

Code de pratique **BAW**

Sensibilité à la ségrégation du béton (MESB)

édition 2025

Notification UE n° XXX

Remarque:

Notifié en vertu de la directive (UE) 2015/1535 du Parlement européen et du Conseil du 9 septembre 2015 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des réglementations techniques et des règles relatives aux services de la société de l'information (JO L 241 du 17.9.2015, p. 1)

Codes de pratique, recommandations et lignes directrices BAW Éditeur

Institut fédéral d'ingénierie et de recherche sur les voies navigables (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tél.: 0721 9726-0

info@baw.de

www.baw.de

Copyright: Creative Commons BY-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Sauf indication contraire, tous les droits sur les images sont détenus par le BAW.

1	Introduction	1
2	Littérature et références normatives	2
3	Essais sur béton frais	2
4	Essais sur béton durci	2
4.1	Équipement d'essai en laboratoire	2
4.2	Essais sur petits composants	2
4.3	Essais sur les carottes de forage de composants	4
4.3.1	Description succincte	4
4.3.2	Équipements	4
4.3.3	Performances	4
4.3.4	Évaluation	6
4.3.5	Évaluation	7
4.3.6	Rapport	8

Liste des tableaux

Tableau 1:	évaluation des proportions de surfaces issues de la Figure 2	7
Tableau 2:	exemples d'évaluation de l'essai de lessivage conformément aux sections A.4.2 et A.4.3	14

Liste des illustrations

Figure 1:	Exemples de détermination de zones d'évaluation	5
Figure 2:	en noir, surfaces des granulats sectionnés ≥ 8 mm servant de base à l'évaluation des surfaces (gauche: tiers supérieur, centre: tiers moyen, droite: tiers inférieur d'une carotte)	7
Figure 3:	Compacteur avec forme cylindrique serrée et remplie de béton	10
Figure 4:	Catégories de sensibilité à la sédimentation déterminées lors de l'évaluation décrite à la section A.4.2	15
Figure 5:	Exemple: relation entre la durée de compactage et la sédimentation des granulats grossier dans le segment supérieur	17
Figure 6:	Exemple: relation entre la durée de compactage et la différence entre la masse volumique apparente du béton frais dans le segment supérieur et la masse volumique apparente moyenne du béton frais	18

Figure 7:	Recommandation pour les points de prélèvement des carottes sur le petit composant (vue de dessus)	24
-----------	---	----

Liste des annexes

Annexe A:	Essai de lavage (informatif)	9
Annexe B:	Détermination de la sédimentation des granulats grossiers dans le béton durci – Échantillon d'essai en laboratoire (informatif)	20
Annexe C:	Essai de sédimentation des gros granulats dans le béton durci – élément de petite taille (informatif)	23

Remarque préliminaire

À ce jour, les règlements sur le béton ne contiennent aucune règle sur l'évaluation de la ségrégation du béton. Dans ce contexte, le code de pratique BAW sur la sensibilité à la ségrégation du béton (MESB) traite de l'évaluation des bétons vibrés en ce qui concerne leur sensibilité à la ségrégation. L'accent est mis ici sur la sédimentation des granulats grossiers ainsi que sur les enrichissements de mortier et autres ségrégations. Le code de pratique ne contient actuellement que des spécifications pour l'évaluation d'échantillons de composants de construction; concernant la réalisation d'essais sur béton frais et durci sur éprouvettes fabriquées spécialement, le code de pratique ne contient actuellement que des recommandations.

En ce qui concerne les recommandations relatives aux essais sur béton frais et durci sur des éprouvettes fabriquées spécialement, le code de pratique établit une distinction entre les essais sur béton frais (essai de rinçage) et sur béton durci (éprouvette d'essai en laboratoire, petit composant, carotte de forage). Lors de l'essai de lavage ainsi que lors des essais sur béton durci effectués sur éprouvettes de laboratoire et sur petits éléments, il s'agit à ce jour de méthodes ayant permis d'acquérir des premières expériences pratiques. Ces méthodes sont donc, jusqu'à nouvel ordre, présentées dans des annexes à titre informatif. À terme, l'essai de lavage devrait permettre de classer le béton en fonction de sa sensibilité à la sédimentation. À cette fin, la transférabilité des résultats de l'essai de lavage aux conditions réelles doit être vérifiée. Cela doit se faire par comparaison avec des essais réalisés sur de petits éléments dans lesquels le même béton est compacté dans des conditions proches de la pratique. La classification du béton en fonction de sa sensibilité à la sédimentation vise à aider l'utilisateur dans le choix d'un mode de compactage adapté, conformément à la norme DIN 1045-3, section 9.5, points 1) et 7).

Les marchandises commercialisées légalement dans un autre État membre de l'Union européenne ou en Turquie, ou originaires et commercialisées légalement dans un État de l'AELE partie contractante à l'accord sur l'Espace économique européen, sont réputées compatibles avec la présente mesure. L'application de cette mesure est soumise au règlement (CE) n° 764/2008 du Parlement européen et du Conseil du 9 juillet 2008 établissant les procédures relatives à l'application de certaines règles techniques nationales à des produits commercialisés légalement dans un autre État membre et abrogeant la décision n° 3052/95/CE (JO L 218 du 13.8.2008, p. 21).

1 Introduction

L'analyse du béton durci à partir de carottes prélevées sur des éléments conformément à la section 4.3 a pour objectif d'évaluer l'ampleur de la sédimentation des gros granulats ainsi que les enrichissements en mortier ou autres phénomènes de ségrégation. Cette méthode et les critères associés sont ancrés dans le BAW-MESB et servent avant tout à la vérification et à l'évaluation de la prestation réalisée dans le cadre de travaux de construction.

Les essais sur béton frais conformément à la section 3 ainsi que l'essai sur béton durci réalisé sur éprouvette de laboratoire conformément à la section 4.1 sont fondés sur l'essai de lavage décrit dans la directive DAfStb sur le béton autocompactant, édition de novembre 2003, annexe N.2, ainsi que sur l'essai de stabilité à la sédimentation sur béton durci selon l'annexe N.1. Ces essais visent à examiner la sensibilité du béton à la sédimentation des gros granulats pendant le compactage. Le protocole d'essai a été adapté à l'analyse du béton vibré. Les modifications portent notamment sur l'intégration du compactage dans le déroulement de l'essai ainsi que sur la méthode d'évaluation.

L'analyse du béton durci sur petit élément conformément à la section 4.2 a pour but, dans le cadre d'un essai représentatif des conditions réelles, d'évaluer les effets d'un compactage par aiguille vibrante sur la sédimentation des gros granulats, ainsi que sur les enrichissements en mortier et autres phénomènes de ségrégation. Cet essai sert également à acquérir de l'expérience quant à la transférabilité des résultats de l'essai de lavage à la pratique sur chantier.

2 Littérature et références normatives

Directive DAfStb	Béton autocompactant (directive SVB), édition de novembre 2003
DBV Document de référence	Méthodes spécifiques d'essai sur béton frais
DIN 1045-3	DIN 1045-3:2023-08, Structures en béton, béton armé et en béton précontraint – Partie 3: Travaux de construction
DIN EN 12350-1	Essais pour béton frais – Partie 1: Échantillonnage
DIN EN 12350-5	Essais pour béton frais – Partie 5: essai d'étalonnement à la table à choc
DIN EN 12350-6	Essais pour béton frais – Partie 6: masse volumique
DIN EN 12350-7	Essais sur béton frais – Partie 7: teneur en air – Méthode par pression
DIN EN 12620	Granulats pour béton
DIN ISO 3310-2	Tamis d'essai – Exigences techniques et essais – Partie 2: Tamis d'essai en tôle métallique perforée
Code de pratique BAW:	Prélèvement de carottes pour les inspections sur ouvrages (MBK)

3 Essais sur béton frais

Voir annexe A

4 Essais sur béton durci

4.1 Équipement d'essai en laboratoire

Voir annexe B

4.2 Essais sur petits composants

Voir annexe C

4.3 Essais sur les carottes de forage de composants

4.3.1 Description succincte

L'essai sur carotte sert à évaluer la sédimentation des gros granulats dans le béton dont la taille maximale des granulats est d'au moins 16 mm, ainsi que les enrichissements en mortier ou autres phénomènes de ségrégation dans le béton, quelle que soit la taille maximale des granulats, en fonction des conditions de mise en œuvre. Cette méthode peut être utilisée à des fins diverses. L'essai est réalisé conformément à l'annexe N.1 de la directive DAfStb sur le béton autocompactant, au moyen d'une évaluation visuelle de la répartition des gros granulats sur la coupe de la carotte, complétée par une détermination quantitative de cette répartition. En outre, la surface latérale de la carotte est examinée afin de détecter d'éventuels enrichissements en mortier ou autres formes de ségrégation.

4.3.2 Équipements

4.3.2.1 Matériel de forage

Pour l'échantillonnage par carottage conformément à BAW-MBK

4.3.2.2 Scie

Convient pour scier les carottes de forage le long de l'axe de la carotte de forage.

4.3.2.3 Gabarit

Adapté à la délimitation des surfaces sectionnées des gros granulats pertinentes pour l'évaluation, conformément à la section 4.3.4.1.

4.3.2.4 Crayon

Utilisé pour marquer les surfaces sectionnées des gros granulats pertinentes pour l'évaluation, ou toute autre méthode de marquage équivalente.

4.3.2.5 Enregistreurs vidéo

Utilisé pour réaliser une image numérique de l'échantillon d'essai.

4.3.3 Performances

4.3.3.1 Échantillonnage

Les carottes de forage sont échantillonnées conformément à BAW-MBK. Le diamètre de la carotte est de préférence de 150 mm, pour une longueur minimale de 450 mm. En fonction des contraintes liées à l'élément de construction (espacement des armatures), le diamètre peut être réduit à 100 mm. Pour les carottes prélevées horizontalement, l'orientation dans l'élément doit être indiquée sur la carotte.

Remarque: Une réduction du diamètre de carotte à 100 mm doit être examinée de manière critique, en raison de la diminution de la surface absolue des granulats sectionnés disponibles pour l'évaluation, et mise en balance avec les éventuelles contraintes liées au prélèvement des carottes.

4.3.3.2 Sciage des échantillons d'essai

La carotte doit être sciée longitudinalement, en son centre, dans le sens du forage. Après le sciage, la face de coupe de la carotte doit être photographiée.

4.3.3.3 Détermination de zones d'évaluation

Pour chaque essai, trois zones d'évaluation d'une longueur de 150 mm chacune doivent être définies dans le sens longitudinal de la carotte. Le choix des zones d'évaluation doit être justifiable et tenir compte de l'impression générale de l'échantillon d'essai. La position des trois zones d'évaluation par secteur d'analyse doit être marquée. Des exemples sont présentés dans la figure Figure 1.

Les investigations portant sur la sédimentation verticale des gros granulats ainsi que sur les enrichissements en mortier ou autres phénomènes de ségrégation sont généralement réalisées sur des carottes prélevées verticalement dans l'élément. Lors de la définition des zones d'évaluation, les couches ou phases de bétonnage existantes, si elles sont visibles, doivent être prises en compte.

Les investigations concernant les phénomènes de ségrégation perpendiculaires à la hauteur de bétonnage sont en général effectuées sur des carottes prélevées horizontalement dans l'élément.

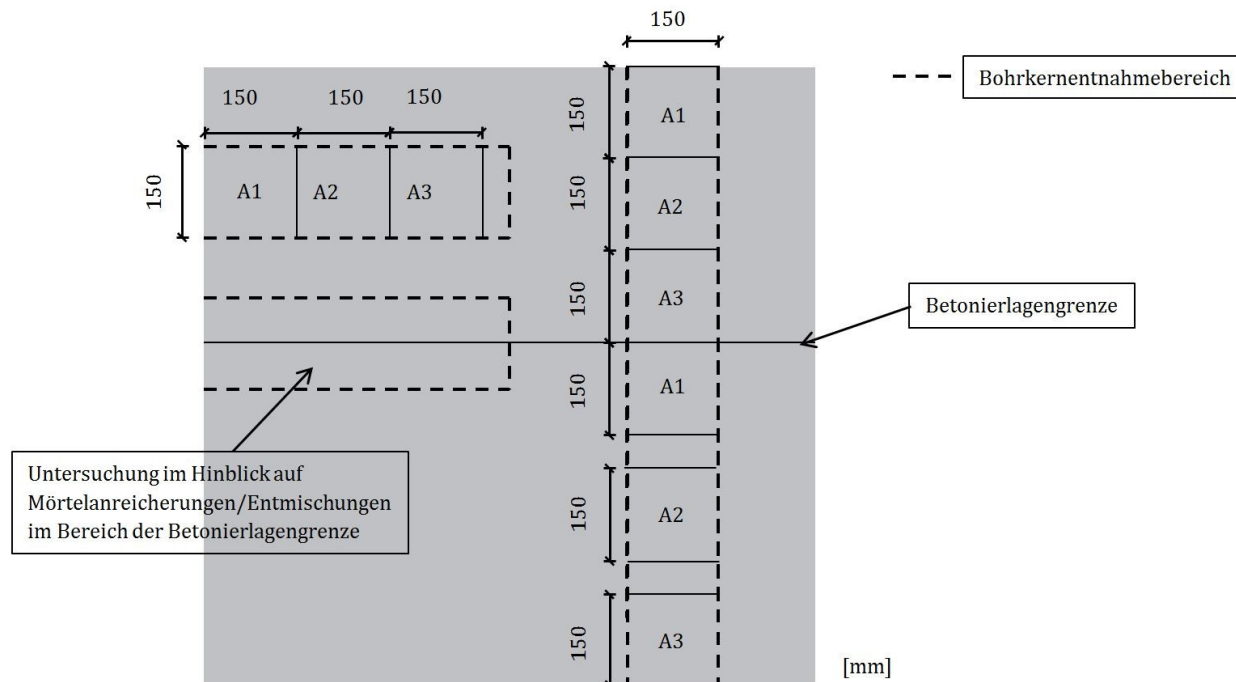


Figure 1: Exemples de détermination de zones d'évaluation

Untersuchung im Hinblick auf
Mörtelanreicherungen/Entmischungen im Bereich der
Betonierlagengrenze
Bohrkernentnahmebereich
Betonierlagengrenze

Investigations sur les accumulations/ségrégations de
mortier dans la zone de la limite de la couche de
bétonnage
Zone d'échantillonnage des carottes
Bordure de la couche de bétonnage

4.3.3.4 Préparation des échantillons d'essai

Pour chaque zone d'évaluation, tous les granulats dont la plus grande dimension d sur la surface sciée est d'au moins 8 mm doivent être identifiés manuellement. Les surfaces de coupe de ces granulats doivent être entièrement marquées, par exemple en les colorant en noir. Ensuite, une image numérique des zones marquées, incluant une échelle, doit être réalisée et les dimensions des zones d'évaluation doivent être consignées.

Des méthodes alternatives pour l'identification des granulats sectionnés ≥ 8 mm sont autorisées, à condition que leur équivalence soit démontrée.

4.3.4 Évaluation

4.3.4.1 Méthode

Pour l'évaluation, la surface des granulats sectionnés ≥ 8 mm doit être déterminée au millimètre carré près pour chacune des trois zones d'évaluation. La méthode utilisée pour le calcul des surfaces des granulats marqués est libre, mais doit être clairement expliquée dans le rapport.

À partir des surfaces des trois zones d'évaluation, la surface moyenne des gros granulats sectionnés ≥ 8 mm doit être calculée au millimètre carré près.

$$\bar{A} = \frac{1}{3} (A_1 + A_2 + A_3)$$

Où:

$\bar{A}$ Surface moyenne des gros granulats sectionnés ≥ 8 mm dans les trois zones d'évaluation, en mm²

A_1, A_2, A_3 Surface des gros granulats sectionnés ≥ 8 mm dans les trois zones d'évaluation, en mm²

L'écart en pourcentage de la surface des gros granulats sectionnés ΔA_i , exprimé en %, dans chaque zone d'évaluation par rapport à la surface moyenne, doit être calculé avec une précision de 0,1 % :

$$\Delta A_i = \left(\frac{A_i}{\bar{A}} - 1 \right) \cdot 100$$

Où:

A_i Surface des gros granulats sectionnés dans la zone d'évaluation i , en mm²

ΔA_i Écart en pourcentage de la surface des gros granulats dans la zone d'évaluation i par rapport à la surface moyenne

4.3.4.2 Exemple d'évaluation

La Figure 2 et le Tableau 1 présentent un exemple d'évaluation pour l'analyse des surfaces sur béton durci.

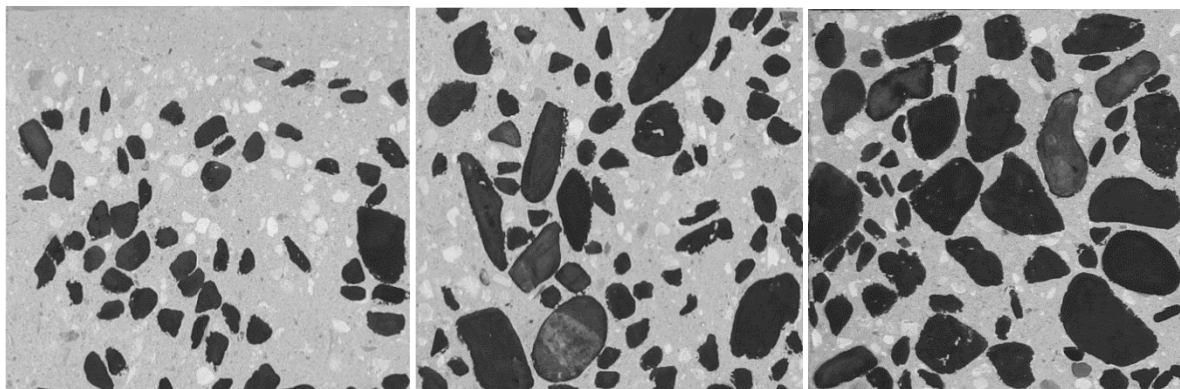


Figure 2: en noir, surfaces des granulats sectionnés ≥ 8 mm servant de base à l'évaluation des surfaces (gauche: tiers supérieur, centre: tiers moyen, droite: tiers inférieur d'une carotte)

Tableau 1: évaluation des proportions de surfaces issues de la Figure 2

		A_i	ΔA_i
		[mm ²]	[%]
	1	2	3
1	Haut	4198	-49
2	Milieu	8593	+5
3	Base	11836	+44
4	Moyenne	8209	0

4.3.5 Évaluation

Lors de l'examen des carottes prélevées dans les éléments conformément à la section 4.3, sauf accord contraire, les deux critères d'évaluation suivants s'appliquent comme référence pour identifier les zones d'un élément en béton présentant une sédimentation ou une ségrégation inacceptable:

- Un écart de $\Delta A_i = 30$ %, déterminée conformément aux sections 4.3.3 et 4.3.4, ne doit pas être dépassée.
- Dans aucune zone de la carotte ne doit apparaître un enrichissement en mortier ou une autre ségrégation inacceptable. Un enrichissement en mortier ou une ségrégation inacceptable est notamment constaté:
 - lorsqu'une bande continue d'au moins 8 mm de largeur est visible sur la surface latérale de la carotte, composée uniquement de granulats dont la plus grande dimension sur la surface coupée est de 4 mm. Dans la zone des recouvrements de béton, la zone périphérique jusqu'à une profondeur de 10 mm peut être exclue de cette évaluation;
 - lorsqu'une bande continue, peu cohérente (couche de séparation), par exemple présentant des zones poreuses, est visible sur la surface latérale de la carotte.

4.3.6 Rapport

Le rapport doit contenir les informations et annexes suivantes:

- a) une description claire du ou des lieux de prélèvement des carottes;
- b) l'identification claire des échantillons d'essai analysés;
- c) une photo des carottes avec une échelle;
- d) le marquage clair des zones d'évaluation sur la surface de coupe (photo);
- e) une photo de la surface de coupe avec les granulats marqués pour l'évaluation;
- f) la description de la méthode utilisée pour déterminer les proportions de surface des granulats dans les zones d'évaluation;
- g) le calcul du mélange et granulométrie maximale des granulats;
- h) la dimension limite d des fractions de granulats prises en compte dans l'évaluation;
- i) la surface des gros granulats A_i dans chaque zone d'évaluation, en mm^2 ;
- j) la surface moyenne $\bar{A}$, en mm^2 ;
- k) l'écart en pourcentage de la proportion de gros granulats ΔA_i dans les différentes zones d'évaluation, en %;
- l) la description des éventuels enrichissements en mortier et autres ségrégations;
- m) tout écart par rapport à la méthode d'essai décrite;
- n) les protocoles de forage conformément à la norme BAW-MBK;
- o) le plan de bétonnage, les bons de livraison ainsi que les caractéristiques du béton frais de la zone échantillonnée lors de la mise en place du béton (étalement, masse volumique brute du béton frais, teneur en air, température du béton frais); si ces informations ne sont pas disponibles, cela doit également être indiqué;
- p) la date de coulage du béton;
- q) l'équipement de compactage utilisé lors du coulage, y compris son diamètre, sa fréquence, le fabricant et la désignation du type;
- r) une indication des durées de compactage planifiées et/ou réelles; si ces informations ne sont pas disponibles, cela doit également être indiqué.

Annexes

Annexe A: Essai de lavage (informatif)

A.1 Description succincte

L'essai de lavage est utilisé pour évaluer la sensibilité à la sédimentation du béton vibré comportant un granulât d'une dimension maximale d'au moins 16 mm. Il permet de déterminer la relation entre la durée de compactage et la sédimentation des gros granulats.

Lors de l'essai de lavage, trois segments cylindriques de même hauteur sont empilés les uns sur les autres, remplis de béton et compactés. Immédiatement après, la masse des résidus retenus sur le tamis des gros granulats dans le béton de chaque segment de cylindre est mesurée après lavage et tamisage. Les différences dans les proportions des gros granulats sur les différents tamis indiquent le degré de ségrégation dû à l'effet du compactage appliqué.

A.2 Équipements

A.2.1 Minuteur

Précision de mesure de 1 seconde.

A.2.2 Thermomètre

Précision de mesure: 1 °C.

A.2.3 Mètre ruban

Précision de mesure: 1 mm.

A.2.4 Compacteur

Ensemble composé d'une table vibrante, d'un moule cylindrique, d'un dispositif de fixation et d'un système de commande du temps et de la fréquence. Le moule cylindrique démontable en acier, d'une hauteur totale $h_{\text{tot}}=450$ mm, est constitué de trois parties de même hauteur $h_i=150$ mm, avec un diamètre intérieur $d = 150$ mm.

Note 1: La conception du compacteur, la fixation du moule cylindrique ainsi que la fréquence et l'amplitude sont déterminantes pour l'énergie totale transmise au béton et, par conséquent, pour les résultats obtenus. Les investigations sur la sensibilité à la ségrégation du béton menées par le groupe de travail Béton Frais du DAfStb ont été réalisées avec l'appareil illustré à la Figure 3. Elles ont montré qu'une fréquence de 75 Hz permettait une bonne différenciation. Avec ce compacteur, une amplitude de 0,25 mm est obtenue pour un moule cylindrique fixé et rempli complètement de béton. Pour éviter les harmoniques indésirables, une pression minimale de serrage du moule doit être respectée. Dans les essais réalisés jusqu'à présent, cela a été assuré à partir d'un couple de serrage des vis de fixation de 12 Nm.

Note 2: Le développement continu de la norme BAW-MESB requiert une collecte systématique de données d'essai supplémentaires. À cette fin, la BAW utilise l'appareil employé par le groupe de travail Béton frais du DAfStb. Les données d'essai provenant de tiers peuvent y contribuer, mais, à l'heure actuelle, elles ne sont exploitables que si elles ont été obtenues avec le même appareil et les mêmes paramètres d'essai.

Les paramètres de fréquence et d'amplitude doivent être mesurés et documentés une fois par an, dans des conditions définies, avec la forme cylindrique correctement serrée et entièrement remplie de béton.



Figure 3: *Compacteur avec forme cylindrique serrée et remplie de béton*

A.2.5 Règle de nivellement

D'une longueur supérieure à 200 mm

A.2.6 Tamis métallique

Avec des ouvertures carrées de 8 mm et de 11,2 mm (ou 11 mm), un diamètre de cadre d'au moins 300 mm et une hauteur d'au moins 30 mm, conformément à la norme DIN ISO 3310-2.

A.2.7 Récipient

En matériau non absorbant pour recueillir l'échantillon de béton frais selon DIN EN 12350-1.

A.2.8 Récipients d'échantillonnage

Trois récipients en matériau non absorbant pour recueillir les granulats grossiers lavés issus des trois segments cylindriques.

A.2.9 Balances

Balances d'une capacité de charge d'au moins 10 kg et avec lesquelles la masse peut être déterminée avec précision à 0,001 kg.

A.2.10 Couteau de séparation

En tôle d'acier fine, destiné à séparer les segments individuels remplis de béton après l'exécution de l'essai.

A.3 Performances

A.3.1 Échantillonnage

Un échantillon représentatif du lot à évaluer doit être prélevé selon la norme DIN EN 12350-1 et placé dans un récipient.

Note: Le prélèvement d'un échantillon représentatif revêt une importance particulière pour l'essai de lavage, car il peut avoir une influence directe sur le résultat de l'essai.

A.3.2 Remplissage et compactage de la forme cylindrique

Le compacteur doit être placé sur une surface plane et horizontale. La forme cylindrique doit être assemblée. Le béton contenu dans le récipient doit être mélangé soigneusement juste avant d'être versé dans la forme cylindrique afin d'assurer une répartition homogène des granulats dans la forme. Le béton doit être rempli complètement, sans compactage, jusqu'au bord supérieur du coffrage, en tenant la forme cylindrique initialement inclinée et en évitant au maximum les vides. L'excès de béton doit être enlevé à l'aide de la règle de lissage en effectuant un mouvement de va-et-vient, en évitant tout compactage.

La forme cylindrique doit être fixée sur la table vibrante avec le couple de serrage prévu. Le béton doit être compacté selon les paramètres définis (voir sections A.5.2 et A.5.3). Il n'est pas permis de rajouter du béton pendant le processus de compactage. Après la fin du compactage, le retrait a du béton, c'est-à-dire la distance entre le bord supérieur du cylindre et la surface du béton compacté, doit être mesuré avec une précision de 1 mm.

Note 1: Pour les bétons avec une faible maniabilité (valeurs F3 inférieures ou plus faibles), un fort tassement du béton dans la forme cylindrique peut se produire pendant l'essai. Dans ce cas, une évaluation pertinente de l'essai selon la section A.4 peut ne plus être possible en raison de l'impossibilité de diviser précisément l'échantillon en tiers.

Note 2: Pour réaliser les investigations selon la section A.5.2, il est nécessaire de remplir et de compacter au moins quatre formes cylindriques successivement, avant de commencer le lavage, afin de minimiser l'influence des éventuelles variations des propriétés du béton frais pendant la durée de l'essai. Après la phase de compactage, les modifications temporelles des propriétés du béton frais n'influencent plus le résultat de l'essai.

A.3.3 Choix du jeu de tamis

Pour un béton dont la plus grosse granulométrie est de 16 mm, les granulats grossiers sont lavés et tamisés sur un tamis à ouvertures carrées de 8 mm conformément à la norme DIN ISO 3310-2. Pour un béton avec un plus gros grain de 22,4 ou 31,5 mm, le tamis utilisé comporte des ouvertures carrées de 11,2 (11) mm.

Note: Aucune expérience n'est disponible pour les bétons vibrés avec une granulométrie maximale de 8 mm.

A.3.4 Lavage du béton

Le cylindre est à diviser à l'aide du séparateur. Chaque segment doit être vidé dans un récipient. Le poids de béton $m_{b,i}$ dans les trois segments est déterminé avec une précision de 1 g.

Ensuite, le béton est versé sur le tamis conformément à la section A.3.3, lavé puis tamisé. Les granulats grossiers retenus sur le tamis doivent être récupérés pour chaque segment dans un récipient d'échantillonnage. L'excès d'eau doit être évacué du récipient d'échantillonnage. Les masses m_1 , m_2 et m_3

des granulats grossiers, humides en surface, provenant des trois segments sont déterminées avec une précision de 1 g.

A.3.5 Essais complémentaires sur le béton frais

La température du béton doit être mesurée et enregistrée avec un thermomètre, avec une précision de 1 °C. La consistance du béton conformément à la norme DIN EN 12350-5, la masse volumique conformément à la norme DIN EN 12350-6 et la teneur en air conformément à la norme DIN EN 12350-7 doivent être déterminées et enregistrées au moment de l'essai. Pour le béton provenant d'une centrale à béton prêt à l'emploi, la teneur en eau du béton frais doit être déterminée par la méthode du dessiccateur conformément à la fiche technique spéciale du DBV pour l'essai du béton frais.

Note: Si le remplissage et le compactage des cylindres, conformément à la section A.5.2, prennent un temps prolongé et entraînent ainsi des modifications de la consistance et éventuellement de la teneur en air, ces propriétés doivent être déterminées avant et après la fin du compactage de toutes les formes cylindriques.

A.4 Évaluation de l'essai

A.4.1 Généralités

Deux méthodes d'évaluation pour la détermination de la sédimentation des granulats grossiers sont décrites ci-après. Lors des investigations précédentes, l'évaluation conformément à la section A.4.2 a été utilisée. Cette évaluation constitue la méthode de référence. L'évaluation alternative conformément à la section A.4.3 permet une simplification importante de l'essai, car elle supprime l'étape de lavage.

Note: Pour vérifier la représentativité de l'échantillonnage, il est conseillé de comparer la masse moyenne des granulats grossiers $\bar{m}$ conformément à la section A.4.2 avec la fraction correspondante issue de la courbe granulométrique, ou bien la masse volumique moyenne du béton frais $\bar{\rho}$ conformément à la section A.4.3 avec la masse volumique du béton frais déterminée selon la norme DIN EN 12390-6. Lors de la réalisation de plusieurs essais de lavage, une comparaison entre la masse des granulats grossiers $\bar{m}$ la masse volumique moyenne du béton frais $\bar{\rho}$ donne des indications sur la comparabilité des différents prélèvements.

A.4.2 Détermination du degré de sédimentation (méthode de référence)

La masse des granulats grossiers dans le segment supérieur est corrigée avec précision au gramme près en tenant compte de l'affaissement a , selon la formule suivante:

$$m_{1, \text{corr}} = \frac{m_1}{1 - \frac{a}{150}}$$

Où:

m_1 Masse du granulat grossier tamisé du segment supérieur en g

a Affaissement du béton après le compactage en mm

La masse corrigée de l'élément supérieur et les masses des deux autres éléments servent à calculer la masse moyenne de granulat grossier dans les segments, arrondie au gramme près.

$$\bar{m} = \frac{1}{3} (m_{1, \text{corr}} + m_2 + m_3)$$

Où:

$\bar{m}$	masse moyenne de la granulométrie grossière dans les trois segments en grammes
$m_{1,corr}$	masse corrigée de la granulométrie grossière dans le segment supérieur en grammes
m_2, m_3	masse des granulats grossiers dans les segments moyen et inférieur en grammes

L'indice de sédimentation, en tant qu'écart relatif en Δm_i de la proportion de granulats grossiers dans le segment i par rapport à la moyenne, est calculé avec une précision de 1 % en masse, comme suit:

$$\Delta m_i = \left(\frac{m_i}{\bar{m}} - 1 \right) \cdot 100$$

Où:

m_i	masse de granulat grossier dans les trois segments individuels i à g
Δm_i	écart en pourcentage de la proportion de granulat grossier dans le segment individuel i par rapport à la proportion moyenne de granulat grossier en pourcentage massique

A.4.3 Détermination de la différence de densité (méthode alternative)

Une méthode d'évaluation alternative est la différence de densité, qui correspond à la différence entre la masse volumique du béton frais dans le segment supérieur ou inférieur et la masse volumique moyenne du béton frais.

$$\Delta \rho_d = \rho_d - \bar{\rho}$$

$$\Delta \rho_u = \rho_u - \bar{\rho}$$

Où:

$\Delta \rho_d, \rho_u$	Différence de densité dans le segment supérieur (o) ou inférieur (u) en kg/m ³
ρ_d, ρ_u	Masse volumique brute du béton frais dans le segment supérieur (o) ou inférieur (u) en kg/m ³

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \rho_i}{3}$$

Masse volumique brute du béton frais dans les trois segments individuels i en kg/m³

$$\rho_i = \frac{m_{b,i}}{V_i}$$

Densité brute du béton frais dans les trois segments individuels i en kg/m³

$m_{b,i}$	Masse du béton dans les trois segments individuels en kg
-----------	--

$$V_i = \pi \cdot r^2 \cdot h_i$$

Volume de béton dans les trois segments individuels i en m³

r	rayon des segments individuels, r = 0,075 m
---	---

h_i	hauteur des segments individuels, $h_m=150$ mm, $h_u=150$ mm, $h_o=150$ mm-a
-------	--

a	Affaissement du béton après le compactage en mm
---	---

A.4.4 Exemple d'évaluation

Dans le Tableau 2 sont présentés des exemples d'évaluation pour l'essai de lessivage.

Tableau 2: *exemples d'évaluation de l'essai de lessivage conformément aux sections A.4.2 et A.4.3*

		m _i	a	Méthode selon la section A.4.2		Méthode selon la section A.4.3		
				m _{1,corr}	Δm _i	m _{b,i}	V _i	ρ _i
		[g]	[mm]	[g]	[pourcentage]	[g]	[dm³]	[kg/m³]
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Haut	1686	8	1784	-20	5714	2,51	2276
2	Milieu	2036	-	-	-8	6204	2,65	2341
3	Base	2838	-	-	+28	6506	2,65	2455
4	<i>m̄</i>	-	-	2219	0	-	-	-
5	<i>ρ̄</i>	-	-	-	-	-		2357
6	<i>Δρ_d</i>							-81
7	<i>Δρ_u</i>							+98

A.5 Évaluation

A.5.1 Généralités

Compte tenu de l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de définir de valeurs limites pour la sensibilité à la sédimentation. Les résultats des essais doivent servir principalement à:

- effectuer des comparaisons relatives entre différentes compositions de béton,
- identifier les variations de la sensibilité à la sédimentation d'une même formulation de béton dues aux conditions de fabrication.

A.5.2 Détermination de la sensibilité à la sédimentation

La sensibilité à la sédimentation doit être déterminée en faisant varier le temps de compactage dans au moins quatre essais. À cet effet, des temps de compression de 15, 30, 60 et 90 s sont recommandés. Pour le béton avec entraîneur d'air, des intervalles de temps plus courts peuvent être utiles. Pour le béton sans entraîneur d'air, des temps de compactage plus longs allant jusqu'à 120 s peuvent être utiles. La relation entre le temps de compactage et la vitesse de sédimentation est déterminée à l'aide d'une régression prenant en compte le passage par zéro comme une paire de valeurs. La pente de la ligne de régression est utilisée comme mesure de la sensibilité à la sédimentation du gros granulat dans les conditions limites du test. Le coefficient de détermination R^2 de la régression doit être indiqué.

Ces essais doivent être réalisés, pour obtenir des résultats représentatifs, dans des conditions aussi constantes que possible en ce qui concerne les autres propriétés du béton frais (étalement ± 20 mm, teneur en air $\pm 0,5$ % vol.). Cela doit être vérifié au moyen des essais sur béton frais accompagnateurs conformément à la section A.3.5.

Note 1: Le résultat de l'essai est influencé par les propriétés du béton frais. Pour évaluer correctement le résultat, il est essentiel de connaître ces propriétés et, le cas échéant, leur évolution pendant la réalisation de l'essai jusqu'au compactage. C'est pourquoi leur détermination est impérative.

Note 2: Avec l'augmentation de la durée de compactage, un état d'équilibre dépendant du béton peut apparaître en ce qui concerne le taux de sédimentation. Dans ce cas, ce taux de sédimentation reste approximativement constant malgré la poursuite du compactage. Les taux de sédimentation déterminés après l'atteinte de cet état d'équilibre ne décrivent plus la sensibilité à la sédimentation et ne sont donc pas pris en compte pour la détermination de la pente de la ligne de régression (voir Figure 5, Figure 6). Cela permet une détermination significative de la pente de la droite de régression avec des coefficients de détermination $R^2 > 0,90$.

Pour classifier le béton en ce qui concerne sa sensibilité à la sédimentation, il semble, au vu de l'état actuel des connaissances, qu'une classification approximative en trois catégories soit possible, sur la base du lien entre l'intensité de compactage et le taux de sédimentation (voir Figure 4):

Catégorie 1: sensibilité plutôt faible à l'effet du compactage

Catégorie 2: zone de transition

Catégorie 3: sensibilité plutôt élevée à l'effet du compactage

Les domaines de sensibilité à la sédimentation visent à fournir à l'utilisateur des indications sur le choix d'un mode de compactage du béton approprié. La sensibilité à la sédimentation est principalement influencée par la composition du béton et les propriétés du béton frais. Selon l'état actuel des connaissances, les bétons avec entraîneur d'air se situent par exemple plutôt dans les domaines 2 ou 3.

Note: Pour la méthode alternative d'évaluation conformément à la section A.4.3, une plage de référence comparable devra être déterminée par la collecte de données supplémentaires.

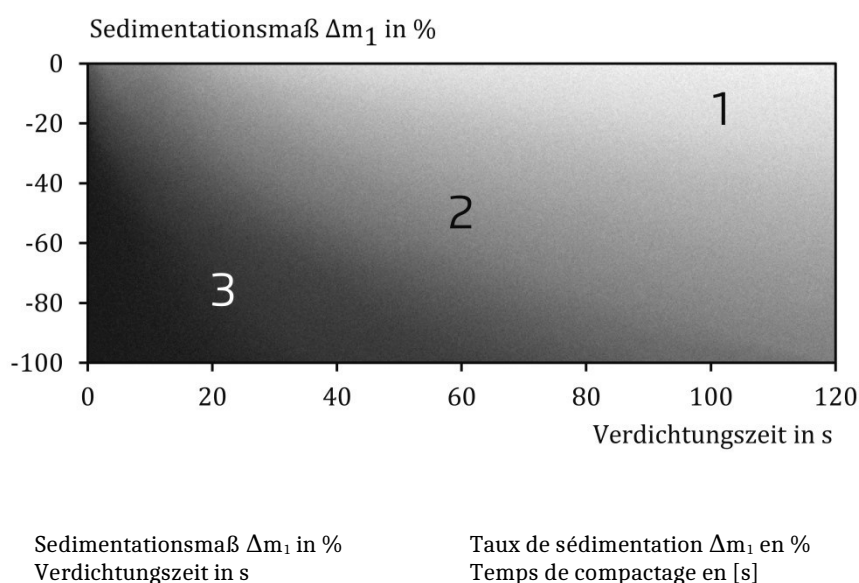


Figure 4: Catégories de sensibilité à la sédimentation déterminées lors de l'évaluation décrite à la section A.4.2

Le coefficient de détermination est calculé comme suit:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}(x_i) - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Où:

R^2 Coefficient de détermination

$\hat{y}(x_i)$ Fonction de régression

$\bar{y}$ Moyenne

y_i Valeur d'essai

A.5.3 Contrôle de la sensibilité à la sédimentation en cours de fabrication ou sur chantier

Les essais doivent être réalisés avec le même appareil, à la même fréquence et amplitude que ceux décrits à la section A.5.2. Il est recommandé d'utiliser pour l'essai de lavage une durée de vibration conformément à la section A.5.2 pour laquelle un indice de sédimentation supérieur à 20 % a été déterminé lors des essais décrits dans cette section, pour le béton examiné. Des durées de compactage plus courtes sont également possibles, mais elles peuvent entraîner une plus grande dispersion des résultats. L'évaluation est effectuée conformément à la section A.4.

En outre, les essais de béton frais qui l'accompagnent doivent être effectués conformément à la section A.3.5.

A.5.4 Exemple d'évaluation

Un exemple illustrant la relation entre la durée de vibration et la sédimentation des gros granulats dans le segment supérieur est présenté à la Figure 5. Un exemple montrant la relation entre la durée de vibration et la différence de densité est présenté à la Figure 6.

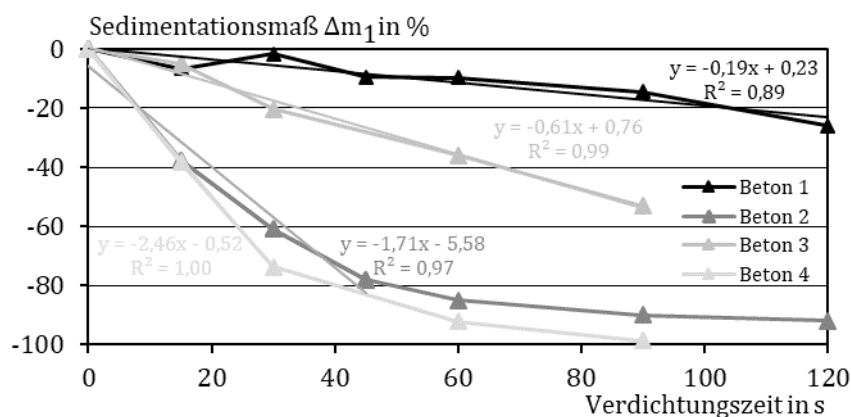
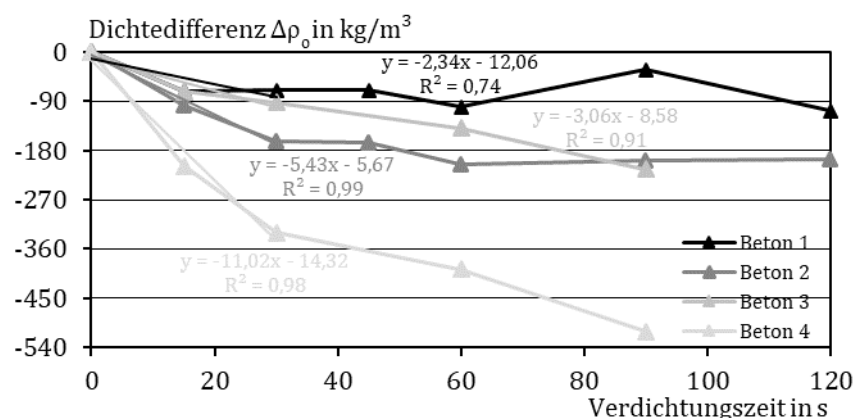


Figure 5: Exemple: relation entre la durée de compactage et la sédimentation des granulats grossier dans le segment supérieur

Dichtedifferenz $\Delta\rho_0$ in kg/m³

Verdichtungszeit in s

Différence de densité $\Delta\rho_d$ en kg/m³

Temps de compactage en [s]

Figure 6: Exemple: relation entre la durée de compactage et la différence entre la masse volumique apparente du béton frais dans le segment supérieur et la masse volumique apparente moyenne du béton frais

La pente de la ligne de régression, avec un coefficient de détermination élevé, décrit la vitesse de sédimentation ; l'atteinte d'un état d'équilibre (voir par exemple Béton 1 et Béton 2 pour la différence de masse volumique) indique un potentiel global de sédimentation.

A.6 Rapport

Lorsqu'il est évalué conformément à la méthode de référence décrite à la section A.4.2, le rapport doit contenir les informations et annexes suivantes:

- la désignation de l'échantillon d'essai;
- le lieu de réalisation de l'essai;
- la date et l'heure de l'essai;
- le calcul de la composition du mélange;
- la taille du plus gros grain des granulats;
- l'âge du béton en minutes après ajout de l'eau au moment du remplissage du cylindre;
- la température du béton au moment de l'essai, arrondie au °C supérieur;
- l'étalement du béton au moment du compactage, en mm;
- la teneur en air en volume (%) et masse volumique apparente du béton frais en kg/m³ au moment du compactage;
- pour le béton provenant d'une centrale à béton : teneur en eau du béton frais déterminée par dessiccation, en kg/m³;
- la fréquence de vibration en Hz, amplitude en mm et durée de compactage, en s;
- le tassement α du béton dans le cylindre après compactage, en mm;
- les masses de la granulat grossier m_i dans chaque segment i , en g;
- la masse corrigée du granulat grossier $m_{1,corr}$ dans le segment supérieur, en g;

- o) la masse moyenne du granulat grossier $\overline{m}$, en g;
- p) l'écart relatif en pourcentage Δm_i de la proportion de granulat grossier dans chaque segment i;
- q) la représentation graphique des résultats incluant la régression et le coefficient de détermination R^2 ;
- r) le protocole de la dernière mesure de la fréquence et de l'amplitude de l'appareil conformément à la section A.2.4;
- s) tout écart par rapport à la méthode d'essai décrite;
- t) la déclaration de la personne responsable techniquement de l'essai attestant que l'essai a été réalisé conformément à cette description, à l'exception de la remarque mentionnée au point s);
- u) pour le béton prêt à l'emploi ou de chantier: le bon de livraison.

Dans le cas d'une évaluation conformément à la section A.4.3:

- v) la masse volumique moyenne du béton frais $\overline{\rho}$ du béton des trois segments individuels;
- w) la masse volumique du béton frais ρ_i dans les trois segments individuels i;
- x) la masse du béton $m_{b,i}$ dans les trois segments individuels en g;
- y) la différence de masse volumique $\Delta \rho_d, \rho_u$ dans le segment supérieur (o) et inférieur (u).

Annexe B: Détermination de la sédimentation des granulats grossiers dans le béton durci – Échantillon d'essai en laboratoire (informatif)

B.1 Description succincte

La détermination de la sédimentation des granulats grossiers sur le corps d'épreuve en laboratoire est utilisée pour une évaluation visuelle et quantitative de la sédimentation des granulats grossiers dans le béton vibré, présentant un grain maximum d'au moins 16 mm. L'essai permet de déterminer l'influence de différentes durées de compactage sur la sédimentation des granulats grossiers.

Des coffrages cylindriques sont remplis de béton puis compactés. Après durcissement, les cylindres de béton sont sciés longitudinalement, au milieu de leur axe. L'évaluation de la répartition des gros grains se fait sur la hauteur de l'échantillon d'essai. Les différences de proportions de granulats grossiers selon les zones d'analyse indiquent le degré de sédimentation des granulats grossiers en fonction de l'effet de la vibration appliquée.

B.2 Équipements

Voir les sections A.2.1 à A.2.5 et les sections 4.3.2.2 à 4.3.2.5 et:

B.2.1 Coffrage cylindrique

Coffrage cylindrique de dimensions $d/h = 150 \text{ mm}/450 \text{ mm}$, pouvant être fixé sur la table vibrante avec une pression d'appui définie conformément à la section A.2.4. Le matériau du coffrage cylindrique doit être indiqué dans le rapport.

B.3 Performances

B.3.1 Échantillonnage

Le prélèvement s'effectue conformément à la section A.3.1, de préférence en même temps que le prélèvement destiné à l'essai de lavage.

B.3.2 Production de l'échantillon d'essai

Pour la comparaison avec l'essai de lavage conformément à l'annexe A, deux cylindres doivent être utilisés conformément à la section B.2.1. Ces cylindres doivent être compactés avec les mêmes paramètres de compactage que ceux utilisés pour l'essai de lavage, conformément à la section A.3.2.

Note: Il est recommandé de réaliser au moins un cylindre avec la durée de compactage la plus courte et un autre avec la durée la plus longue, afin de visualiser l'étendue de la sédimentation des gros granulats.

B.3.3 Sciage des échantillons d'essai

Il doit être effectué conformément à la section 4.3.3.2.

B.3.4 Préparation des échantillons d'essai

La surface d'essai doit être divisée en trois sections égales. La préparation doit être effectuée conformément à la section 4.3.3.4.

B.4 Évaluation de l'essai

B.4.1 Méthode

L'évaluation doit être effectuée conformément à la section 4.3.4.

B.4.2 Exemple d'évaluation

Un exemple d'évaluation est présenté dans la section .

B.5 Évaluation

Les résultats de l'essai de lavage et de l'essai sur béton durci réalisé sur l'échantillon d'essai de laboratoire sont comparés. Outre une évaluation visuelle de l'échantillon de béton durci, une comparaison quantitative entre les essais sur béton frais et sur béton durci est possible. L'aspect visuel du béton durci ainsi que les résultats d'essai peuvent également servir à interpréter les résultats obtenus sur carottes conformément à la section 4.3.

B.6 Rapport

Le rapport doit contenir les informations et annexes suivantes:

- a) l'identification claire des échantillons d'essai analysés;
- b) le lieu de réalisation de l'essai;
- c) la date et l'heure de l'essai;
- d) le calcul du mélange et granulométrie maximale des granulats;
- e) l'âge du béton en minutes après ajout de l'eau au moment du remplissage du cylindre;
- f) la température du béton au moment de l'essai, arrondie au °C supérieur;
- g) l'étalement du béton au moment du compactage, en mm;
- h) la teneur en air en % vol. et masse volumique apparente du béton frais au moment du compactage, en kg/m³;
- i) pour le béton provenant d'une centrale à béton : teneur en eau du béton frais déterminée par dessiccation, en kg/m³;
- j) la fréquence de vibration en Hz, amplitude en mm et durée de compactage, en s;
- k) le matériau du coffrage cylindrique;
- l) le marquage clair des zones d'évaluation sur la surface de coupe (photo);
- m) une photo de la surface de coupe avec les granulats marqués pour l'évaluation;
- n) la description de la méthode utilisée pour déterminer les proportions de surface des granulats dans les zones d'évaluation;
- o) la dimension limite d des fractions de granulats prises en compte dans l'analyse, exprimée en mm;
- p) la surface des gros granulats A_i dans chaque zone d'évaluation, en mm²;
- q) la surface moyenne $\bar{A}$, en mm²;

- r) l'écart en pourcentage de la proportion de gros granulats ΔA_i dans les différentes zones d'évaluation, en %;
- s) la description des éventuels enrichissements en mortier et autres ségrégations;
- t) tout écart par rapport à la méthode d'essai décrite;
- u) la déclaration de la personne techniquement responsable de l'essai, attestant que celui-ci a été réalisé conformément à la présente description, à l'exception des écarts mentionnés au point t);
- v) pour le béton prêt à l'emploi ou de chantier: le bon de livraison.

Annexe C: Essai de sédimentation des gros granulats dans le béton durci – élément de petite taille (informatif)

C.1 Description succincte

La détermination de la sédimentation des gros granulats sur petit élément sert à l'évaluation visuelle et quantitative de la sédimentation des gros granulats dans le béton vibré dont la dimension maximale est d'au moins 16 mm. L'essai permet de déduire l'effet d'un compactage en situation réelle, réalisé à l'aide d'une aiguille vibrante, sur la sédimentation des granulats grossiers selon différentes durées de compactage.

Deux coffrages identiques sont remplis de béton puis compactés à l'aide d'une aiguille vibrante pendant des durées de vibration distinctes. Après durcissement, des carottes sont prélevées et sciées longitudinalement, au milieu de leur axe. La répartition des gros grains est évaluée sur la hauteur de l'échantillon d'essai. Les différences de proportion des granulats grossiers entre les différentes tranches de l'échantillon d'essai indiquent le degré de ségrégation dû à l'effet du compactage appliqué.

C.2 Équipements

Voir les sections A.2.1 à A.2.3 et les sections 4.3.2.1 à 4.3.2.5 et:

C.2.1 Coffrage

Coffrage cylindrique d'un diamètre de 800 mm et d'une hauteur d'environ 600 mm, avec une peau de coffrage lisse.

C.2.2 Vibreur interne (vibreur à immersion)

Vibreur interne d'un diamètre compris entre 50 et 60 mm pour le compactage du béton dans le petit composant.

C.3 Performances

C.3.1 Échantillonnage

Un échantillon représentatif de la charge à évaluer, présentant une consistance représentative pour le béton et, dans le cas du béton à pores d'air, un taux d'air représentatif, doit être prélevé à partir d'un camion malaxeur.

C.3.2 Production de petits composants

Deux petits composants doivent être fabriqués avec les coffrages, conformément à la section C.2.1. Le béton est coulé en une seule couche d'environ 500 mm de hauteur (en état compacté) dans le premier petit composant, puis compacté à l'aide d'une aiguille vibrante conforme à la section C.2.2, selon les règles de l'art reconnues. La durée de compactage choisie pour chaque couche doit être documentée. Le second petit composant doit être réalisé de la même manière, mais avec une durée de compactage trois fois supérieure. Le point d'immersion de l'aiguillon vibrant doit être placé au centre du composant dans les deux cas et marqué.

C.3.3 Essais complémentaires sur le béton

En complément à la fabrication des petits composants, les essais d'érosion conformément à la section 3 et l'essai sur béton durci conformément à la section 4.1 doivent être réalisés.

C.3.4 Prélèvement des carottes

Après durcissement suffisant, l'ensemble du petit composant doit être foré verticalement. Le prélèvement des carottes doit être effectué conformément au code de pratique BAW. Pour assurer la comparaison des évaluations des deux composants, les points de prélèvement des carottes doivent être choisis et documentés aux mêmes endroits sur les deux composants. Les points de prélèvement doivent se situer à 10 cm en dehors du centre du point d'immersion du vibreur interne, laisser une zone de 10 cm en bordure du coffrage, et couvrir l'ensemble de la section transversale du composant. Au moins trois carottes doivent être prélevées. Une recommandation pour le prélèvement des carottes figure à la Figure 7.

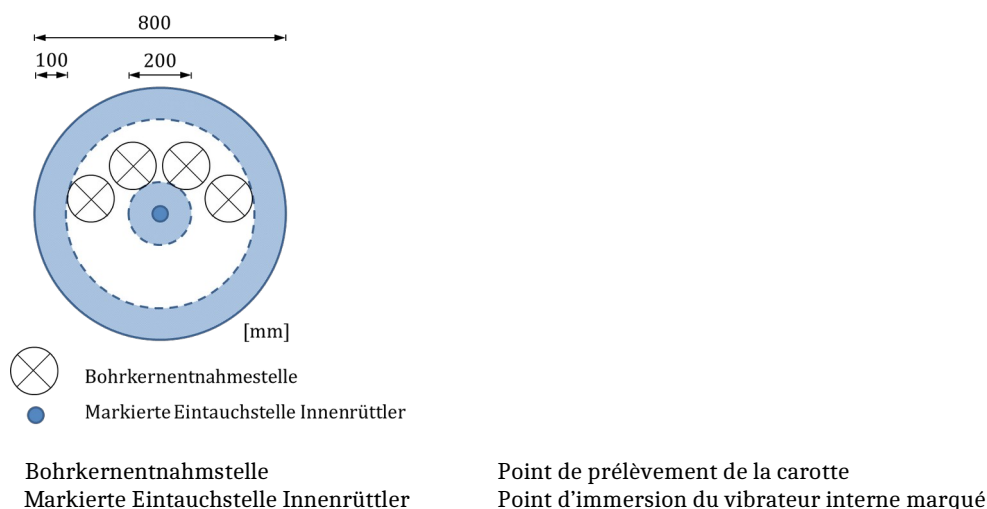


Figure 7: *Recommandation pour les points de prélèvement des carottes sur le petit composant (vue de dessus)*

C.3.5 Sciage des échantillons d'essai

Il doit être effectué conformément à la section 4.3.3.2.

Note: Selon l'aspect visuel constaté de la structure, au moins une carotte représentative par composant doit être sciée en vue d'une évaluation ultérieure.

C.3.6 Détermination des zones d'évaluation

La surface d'essai doit être divisée en trois sections égales.

C.3.7 Préparation des échantillons d'essai

La préparation doit être effectuée conformément à la section 4.3.3.4.

C.4 Évaluation de l'essai

C.4.1 Méthode

L'évaluation doit être effectuée conformément à la section 4.3.4.1.

C.4.2 Exemple d'évaluation

Un exemple d'évaluation est présenté dans la section .

C.5 Évaluation

Les investigations sur les petits composants doivent mettre en évidence les effets de durées de vibration sensiblement différentes sur la tendance à la ségrégation du béton dans l'élément, en utilisant un vibreur interne.

Note: Ces études sur les petits composants visent à obtenir des informations sur la transférabilité des résultats de l'essai de lavage aux conditions pratiques. À cette fin, les résultats de l'essai de lavage (section 3) et les échantillons d'essai en laboratoire (section 4.1) doivent être comparés aux résultats des petits composants. À terme, l'utilisateur devrait pouvoir en déduire des conclusions pour la mise en œuvre du béton.

C.6 Rapport

Le rapport doit contenir les informations et annexes suivantes:

- a) la description claire du petit composant, y compris photos;
- b) l'identification précise de l'emplacement du point d'immersion de l'aiguille vibrante;
- c) la désignation du type et les caractéristiques techniques de l'aiguille vibrante;
- d) la durée de vibration choisie lors de chaque immersion, pour les deux composants;
- e) la description claire du point de prélèvement des carottes;
- f) l'identification claire des échantillons d'essai analysés;
- g) une photo des carottes avec une échelle;
- h) la justification étayée du choix des carottes aux fins de l'évaluation;
- i) le marquage clair des zones d'évaluation sur la surface de coupe (photo);
- j) une photo de la surface de coupe avec les granulats marqués pour l'évaluation;
- k) la description de la méthode utilisée pour déterminer les proportions de surface des granulats dans les zones d'évaluation;
- l) le calcul du mélange et granulométrie maximale des granulats;
- m) la dimension limite d des fractions de granulats prises en compte dans l'évaluation;
- n) la proportion en surface de granulats grossiers A_i dans chaque zone d'analyse, en %;
- o) la proportion moyenne en surface $\overline{A}$, en %;
- p) l'écart en pourcentage de la proportion de gros granulats ΔA_i dans les différentes zones d'évaluation, en %;
- q) la description des éventuels enrichissements en mortier et autres ségrégations;
- r) tout écart par rapport à la méthode d'essai décrite;
- s) les protocoles de forage selon le code de pratique BAW relatif au prélèvement d'échantillon par carottage;
- t) les bons de livraison ainsi que les caractéristiques du béton frais au moment du coulage (étalement, masse volumique brute du béton frais, taux d'air, température du béton frais); si ces informations ne sont pas disponibles, cela doit également être indiqué;
- u) l'âge du béton en minutes après le chargement.