		≥ 3 h_u		≥ t_u

Avec

l_u Longueur de l'élément de maçonnerie (mm)

h_u Hauteur de l'élément de maçonnerie (mm)

l_s Longueur du corps d'épreuve (mm)

t_u Epaisseur de l'élément de maçonnerie (mm)

h_s Hauteur du corps d'épreuve (mm)

t_s Epaisseur du corps d'épreuve (mm)

Si selon les exigences du tableau, la hauteur h_s dépasse 1000 mm, il est permis de réduire les dimensions sous les conditions mentionnées dans la norme.

Remarque

Tous les éléments de maçonnerie pour essais individuels et pour la réalisation de corps d'épreuve de maçonnerie doivent être issus du même lot.

Préparation des murets de maçonnerie

Ils doivent être érigés sur une surface horizontale plane.

Prendre les précautions nécessaires face à la dessiccation des éprouvettes durant les 3 premiers jours qui suivent la confection.

S'assurer que les faces du corps d'épreuve sur lesquelles la charge sera appliquée sont planes, parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe principal du corps d'épreuve.

Description de l'essai

Soumettre à l'essai les corps d'épreuve à un âge spécifié, par exemple 28 jours. Déterminer la résistance à la compression du mortier conformément à NBN EN 1015-11 à l'âge auquel les corps d'épreuve sont soumis à l'essai. Placer le corps d'épreuve au centre de la machine d'essai. Appliquer la charge uniformément sur les parties inférieure et supérieure du corps d'épreuve, augmenter la charge progressivement pour que la rupture se produise entre 15 et 30 min. Si le module d'élasticité doit être déterminé, équiper le muret d'un dispositif de mesurage de variation de hauteur, appliquer la charge de compression en minimum 3 étapes égales jusqu'à ce que la moitié de la charge maximale soit atteinte. La charge doit être maintenue constante 2 ± 1 min à chaque étape afin de déterminer les variations de hauteur. Ensuite augmenter la charge à un taux constant jusqu'à rupture.



Calcul et expression des résultats

Enregistrement:

- des dimensions de la section transversale de l'éprouvette sur laquelle la charge est appliquée à une précision de ± 1 mm
- de la charge maximale $F_{i,max}$ en Newtons, à 1 kN près
- de la charge à laquelle des fissures visibles se produisent
- de la durée entre le début de l'application de la charge et le moment où la charge maximale est atteinte
- si le module d'élasticité doit être déterminé, les valeurs seront mesurées à $\pm 25 \times 10^{-6}$ près, et en 4 points différents
- de la résistance à la compression d'un élément de maçonnerie
- des conditions de gâchage, de la teneur en air, des valeurs d'étalement et de la résistance
- à la compression (au moment des essais des corps d'épreuve en maçonnerie) du mortier
- le mode conditionnement des éléments avant la pose, l'âge des éléments en béton non

- autoclavé et la teneur en humidité en masse des éléments en silico-calcaire et en béton
- autoclavé doivent être notés dans le rapport

Calculs:

- Résistance calculée pour chaque corps d'épreuve à 0,1 N/mm² près

$$f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i} \text{ N/mm}^2$$

- Module d'élasticité calculé à partir de la moyenne des déformations de l'ensemble des 4 positions de mesurage (correspondant à 1/3 de la contrainte maximale appliquée)

$$E_i = \frac{F_{i,max}}{3 \times \varepsilon_i \times A_i} \text{ N/mm}$$

Si nécessaire calculer le module d'élasticité moyen E à 100 N/mm² près.

- Calculer la résistance moyenne à la compression (f) des corps d'épreuve de maçonnerie à 0,1 N/mm² près. Si les valeurs de l'essai diffèrent des valeurs spécifiées, les résultats de l'essai seront corrigés.
- Calculer la résistance caractéristique f_k à partir de la résistance moyenne à la compression à 0,1 N/mm² près à partir de la plus élevée des valeurs suivantes:

Si 3 corps d'épreuve: la plus petite des 2 valeurs $f_k = \frac{f}{1,2}$ ou f_k = f_{i,min} en N/mm²

Si 5 corps d'épreuve ou plus: la plus grande valeur de 'la plus petite des 2 valeurs f_k = $\frac{f}{1,2}$ ou f_k = f_{i,min}' et 'la valeur correspondant au fractile de 5 % basée sur un niveau de confiance de 95 %' en N/mm².



Principe

Les résistances caractéristiques à la flexion parallèle (f_{xk1}) et perpendiculaire (f_{xk2}) de la maçonnerie se déduisent de la résistance de petits corps d'épreuves essayés à la rupture sous un chargement en quatre points. La charge maximale atteinte est enregistrée. La valeur caractéristique calculée à partir des contraintes maximales supportées par les corps d'épreuve est considérée comme étant la résistance à la flexion de la maçonnerie.

Echantillonnage

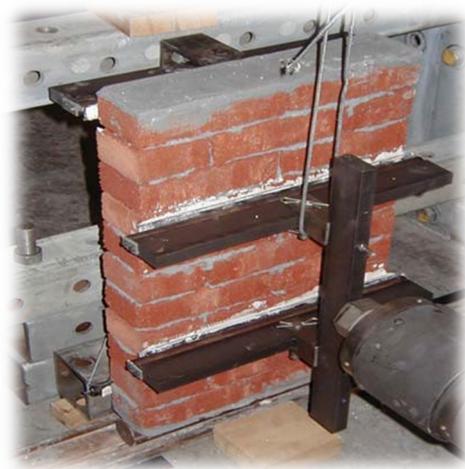
Utiliser au minimum 5 corps d'éprouvettes de dimensions conformes à celles indiquées dans le tableau suivant, pour chacun des 2 axes principaux de chargement.

Épaisseur du muret égale à t_u . L'écartement entre les appuis intérieurs et extérieurs ne peut pas être inférieure à t_u .

Sens	h_u	b	Condition supplémentaire
Résistance à la flexion dans un plan de rupture parallèle aux joints	toutes dimensions	≥ 400 et $\geq 1,5 l_u$	au minimum 2 joints horizontaux sur une assise l_2
Résistance à la flexion dans un plan de rupture perpendiculaire aux joints horizontaux	≤ 250	≥ 240 et $\geq 3 h_u$	au minimum 1 joint vertical à chaque rang sur une assise l_2
	> 250	≥ 1000	au minimum 1 joint horizontal et 1 joint vertical à chaque rang sur une assise l_2

avec

- b Hauteur ou largeur du corps d'épreuve en maçonnerie perpendiculairement à la portée (mm)
- l_u Longueur de l'élément de maçonnerie (mm)
- h_u Hauteur de l'élément de maçonnerie (mm)
- t_u Épaisseur de l'élément de maçonnerie (mm)
- l_s Longueur du corps d'épreuve dans le sens de la portée (mm)
- l_2 Ecartement des appuis intérieurs (mm)



Résistance à la flexion parallèle (f_{xk1})

Préparation du muret de maçonnerie

Assemblage d'éléments de maçonnerie disposés selon un appareillage défini et hourdés par du mortier.

Le mortier utilisé sera mélangé moins d'une heure auparavant. Immédiatement après la confection, précomprimer chaque corps d'épreuve en répartissant la charge de façon uniforme pour obtenir une contrainte verticale comprise entre $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ et $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$, conserver les corps d'épreuve et maintenir la charge jusqu'à l'essai. Protéger les corps d'essai contre la dessiccation si le mortier n'est pas à base de chaux.

Description de l'essai

Soumettre à l'essai les corps d'épreuve âgés de (28 ± 1) jours.

Essayer les corps d'épreuve en position verticale sous charge appliquée en 4 points, la distance entre les appuis extérieurs et l'extrémité du corps d'épreuve doit être $\geq 15 \text{ mm}$.

La distance entre les appuis intérieurs doit être comprise entre 0,4 et 0,6 fois l'espacement des appuis extérieurs. Autant que possible, disposer les appuis intérieurs à égale distance de 2 joints de mortier, consécutifs parallèles à ces appuis.

S'assurer que la base du corps d'épreuve n'est pas soumise à des contraintes de frottement, par exemple en la posant sur 2 feuilles de polytétrafluoréthylène graissées.



Résistance en flexion perpendiculaire (f_{xk2})

Mise en charge: augmenter la contrainte de flexion à une vitesse comprise entre 0,03 et $0,3 \text{ N/mm}^2/\text{min}$.

Depuis 2016, en variante, le corps d'épreuve peut être soumis à essai en position horizontale.

Calcul et expression des résultats

Mesurage

Charge maximale $F_{i, \max}$ à 10 N près.

Rejeter tout le résultat pour lequel la rupture ne se produit pas entre les appuis intérieurs.

Recommencer les essais jusqu'à obtenir 5 ruptures entre les appuis intérieurs.

Calculer la résistance à la flexion de chaque corps d'épreuve, à 0,01 N/mm² près, à l'aide de la formule suivante:

$$f_{xi} = \frac{3F_{i,max} (l_1 - l_2)}{2bt_u^2} \text{ N/mm}^2$$

Calculer la résistance moyenne à la flexion (f_{moy}) à 0,01 N/mm² près.

Evaluation des résultats

Calculer la résistance caractéristique à la flexion à 0,01 N/mm² à partir de a) ou b):

- a) $f_{xk} = f_{moy} / 1,5$ pour 5 corps d'épreuve
- b) $f_{x1}, f_{x2}, f_{x3}, \dots, f_{xn}$ pour plus de 5 corps d'épreuve

Calculer les valeurs $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ à partir de $y_n = \log_{10} f_{xn}$ et

$$y_{moy} \text{ à partir de } y_{moy} = \sum y_n / n$$

$$Y_c = y_{moy} - k \cdot s$$

avec:

		n	k
s	écart type des valeurs logarithmiques	6	2,18
k	est une fonction de n donnée au tableau ci-contre	7	2,08
n	nombre de corps d'épreuve	8	2,01
		9	1,96
		10	1,92

La résistance caractéristique à la flexion doit être prise égale à: $f_{xk} = \text{antilog}_{10}(y_c)$ N/mm² à 0,01 N/mm² près.

Détermination de la résistance initiale au cisaillement (2002 + add.1(2007) + AC (2017))

Principe

La résistance initiale au cisaillement de la maçonnerie est déduite de la résistance de murets de maçonnerie essayés jusqu'à rupture avec ou sans précompression appliquée perpendiculairement aux joints d'assise des murets. Les corps d'épreuve sont soumis à un essai de cisaillement sous une charge appliquée en 4 points.

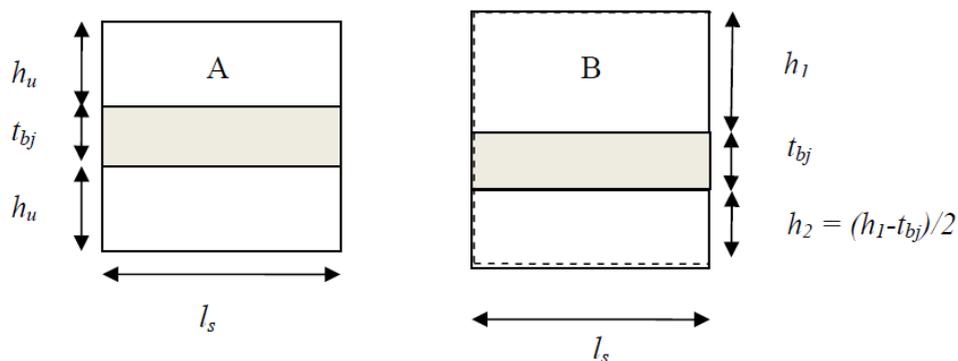
4 modes de rupture différents sont réputés donner un résultat valide.

Echantillonnage

Utiliser au minimum 3 corps d'éprouvettes de dimensions conformes à celles indiquées dans le tableau suivant pour chaque valeur de précompression (méthode A) et 6 éprouvettes dans le cas où il n'y a pas de précompression (méthode B).

Si h_u est > 200 mm les dimensions seront celles de type B.

Taille de l'élément	Type et dimensions des corps d'épreuve	
l_u (mm)	Type	Dimensions (mm)
≤ 300	A ($h_u \leq 200$ mm)	$l_s = l_u$
> 300	A ($h_u \leq 200$ mm)	$l_s = 300$
≤ 300	B ($h_u > 200$ mm)	$h_1 = 200$ $l_s = l_u$
> 300	B ($h_u > 200$ mm)	$h_1 = 200$ $l_s = 300$



Avec

l_u Longueur de l'élément de maçonnerie (mm)

h_u Hauteur de l'élément de maçonnerie (mm)

l_s Longueur du corps d'épreuve (mm)

h_1 et h_2 Hauteur de coupe des éléments (mm)

t_{bj} : Epaisseur des joints d'assises (mm)

----- Coupes possibles

Remarque

Tous les éléments de maçonnerie pour essais individuels et pour la réalisation de corps d'épreuve de maçonnerie doivent être issus du même lot.

Préparation du muret de maçonnerie

- Utiliser du mortier gâché depuis moins d'une heure.
- S'assurer que les faces de pose des éléments de maçonnerie sont nettoyées et exemptes de poussières et que l'élément inférieur repose sur une surface plane propre.
- Le joint de mortier doit être de 8 à 15 mm pour les maçonneries à joints conventionnels ou de 1 à mm pour les maçonneries en mortier pour joints minces.
- L'alignement et le niveau linéaire de l'élément de maçonnerie doivent être vérifiés à l'aide d'une équerre et d'un niveau à bulle.
- Immédiatement après la confection, précharger chaque corps d'épreuve en répartissant la charge de façon uniforme pour obtenir une contrainte verticale comprise entre $2,0 \cdot 10^{-3}$ et $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ puis conserver les corps d'épreuve sans bouger jusqu'à l'essai.
- Protéger les corps d'essai contre la dessiccation si le mortier n'est pas à base de chaux.

Description de l'essai

Soumettre à l'essai les corps d'épreuve âgés de 28 ± 1 jours.

Disposer les extrémités des corps d'épreuve dans la machine d'essai, à l'aide de plaques d'acier de 12 mm d'épaisseur minimum et en utilisant si nécessaire un surfaçage approprié permettant un contact convenable. Le diamètre des rouleaux de chargement doit être égal à 12 mm et leur longueur minimale à t_u .

L'axe des rouleaux doit être à $l_s/15$ (mm) de l'axe du joint. Appliquer la charge au moyen d'une rotule placée au centre de la plaque d'acier supérieure.

Soumettre à l'essai au moins 3 corps d'épreuve, pour chacune des 3 charges de précompression et 6 corps d'épreuve quand il n'y a pas de précompression.



Utiliser des charges de précompression permettant d'obtenir des contraintes de 0,2 N/mm², de 0,6 N/mm² et de 1,0 N/mm² pour des éléments dont la résistance à la compression > à 10 N/mm² et des charges de 0,1 N/mm², 0,3 N/mm² et de 0,5 N/mm² pour une résistance < 10 N/mm².

La charge de précompression doit être maintenue dans les limites de ±2 % de la valeur initiale.

S'assurer que la rigidité des poutres utilisées pour appliquer la charge de précompression est suffisante pour permettre une répartition uniforme de la charge.

Appliquer la contrainte de cisaillement à une cadence comprise entre 0,1 et 0,4 N/mm² par minute.

Calcul et expression des résultats

Mesurage

- L'aire A_i de la section transversale des corps d'épreuve, parallèles à l'effort de cisaillement,
- avec une précision de 1 %
- La charge maximale $F_{i,max}$
- La charge de précompression F_{pi} quand il y en a une
- Le type de rupture

Calculs

Calculer la résistance au cisaillement et la contrainte de précompression (quand il y en a) de chaque corps d'épreuve à 0,01 N/mm² près

$$f_{voi} = \frac{F_{i,max}}{2A_i} \text{ N/mm}^2$$

(résistance au cisaillement d'un corps d'épreuve individuel)

$$f_{pi} = \frac{F_{pi}}{A_i} \text{ N/mm}^2$$

(contrainte de précompression d'un corps d'épreuve)

Reproduction

Si le mode de rupture n'est pas adéquat, la norme prévoit des alternatives adaptées selon celui-ci.

Evaluation des résultats

Procédure A

Tracer un graphique de la résistance individuelle au cisaillement f_{voi} en fonction de la contrainte de compression f_{pi} s'il y en a.

Tracer la droite déterminée à partir de la régression linéaire des points. Enregistrer la résistance initiale moyenne au cisaillement f_{vo} pour une contrainte nulle à 0,01

N/mm² près. Ce résultat s'obtient à l'intersection de la droite avec l'axe des ordonnées. Enregistrer également l'angle de frottement interne au degré près, déduit de la pente de la droite.

La résistance caractéristique de la résistance initiale au cisaillement est de f_{vok} où f_{vok} est égal à $0,8 f_{vo}$ et l'angle caractéristique de frottement interne donné par $\tan \alpha_k = 0,8 \tan \alpha$.

Procédure B

Calculer la résistance initiale au cisaillement à 0,01 N/mm² près selon:

- $F_{vok} = 0,8 \times f_{vo}$ ou si la plus petite valeur individuelle est $< 0,8 \times f_{vo}$ prendre celle-ci

Ou

- Calculer chaque résistance au cisaillement individuelle $f_{vo1}, f_{vo2}, \dots, f_{von}$ et en déduire Y_1, Y_2, \dots, Y_n selon la formule $Y_i = \log_{10} f_{vo1}$

$$Y_{\text{moy}} = \frac{\sum Y_{1-n}}{n}$$

Ensuite $Y_c = Y_{\text{moy}} - K s$

$F_{vok} = \text{inv log}_{10} (Y_c)$ N/mm²

Avec

- s Ecart type des valeurs logarithmiques
- k est une fonction de n donnée au tableau ci-contre
- n Nombre de corps d'épreuve

n	k
6	2,18
7	2,08
8	2,01
9	1,96
10	1,92

Détermination de la résistance à la rupture d'un joint de muret selon la méthode du moment de la flexion en tête de muret (2005)

Principe

La résistance à la rupture d'un joint de maçonnerie est déduite de la résistance de petits corps d'épreuve de maçonnerie essayés à la rupture.

Le corps d'épreuve est maintenu rigidement et un étrier est appliqué sur l'élément supérieur. Un moment de flexion est appliqué sur l'étrier à l'aide d'un levier jusqu'à ce que l'élément supérieur soit arraché du reste. La valeur caractéristique, calculée à partir des contraintes maximales supportées par les corps d'épreuve, est considérée comme étant la résistance à la rupture du joint de maçonnerie.

Echantillonnage

Réaliser des corps d'épreuve afin d'obtenir au moins 10 joints d'assise pour l'essai. Les corps d'épreuve seront réalisés de façon à être facilement manipulable et leur placement aisé dans l'appareillage d'essai.

Remarque

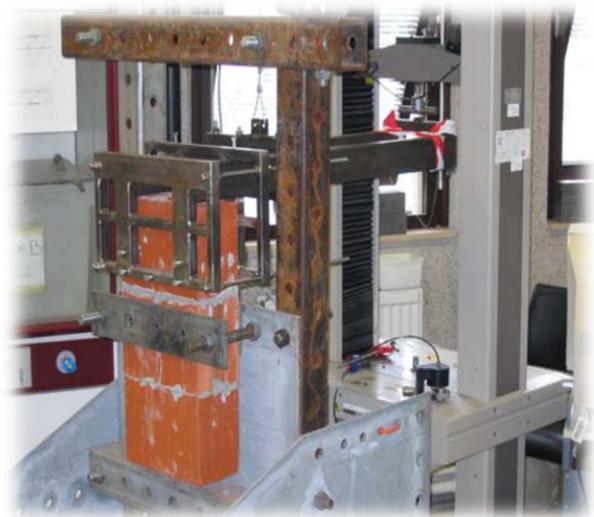
Il peut être nécessaire de couper certains éléments.

Préparation des corps d'épreuve en maçonnerie

S'assurer que les faces de pose des éléments de maçonnerie sont nettoyées et sans poussière. Poser l'élément inférieur sur une surface plane propre. Disposer les éléments suivants de façon à ce que l'épaisseur de joint de mortier soit celle spécifiée.

Le mortier utilisé sera mélangé moins d'une heure auparavant. Immédiatement après la confection, mettre sous charge chaque corps d'épreuve en répartissant la charge de façon uniforme pour obtenir une contrainte verticale comprise entre $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ et $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$, conserver les corps d'épreuve et maintenir la charge jusqu'à l'essai. Protéger les corps d'essai contre la dessiccation si le mortier n'est pas à base de chaux.

L'alignement et le niveau linéaire de l'élément de maçonnerie doivent être vérifiés à l'aide d'une équerre et d'un niveau à bulle.



Description de l'essai

Soumettre à l'essai les corps d'épreuve réalisés à base de ciment hydraulique âgé de (28 ± 1) jours, les mortiers à base de chaux peuvent nécessiter un régime et une période de conservation différents.

Fixer solidement par serrage le corps d'épreuve prismatique dans le cadre support de façon, dans la mesure du possible, à empêcher de tourner le 2ème élément en partant du haut tout en laissant un espace de 10 à 15 mm entre le joint à essayer et le mors.

Le mors peut être revêtu d'une fine couche de matériau résilient, tel que du contreplaqué, afin d'assurer un maintien uniforme.

Si le joint de mortier est jointoyé de façon à réduire la largeur totale de jointolement, il convient de mettre en place l'essai avec cette face soumise à la traction.

Soutenir le mors pour équilibrer le couple de renversement créé lors de l'application de la charge.

Fixer de nouveau par serrage l'élément supérieur à l'aide de minces couches de matériau résilient, tel que du contreplaqué, afin d'assurer un maintien uniforme et régler le mors afin de le mettre dans le bras de levier à l'horizontale.

Appliquer la charge progressivement de manière à obtenir la rupture dans un intervalle de 2 à 5 min.

Mesurer le poids de l'élément supérieur et de tout mortier adhérent (w) à ± 1 % près, la charge appliquée (F_1) à ± 1 % près et les dimensions du corps d'épreuve à ± 1 mm près.

Calcul et expression des résultats

Répétition des essais

Si la rupture se produit par cisaillement ou fissuration des éléments, 2 solutions sont possibles

- Soit des corps d'épreuve supplémentaires peuvent être soumis à essai jusqu'à obtention de 10 ruptures du joint
- Soit le résultat peut être utilisé comme seuil de résistance à la rupture de ce joint en particulier mais en l'identifiant dans le rapport d'essai comme n'étant pas une résistance à la rupture du joint.

Calculs

Pour chaque rupture valable, calculer la résistance à la rupture, à 0,01 N/mm² près, à l'aide des formules.

$$f_{wi} = \frac{F_1 e_1 + F_2 e_2 - \frac{2}{3} d(F_1 + F_2 + W / 4)}{Z}$$

où

$$Z = \frac{bd^2}{6}$$

et

b Largeur moy du joint soumis à l'essai (mm)

d Hauteur moy du corps épreuve (mm)

e₁ Distance entre point application de la charge et face tendue du corps épreuve

e₂ Distance entre le centre de gravité du levier et l'étrier sup de la face tendue (mm)

F₁ Charge appliquée (N)

Remarque

F_{2e2} n'est pas pris en compte s'il y a utilisation d'un contrepoids.

Evaluation des résultats

Calculer la résistance moyenne à la rupture f_w , à 0,01 N/mm² près.

Pour chaque résistance individuelle à la rupture $f_{w1}, f_{w2}, f_{w3}, \dots, f_{wn}$ calculer les valeurs $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$

où

$$y = \log_{10} f_{wn} \text{ en } y_{moy} = \frac{\sum y_{1-n}}{n}$$

avec

s Ecart type des valeurs logarithmiques

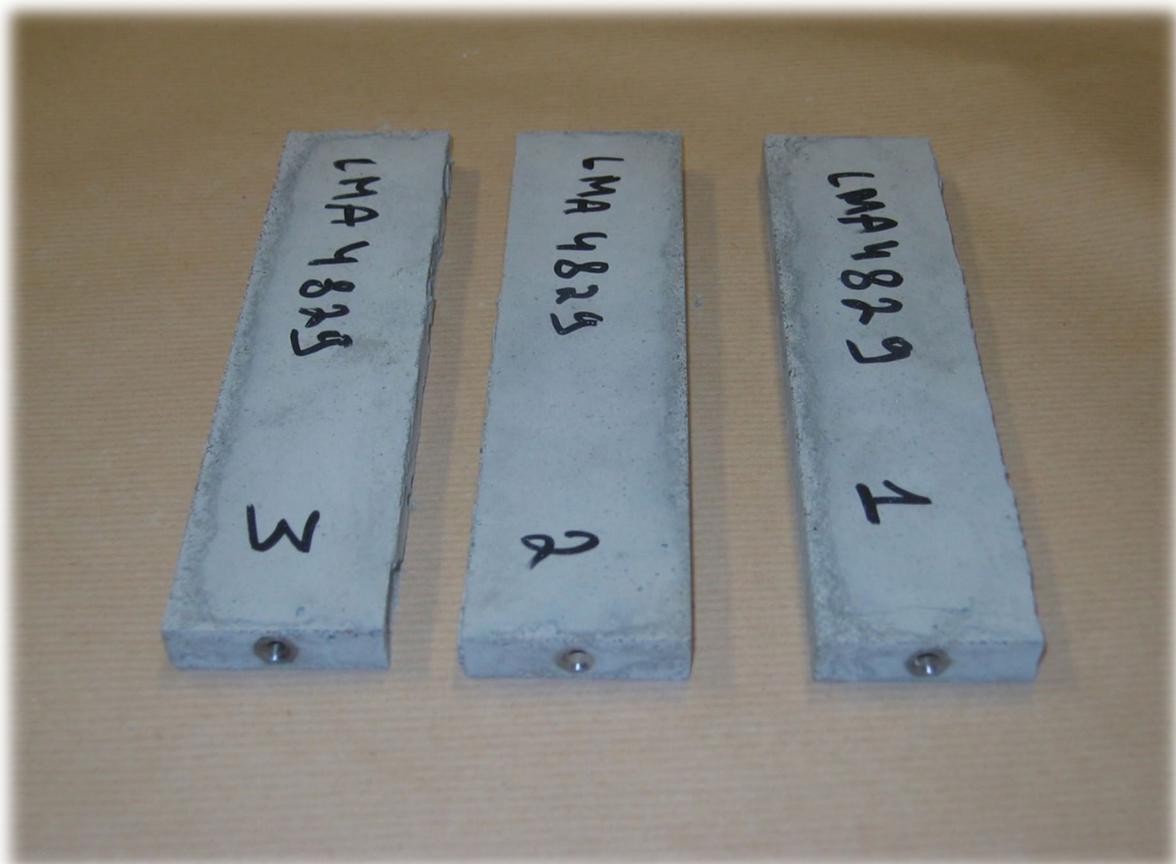
k est une fonction de n donnée au tableau ci-dessous

n Nombre de corps d'épreuve

n	k
10	1,92
11	1,89
12	1,89
13	1,85
14	1,83
15	1,82
20	1,77
40	1,70

La résistance caractéristique à la flexion doit être prise égale à:

$F_{wk} = \text{inv log}_{10}(y_c)$ N/mm² à 0,01 N/mm² près



Méthodes d'essais pour mortier de joints

Détermination de la résistance chimique des mortiers à base de résines réactives (2008)

Domaine d'application

Cette norme européenne spécifie la méthode d'essai à utiliser pour évaluer la résistance chimique de colles et mortiers de jointoiement pour carrelage dans des conditions prévisionnelles d'utilisation.

Elle s'applique aux colles et mortiers à base de résines réactives pour la pose intérieure ou extérieure sur murs ou sols.

Principe

Soumettre à 28 jours d'immersion ou plus si nécessaire dans différents bains agressifs et à diverses températures des éprouvettes cylindriques, et observer ensuite leur résistance chimique par un examen de la variation du diamètre, de la résistance à la compression, et de la perte de masse.

Eprouvettes

Dans tous les cas, un minimum de 3 éprouvettes est nécessaire pour chaque mesure, température, produit chimique et intervalle d'essai.

Les échantillons de produit doivent être des cylindres moulés de (25 ± 1) mm de diamètre et (25 ± 1) mm de hauteur, dont les faces perpendiculaires à l'axe du cylindre sont lisses, sans agent de démoulage.

Conditionner après préparation les échantillons pendant 7 jours (incluant le délai de moulage) dans les conditions standards. Après 7 jours procéder à l'essai.

Méthode d'essai

- Après la période de conditionnement, mesurer le diamètre de tous les échantillons à 0,03 mm près. Réaliser 2 mesures de diamètres perpendiculaires pour chaque échantillon et noter la moyenne arithmétique. Après la mesure du diamètre, peser tous les échantillons à 0,001 g près à l'aide d'une balance analogique et noter les valeurs. Avant immersion, décrire brièvement la couleur et l'aspect de l'échantillon ainsi que la limpidité du produit chimique.
- Placer l'échantillon pesé, devant être immergé, sur les côtés courbes dans le récipient en prenant soin de ne pas mettre des cylindres en contact entre eux.
- Ajouter environ (100 ± 5) ml de produit chimique par échantillon et placer le récipient fermé hermétiquement à la température constante requise. Remplacer le produit chimique instable aussi souvent que nécessaire de façon à maintenir la concentration et la composition chimique originale.



- Sortir l'échantillon après 28 jours d'immersion et observer les éventuelles attaques chimiques. Nettoyer l'échantillon par 3 rinçages rapides à l'eau courante propre et froide et essuyer par tamponnage à l'aide d'un papier absorbant entre les rinçages. Après le dernier essuyage, laisser sécher l'échantillon 30 min en le posant sur sa face arrondie, le peser à 0,001 g près et mesurer son diamètre. Noter toute détérioration de la surface, décoloration et dépôt sur l'échantillon.
- Déterminer la résistance à la compression pour chaque série d'échantillons:
 - immédiatement après conditionnement
 - après la période d'immersion pour chaque produit chimique et pour chaque température
 - après conditionnement dans l'air pour la durée totale de l'essai à chaque température.
- Placer chaque échantillon sous la presse de façon à assurer le contact entre les faces planes. Appliquer sur les faces planes une charge perpendiculaire correspondant à un déplacement constant de $(5,5 \pm 0,5)$ mm/min. Noter la force maximale au moment de l'écrasement de l'échantillon.

Evaluation des résultats

Variation de masse

Calculer à 0,01 % près, le pourcentage de perte de masse de l'échantillon pendant l'immersion et pour chaque période d'examen en prenant:

$$\Delta W = \left[\frac{W - C}{C} \right] \cdot 100$$

où:

ΔW Changement de masse, exprimé en pourcentage

W Masse de l'échantillon après immersion, en grammes

C Masse de l'échantillon après conditionnement initial, en grammes

Déterminer la moyenne de 3 valeurs ou plus. Un résultat positif indique un gain de masse, et un résultat négatif une perte.

Variation de diamètre

Calculer à 0,01 % près le pourcentage de variation de diamètre de l'échantillon pendant l'immersion pour chaque période d'examen, en prenant le diamètre après 7 jours de conditionnement à 100 %.

La variation de diamètre est donnée par:

$$\Delta D = \left[\frac{D_2 - D_1}{D_1} \right] \cdot 100$$

où:

ΔD Changement de diamètre, exprimé en pourcentage

D2 Diamètre de l'échantillon après la période d'immersion en millimètres

D1 Diamètre de l'échantillon après conditionnement initial en millimètres

Déterminer la moyenne de trois valeurs ou plus. Un résultat positif indique un gain de diamètre, et un résultat négatif une perte.

Variation de la résistance à la compression

Calculer à 0,01 % près le pourcentage d'augmentation ou de diminution de la résistance à la compression de l'échantillon pendant l'immersion pour chaque période d'examen, en prenant pour référence la résistance à la compression obtenue après la période de conditionnement de 7 jours dans les conditions standards comme étant 100 %.

Calculer la section de l'échantillon à partir de la valeur du diamètre mesuré en 8,1 La variation de la résistance à la compression est donnée par:

$$\Delta S = \left[\frac{S_2 - S_1}{S_1} \right] \cdot 100$$

où:

S1 Charge maximale divisée par la section de l'échantillon après la période de conditionnement, en MPa;

S2 Charge maximale divisée par la section de l'échantillon après la période d'essai, en MPa.

Un résultat avec positif indique une augmentation de résistance, et un résultat négatif une diminution.

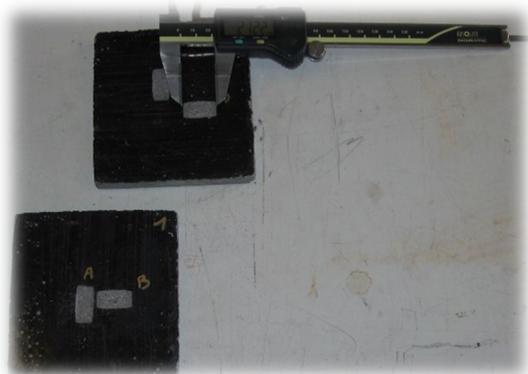
NBN EN 12808-2

Détermination de la résistance à l'abrasion (2008)

Domaine d'application

Méthode de mesure de la résistance à l'abrasion des mortiers de joints pour usage intérieur et/ou extérieur.

Principe



Deux plaques rectangulaires de 100X100X10 mm sont réalisées avec un mortier de jointolement préparé, décoffrées et conditionnées 27 jours afin d'être soumises à l'abrasion combinée de 50 tours de disque de "Capon" et de corindon (poudre abrasive), et ce alternativement dans deux directions perpendiculaires.

Les mesures des empreintes permettent de calculer les volumes de matière usée et le résultat final se calcule par la moyenne des 4 sillons.

Mode opératoire

Préparation du mortier

Les proportions et temps de repos sont conformes à la notice du fabricant.

Le malaxage est défini par la méthode suivante dans le cas d'un mortier à base de ciment:

- Verser 2 kg de poudre dans l'eau du malaxeur et malaxer le tout 30s à vitesse lente (140 ± 5) tr/min. pour la rotation, (62 ± 5) tr/min pour le mouvement planétaire)
- Retirer la pale et racler les bords dans la minute qui suit
- Remettre la pale et remalaxer 1 minute supplémentaire
- Si un temps de repos est prévu, respecter cette période puis remalaxer pendant 15s avant utilisation;

Dans le cas des mortiers à base de résines réactives, suivre les instructions du fabricant.

Préparation des éprouvettes

Placer les 2 gabarits sur une feuille de polyéthylène, y couler le mortier, les araser et les recouvrir 24 h d'une plaque en verre.

Conditionnement des éprouvettes:

Les éprouvettes sont démoulées puis conditionnées 27 jours à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5\%$ d'humidité relative.

Essai d'usure:

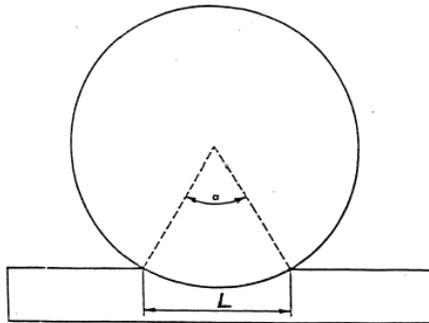
La partie lissée d'une éprouvette est fixée tangentiellement au disque rotatif. Le débit de corindon est réglé à $200 \pm 10\text{g}$ par 100 tours et réparti de manière uniforme sur le disque.

Un essai comporte 50 tours de rotation du disque exécutés respectivement dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre. On mesure la longueur L de la corde du sillon à 0,5 mm près.

La deuxième éprouvette est testée suivant la même procédure.



Schéma de principe et Calculs



La résistance à l'abrasion est exprimée par le volume V de matériau enlevé, en millimètres cubes (mm^3).

Celui-ci est calculé à partir de la longueur de la corde du sillon, par l'expression:

$$V = \left(\frac{\pi \cdot \alpha}{180} - \sin \alpha \right) \left(\frac{h \cdot d^2}{8} \right)$$

Où

$$\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{L}{d}$$

- D Diamètre du disque rotatif (en mm);
- h Epaisseur du disque rotatif (en mm);
- α Angle (en degrés) sous-tendu au centre du disque rotatif par la corde;
- L Longueur de la corde (en mm).

La méthode Capon est utilisée pour mesurer la résistance à l'usure de divers matériaux. La comparaison des différentes normes montre les différences suivantes des paramètres d'essai:

Norme	Matériau	Disque [mm]	Etalonnage			Etalonnage et essai		Essai	
			Rotations [r]	Critère [mm]	Matériau	Débit corindon	Vitesse	Rotations [r]	
14157	Pierre Naturelle	70	75r	20+/-0,5	Marbre	> 2,5 l/min	75r en 60+/-3s	75r	
14617-4	prEN (EN)	Pierre Agglomérée	10	75r	20+/-0,5	Marbre	100gr/100r	75r en 60+/-3s	75r
	EN (EN)		10	300r	32+/-0,5	Granit Autrichien	100gr/100r	300r en 60+/-3s	150r
	EN (FR)		10	300r	32+/-0,5	Granit Autrichien	100gr/100r	300r en 60+/-3s	150r
10545-6	Carreaux céramiques	10	150r	24+/-0,5	Verre	(100+/-10)gr/100r	75r en 60s	150r	
12808-2	Mortier de jointoiment	10	150r	(24+/-0,5)	(Verre)	(100+/-10)gr/100r	(75r en 60s)	50r	

Domaine d'application

Méthode de mesure de la résistance à la flexion et à la compression à l'état initial des mortiers de joints pour usage intérieur et/ou extérieur. Pour les mortiers de joints à base de ciment, les résistances à la flexion et la compression sont également déterminées après des cycles de gel-dégel.

Principe

Trois prismes de mortier 40x40x160 mm sont confectionnés, démoulés à 24 h et conditionnés 27 jours avant les essais proprement dits.

Mode opératoire

Préparation du mortier

Les proportions et temps de repos sont conformes à la notice du fabricant.

Le malaxage est défini par la méthode suivante dans le cas d'un mortier à base de ciment:

- Verser 2 kg de poudre dans l'eau du malaxeur et malaxer le tout 30s à vitesse lente (140 ± 5) tr/min. pour la rotation, (62 ± 5) tr/min. pour le mouvement planétaire)
- Retirer la pale et racler les bords dans la minute qui suit
- Remettre la pale et remalaxer 1 minute supplémentaire
- Si un temps de repos est prévu, respecter cette période puis remalaxer pendant 15s avant utilisation.

Dans le cas des mortiers à base de résines réactives, suivre les instructions du fabricant.

Préparation des éprouvettes

Le moule est fixé sur la table à chocs et est rempli de mortier jusqu'à la moitié de sa contenance. L'ensemble est soumis à 60 chocs. Une deuxième couche de mortier y est introduite et l'ensemble est soumis à 60 chocs supplémentaires.

Le mortier est ensuite arasé et recouvert d'une plaque en verre puis stocké 24h à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5\%$ d'humidité relative.

Conditionnement des éprouvettes

Au terme des 24h, les éprouvettes sont démoulées puis conditionnées 27 jours à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5\%$ d'humidité relative.

Essai de flexion:

Les prismes sont positionnés dans la presse, une face latérale sur les rouleaux d'appui et l'axe longitudinale perpendiculairement aux appuis. La charge verticale est alors appliquée suivant la procédure décrite dans le paragraphe 9,1 de la norme EN 196-1 (1994) "Méthodes d'essais des ciments. Détermination des résistances mécaniques".



Essai de compression:

Les demi-prismes obtenus au terme de l'essai de flexion sont alors testés à la compression suivant la procédure décrite en 9,3 de l'EN 196-1 (1994).

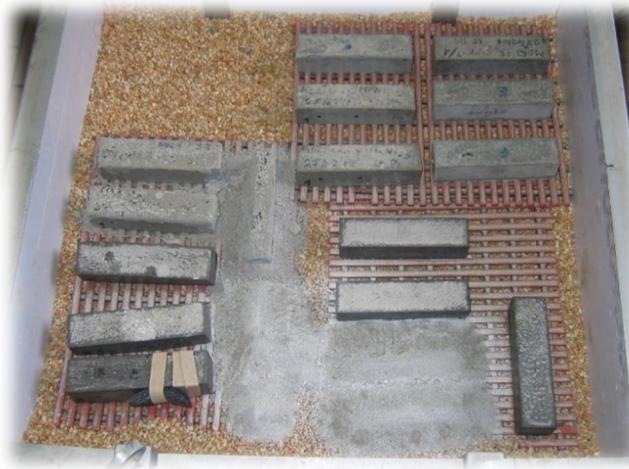
Pour les mortiers de joints à base de ciment, les résistances à la flexion et la compression sont déterminées avant et après des cycles de gel-dégel.

Après 6 jours dans des conditions standards, les éprouvettes sont immergées dans de l'eau pendant 21 jours avant d'être soumises à 25 cycles de gel-dégel.

Pour chaque cycle de gel-dégel

- retirer les éprouvettes de l'eau et abaisser la température jusqu'à $(-15 \pm 3)^\circ\text{C}$ en $2 \text{ h} \pm 20 \text{ min}$;
- maintenir les éprouvettes à $(-15 \pm 3)^\circ\text{C}$ pendant $2 \text{ h} \pm 20 \text{ min}$;
- immerger les éprouvettes dans de l'eau à $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ et maintenir la température à $(15 \pm 3)^\circ\text{C}$ pendant $2 \text{ h} \pm 20 \text{ min}$.

Après le dernier cycle, les éprouvettes sont conditionnées pendant 3 jours dans les conditions standards. Ensuite les dégâts éventuels sont constatés et les résistances à la flexion et à la compression sont déterminées.



Expression des résultats

Résistance à la flexion

La résistance à la flexion (R_f) en N/mm^2 est calculée par la formule:

$$R_f = \frac{3 \cdot F_f \cdot L}{b^3}$$

où

b Longueur du côté de la section carrée du parallélépipède (en mm);

F_f Charge appliquée au milieu du parallélépipède à la rupture (en N);

L Distance entre les appuis (en mm).

La moyenne des trois résultats obtenus est calculée à 0,1 N/mm² près.

Résistance à la compression

La résistance à la compression (R_c) en N/mm² est calculée par la formule:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Où

F_c Charge maximale à la rupture (en N);

1600 est égale à 40 mm x 40 mm soit la surface des plateaux ou des plaques auxiliaires (en mm²).

La moyenne des six résultats obtenus lors de l'essai est calculée à 0,1 N/mm² près.

NBN EN 12808-4

Détermination du retrait (2009 + AC 2011)

Domaine d'application

Méthode de mesure du retrait des mortiers de joints pour usage intérieur et/ou extérieur.

Principe

Trois prismes de mortier 10x40x160 mm sont confectionnés, démoulés et mesurés à 24 h, puis conditionnés 27 jours avant une seconde mesure (finale).

Mode opératoire

Préparation du mortier

Les proportions et temps de repos sont conformes à la notice du fabricant.

Le malaxage est défini par la méthode suivante dans le cas des mortiers à base de ciment:

- Verser 2 kg de poudre dans l'eau du malaxeur et malaxer le tout 30s à vitesse lente (140 ± 5) tr/min. pour la rotation, (62 ± 5) tr/min. pour le mouvement planétaire)
- Retirer la pale et racler les bords dans la minute qui suit
- Remettre la pale et remalaxer 1 minute supplémentaire
- Si un temps de repos est prévu, respecter cette période puis remalaxer pendant 15s avant utilisation

Dans le cas des mortiers à base de résines réactives, suivre les instructions du fabricant.

Préparation des éprouvettes

Le moule est fixé sur la table à chocs et est rempli de mortier jusqu'à la moitié de sa contenance. L'ensemble est soumis à 60 chocs. Une deuxième couche de mortier y est introduite et l'ensemble est soumis à 60 chocs supplémentaires.

Le mortier est ensuite arasé et recouvert d'une plaque en verre puis stocké 24h à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5\%$ d'humidité relative.

Les 3 éprouvettes sont démoulées et leurs longueurs initiales sont mesurées à 24 heures.

Conditionnement des éprouvettes:

Les éprouvettes sont ensuite conditionnées 27 jours à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5\%$ d'humidité relative. Les longueurs des 3 éprouvettes sont déterminées $27\text{J} \pm 12\text{h}$ après les premières mesures.

Expression des résultats

Le retrait linéaire, exprimé en mm/m, est la moyenne des 3 valeurs mesurées par rapport à la valeur initiale.



NBN EN 12808-5

Détermination de l'absorption d'eau (2008)

Domaine d'application

Méthode de détermination de l'absorption d'eau par capillarité des mortiers de joints pour usage intérieur et/ou extérieur.

Principe

Trois prismes de mortier 4x4x16 cm sont confectionnés, démoulés à 24 h, puis conditionnés 27 jours avant essai d'ascension capillaire.

Mode opératoire

Préparation du mortier

Les proportions et temps de repos sont conformes à la notice du fabricant.

Le malaxage est défini par la méthode suivante des mortiers à base de ciment:

- Verser 2 kg de poudre dans l'eau du malaxeur et malaxer le tout 30s à vitesse lente (140 ± 5 tr/min. pour la rotation, 62 ± 5 tr/min. pour le mouvement planétaire)
- Retirer la pale et racler les bords dans la minute qui suit
- Remettre la pale et remalaxer 1 minute supplémentaire
- Si un temps de repos est prévu, respecter cette période puis remalaxer pendant 15s avant utilisation

Dans le cas des mortiers à base de résines, suivre les instructions des fabricants.

Préparation des éprouvettes:

Placer dans le moule des plaques de séparation 4X4X0,1 cm afin d'obtenir, à partir des 3 prismes de 4x4x16 cm, 6 prismes de dimensions 4X4X8 cm.

Le moule est fixé sur la table à chocs et est rempli de mortier jusqu'à la moitié de sa contenance. L'ensemble est soumis à 60 chocs. Une deuxième couche de mortier y est introduite et l'ensemble est soumis à 60 chocs supplémentaires.

Le mortier est ensuite arasé et recouvert d'une plaque en verre puis stocké 24h à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5 \%$ d'humidité relative. Au bout de 24h les 6 éprouvettes doivent être retirées délicatement du moule et espacées de 25 mm pour le conditionnement.

Conditionnement des éprouvettes

Les éprouvettes sont ensuite conditionnées 27 jours à $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $50 \pm 5 \%$ d'humidité relative et les faces longitudinales sont imperméabilisées à 21 jours.

Essai de capillarité:

Au bout de 28 jours, on pèse (à 0,1g près) chaque éprouvette avant de la placer verticalement dans le bac, en positionnant une surface libre vers le bas, de manière à ce que cette dernière soit plongée dans l'eau jusqu'à une hauteur de

5 mm à 10 mm, en veillant à ce que les faces des prismes n'entrent pas en contact les unes avec les autres. Le niveau de l'eau du bac est maintenu constant tout au long de l'essai.

Après 30 min, les éprouvettes sont épongées et pesées. Elles sont ensuite replacées dans le bac.



Expression des résultats

L'absorption d'eau (W_{mt} en g) après 30 min et 240 min est calculée pour chaque éprouvette, par la formule suivante:

$$W_{mt} = m_t - m_d$$

où

m_d est la masse de l'éprouvette sèche (en g);

m_t est la masse de l'éprouvette après immersion (en g).

La moyenne de trois éprouvettes d'essai au moins est alors calculée.



Chapes

NBN EN 13813

Matériaux de chapes - Propriétés et exigences (2002)

Objet de la norme

La présente norme est celle à laquelle les matériaux pour chape destinés à la construction de planchers intérieurs doivent satisfaire pour être marqués CE, condition obligatoire pour pouvoir être mis sur le marché depuis le 1^{er} août 2004. Les exigences concernent tant le mortier frais que le mortier durci.

Classification et Exigences

Le tableau suivant reprend les caractéristiques à tester en fonction du type de liant utilisé:

Liant	Résist.	Résist. flexion	Résist. usure	Résist. usure	Résist.	Durété de	Indentation	Résist.	Temps de prise	Retrait et	Consistance	pH	Module	Résist. impact	Force
Cement	N	N	N ^a (un des 3)		O	-	O	O	O	O	O	O	O	O ^a	O
CaSO ₄	N	N	O	O	O	O	-	O	O	O	O	N	O	-	O
Magnésie	N	N	O	O	O	N ^a	-	O	-	O	O	O	O	-	O
Bitume	-	-	O	O	O	-	N	O	-	-	-	-	-	-	-
Résine	O	O	-	N ^a (un des 2)		O	-	O	-	O	O	-	O	N ^a	N

N normatif O si applicable - = non relevant
^a uniquement pour matériau de chape destiné à des surfaces d'usure

1. Résistance à la compression (EN 13892-2)

Classe	C5	C7	C1	C1	C2	C2	C3	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Résist. compression [N/mm ²]	5	7	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80

Remarque: La lettre C vient de Compression

2. Résistance à la flexion (ciment, CaSO₄, magnésie, résine > 5mm: EN 13892-2; résine ≤ 5mm: ISO 178)

Classe	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F10	F15	F20	F30	F40	F50
Résist. flexion [N/mm ²]	1	2	3	4	5	6	7	10	15	20	30	40	50

Remarque: La lettre F vient de Flexion

3. Résistance à l'usure (matériaux pour chapes destinés à des surfaces d'usure; ciment: EN 13892-3 ou -4 ou -5; résine: EN 13892-4 ou -5)

Böhme (EN 13892-3)

Classe	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Quantité d'abrasion [cm ³ /50cm ²]	22	15	12	9	6	3	1,5

Remarque: La lettre A vient de Abrasion

BCA (EN 13892-4)

Classe	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Profondeur max. d'usure [μm]	600	400	200	100	50

Remarque: Les lettres AR viennent de Abrasion Résistance (résistance à l'abrasion)

Résistance au roulement (EN 13892-5)

Classe	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA1
Quantité d'abrasion [cm^3]	300	100	20	10	1

Remarque: Les lettres RWA viennent de Rolling Wheel Abrasion (abrasion au roulement)

4. Dureté de surface (EN 13892-6, pour magnésie destinée à des surfaces d'usure, et optionnel pour les autres revêtements avec granulats fins < 4mm)

Classe	SH30	SH40	SH50	SH70	SH100	SH150	SH200
Dureté de surface [N/mm^2]	30	40	50	70	100	150	200

Remarque: Les lettres SH viennent de Surface Hardness (dureté de surface)

5. Indentation (bitume: EN 12697-20 sur cubes ou -21 sur plaques)

Sur cubes, charge appliquée 525 N, indentation en [0,1mm] (EN 12697-20)

Classes Conditions d'essai	ICH10	IC10	IC15	IC40	IC100
(22 \pm 1) $^\circ\text{C}$; 100 mm^2 ; 5 h	≤ 10	≤ 10	≤ 15	-	-
(40 \pm 1) $^\circ\text{C}$; 100 mm^2 ; 2 h	≤ 20	≤ 40	≤ 60	-	-
(40 \pm 1) $^\circ\text{C}$; 500 mm^2 ; 0,5 h	-	-	-	15-40	40-100

Remarque: Les lettres I, C et H viennent de Indentation, Cube et Heated screed (matériau pour chape chauffée)

Sur plaques, charge appliquée 525 N, indentation en [0,1mm] (EN 12697-21)

Classes Conditions d'essai	IP10	IP12	IP30	IP70
(40 \pm 1) $^\circ\text{C}$; 100 mm^2 ; 31 min	≤ 10	≤ 12	10 - 30	≤ 70

Remarque: Les lettres I et P viennent de Indentation et Plaque

Sur plaques, charge appliquée 317 N, indentation en [0,1mm] (EN 12697-21)

Classes Conditions d'essai	IP I	IP II	IP III	IP IV
45 $^\circ\text{C}$; 31,7 mm^2 ; 1 min	≤ 11	-	-	-
35 $^\circ\text{C}$; 31,7 mm^2 ; 1 min	-	≤ 9	≤ 8	≤ 30

Remarque: Les lettres I et P viennent de Indentation et Plaque

6. Résistance à au roulement avec revêtement de sol (EN 13892-7)

Classe	RWFC150	RWFC250	RWFC350	RWFC450	RWFC550
Charge de roulement [N]	150	250	350	450	550

Remarque: Les lettres RWFC viennent de Rolling Wheel Floor Covering (roulement avec revêtement de sol)

7. Temps de prise (EN 13454-2, peut être déclaré pour ciment ou CaSO_4)

- 8. Retrait et gonflement** (peuvent être déclarés pour les liants autres que le bitume, EN 13454-2 si épaisseur > 10 mm et EN 13872 si l'épaisseur du matériau est ≤ 10 mm) [mm/m]
- 9. Consistance** (peut être déclarée pour liants autres que le bitume, EN 13454-2 si la consistance est ≤ 300 mm et EN 12706 si la consistance est > 300 mm) [mm]
- 10. pH** (EN 13454-2, doit être ≥7 pour du CaSO₄ et peut être déclaré pour le ciment et la magnésie)
- 11. Module d'élasticité en flexion** (EN ISO 178, peut être déclaré pour les liants autres que le bitume)

Classe	E1	E2	E5	E10	E15	E20	Avec des multiples de 5
Module d'élasticité en flexion [kN/mm ²]	1	2	5	10	15	20	25, 30 etc.

Remarque: La lettre E vient de Elasticité

- 12. Force d'adhérence** (EN 13892-8, doit être déclarée pour la résine, et peut être déclarée pour le ciment, CaSO₄ et magnésie)

Classe	B0,2	B0,5	B1,0	B1,5	B2,0
Force d'adhérence [N/mm ²]	0,2	0,5	1,0	1,5	2,0

Remarque: La lettre B vient de Bond (adhérence)

- 13. Résistance à l'impact** (ISO 6272, doit être déclarée la résine s'il s'agit d'une surface d'usure, et peut être déclarée pour le ciment; on la désigne par les lettres IR, pour Impact Resistance) [Nm]
- 14. Caractéristiques spéciales** (doivent être déclarées lorsque des réglementations les exigent ou lorsque le fabricant choisit de déclarer des performances supplémentaires)
- Résistance électrique (EN 1801, ER Electrical Resistance) [Ohm]
 - Résistance chimique (EN 13529, CR Chemical Resistance)
 - Réaction au feu (EN 13501-1)
 - Emission de substance corrosive ou corrosivité des matériaux de chape (déclaration)
 - Perméabilité à la vapeur d'eau (EN 12086)
 - Résistance thermique (utiliser les valeurs de la EN 12524 ou tester le produit selon la EN 12664)
 - Perméabilité à l'eau (EN 1062-3)
 - Isolation au bruit d'impact (EN ISO 140-6, sur le système assemblé et non sur le matériau seul)
 - Absorption du bruit (produit testé selon EN 12354-6 et mis en place selon EN ISO 354 et 354/A1)
 - Autres caractéristiques (avec la méthode d'essai selon laquelle elles ont été déterminées)

Evaluation de la conformité

La conformité du produit doit être évaluée avec les exigences de cette norme sur base de

- 1. Essais initiaux (ITT Initial Type Testing):** au début de la production d'un nouveau produit et avant sa mise sur le marché, les essais mentionnés comme normatifs (N) dans le premier tableau ainsi que tout essai optionnel pour lequel le fabricant souhaite déclarer une valeur ou classe doivent être réalisés pour s'assurer que les propriétés prédites rencontrent les exigences de la norme et correspondent bien aux valeurs déclarées. Cette démarche doit également être entreprise lors d'un changement dans les spécifications, les matières premières ou le procédé de fabrication.
- 2. Maîtrise de la production (FPC Factory Process Control):** un plan de maîtrise de la production doit être établi et documenté dans le Manuel Qualité. Il se compose de procédures de contrôle interne de la production pour s'assurer que les produits mis sur le marché sont conformes à la norme et à leur classification. Un système FPC conforme à la norme ISO 9001 et incluant les exigences de la présente norme est satisfaisant.

Le contrôle interne consiste en

- Des contrôles vérifications et essais réguliers et l'utilisation des résultats pour contrôler les équipements, les matières premières et le procédé de fabrication
- Des contrôles vérifications et essais réguliers sur le produit fini
- Tous les résultats des contrôles doivent être enregistrés dans le Manuel Qualité.

Un plan d'échantillonnage doit être établi avec les fréquences requises d'essai, tenant compte de la nature du produit, de la procédure particulière d'essai, de la portée du résultat d'essai et de l'enregistrement global des résultats d'essais antérieurs.

Les éléments à inclure dans le Manuel Qualité sont:

Contrôle des processus

- *Matériaux entrants:* critères d'acceptation et procédure utilisées pour leur vérification
- *Processus de production:* fréquences d'essais et inspections, valeurs des exigences sur les équipements et travaux, procédures de traitement des non conformités, résultats d'essais d'étalonnage des équipements

Matériau pour chape

- *Essais sur le matériau:* plan d'échantillonnage, résultats des essais
- *Essais alternatifs:* d'autres méthodes que celles citées dans la présente norme peuvent être utilisées pour autant que l'équivalence des résultats avec la méthode de référence soit prouvée. La méthode et ses limites d'acceptation doivent être mentionnées
- *Équipement d'essai:* plan d'étalonnage

Traçabilité: système de traçabilité et contrôle des matériaux entrants, système de contrôle des stocks (produits à durée de vie définie), méthode de traitement des produits non conformes

Étiquetage: seuls les produits conformes aux exigences de la présente norme peuvent être étiquetés comme conformes à l'EN 13813

Registres:

- d'étalonnage et vérification des équipements d'essai
- de contrôle des matières premières
- du procédé de fabrication (identification et masse des lots)
- des résultats d'essais sur le produit

Désignation

La désignation comprend:

- Le type de chape: CT ciment
CA CaSO₄
MA magnésie
AS bitume
SR résine synthétique
- Les classes pour chaque exigence normative (et optionnelle si souhaité) (cfr. tableaux)

Exemples:

EN 13813 CT-C20-F4

Chape à base de ciment (CT), résistance en compression (C) 20N/mm² et en flexion (F) 4N/mm²

EN 13813 MA -C50-F10-SH150

Chape à base de magnésie (MA), compression 50N/mm², flexion 10N/mm², dureté de surface (SH) 150 N/mm²

EN13813 AS-IC10

Chape à base de bitume (AS), résistance à l'indentation (IC) ≤10N/mm²

EN 13813 SR-B2,0-AR1-IR4

Chape à base de résine synthétique (SR), force d'adhérence (B) 0,2 N/mm², profondeur d'usure max. BCA (AR) 100µm, résistance à l'impact (IR) 4 Nm

Marquage, étiquetage et emballage

Les éléments suivants doivent apparaître sur l'emballage ou sur le bon de livraison:

- Désignation
- Nom du produit

- Quantité
- Date de fabrication et durée de vie en stockage
- Référence du lot ou numéro de production
- Diamètre maximal des granulats ou plage d'épaisseur prévue
- Instructions pour le mélange et l'application
- Exigences de sécurité et santé
- Nom et adresse du fabricant ou fournisseur

Critères de conformité et procédure d'évaluation

La conformité doit être évaluée sur base d'un système basé sur une analyse statistique continue ou sur des résultats individuels.

- Analyse statistique: par variables ou par attributs
- Analyse des résultats individuels: tous les résultats doivent être conformes ou avoir un écart favorable par rapport à la classe déclarée

Particularités

Les échantillons doivent être préparés et conditionnés selon la norme EN 13892-1.

L'âge auquel les performances doivent être atteintes est également mentionné dans la norme EN 13892-1. Lorsque le fabricant peut démontrer que les classes de propriétés requises sont atteintes à un plus jeune âge, cet âge peut être inclus dans la désignation pour autant que toutes les valeurs déclarées soient atteintes à cet âge.

Les propriétés des chapes mesurées sur site et en labo ne peuvent pas toujours être comparées directement, étant donné les variations possibles de mélange, compactage et cure.

Comparaison avec la NIT 189 'Les chapes pour couvre-sols' du CSTC

	EN 13813	NIT 189 - CSTC
Résistance en compression	Selon EN 13892-2 sur éprouvettes 4x4x16 cm ³ réalisées en laboratoire (compactage à la table à chocs), utilisées successivement pour l'essai de flexion et de compression à 28 jours. Cure (pour une chape à base de ciment): 2 jours dans le moule à 95 ± 5 %HR et 20 ± 2°C, 5 jours hors du moule à 95 ± 5 %HR et 20 ± 2°C, puis 21 jours à 65 ± 5 % HR et 20 ± 2°C.	Sur éprouvette débitées dans des dalles témoins de 40x40x6 cm ³ (2 par semaine de travail recommandées) dont une est conservée dans les conditions du chantier et une à > 90 %HR et 18 ± 3°C. Les éprouvettes sont des cylindres φ 50 mm - h 45 mm ou cubes de 50 mm d'arête. L'essai est effectué à 28 jours.
Résistance en flexion	Selon EN 13892-2 sur éprouvettes réalisées en labo comme décrit pour l'essai de compression	Sur éprouvettes sciées de maximum 6 cm de hauteur h, de largeur supérieure ou égale à h (5 à 6 cm), et avec une distance entre les rouleaux d'appui ≥ 4h, et de longueur ≥ 4h + 2x1cm. Cure non spécifiée.
Qualité de la surface	Résistance Böhme (EN 13892-3) ou BCA (EN 13892-4) ou au roulement (EN 13892-5)	Résistance au poinçonnement dynamique mesurée à 28 jours à l'aide d'un poinçon cylindrique de 500 mm ² de section posé

	<p>Dureté de surface (EN 13892-6)</p> <p>Résistance à l'indentation (chapes à base de bitume, EN 12697-20 ou -21)</p> <p>Résistance au roulement avec revêtement (EN 13892-7)</p> <p>Force d'adhérence (EN 13892-8)</p> <p>Résistance à l'impact (ISO 6272)</p>	<p>sur la chape, sur lequel on laisse tomber une masse de 4 kg d'une hauteur de 1 m. La profondeur de l'empreinte est mesurée après 4 chocs exercés au même endroit.</p>
--	---	--

NBN EN 13318

Terminologie (2000)

Principe

Les termes en relation avec la fabrication et la mise en œuvre des produits pour les chapes et des chapes sont définis.

Les définitions sont regroupées selon les catégories suivantes:

- Termes de base: support, chape, chape à base d'émulsion de bitume /de ciment /de magnésie /de sulfate de calcium, couche d'usure, résine synthétique, ...;
- Matériaux – produits: matériau pour chape (mortier), granulats, adjuvants, retardateur, armature, matériau d'isolation, ...;
- Types de chapes: incorporée, adhérente, non adhérente, flottante, armée, ...;
- Caractéristiques des matériaux de chape: terre-humide, chape fluide, autolissant, rapport eau/liant, consistance, ...;
- Caractéristiques des chapes finies: planéité, niveau, forme de pente, résistance à l'abrasion, dureté de surface, force d'adhérence, porosité, faïençage, efflorescence, cintrage, ...;
- Détails constructifs: joint, joint d'arrêt de coulage /de retrait /de dilatation, bande de désolidarisation, système d'étanchéité, ...;
- Eléments de construction: couche de séparation /de finition, ravoirage, enduit de lissage, couche d'accrochage, ...;
- Travaux de finition: tirer à la règle, talochage, ponçage, saupoudrage, ...;
- Divers: poids propre, charge utile, niveau de référence, carotte,

Particularités

- Les définitions sont exprimées dans les trois langues (anglais – français – néerlandais) en parallèle.
- Les termes définis s'appliquent à toutes les autres normes du TC 303 "Chapes dans la construction".

Objet de la norme

La présente norme spécifie une méthode pour procéder à l'échantillonnage des matériaux pour chapes, à la confection et à la cure des éprouvettes destinées aux essais ultérieurs. Elle s'applique aux chapes à base de ciment, sulfate de calcium, magnésie ou résine synthétique (l'asphalte coulé n'est pas pris en considération).



Résumé

Un échantillon de minimum 5 kg doit être prélevé à l'aide d'une pelle d'échantillonnage d'une capacité de minimum 1l. Les éprouvettes doivent être réalisées immédiatement après le prélèvement.

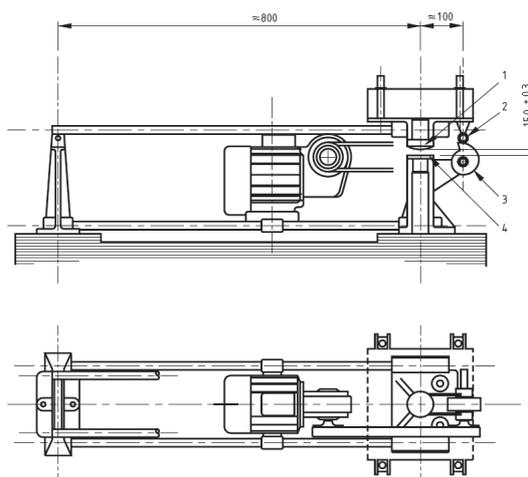
Le malaxage doit être effectué conformément aux recommandations du fabricant, avec la quantité d'eau ou de liquide indiquée (ou la moyenne de la plage indiquée). Le laboratoire, l'équipement et les produits utilisés doivent être à une température de $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Selon la quantité à réaliser, on utilisera un malaxeur de mortier (EN 196-1) (volume $\leq 1,5 \text{ dm}^3$ ou masse de 1 à 3 kg) ou un malaxeur de béton (volume $\leq 50 \text{ dm}^3$ ou masse de 25 à 50 kg). Les matériaux solides seront d'abord mélangés, on ajoutera ensuite l'eau en 15 s en malaxant lentement, puis on continuera le malaxage soit 105 s (45 s puis nettoyage des bords à la spatule puis 60 s) pour le malaxeur de mortier, soit entre 120 et 180 s (jusqu'à homogénéité) pour le malaxeur à béton. Un autre type de malaxeur peut être utilisé s'il est recommandé par le fabricant.

Les moules doivent être conçus en acier ou tout autre matériau comparable non réactif au matériau pour chape. Les dimensions des éprouvettes varient en fonction de l'essai à réaliser. Il s'agit généralement de barrettes: 40 mm x 40 mm x 160 mm, 80 mm x 10 mm x 4 mm, ... ou de dalles: 500 mm x 500 mm x d, 300 mm x 300 mm x d, ..., avec un nombre requis d'éprouvettes variant de 1 à 6.

Essai	Norme	Taille L - l - d ^a (mm)	Nombre Requis
Résistance flexion et compression	EN 12892-2	160 – 40 – 40	3
	EN ISO 178	80 – 10 – 4	
Résistance usure Böhme	EN 13892-3	71 – 71 – d ^a	3
Résistance usure BCA	EN 13892-4	500 – 500 – d ^a	1
Résistance usure roulement	EN 13892-5	500 – 500 – d ^a	1 + 1
Dureté de surface	EN 13892-6	160 – 40 – 40	3
Retrait/gonflement	EN 13454-2	160 – 40 – 40	3
Résistance roulement avec revêtement	EN 13892-7	350 – 350 – d ^a	3 + 3
Force d'adhérence	EN 13892-8	300 – 300 – d ^a	2
Module d'élasticité	EN ISO 178	80 – 10 – 4	3
Résistance à l'impact	EN ISO 6272	300 – 300 – d ^a	1
^a Epaisseur d'application prévue seulement ou épaisseur d'application sur dalle de support			

Les moules doivent être étanches et préalablement nettoyés et lubrifiés. Ils doivent être remplis en une fois (matériaux fluides) ou en deux couches égales compactées selon la NBN EN 196-1 (avec la table à secousses représentée ci-dessous, 60 chocs après chacune des deux couches) et arasées.



Les moules pour les éprouvettes de 160 mm x 40 mm x 40 mm doivent répondre aux exigences suivantes:

- *Précision dimensionnelle*: $\pm 0,25$ % de la dimension considérée (moyenne de 4 mesurages à des points symétriques, sans écarts de plus de $\pm 0,5$ % pour chaque valeur individuelle)
- *Planéité*: la surface de chaque face intérieure doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,03 mm
- *Equerrage*: les angles intérieurs doivent être de $90^\circ \pm \tan^{-1}(0,005)$
- *Rugosité*: $\leq 3,2$ μm Ra pour chaque face intérieure

Si les essais sont effectués sur des supports en béton, la résistance en traction de la surface du béton doit être égale à au moins 1,5 N/mm².

Les éprouvettes doivent être stockées en chambres climatiques: (95 \pm 5) % RH, (65 \pm 5) % RH ou (50 \pm 5) % RH et (20 \pm 2)°C ou (23 \pm 2)°C en fonction de la nature du liant, d'abord dans le moule pendant un nombre donné de jours, puis hors du moule pour un nombre de jours donné également.

Matériaux à base de	Température de stockage (°C)	Temps de stockage (jours)					
		Dans le moule			Hors du moule		
		95 \pm 5 % RH	65 \pm 5 % RH	50 \pm 5 % RH	95 \pm 5 % RH	65 \pm 5 % RH	50 \pm 5 % RH
Ciment	20 \pm 2	2	-	-	5	21	-
Sulfate de calcium	20 \pm 2	2	-	-	-	26	-
Magnésie	20 \pm 2	-	1	-	-	27	-
Résine synthétique	23 \pm 2	-	-	1	-	-	27

Objet de la norme

La présente norme spécifie une méthode permettant de déterminer la résistance à la flexion et à la compression sur des éprouvettes de mortier moulées, confectionnées avec des matériaux pour chapes à base de ciment, sulfate de calcium, magnésie ou résine synthétique.

Principe

La résistance à la flexion est déterminée par la charge nécessaire pour provoquer la rupture de l'éprouvette soumise à un effort de flexion appliqué au point médian. Les deux moitiés résultant de cette rupture sont utilisées pour l'essai de compression.

La résistance à la compression est déterminée par la charge nécessaire pour provoquer la rupture de l'éprouvette soumise à une charge de compression uniformément répartie sur une portion du prisme.

Nombre d'échantillons

Trois éprouvettes.

Dimensions des échantillons

Prismes de 160 mm x 40 mm x 40 mm.

Les tolérances sur les échantillons sont celles des moules (cfr. NBN EN 13892-1).

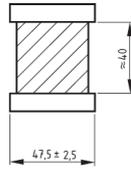
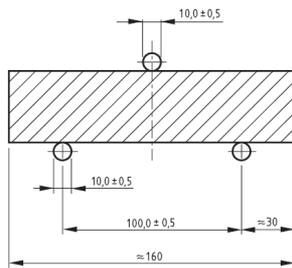
L'essai

Les vitesses de montée en charge sont les suivantes:

- Essai de flexion: 50 N/s \pm 10 N/s
- Essai de compression: 2400 N/s \pm 200 N/s

La machine et les bancs d'essai sont les mêmes que ceux utilisés pour l'essai de détermination de la résistance en compression des ciments (NBN EN 196-1 : Méthodes d'essais des ciments - Partie 1: Détermination des résistances mécaniques). La machine doit être telle que la rupture se produise dans la partie de la plage de mesure dont la charge indiquée est certifiée à ± 2 % (normalement dans les quatre cinquièmes supérieurs de la plage de mesure) (classe 2 selon EN ISO 7500-1).

- Essai de flexion:
 - 3 rouleaux de diamètre (10 \pm 0,5) mm et longueur entre 44 et 50 mm
 - Distance entre les deux rouleaux inférieurs (100 \pm 0,5) mm
 - Rouleau supérieur placé de manière centrale entre les deux autres



- Essai de compression:

- 2 plaques d'appui en carbure de tungstène ou en acier
 - dureté de Vickers ≥ 600 HV (EN ISO 6507-1)
 - longueur 40 mm; largeur $(40 \pm 0,1)$ mm; épaisseur 10 mm
 - tolérance de planéité pour les faces en contact 0,01 mm



Formules

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{bd^2}$$

R_f Résistance à la flexion [N/mm²]

F_f Charge nécessaire pour provoquer la rupture lors de l'essai de flexion [N]

l Distance entre les axes des rouleaux support pour l'essai de flexion [mm]

b Largeur de l'éprouvette sous le rouleau central pour l'essai de flexion [mm]

d Epaisseur de l'éprouvette sous le rouleau central pour l'essai de flexion [mm]

$$R_c = F_c / A$$

R_c Résistance à la compression [N/mm²]

F_c Charge nécessaire pour provoquer la rupture lors de l'essai de compression [N]

A Surface de l'éprouvette d'essai de compression en contact avec les plaques d'appui (surface nominale 40 mm x 40 mm = 1600 mm²)

Les valeurs individuelles de résistance sont arrondies aux 0,05 N/mm² les plus proches et les valeurs moyennes aux 0,1 N/mm² les plus proches.

Particularités

Les éprouvettes doivent être testées 28 jours après le moulage. Elles sont confectionnées selon la norme EN 13892-1 et stockées selon le tableau suivant:

Matériaux à base de	Température de stockage (°C)	Temps de stockage (jours)					
		Dans le moule			Hors du moule		
		95 ± 5 % RH	65 ± 5 % RH	50 ± 5 % RH	95 ± 5 % RH	65 ± 5 % RH	50 ± 5 % RH
Ciment	20 ± 2	2	-	-	5	21	-
Sulfate de calcium	20 ± 2	2	-	-	-	26	-
Magnésie	20 ± 2	-	1	-	-	27	-
Résine synthétique	23 ± 2	-	-	1	-	-	27

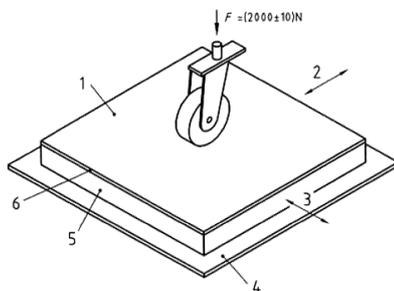
Détermination de la résistance à l'usure par roulette pivotante – Méthodes pour matériaux de chape avec couche d'usure (2003)

Objet de la norme

Méthode permettant de déterminer la résistance à l'usure due au roulement d'une roue lourdement chargée, sur des éprouvettes de mortier moulées confectionnées avec des matériaux de chapes à base de ciment ou de résine synthétique utilisés en couche d'usure.

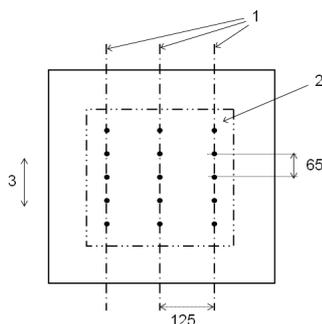
Principe

Passages répétés d'une roulette lourdement chargée sur des dalles couvertes d'un matériau pour chapes, dans deux directions perpendiculaires, à des fréquences différentes, générant des contraintes de cisaillement perpendiculaires sur le matériau pour chapes. Ce sont le support et l'éprouvette qui se déplacent, la position de la roulette étant fixe. La durée du test est de 1000 cycles dans le sens longitudinal, soit environ 24 heures. Si une dégradation importante se produit avant ce nombre de cycles, le matériau ne satisfait pas à l'essai.



- 1 Éprouvette
- 2 Course (260 ± 2) mm / Fréquence (1,71 ± 0,1) cycles par minute
- 3 Course (390 ± 2) mm / Fréquence (7 ± 0,4) cycles par minute
- 4 Table support
- 5 Dalle de béton
- 6 Chape

Un pont de mesure en acier rigide doit être utilisé, comportant 5 positions dans lesquelles la jauge de profondeur peut être installée. Ce pont est placé parallèlement à un des côtés de l'éprouvette, dans trois positions espacées de 125 mm, centrées sur l'éprouvette. Pour chaque point, on mesure la profondeur d'usure (différence des lectures avant et après essai), puis on calcule la moyenne.



- 1 Positions du pont de mesure
- 2 Zone abrasée
- 3 Sens du mouvement longitudinal

Nombre d'échantillons

3

Dimensions des échantillons

500 mm x 500 mm x d

$d \geq 50$ mm

pour des épaisseurs plus faibles, le matériau peut être placé sur un support en béton (cfr. EN 13892-1)

Formules

$$RWA = 0,11 \cdot d$$

RWA Résistance à l'usure par roulette pivotante ou volume abrasé [cm³]

d Profondeur moyenne d'usure [µm]

Cette équation suppose que la surface abrasée est de 1100 cm².

La valeur moyenne des trois échantillons est calculée.

Particularités

Les éprouvettes doivent être confectionnées selon la norme EN 13892-1 et stockées comme suit:

Matériaux à base de	Température de stockage (°C)	Temps de stockage (jours)					
		Dans le moule			Hors du moule		
		95 ± 5 % RH	65 ± 5 % RH	50 ± 5 % RH	95 ± 5 % RH	65 ± 5 % RH	50 ± 5 % RH
Ciment	20 ± 2	2	-	-	5	21	-
Sulfate de calcium	20 ± 2	2	-	-	-	26	-
Magnésie	20 ± 2	-	1	-	-	27	-
Résine synthétique	23 ± 2	-	-	1	-	-	27

NBN EN 13892-6

Détermination de la dureté superficielle (2003)

Objet de la norme

Méthode permettant de déterminer la dureté de surface sur des éprouvettes de mortier moulées, confectionnées avec des matériaux pour chapes à base ciment, sulfate de calcium, magnésie ou résine synthétique, uniquement avec des granulats ≤ 4 mm.

Principe

Mesurer la profondeur d'indentation permanente produite par la charge appliquée sur une bille en acier. La dureté de surface est la charge sur la bille divisée par la surface de l'empreinte.

La bille est placée sur la face supérieure de l'éprouvette brute. La charge initiale ($10 \pm 0,1$ N) est appliquée doucement sur la bille, ensuite la charge principale (500 ± 5 N) est appliquée doucement et maintenue 1 minute, puis la charge est ramenée au niveau de la précharge ($10 \pm 0,1$ N). Après 1 minute, on mesure la profondeur d'indentation t , au-delà de la valeur correspondant à la charge initiale.

Nombre d'échantillons

3

Dimensions des échantillons

160 mm x 40 mm x 40 mm

Remarque

les éprouvettes peuvent être ensuite utilisées pour les mesures de flexion et de compression

Formules

$$SH = \frac{F}{d \cdot \pi \cdot t}$$

SH Dureté de surface [N/mm^2] = moyenne des mesures effectuées sur les 3 éprouvettes

F Charge principale, (500 ± 5) [N]

d Diamètre de la bille en acier = 10 [mm]

t Profondeur de l'indentation [μm]

F_v Charge initiale, ($10 \pm 0,1$) [N]

Particularités

- Uniquement avec granulats ≤ 4 mm
- Les éprouvettes doivent être confectionnées selon la norme EN 13892-1 et stockées comme suit:

Matériaux à base de	Température de stockage (°C)	Temps de stockage (jours)					
		Dans le moule			Hors du moule		
		95 ± 5 % RH	65 ± 5 % RH	50 ± 5 % RH	95 ± 5 % RH	65 ± 5 % RH	50 ± 5 % RH
Ciment	20 ± 2	2	-	-	5	21	-
Sulfate de calcium	20 ± 2	2	-	-	-	26	-
Magnésie	20 ± 2	-	1	-	-	27	-
Résine synthétique	23 ± 2	-	-	1	-	-	27



Granulats

Principe

L'essai consiste à séparer, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes.

Le procédé adopté est le tamisage par lavage suivi d'un tamisage à sec. Lorsque le lavage peut altérer les caractéristiques d'un granulat léger, un tamisage à sec doit être utilisé.

Les masses des grains retenues sur les différents tamis sont rapportées à la masse initiale de l'échantillon. Les pourcentages cumulés passant à travers chaque tamis sont présentés sous forme numérique et si nécessaire sous forme graphique.

Taille des échantillons

On peut retrouver dans la norme la taille des échantillons classée selon la densité du granulat et son diamètre granulométrique maximum.

Tableau 1: Masse des prises d'essais pour des granulats courants de masse volumique entre 2000 et 3000 kg/m³

Dmax mm	Masse de la prise d'essai minimale kg
90	80
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

- Pour les autres diamètres: interpoler.
- Pour les autres masses volumiques: correction pour obtenir même volume.

Réalisation

L'essai est réalisé en deux phases sur un matériau séché en étuve.

Dans une première phase, le tout est lavé à l'eau sur un tamis de 63µm (éventuellement protégé par un tamis de 1 ou 2 mm). Le refus est à nouveau séché et pesé en vue de déterminer la teneur en fines. Ce matériau séché est ensuite amené dans le haut de la colonne de tamisage et entièrement tamisé jusqu'à masse constante. La masse est considérée comme constante quand la masse retenue sur le tamis après secouage manuel durant 1 minute se modifie de moins de 1 %.



Formule

$$r_i = \frac{R_i}{M_1}$$

où

r_i : Pourcentage retenu sur le tamis i

R_i : Refus en masse sur le tamis i

M_1 : Masse de l'échantillon au début de l'essai

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

où

f : Pourcentage de fines ($< 63\mu\text{m}$)

M_1 : Masse séchée de la prise d'essai en kg

M_2 : Masse séchée du refus au tamis de $63\mu\text{m}$

P : Masse du tamisat restant dans le fond, en kg

Le résultat est exprimé avec une précision de 0,1.

Quelques particularités

- L'annexe A contient une feuille quadrillée sur laquelle on peut éventuellement dessiner la courbe de tamisage.
- L'essai peut également être réalisé si les granulats sont sensibles à une température plus élevée et, par conséquent, ne peuvent pas être séchés à 110°C . La méthode modifiée à suivre est décrite à l'annexe B.
- L'annexe C contient un exemple de calcul.
- La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures dans l'article 83 de son amendement de 2006.

Evaluation des caractéristiques de surface - Coefficient d'écoulement des granulats (2014)

Principe

Le coefficient d'écoulement d'un granulat est le temps, exprimé en secondes, mis par un volume spécifié de granulats pour s'écouler à travers une ouverture donnée, dans des conditions précises, en utilisant un appareillage normalisé.

Echantillons dans le cas des gravillons

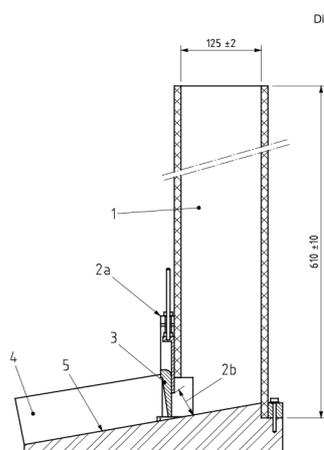
Granulats élémentaires 4/6,3 mm, 6,3/10 mm, 10/14 mm, 4/10 mm ou 4/20 mm. Sélectionner la classe granulaire élémentaire représentant la majeure partie de la classe granulaire. La masse de la prise d'essai doit être à 50 g près égale à $10000 \frac{\rho_p}{2,7}$ g où ρ_p est masse volumique préséchée en Mg/m^3 du granulat.

Echantillons dans le cas des sables

La masse de la prise d'essai 0,063/2 mm doit être à 2 g près égale à $1000 \frac{\rho_p}{2,7}$ g où ρ_p est la masse volumique pré-séchée en Mg/m^3 du sable.

Procédure d'essai dans le cas des gravillons

- Préparer les gravillons de référence LRPC 6,3/10 en tamisant ceux-ci de façon à obtenir (5000 ± 10) g de 6,3/8 et de 8/10. Mélanger les deux fractions ensuite.
- L'ensemble d'écoulement représenté ci-dessous est placé sur une table vibrante mise en mouvement au moins 5 minutes avant l'essai.
- L'ouverture du volet est de $(42 \pm 0,2)$ mm sauf dans le cas de la fraction 4/20 où elle est à $(60,0 \pm 0,2)$ mm et dans le cas où la valeur moyenne obtenue avec le matériau de référence s'écarte trop du temps d'écoulement du matériau de référence (100 s pour LRPC). L'obturateur est fermé.
- Placer l'échantillon et, (20 ± 5) s plus tard, ouvrir l'obturateur.
- Laisser s'écouler 1 kg de granulats, déclencher le chronomètre et arrêter le chronomètre une fois que $1 + 7 \frac{\rho_p}{2,7}$ kg de granulats se sont écoulés. Noter ce temps d'écoulement à 0,1 s près.
- Répéter 5 fois l'essai.



- 1 Tube porteur d'échantillon
- 2a Volet
- 2b Ouverture réglable de (40 ± 1) mm à (60 ± 1) mm
- 3 Obturateur mobile
- 4 Couloir d'écoulement
- 5 Pente de $10,0 \pm 0,5^\circ$

Formule

$$E_c = E_{cm} + (E_R - E_{ce})$$

où

E_{cm} Temps d'écoulement moyen de la prise d'essai, en secondes.

E_R Temps d'écoulement du matériau de référence, pris égal à 100 s pour le matériau de référence LRPC.

E_{ce} Temps d'écoulement moyen de la prise d'essai de référence, en secondes.

Le résultat est exprimé à la seconde la plus proche

Remarques

- Le mode opératoire diffère pour les sables. Le temps d'écoulement du sable de référence est de 32 secondes. Un dispositif doit être ajouté et le temps mis pour l'écoulement de tout l'échantillon est déterminé.
- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure sont reprises dans la norme
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

NBN EN 933-9

Qualification des fines – Essai au bleu de méthylène (2009 + A1 (2013))

Principe

Des doses d'une solution de bleu de méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai de sable fin ou de fines dans l'eau. L'adsorption de la solution colorée par la prise d'essai est vérifiée après chaque addition de solution en effectuant un test à la tache sur du papier filtre pour déceler la présence de colorant libre.

Lorsque la présence de colorant libre est confirmée, la valeur de bleu de méthylène (MB dans le cas de la fraction 0/2 mm ou MB_F dans le cas de la fraction 0/0,125 mm) est calculée et exprimée en grammes de colorant adsorbé par kg de la fraction granulaire testée.

Echantillons

Deux sous-échantillons d'au moins 200g de la fraction 0/2 mm ou de $30 \pm 0,1$ g de la fraction sèche 0/0,125 mm.

Procédure d'essai

- Déterminer la teneur en eau d'un sous-échantillon après un séchage à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante et vérifier que la deuxième prise d'essai recalculée séchée M_1 est d'au moins 200g dans le cas de la fraction 0/2 mm.
- Préparer la suspension en ajoutant 500 ± 5 ml d'eau déminéralisée à la prise d'essai et agiter 5 minutes à 600 ± 60 tr/min.
- Ajouter 5ml de solution de colorant, agiter à 400 ± 40 tr/min pendant au moins 1 min et effectuer un test à la tâche. Lors de ce test, une goutte de suspension est prélevée permettant un dépôt ayant un diamètre entre 8 et 12 mm. Si une auréole persistante d'environ 1 mm apparaît, le test est positif.
- En cas de test négatif, répéter l'opération précédente jusqu'à l'obtention d'une auréole restant visible pendant 5 min. Si l'auréole reste visible durant 4 min, ajouter 2ml de solution de colorant.
- Si la quantité de fines présentes dans la prise d'essais ne permet pas d'obtenir une auréole, ajouter une quantité connue de kaolinite.

Formule

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10 \text{ (à } 0,1\text{g près de colorant par kg de fraction } 0/2\text{mm)}$$

Où

MB Valeur au bleu de méthylène

M_1 Masse de la prise d'essai en g

V_1 Volume total de solution de colorant injectée en ml

Dans le cas d'ajout de kaolin, le volume de solution absorbée par la kaolin doit être soustrait du volume total de solution de colorant injectée.

La formule pour l'obtention de MB_F est similaire.

Remarques

- Aucune valeur de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure n'est reprise dans la norme.

- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

Détermination de la teneur potentielle en matières humiques des granulats (2013)

Principe

La teneur en matières humiques est estimée d'après la couleur qui se forme lorsqu'une prise d'essai est agitée dans une solution d'hydroxyde de sodium. Cette méthode est basée sur le fait que les matières humiques développent une couleur sombre par réaction avec le NaOH. La couleur est comparée avec celle de solution étalon.

Echantillons

Diamètre nominal maximal du granulat mm	Masse minimale de sous-échantillon kg
63	50
45	35
31,5	15
22,4 ou moins	5

Procédure d'essai

- Sécher à $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$ le sous-échantillon.
- Tamiser l'échantillon sur le tamis de 4 mm et garder la fraction retenue sur le tamis.
- Verser dans une bouteille de verre de 450 ml (et diamètre extérieur de 70 mm) une solution à 3 % de NaOH jusqu'à une hauteur de 80 mm.
- Verser la prise d'essai jusqu'à ce que la hauteur du granulat et de la solution atteigne 120 mm.
- Secouer la bouteille pour permettre aux bulles de s'échapper, boucher la bouteille et secouer pendant 1 min.
- Après 24h, comparer la couleur avec celle de la solution étalon.

Remarques

- Des valeurs de r (répétabilité) et de R (reproductibilité) permettant d'apprécier la précision de la mesure sont reprises dans la norme.
- Il n'y a pas de version néerlandaise de la norme disponible auprès du NBN.

Principe

La norme NBN EN 1097-1 décrit la méthode d'essai micro-Deval utilisée en vue de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulats. Au cours de l'essai, un échantillon de granulométrie imposée (10/14) est placé avec de l'eau et des billes d'acier dans un cylindre en rotation. Les granulats sont, de ce fait, soumis à une usure. Lorsque la rotation est terminée, le refus sur un tamis de 1,6 mm est utilisé pour calculer le coefficient de micro-Deval. Plus la valeur micro-Deval est petite, plus le granulat résiste à l'usure.

Taille des échantillons

Au moins 2 kg de granulats de la fraction 10/14 mm est fourni au laboratoire.

Cet échantillon sera décomposé en fractions et un nouvel échantillon composé avec une courbe de tamisage prédéfinie sera formé au départ de ces fractions. Ce nouvel échantillon est limité à 500 ± 2 g.



Réalisation

L'échantillon est placé dans un broyeur en acier avec 5 kg de billes d'acier et 2,5l d'eau. On fait tourner les cylindres entièrement normalisés, parfaitement lisses à l'intérieur pendant 12000 ± 10 tours à une vitesse de 100 ± 5 tours par minute.

Après ces rotations, l'éprouvette (séchée) est tamisée sur un tamis de 1,6 mm. Le refus à ce tamis est une mesure de la résistance à l'usure.

Formule

$$M_{DE} = \frac{500 - m}{5}$$

où

M_{DE} Coefficient micro-Deval

M Masse de fraction refusée au tamis de 1,6 mm en gramme.

Le résultat est exprimé à 0,1 unité près.

Quelques particularités

- L'annexe A décrit les essais sur du ballast de chemins de fer.
- L'essai peut également être réalisé à l'état sec. Cette variante est décrite à l'annexe B.
- L'annexe C élargit l'essai à d'autres classes granulométriques. L'essai peut également s'effectuer sur les classes granulométriques de 4 à 6,3 mm, 4 à 8 mm, 6,3 à 10 mm, 8 à 11,2 mm et 11,2 à 16 mm. Quand l'essai micro-Deval est réalisé sur ce genre de classes granulométriques, il faut le mentionner clairement dans le rapport d'essai pour des raisons d'interprétation ultérieure. En effet, les granulats peuvent donner des résultats différents en fonction des différentes classes granulométriques.
- Hormis l'annexe A, la version de 2011 n'est pas différente de celle de 1996. L'annexe C a été publiée en 2003 en complément de la norme de l'époque.

Remarque

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe D.

Principe

La norme NBN EN 1097-2 décrit deux méthodes d'essai différentes utilisées en vue de déterminer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat.

La première méthode décrite est l'essai Los Angeles: il s'agit de la méthode de référence utilisée en cas de litiges ou pour les essais de type initiaux. Pour cet essai, un échantillon de granulométrie imposée (10/14) est placé avec des boulets d'acier dans un tambour en rotation. Une plaque en acier est fixée dans le sens radial sur la face intérieure de ce tambour. Du fait de cette plaque, l'essai est donc, en principe, différent de l'essai Deval décrit dans NBN EN 1097-1. Tout comme dans l'essai Deval, l'échantillon est ensuite tamisé sur un tamis de 1,6 mm.

Une seconde méthode décrite est l'essai de fragmentation par impact. Un échantillon de granulométrie imposée (8/12,5) est placé dans un moule, après quoi il reçoit automatiquement 10 coups de marteau de 50 kg de manière normalisée. On détermine ensuite la fraction inférieure à 8 mm. Cette dernière constitue une mesure de la résistance à la fragmentation.

Taille des échantillons

Pour l'essai LA, au minimum 15 kg de granulat de classe granulaire entre 10 et 14 mm. Cet échantillon sera décomposé en fractions et un nouvel échantillon composé ayant une courbe de tamisage prédéfinie sera formé au départ de ces fractions. Cette nouvelle éprouvette est limitée à 5000 ± 5 g.

Pour l'essai de fragmentation par impact, prévoir au moins 5 kg de la classe granulaire entre 8 mm et 10 mm, et 2,5 kg de chacune des classes 10 à 11,2 et 2,5 kg 11,2 à 12,5. L'échantillon est à nouveau décomposé en fractions de tamisage, après quoi une éprouvette est préparée par recombinaison de ces fractions. L'éprouvette se composera pour 50 %m de la fraction 8/10 mm, pour 25 %m de la fraction 10/11,2 mm et pour 25 %m de la fraction 11,2/12,5 mm. La masse totale de l'éprouvette, exprimée en kg, sera égale à 0,5 fois la masse volumique réelle des granulats en tonne/m^3 . Trois de ces éprouvettes seront testées par essai.



Réalisation

Pour l'essai LA, l'éprouvette sèche est placée dans un tambour avec 4690 g à 4860 g de boulets d'acier. On fait effectuer à ce tambour parfaitement normalisé, dont l'intérieur est en outre garni d'une plaque dans le sens radial, 500 tours à une vitesse de 32 ± 1 tour min^{-1} . Après ces rotations, l'éprouvette (séchée) est tamisée sur un tamis de 1,6 mm. La masse du refus sur ce tamis est une mesure de la résistance à l'usure.

Pour la réalisation de l'essai de fragmentation par impact, l'éprouvette est placée dans un moule normalisé et reçoit 10 coups d'un marteau entièrement normalisé. L'essai s'effectue en laissant tomber librement le marteau, d'une masse de 50 kg, d'une hauteur de 370 mm au-dessus de l'éprouvette. - Il est à noter que la chute libre débute toujours depuis une hauteur de 370 mm au-dessus de l'éprouvette. Etant donné que l'éprouvette est soumise à l'essai, la hauteur absolue du marteau devra être corrigée après chaque coup. - Après les coups de marteau, l'éprouvette est tamisée sur 8; 5; 2; 0,63 et 0,20 mm. La somme des pourcentages en masse du passant est une mesure de la résistance à la fragmentation.

Formule

Los Angeles

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

où

LA Valeur Los Angeles

m Masse du refus à 1,6 mm

Le résultat est arrondi à l'entier proche le plus près.

Essai de fragmentation par impact

$$SZ = \frac{M}{5}$$

SZ Valeur de fragmentation par impact [%]

M Somme des pourcentages en masse du passant de chacun des cinq tamis en contrôle.

Le résultat de la moyenne est exprimé à 0,1 % près.

Quelques particularités

- Depuis la version de 2010, un opératoire d'essai est décrit pour les granulats recyclés. Il concerne la classe 16/32mm
- L'annexe A décrit, depuis 2010, des méthodes adaptées pour des granulats pour ballast de chemins de fer.
- La version de la norme de 2020 intègre de autres nombreux changements par rapport à la version de 2010 dont entre autres
 - a. La définition de LA_{RB} pour le coefficient de Los Angeles pour le ballast ferroviaire
 - b. La suppression des exigences de tolérances sur le diamètre des boulets.

- c. L'exigence d'une certaine dureté pour les boulets
- d. Le remplacement d'un séchage à $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ par un séchage à $(40\pm 5)^{\circ}\text{C}$ dans le cas des granulats recyclés thermosensibles.

Remarque

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe E.

Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire (1998)

Principe

La norme décrit une méthode de détermination de la masse volumique du matériau en vrac et du pourcentage de porosité intergranulaire. La masse sèche des granulats remplissant un conteneur spécifié est déterminée par pesage et la masse volumique en vrac correspondante est calculée. Le pourcentage de porosité intergranulaire se calcule à partir de la masse volumique en vrac et de la masse volumique réelle.

Echantillon

La masse de l'échantillon dépend de la taille maximale du granulat. Il y a lieu d'obtenir trois éprouvettes conformes à NBN EN 932-2.

Réalisation

Le granulat doit être séché à une température de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à ce que la masse soit constante. La masse de l'éprouvette est égale à 1,2 à 1,5 fois la masse nécessaire pour remplir le récipient.

S'agissant de granulat léger, l'échantillon doit d'abord sécher à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ puis parvenir à l'équilibre avec un environnement standardisé de $23 \pm 5^\circ\text{C}$ et $50 \pm 10\%$ HR.

Selon le calibre du granulat, une contenance minimum est préconisée pour le récipient à utiliser. La masse de ce récipient vide, propre et sec est déterminée après quoi le récipient est placé sur un support horizontal et rempli de granulat de manière à éviter une ségrégation. Après avoir rempli le récipient, on élimine tout excédent au sommet du récipient en veillant à ce que la surface soit étalée de manière uniforme. Nivelier la surface est également à la règle ou, à défaut, à la main.

La masse du récipient rempli est déterminée et notée.

Cet essai doit être exécuté sur 3 éprouvettes par échantillon de granulat à tester.

Formule

Masse volumique en vrac

où
$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

ρ_b Masse volumique en vrac [tonne/m³]

m_1 Masse du récipient vide [kg]

m_2 Masse du récipient et de l'éprouvette [kg]

V Contenance du récipient [L]

La densité du matériau non compacté est enregistrée comme la moyenne des trois valeurs, arrondie à deux décimales après la virgule pour les agrégats normaux et à trois décimales après la virgule pour les agrégats légers.

Porosité intergranulaire

La norme offre aussi la possibilité de déterminer la porosité intergranulaire, à condition de connaître la masse volumique réelle des granulats déterminée conformément à NBN EN1097-6. La formule suivante peut s'utiliser à cette fin.

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p}$$

où

v Porosité intergranulaire [%vol]

ρ_b Masse volumique en vrac [tonne/m³]

ρ_p Masse volumique réelle déterminée conformément à NBN EN 1097-6 [tonne/m³]

Quelques particularités

- La norme s'applique aux granulats naturels et artificiels ayant une dimension maximale de 63 mm.
- L'annexe A décrit la détermination de la densité apparente en vrac des fillers dans le kérosène.

Remarque

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe C.

Principe

La norme décrit une méthode de détermination des vides dans une matière de charge (filler) sèche compactée. Pour ce faire, on remplit un récipient du matériau à tester, que l'on compacte ensuite selon une méthode normalisée. On note la masse de l'échantillon ainsi que sa hauteur après compactage. En faisant usage de la masse volumique réelle du filler (NBN EN 1097-7), le pourcentage de porosité intergranulaire du filler peut être calculé.

Echantillon

L'éprouvette doit posséder une masse minimale de 150 g. Elle doit être séchée à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante puis il faut la laisser refroidir pendant au moins 90 minutes dans un dessiccateur.

Les agglomérats éventuels doivent être pulvérisés à l'aide d'une spatule et mélangés au reste du filler.

Réalisation

La masse volumique réelle du filler doit avoir été déterminée préalablement à l'essai conformément à NBN EN 1097-7.

L'ensemble de l'appareil d'essai (partie mobile sans le piston) est d'abord pesé au début de l'essai. Le niveau zéro du capteur de profondeur est lui aussi réglé préalablement en tenant compte du papier filtre dans le cylindre.

$10 \pm 1\text{g}$ de filler sont introduits dans le cylindre et répartis régulièrement en tapant doucement l'appareil sur/contre la table. Ensuite, le papier filtre est posé sur le filler et ensuite le piston doucement.

Le cylindre rempli de filler est ensuite relevé avec le piston jusqu'à la butée maximale sur les rails de guidage. On laisse ensuite tomber le tout. Cette opération est répétée 100 fois à des intervalles d'environ 1 seconde. A chaque choc consécutif à la chute, le piston compacte le filler.

Après ces 100 cycles, la masse de l'ensemble est déterminée et la hauteur de la colonne, remplie de filler, est mesurée. La masse du filler compacté est calculée en soustrayant la masse de l'appareil d'essai vide de la masse de l'ensemble.

Les essais ci-dessus doivent toujours être exécutés trois fois et il faut toujours utiliser une éprouvette distincte.

Formule

$$v = \left(1 - \frac{4 \cdot 10^3 \cdot m_2}{\pi \cdot \alpha^2 \cdot \rho_f \cdot h}\right) \cdot 100\%$$

où

ρ_f Masse volumique réelle du filler conformément à NBN EN 1097-7 [tonne/m³]

m_2 Masse du filler compacté [g]

h Hauteur du filler compacté [mm]

α Diamètre intérieur du cylindre creux [mm]

v Porosité intergranulaire [%]

Le résultat final – les vides du filler compacté – est noté comme la moyenne des trois valeurs mesurées, arrondie à 1 %vol. de précision.

Quelques particularités

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe A.

NBN EN 1097-5

Détermination de la teneur en eau par séchage en étuve ventilée (2008)

Principe

La norme décrit une méthode de détermination de la teneur en eau totale par unité de matière sèche d'un échantillon d'agrégat. Cette eau peut aussi se trouver soit à la surface, soit à l'intérieur des grains, dans les pores accessibles à l'eau. On procède en pesant l'échantillon avant et après séchage à 110°C. La différence de masse entre la masse humide et la masse sèche exprimée en pourcentage de la masse sèche donne la teneur en eau.

Echantillon

La masse de l'échantillon en kilogramme doit être d'au moins 0,2 fois la taille maximale des grains en millimètre, sans descendre toutefois sous le minimum de 0,2 kg.

Réalisation

L'éprouvette de masse (humide) connue est étendue sur un plateau et mise à sécher dans une étuve ventilée à $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Elle y reste jusqu'à ce que la masse du contenu du plateau se modifie de moins de 0,1 % entre deux pesées successives espacées d'au moins 1h; on parle alors de masse constante.

Dans le cas d'agrégats fins, il est permis de mélanger l'échantillon à l'aide d'une spatule pendant le processus de séchage, afin de faciliter l'évaporation de l'eau. Toutefois, la spatule doit toujours être laissée dans le récipient afin de ne pas perdre de particules.

Formule

$$W = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \times 100$$

où

W Teneur en eau [m%]

M₁ Masse de la prise d'essai [g]

M₃ Masse de l'échantillon après séchage [g]

Le résultat est exprimé à 0,1 % près.

Quelques particularités

- L'annexe A décrit les essais sur des agrégats légers.
- L'annexe B décrit un exemple de calcul.

Remarque

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe C.

Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau (2013)

Principe

La norme décrit une méthode de détermination de la masse volumique des granulats et de leur absorption d'eau. La masse des granulats est déterminée par pesage à l'état saturé surface sèche et à l'état séché en étuve. Le volume des granulats est déterminé à l'aide d'un déplacement de liquide. Le rapport de la masse des granulats à leur volume donne leur densité.

Le choix de la méthode d'essai se base sur la classe granulaire. Si les granulats sont constitués de plusieurs classes granulaires, il est nécessaire de fractionner l'échantillon en différentes classes: de 0,063 mm à 4 mm, de 4 mm à 31,5 mm, de 31,5 mm à 63 mm avant de préparer la prise d'essai. Le pourcentage représenté par chaque classe doit être consigné dans le rapport d'essai.

Pour les granulats de 32,5 mm à 63 mm, il y a lieu d'appliquer la méthode du "panier en treillis".

Pour les granulats de 4 mm à 31,5 mm, il convient d'appliquer la méthode du pycnomètre et une méthode dérivée de cette dernière, mais reposant sur les mêmes principes, doit être appliquée si la taille des granulats est inférieure à 4 mm mais supérieure à 63µm.

Echantillons

Les échantillons doivent être préalablement lavés et séchés.

31,5 mm à 63 mm

La masse minimale de la prise d'essai dépend de la taille maximale des granulats et est de 15 kg pour D_{\max} 63 mm et 7 kg pour $D_{\max} \leq 45$ mm.

4 mm à 31,5 mm

La masse minimale de la prise d'essai dépend de la taille maximale des granulats et est de 5 kg pour D_{\max} 31,5 mm, 2 kg pour D_{\max} 16 mm et 1 kg pour D_{\max} 8 mm.

Moins de 4 mm

La taille minimale de l'échantillon est de 1 kg.

Pour les autres dimensions, la masse minimale de la prise d'essai peut être déterminée par interpolation.

Réalisation

31,5 mm à 63 mm

La masse dans l'eau du panier vide est la masse M_3 . Les granulats sont placés dans un panier qui est plongé dans l'eau. Le panier est enfoncé dans l'eau et soulevé vingt-cinq fois afin d'éliminer les bulles d'air des granulats.

On laisse les granulats reposer 24 heures sous l'eau après quoi on les pèse sous l'eau (M_2). Après cela, l'échantillon est retiré de l'eau et séché sur un linge jusqu'à ce que la surface soit sèche. Il y a évidemment lieu d'éviter la chaleur directe et/ou la lumière solaire. La masse est à nouveau déterminée (M_1).

La masse des granulats séchés au four ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) jusqu'à masse constante (M_4) * (*masse obtenue après des pesées successives en cours de séchage, séparées d'au moins 1h, qui ne diffèrent pas de plus de 0,1 %) est également déterminée.

4 mm à 31,5 mm

L'échantillon est placé sous eau dans un pycnomètre après quoi on le laisse reposer pendant 24 heures. Après la période d'absorption, le pycnomètre est rempli d'eau jusqu'à déborder et fermé. (On enferme ainsi un volume constant). L'extérieur du récipient est séché et le tout est pesé (M_2) à l'aide d'une balance. Ensuite, l'échantillon est retiré du récipient et le récipient est à nouveau rempli, d'eau cette fois, après quoi il est pesé: la masse M_3 est déterminée. La masse dans l'air des granulats saturés et superficiellement secs en gramme est la masse M_1 . L'échantillon est pesé après une période de séchage jusqu'à l'état "sec en surface" et après un séchage dans une étuve à $110^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante (M_4)*.

Moins de 4 mm

L'opération ci-dessus (4/31,5) est répétée à l'exception du séchage sur un linge jusqu'à l'état 'sec en surface'. Les granulats sont en effet éparpillés sur un plateau afin de sécher en surface et sont soumis à un courant d'air chaud. Pour s'assurer que le séchage de surface est atteint, on utilise un moule tronconique. A cette fin, les granulats sont placés dans un moule conique dont le plus grand diamètre est dirigé vers le bas. Quand on soulève le moule, les granulats s'éparpillent ou gardent leur forme en fonction de leur état d'humidité.

Formules

Quatre formules différentes sont définies pour chaque méthode d'essai.

Une formule donne l'absorption d'eau comme un pourcentage de la masse sèche après 24 heures d'absorption.

$$WA_{24} = \frac{100x(M_1 - M_4)}{M_4}$$

Les trois autres formules donnent la densité des granulats sous différentes formes:

Masse volumique absolue: rapport entre la masse de l'échantillon séché en étuve et le volumique qu'il occupe dans l'eau y compris les pores fermés mais à l'exclusion de ceux accessibles à l'eau: ρ_a

$$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

avec ρ_w =masse volumique de l'eau

Masse volumique réelle déterminée après séchage à l'étuve: rapport entre la masse de l'échantillon séché en étuve et le volume qu'il occupe dans l'eau y compris les pores fermés et ceux accessibles à l'eau:

$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

avec ρ_w = masse volumique de l'eau

Masse volumique réelle saturée surface sèche: rapport entre la masse d'un échantillon de granulats, y compris la masse de l'eau présente dans les pores accessibles à l'eau et le volume qu'il occupe dans l'eau y compris les pores fermés et ceux accessibles à l'eau:

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Les densités sont toutes exprimées jusqu'à 0,01 Mg/m³ tandis que l'absorption d'eau est notée jusqu'à 0,1 % près.

Quelque particularité

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe E.

Détermination de la masse volumique absolue du filler - Méthode au pycnomètre (2008)

Principe

La méthode du pycnomètre est une méthode usuelle permettant de déterminer le volume des échantillons de forme irrégulière, tels que les granulats. Quand la masse de l'échantillon est connue, la masse volumique peut être calculée.

Le principe repose sur le remplacement d'une certaine quantité de liquide de masse volumique connue par la prise d'essai. Un pycnomètre de volume connu, contenant la prise d'échantillon est rempli de liquide. Le volume de ce liquide se calcule par le quotient de la masse de liquide supplémentaire par la masse volumique du liquide. Le volume de la prise d'essai est alors calculé par soustraction de ce volume au volume du pycnomètre.

Echantillon

Trois échantillons distincts d'au moins 50 g doivent être séchés à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante. Après refroidissement, les agglomérats sont pulvérisés à l'aide d'une spatule et mélangés dans le reste du spécimen. Cet échantillon est tamisé pour l'essai sur un tamis de 0,125 mm. Seul le passant sera encore exploité.

Réalisation

Le pycnomètre sec et nettoyé est d'abord pesé (m_0) après quoi 10 ± 1 g d'échantillon y sont introduits et le pycnomètre rempli est à nouveau pesé (m_1). Le liquide choisi est ajouté jusqu'à ce que l'échantillon soit immergé. On laisse reposer le tout au moins 30 minutes sous vide dans un dessiccateur.

Ensuite, le tout est placé dans un bain d'eau à $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ et entièrement rempli du liquide choisi. Après une heure, le pycnomètre est refermé, séché à l'extérieur et pesé (m_2).

Formule

$$\rho_f = \frac{m_1 - m_0}{V - \frac{m_2 - m_1}{\rho_l}} \times 100$$

où

ρ_f Masse volumique réelle du filler à 25°C en tonne/m³

ρ_l Masse volumique du liquide à 25°C en tonne/m³

m_0 Masse du pycnomètre vide avec bouchon [g]

m_1 Masse du pycnomètre avec la prise d'essai [g]

m_2 Masse du pycnomètre fermé et entièrement rempli de filler et de liquide [g]

V Volume du pycnomètre

Le résultat est exprimé comme la moyenne de trois mesures avec une précision de 0,01 tonne/m³.

Quelques particularités

- L'annexe A décrit l'essai de détermination du volume du pycnomètre.
- L'annexe B décrit l'essai de détermination de la densité d'un liquide quelconque.

Remarque

La norme mentionne une valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures à l'annexe C.

Principe

L'essai comprend deux stades différents. Dans une première phase, le granulat à tester est poli de manière normalisée. Dans une seconde phase, on mesure ensuite l'effet que ce polissage a eu sur le coefficient de friction.

Echantillon

Il faut disposer d'au moins 2 kg. L'échantillon est tamisé en fractions jusqu'à ce que tout le matériau tombe dans un tamis carré de 10 mm et soit retenu sur une grille de 7,2 mm. Les granulats de cet échantillon sont disposés en une couche (36 à 46 grains) dans un moule spécialement conçu à cette fin, après quoi les petites cavités subsistantes sont remplies de sable fin jusqu'au $\frac{3}{4}$ de la profondeur. Une fois que la matrice est remplie, l'échantillon est fixé à l'aide de résine. Le résultat en est une plaque moulée cintrée et rigide, ayant les granulats à tester à l'extérieur (le côté bombé).

Réalisation

Phase 1: Polissage accéléré de l'échantillon

L'échantillon est fixé dans une roue qui tourne à vitesse constante. Une seconde roue en caoutchouc est montée sous pression constante (à l'aide d'un poids) contre cette roue. On ajoute également au tout de l'eau et de l'émeri. Cette action est exécutée deux fois (une fois avec de l'émeri grossier, une fois avec de l'émeri fin), la roue de caoutchouc étant également différente. Entre-temps, l'échantillon est retiré et lavé afin d'éliminer tous les résidus de l'émeri grossier. Ces deux cycles produisent une surface d'essai polie. L'opération est répétée deux fois avec deux échantillons avec les granulats à tester et deux échantillons avec les granulats de la pierre de référence.

Phase 2: Essai du coefficient de friction

Avant de déterminer le coefficient de friction de l'échantillon, on effectue cet essai sur une pierre de référence spécifique pour cette phase. Cette pierre, dont le coefficient de friction est bien connu, sert à contrôler le système de mesurage.

Le mesurage sur des éprouvettes et la pierre de référence s'effectue toujours à l'état humidifié en faisant balancer/glisser un balancier muni d'un caoutchouc normalisé sur la pierre. L'énergie cinétique du balancier est en partie dispersée pendant le processus de glissement. De ce fait, une fois parvenu de l'autre côté de l'éprouvette, le balancier convertira moins d'énergie cinétique en énergie potentielle. On mesure cette énergie potentielle résiduelle en notant la hauteur ou l'angle ultime du balancier. Ces derniers sont mesurés sous la forme d'un indice "S" sans dimension, qui est d'autant plus bas que le balancier termine sa course haut.

Formule

$$CPA = S + 56 - C$$

où

PSV Coefficient de polissage accéléré (en français= CPA)

S Valeur moyenne des quatre éprouvettes de granulats

C Valeur moyenne des quatre éprouvettes de pierre de référence

Quelques particularités

- L'annexe A décrit la détermination de la valeur AAV "*aggregate abrasion value*".
- L'annexe B décrit un contrôle sur l'émeri.
- L'annexe C décrit l'étalonnage de la machine de polissage accéléré.
- L'annexe D décrit l'étalonnage du pendule de frottement et des patins en caoutchouc.
- L'annexe E (nouvelle annexe normative de la version de la norme de 2020) reprend la préparation de l'échantillon de pierre de référence de l'essai de frottement et le conditionnement des patins de frottement.

Remarque

La version de la norme de 2020 ne mentionne plus de valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) car la méthode a été fortement modifiée pour devenir plus précise.

L'annexe F reprend la précision pour la valeur globale d'abrasion (valeur AAV).

NBN EN 1097-10

Hauteur de succion d'eau (2014)

Note: La montée de l'humidité au travers de la couche de granulat sous la dalle de sol risque de causer des problèmes d'humidité dans le bâtiment. Si la couche est plus épaisse que la hauteur de succion d'eau du granulat utilisé, la couche est considérée comme barrière anticapillaire.

Principe

Une prise d'essai de granulat sec contenu dans un tube vertical est mise en contact direct avec la surface libre d'une couche d'eau, de manière à ce que le granulat puisse absorber l'eau par succion. Lorsque le niveau d'équilibre est atteint, la hauteur de succion est déterminée en mesurant la variation de la teneur en humidité dans la prise d'essai.

Vu que la hauteur de succion est influencée par l'humidité relative et la masse apparente sèche, le taux d'humidité hygroscopique et la masse volumique apparente sont déterminés dans le même temps.

Echantillon

La taille de l'échantillon dépend de la granularité maximale. On peut trouver dans la norme un tableau des volumes d'essai minimaux en fonction de la granularité maximale.

Classe granulaire supérieure D mm	Volume minimal pour les prises d'essai	
	Détermination du taux d'humidité hygroscopique maximal	Détermination de la masse volumique apparente sèche et de la hauteur de succion d'eau
8	0,25	3,0
10	0,25	3,0
16	0,25	3,5
20	0,5	3,5
32	1,0	5,0

Réalisation

Les dimensions minimales du tube et du conteneur humide dépendent également de la granularité.

Classe granulaire supérieure D mm	Diamètre interne minimal du tube mm	Surface interne minimale du fond du conteneur humide m ²
8	125	0,04
10	125	0,04
16	140	0,04
20	140	0,05
32	170	0,08

Détermination du taux d'humidité hygroscopique maximal

Au centre du conteneur humide, une cuvette en verre (150 ml) contenant une solution de sulfate de potassium saturée est placée. L'échantillon est réparti autour de cette cuvette et le conteneur est fermé.

Après une durée d'essai égale à celle de la détermination de la hauteur de succion d'eau, l'échantillon est retiré et pesé (M_{hyg}).

L'échantillon est séché à $110 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante (NBN EN 1097-5) et pesé (M_{hygd}).

Le taux d'humidité maximal W_{hyg} peut être calculé à l'aide de l'équation:

$$W_{hyg} = \frac{M_{hyg} - M_{hygd}}{M_{hygd}} \times 100 \text{ (en \% à 1 décimale près)}$$

Détermination de la hauteur de succion d'eau

Les granulats secs sont mis dans un tube vertical de 20 cm de haut, muni de petites ouvertures en bas. Le tube est mis dans un récipient dans lequel le niveau d'eau est maintenu constant de 1 cm.

La masse de la disposition d'essai (le récipient, le tube, l'échantillon et l'eau) est mesurée après les 5 premières minutes de contact avec l'eau et ensuite après 24h, 48h, 72h, 168h et ensuite tous les 7 jours.

L'essai est terminé lorsque la variation de la masse sur 7 jours est inférieure à $0,2 \text{ kg/m}^2$ de surface de succion.

L'eau absorbée par capillarité par m^2 de surface de succion, $W_c(t)$, est la différence de masse à l'état d'équilibre (t) et après 5 minutes par unité de surface de contact.

$$W_c(t) = \frac{M_{tot}(t) - M_{tot}(5 \text{ min})}{\pi \left(\frac{d_t}{2}\right)^2}$$

Pour déterminer la hauteur de succion:

- Etablir un graphique illustrant la relation entre la teneur en eau (W , par rapport à la masse sèche) des différentes couches (épaisseur $> D$) et la hauteur au-dessus du niveau de l'eau à l'état libre.
- Tracer la valeur du taux d'humidité hygroscopique maximal W_{hyg} .

La hauteur de succion H_{cap} correspond à la plus grande des deux valeurs:

- la hauteur (H_{hyg}) au-dessus du niveau d'eau pour laquelle la courbe de la teneur en eau coupe la teneur en eau hygroscopique W_{hyg}
- la hauteur (H_{con}) au-dessus du niveau d'eau pour laquelle la teneur en eau atteint un niveau constant de teneur en eau (plus petite valeur: $H(W_i < 0,5 \%)$ ou $H(\Delta W$ entre deux couches successives $< 0,3 \%$).

Remarques

- La norme ne mentionne pas de valeur de r (répétabilité) ou de R (reproductibilité) pour l'évaluation de la précision des mesures.
- La norme mentionne une méthode de détermination de la masse volumique sèche compactée.



Adjuvants

NBN EN 934-5

Adjuvants pour bétons projetés – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage (2008)

Objet de la norme

La présente norme fait partie de la série EN 934 'Adjuvants pour béton'. La partie 5 est plus spécifiquement consacrée aux adjuvants pour bétons projetés:

Accélérateurs de prise: destiné à développer une prise à très jeune âge du béton (différent des accélérateurs définis dans la norme EN 934-2 'Adjuvants pour béton'), et dont le dosage maximal conseillé est de 12 % (celui des autres adjuvants pour bétons et bétons projetés s'élève à 5 %).

Accélérateurs de prise sans alcalins: accélérateur de prise défini précédemment, et dont la teneur en alcalins ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{équivalent}}$) est inférieure à 1 % en masse.

Adjuvants témoins pour la consistance: permettant de conserver la consistance pendant une longue période.

Adjuvants améliorant l'adhérence: permettant d'améliorer l'adhérence entre les couches de béton projeté, ou entre la surface du substrat et le béton projeté.

Exigences

Les exigences se divisent en plusieurs catégories:

Exigences générales: identiques à celles des bétons classiques reprises dans l'EN 934-2 (homogénéité, couleur, composant actif, densité relative, extrait sec conventionnel, pH, teneur en chlore total, en chlorure soluble dans l'eau, en alcalins, et comportement à la corrosion), à l'exception de l'effet sur le temps de prise qui est quant à lui repris dans les exigences particulières.

Exigences spécifiques relatives aux accélérateurs de prise (y compris ceux sans alcalins) pour bétons projetés: temps de prise (initial et final) et résistance à la compression (comparaison entre le mortier adjuvant et le mortier témoin à 28 jours et à 90 jours).

Exigences spécifiques relatives aux adjuvants témoins pour la consistance: maintien de la consistance (comparaison entre l'affaissement ou l'étalement initial du mortier témoin et l'affaissement ou étalement du mortier adjuvante 6h plus tard) et résistance à la compression (comparaison entre le mortier adjuvant et le mortier témoin à 28 jours).

Exigences spécifiques aux adjuvants améliorant l'adhérence: adhérence par traction (comparaison de l'adhérence entre couches à 28 jours entre le mortier témoin et le mortier adjuvante) et résistance à la compression (comparaison entre le mortier adjuvant et le mortier témoin à 28 jours).

Contrôle de conformité

Les fréquences de contrôle concernant les exigences générales (homogénéité, couleur, densité relative, extrait sec conventionnel, pH, teneur en chlorure, teneur en alcalins) sont identiques à celles des adjuvants pour bétons classiques reprises dans la norme EN 934-2.

Les exigences spécifiques sont quant à elles de natures et de fréquences différentes:

Résistance à la compression à 28 j: 1 essai par an pour les accélérateurs de prise pour bétons projetés, les adjuvants témoins pour la consistance et les adjuvants améliorant l'adhérence.

Temps de prise: 1 essai /1000 t avec un maximum de 3 essais par an pour les adjuvants accélérateurs de prise pour bétons projetés.

Maintien de la consistance: 1 essai /1000 t avec un maximum de 3 essais par an pour les adjuvants témoins pour la consistance.

Adhérence par traction: 1 essai /1000 t avec un maximum de 3 essais par an pour les adjuvants améliorant l'adhérence.



Ciments

NBN B12-108

Ciments à haute résistance aux sulfates (2015)

Introduction

Cette norme belge définit, sur base de l'expérience nationale, les types de ciment à haute résistance aux sulfates.

Sujet de la norme

Quatre types de ciment à haute résistance aux sulfates sont définis selon cette norme:

- a) Ciment Portland CEM I-SR0 et CEM I-SR3
- b) Ciment de haut fourneau CEM III/B-SR et CEM III/C-SR
- c) Ciment composé CEM V/A (S/V) HSR
- d) Ciment super sulfaté SCC HSR

Ciment à haute résistance aux sulfates doit, malgré la présence de sulfates, rester indéformable.

Désignation normalisée

Dans le tableau ci-dessous, les ciments à haute résistance aux sulfates sont classés suivant les différentes normes belges et européennes:

Norme belge NBN B12-108 Edition 2006		Norme européenne NBN EN 197-1 Edition 2011		Norme belge NBN B12-108 Edition 2015	
CEM I HSR	≤ 3,0 % C ₃ A	CEM I-SR 0	= 0 % C ₃ A	CEM I-SR 0	= 0 % C ₃ A
		CEM I-SR 3	≤ 3 % C ₃ A	CEM I-SR 3	≤ 3 % C ₃ A
		CEM I-SR 5	≤ 5 % C ₃ A		
CEM III/B HSR		CEM III/B-SR		CEM III/B-SR	
CEM III/C HSR		CEM III/C-SR		CEM III/C-SR	
		CEM IV/A-SR	≤ 9 % C ₃ A		
		CEM IV/B-SR	≤ 9 % C ₃ A		
CEM V HSR				CEM V/A (S-V) HSR	
SSC HSR				SSC HSR	

Les ciments CEM I-SR 5, CEM IV/A-SR et CEM IV/B-SR sont considérés dans la norme européenne EN 197-1 (2011) comme résistants aux sulfates. Ces ciments ne sont jamais utilisés en Belgique pour les structures qui entrent en contact avec de l'eau ou des sols contenant des sulfates et ne sont donc pas inclus dans la norme NBN B12-108 (2015).

Le ciment CEM V/A (S/V) HSR est considéré comme ciment résistant aux sulfates s'il satisfait aux exigences spécifiques de la norme belge. Il peut contenir maximum 50,0 % de chaux (CaO).

Par rapport à l'édition 2006 de la norme NBN B12-108, les limites ont également été revues. Ainsi, alors qu'un ciment Portland CEMI était auparavant considéré comme

résistant aux sulfates si sa teneur en C_3A était inférieure à 3,0 %, la limite est de 3 % dans la version de 2015, ce qui autorise les valeurs de 3,4 % par exemple.

La norme NBN B12-108 reprend donc comme ciments SR et HSR. Cette distinction entre "SR" et "HSR" n'est pas liée au degré de résistance aux sulfates. Il y a lieu de remplacer dans les cahiers des charges l'appellation ciment HRS par l'appellation "Ciments à haute résistance aux sulfates selon la norme NBN B12-108".

Exigences mécaniques, physiques et chimiques

Les exigences mécaniques, physiques et chimiques de la NBN EN 197-1 (2011) sont d'application pour CEM I-SR 0, CEM I-SR 3, CEM III/B-SR, CEM III/C-SR et CEM V/A (S-V) HSR.

Le ciment SCC HSR doit satisfaire aux exigences mécaniques, physiques et chimiques de la NBN EN 15743.