

Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken und in Bauwerksteilen

Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components

Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton

Les rectificatifs éventuels concernant la présente publication sont disponibles sous www.sia.ch/rectificatif/cen.

La SIA décline toute responsabilité en cas de dommages qui pourraient survenir du fait de l'utilisation ou de l'application de la présente publication.

2021-03 1^{er} tirage

Avant-propos national

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

La norme SN EN 13791:2019 définit les méthodes d'évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton.

1.2 Objet, but

L'avant-propos national contient, avec l'annexe nationale NA, des indications et règles d'application de la norme en Suisse.

2 Compétences

La norme EN 13791:2019 a été élaborée par le Comité Technique CEN/TC 104 «Béton et produits relatifs au béton» et, en Suisse, elle est du domaine d'attribution de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA). Le groupe de travail SIA 262 "Béton" s'est chargé des travaux de la commission miroir nationale.

3 Historique

Dans le but de supprimer les entraves techniques au commerce et dans le cadre de l'accord entre les pays de l'Union européenne (UE) et de l'Association européenne de libre-échange (AELE), la Suisse s'est engagée à adopter les normes européennes (EN). Elle n'a pas formulé de réserves concernant cette EN et l'a intégrée dans les normes suisses en tant que SN EN 13791:2019. Elle remplace la norme SN EN 13791:2007.

4 Relations

Sans remarques.

5 Validité

La commission de norme SIA 262 «Construction en béton» a adopté le 19 janvier 2021 les éléments nationaux de la EN 13791:2019 constitués de l'avant-propos national et l'annexe nationale présents.

La norme SN EN 13791:2019 est valable à partir du 1^{er} mars 2021. Elle remplace SN EN 13791:2007.

6 Remarques

6.1 Généralités

La norme SN EN 13791:2019 comprend la norme EN 13791:2019, l'avant-propos national et l'annexe nationale NA.

6.2 Annexe nationale NA

L'annexe nationale peut contenir des notions et réglementations nationales ainsi que des indications facilitant la compréhension de la norme.

Annexe nationale NA

Définitions, explications, règles nationales

NA.1 Généralités

La présente annexe nationale NA comprend des notions et réglementations nationales ainsi que des indications facilitant la compréhension de la norme SN EN 13791:2019.

NA.2 Références

La présente annexe nationale NA renvoie aux normes suivantes:

SN EN 12504-1	Essais pour béton dans les structures - Partie 1: Carottes - Prélèvement, examen et essais en compression
SN EN 12504-2	Essais pour béton dans les structures - Partie 2: Essais non destructifs - Détermination de l'indice de rebondissement
SN EN 12504-4	Essais pour béton dans les structures - Partie 4: Détermination de la vitesse de propagation du son
SNG CEN/TR 17086	Further guidance on the application of EN 13791:2019 and background to the provisions
Norme SIA 262 :2013	Construction en béton

NA.3 Introduction: Remarques concernant les paragraphes (7), (8) et (10) de SN EN 13791

NA.3.1 Remarque concernant le paragraphe (7)

La résistance à la compression caractéristique du béton f_{ck} pour les vérifications selon la norme SIA 262 peut être calculée sur la base de la résistance à la compression du béton $f_{ck, is}$ selon SN EN 13791:2019, chapitre 8, comme suit:

$$f_{ck} = f_{ck, is} / 0,85$$

Le facteur 0,85 décrit la relation entre la résistance à la compression de carottes d'ouvrages en béton et la résistance à la compression d'éprouvettes normées.

La valeur de calcul de la résistance à la compression du béton pour la vérification statique d'un ouvrage existant peut être déterminée avec la résistance à la compression caractéristique du béton f_{ck} et les prescriptions de la norme SIA 262:2013, chiffre 2.3.2.3.

NA.3.2 Remarque concernant le paragraphe (8)

La résistance à la compression des carottes doit être corrigée en fonction de l'influence du rapport hauteur h / diamètre $\emptyset$, en multipliant la résistance de chaque carotte avec le facteur CLF suivant:

- $CLF = 0,82$ pour $h / \emptyset = 1,0$
- $CLF = 1,00$ pour $h / \emptyset = 2,0$
- $CLF = (h / 2 \cdot \emptyset)^{0,29}$ pour rapports $h / \emptyset$ entre 0,90 et 2,05

Les carottes avec $h / \emptyset < 0,90$ ou $h / \emptyset > 2,05$ ne peuvent être prises en compte.

NA.3.3 Remarque concernant le paragraphe (10)

La rapport technique CEN/TR 17086 est disponible en tant SNG CEN/TR 17086.

NA.4 Termes: Remarques concernant le chiffre 3.1 de SN EN 13791

NA.4.1 Petite zone d'essai: Remarque concernant le chiffre 3.1.7

Une petite zone d'essai peut aussi être une petite partie d'un grand élément d'ouvrage ou un petit élément d'ouvrage en entier.

NA.4.2 Aire d'essai: Remarque concernant le chiffre 3.1.8

Une aire d'essai est une partie d'un élément d'ouvrage ou un élément d'ouvrage très petit en entier.

NA.4.3 Zone d'essai: Remarque concernant le chiffre 3.1.9

Pour les essais d'identité voir SN EN 206+A1:2016, annexe B.

NA.5 Symboles et abréviations: Remarques concernant le chiffre 3.2 de SN EN 13791**NA.5.1 Valeur la plus faible de résistance: Remarques concernant le tableau 2**

Dans la version allemande de la norme il y a l'erreur suivante: la description et l'explication correcte de $f_{c, is, la}$ plus faible est: "Valeur la plus faible de résistance à la compression sur site..." et non "Valeur la plus faible de résistance à la compression caractéristique sur site...".

NA.6 Objectif de l'étude et paramètres d'essai: Compléments au chapitre 4 de SN EN 13791**NA.6.1 Exigences relatives au rapport d'évaluation**

Le rapport d'évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et éléments préfabriqués en béton doit contenir au moins les indications suivantes:

- a) Référence à la présente norme
- b) Objectif: Détermination de la résistance à la compression sur site ou estimation de la résistance à la compression en vue de l'évaluation d'une structure existante ou évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton fourni, en cas de doute (voir chapitres 6, 8, 9)
- c) Auteur du rapport
- d) Mandant
- e) Informations disponibles concernant l'ouvrage et le béton (composition du béton, classe de résistance, âge, dates de bétonnage etc.)
- f) Personne responsable de la définition des aires d'essai et des zones d'essai
- g) Situation des aires d'essai, des zones d'essai et des points de prélèvement des carottes, du volume de béton par zone d'essai (si connu), le nombre de mesures par aire d'essai, la profondeur des éprouvettes de carottes dans l'élément d'ouvrage (par ex. plans, attribution au éléments d'ouvrage, le cas échéant: indication si les points de prélèvement des carottes ont été définis sur la base de mesures indirectes)
- h) Estimation du diamètre maximal apparent du granulat D_{max}
- i) Rapport d'essai complet selon SN EN 12504-1 (annexes)
- j) En cas de mesures non destructives, indirectes de la résistance à la compression:
 - Résultats des mesures pour chaque aire d'essai selon SN EN 12504-2 respectivement SN EN 12504-4
 - Graphique montrant la corrélation des résistances à la compression des carottes et des résultats des mesures non destructives
 - Nombre de paires de valeurs utilisés et nombre de valeurs extrapolées
- k) Test d'identification des valeurs aberrantes selon chap. 7, si exécuté: méthode employée et résultats
- l) Valeurs individuelles et moyennes de la résistance à la compression par aire d'essai (selon chapitre 6) et / ou de la résistance à la compression caractéristique par zone d'essai (selon chapitre 8) et indication de la (des) masse(s) volumique(s) associée(s) du béton ainsi que du facteur de correction CLF selon NA.3.2
- m) Valeur K_n employée pour l'estimation de la résistance à la compression caractéristique
- n) Si l'évaluation de la classe de résistance à la compression est demandée selon chapitre 9:
 - Résultat de l'évaluation de la classe de résistance à la compression par zone d'essai avec indication de l'âge du béton

- o) Toute dérogation aux méthodes définies par la SN EN 13791 avec une évaluation de l'influence de cet écart sur le résultat.
- p) Informations supplémentaires lors de l'évaluation de la classe de résistance selon chapitre 9, si disponibles: heure de la mise en place, conditions de température pendant la mise en œuvre, durée et type de la cure, moment du décoffrage.
- q) Autres indications possibles: conditions de durcissement extraordinaires comme par ex. des températures très basses ou élevées ou autres situations particulières.

NA.7 Essais sur carottes et détermination de la résistance à la compression sur site: Complément au chapitre 6 de SN EN 13791

NA.7.1 Les règles suivantes sont valables pour un diamètre du granulat D_{max} d'au maximum 32 mm. Le tableau NA.1 s'applique au cas où il faut déterminer la résistance à la compression sur site $f_{c, is}$ pour une aire d'essai. Ce tableau complète le tableau 4 et le tableau 8 de la SN EN 13791. Le nombre minimal nécessaire de valeurs de résistance à la compression dépend du:

- diamètre de la carotte $\emptyset$
- rapport entre le diamètre maximal du granulat D_{max} et le diamètre de la carotte $\emptyset$

NA.7.2 Le tableau NA.1 indique le nombre minimal de valeurs de résistance à la compression nécessaire pour obtenir le résultat d'essai de résistance à la compression $f_{c, is}$ au niveau d'une aire d'essai. Le résultat d'essai de résistance à la compression $f_{c, is}$ au niveau d'une aire d'essai est la valeur moyenne des résistances à la compression des carottes testées dans cette aire d'essai.

Tableau NA.1 Exigences relatives au nombre minimal de valeurs de résistance à la compression pour obtenir un résultat d'essai au niveau d'une aire d'essai.

Diamètre de la carotte $\emptyset$ en mm	$\emptyset / D_{max}$	Nombre minimal de valeurs de résistance à la compression	Exemple
≥ 75	≤ 3	2	$\emptyset = 80$ mm, D_{max} 32 mm $\rightarrow$ 2 valeurs de résistance à la compression
	> 3	1	$\emptyset = 80$ mm, D_{max} 16 mm $\rightarrow$ 1 valeur de résistance à la compression $\emptyset = 100$ mm, D_{max} 32 mm $\rightarrow$ 1 valeurs de résistance à la compression
$50 \leq \emptyset < 75$	≤ 3	5	$\emptyset = 50$ mm, D_{max} 32 mm $\rightarrow$ 5 valeurs de résistance à la compression
	> 3	3	$\emptyset = 50$ mm, D_{max} 16 mm $\rightarrow$ 3 valeurs de résistance à la compression

NA.7.3 Le diamètre du granulat peut avoir une influence significative sur la résistance à la compression mesurée, si le rapport entre le diamètre de la carotte et le diamètre maximal du granulat est inférieur à 3.

NA.8 Evaluation des résultats d'essai individuels dans une zone d'essai: Remarques concernant le chiffre 7.2, paragraphe (1) de SN EN 13791

Il est possible de se baser sur des méthodes statistiques pour identifier des valeurs aberrantes, mais ils existent encore d'autres raisons qui peuvent causer celles-ci, notamment l'état des éprouvettes, par ex. fissures, masse volumique, nids de gravier, cf. annexe A de la SN EN 13791.

NA.9 Estimation de la résistance à la compression en vue de l'évaluation d'une structure existante, fondée uniquement sur des données d'essai de carottes: Remarques concernant le chiffre 8.1 de SN EN 13791

NA.9.1 Complément au paragraphe (2)

NA.9.1.1 A l'exception des petites zones d'essai (voir à ce sujet le chiffre 8.1 (7)), l'estimation de la résistance à la compression caractéristique sur site doit se baser sur au moins le nombre de valeurs de résistance à la compression valides selon le tableau NA.2. Ce tableau complète le chiffre 8.1 (2) de la SN EN 13791.

NA.9.1.2 Les règles suivantes sont valables pour un diamètre du granulat D_{max} d'au maximum 32 mm. Le tableau NA.2 s'applique au cas où il faut déterminer la résistance à la compression sur site $f_{c, is}$ pour une zone d'essai. Le nombre minimal nécessaire de valeurs de résistance à la compression dépend du:

- diamètre de la carotte $\varnothing$
- rapport entre le diamètre maximal du granulat D_{max} et le diamètre de la carotte $\varnothing$

Lors de la sélection des points de prélèvement des carottes, il faut aussi tenir compte du chapitre 6, paragraphe (9).

Tableau NA.2 Nombre minimal nécessaire de valeurs de résistance à la compression valides pour l'estimation de la résistance à la compression d'une zone d'essai existante

Diamètre de la carotte $\varnothing$ en mm	$\varnothing / D_{max}$	Nombre de résultats d'essai valides	Exemples
≥ 75	> 3	8	$\varnothing = 100 \text{ mm}, D_{max} 32 \text{ mm} \rightarrow 8 \text{ résultats d'essai valides}$
	≤ 3		$\varnothing = 80 \text{ mm}, D_{max} 32 \text{ mm} \rightarrow 8 \text{ résultats d'essai valides}$
$50 \leq \varnothing < 75$	≤ 3	16	$\varnothing = 50 \text{ mm}, D_{max} 32 \text{ mm} \rightarrow 16 \text{ résultats d'essai valides}$
	> 3	12	$\varnothing = 50 \text{ mm}, D_{max} 16 \text{ mm} \rightarrow 12 \text{ résultats d'essai valides}$

NA.9.2 **Précision concernant le paragraphe (4)**

Le paragraphe (4) est précisé comme suit:

(4) La résistance à la compression caractéristique sur site ($f_{ck, is}$) est estimée à partir de la plus faible des suivantes:

$$f_{ck, is} = f_{c, m(n), is} - k_n s \quad (3)$$

où

k_n est pris du tableau 6

ou

$$f_{ck, is} = f_{c, is, la plus faible} + M \quad (4)$$

où

la valeur M est basée sur la valeur de $f_{c, is, la plus faible}$ et prise dans le tableau 7.

NA.10 **Essai crible en utilisant une relation générale ou spécifique avec une procédure d'essai indirecte: Remarque concernant le chiffre 9.4 de SN EN 13791**

L'évaluation de la résistance à la compression du béton basée uniquement sur des résultats de l'indice de rebondissement peut mener à de fausses (trop élevées, trop basses) valeurs de résistance à la compression. L'évaluation de la résistance à la compression du béton basée uniquement sur des résultats de l'indice de rebondissement ne doit se faire qu'à condition que la corrélation entre la résistance à la compression du béton et l'indice de rebondissement pour l'élément d'ouvrage examiné ait été vérifiée.

Version Française

Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton

Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in
Bauwerken oder in Bauwerksteilen

Assessment of in-situ compressive strength in
structures and precast concrete components

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 7 juillet 2019.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne. Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion du CEN-CENELEC ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion du CEN-CENELEC, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Macédoine du Nord, République de Serbie, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos européen	4
Introduction	5
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Termes, définitions, symboles et abréviations	9
3.1 Termes et définitions	9
3.2 Symboles et abréviations	11
4 Objectif de l'étude et paramètres d'essai	13
5 Zones d'essai, aires d'essai et nombre d'essais	16
5.1 Zones d'essai	16
5.2 Aires d'essai	16
6 Essais sur carottes et détermination de la résistance à la compression sur site	18
7 Évaluation initiale de l'ensemble de données	20
7.1 Évaluation de la zone d'essai afin de déterminer si elle représente une seule classe de résistance du béton	20
7.2 Évaluation des résultats d'essai individuels dans une zone d'essai	21
8 Estimation de la résistance à la compression en vue de l'évaluation d'une structure existante	24
8.1 Fondée uniquement sur des données d'essai sur carottes	24
8.2 Fondée sur une combinaison de données d'essai indirect et de données d'essai sur carottes	26
8.2.1 Utilisation d'essais indirects qui ont été spécifiquement étalonnés par rapport aux données d'essai sur carottes prélevées dans la structure considérée	26
8.2.2 Estimation de la résistance caractéristique à la compression sur site pour une zone d'essai	27
8.2.3 Estimation de la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire spécifique	28
8.3 Utilisation d'essais indirects avec les données d'essai sur au moins trois carottes	28
9 Évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton fourni, en cas de doute	29
9.1 Généralités	29
9.2 Utilisation de données d'essai sur carottes	30
9.3 Essais indirects plus données d'essai sur carottes sélectionnées	31
9.4 Essai crible en utilisant une relation générale ou spécifique avec une procédure d'essai indirecte	32
9.5 Procédure lorsque le producteur a déclaré une non-conformité de la résistance à la compression	33

Annexe A (informative) Recommandations relatives à la réalisation d'une étude	34
Annexe B (informative) Exemple de relation générique entre l'indice de rebondissement et la classe de résistance à la compression	43
Bibliographie.....	46

Avant-propos européen

Le présent document (EN 13791:2019) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 104 « Béton et produits relatifs au béton », dont le secrétariat est tenu par SN.

La présente Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en février 2020 et les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en février 2020.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN ne saurait être tenu pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

Le présent document remplace l'EN 13791:2007.

Les principales modifications par rapport à l'EN 13791:2007 sont les suivantes :

- a) la norme a été entièrement révisée mais, pour des raisons de continuité, les approches méthodologiques et le domaine d'application ont été conservés, ainsi qu'une grande partie de la structure antérieure ;
- b) le principal objectif est la détermination de la résistance caractéristique à la compression sur site en vue de son application avec l'EN 1990 et l'EN 1992-1-1 ;
- c) des recommandations plus complètes sont fournies sur l'application des procédures, notamment en ce qui concerne la définition d'un résultat d'essai, d'un mesurage, d'un volume de béton, d'une aire d'essai, d'une petite zone d'essai et d'une zone d'essai ;
- d) des exigences sont incluses concernant la détermination de l'objectif de l'étude, les procédures à adopter, les méthodes d'essai, les aires d'essai et les zones d'essai à définir avant de commencer les essais ;
- e) l'Article 8 « Estimation de la résistance à la compression en vue de l'évaluation d'une structure existante » couvre les exigences précédentes relatives à l'évaluation de la résistance caractéristique à la compression sur site par des essais sur carottes ou des méthodes indirectes ;
- f) l'Article 9 « Évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton en cas de doute » couvre les exigences précédentes relatives à l'évaluation dans le cas où la conformité du béton fondée sur des essais normalisés est remise en question ;
- g) les approches A et B de l'EN 13791:2007 ne sont plus valables ;
- h) l'EN 13791 est alignée sur les exigences de l'EN 206.

Selon le Règlement Intérieur du CEN-CENELEC les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Macédoine du Nord, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

Introduction

(1) Le présent document couvre deux applications de l'évaluation de la résistance sur site, à savoir :

- l'estimation de la résistance caractéristique sur site d'une zone d'essai et/ou de la résistance sur site à des endroits spécifiques ;
- l'évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton fourni pour une structure en construction lorsqu'il y a un doute sur la résistance à la compression fondée sur les résultats d'essais normalisés ou un doute sur la qualité de l'exécution.

(2) Ces deux applications ont un certain nombre d'étapes en commun, comme indiqué dans le Tableau 1, mais les méthodes d'évaluation diffèrent. La raison de cette différence est que, pour l'estimation de la résistance sur site (Article 8), il n'y a pas de présomption quant à sa valeur et l'incertitude associée au nombre de données est prise en compte lors de l'estimation de la valeur. La résistance sur site déterminée conformément à l'Article 8 est une valeur basée sur l'essai d'une structure ou d'un élément achevé(e) comme indiqué dans l'EN 1992-1-1:2004, A.2.3.

NOTE Des informations sur la qualité initiale du béton fourni peuvent être disponibles, mais la résistance sur site peut avoir évolué au fil du temps.

(3) La plupart des procédures de l'Article 9 s'appliquent lorsque la conformité de la résistance à la compression du béton fourni à la déclaration des performances du producteur est vérifiée, mais que les résultats d'essai obtenus sur des échantillons prélevés sur le site indiquent une non-conformité et lorsque cette différence ne peut pas être expliquée par d'autres moyens. Étant donné que les procédures données dans les normes du CEN pour la vérification de la déclaration des performances sont considérées comme étant fiables, l'hypothèse est que le béton est conforme à la résistance caractéristique spécifiée et que les tests statistiques appliqués vérifient la validité de cette hypothèse.

Lorsqu'une évaluation selon l'Article 9 indique une non-conformité de la résistance à la compression, il convient que le producteur et les autres parties concernées adoptent la procédure du 9.5.

(4) Les procédures des Articles 8 et 9 ont des approches différentes qui peuvent donner des résultats nettement différents.

(5) Sauf indication contraire, les dispositions du présent document s'appliquent aux structures en béton réalisées à l'aide de béton courant, léger ou lourd.

(6) Le présent document couvre uniquement l'utilisation d'une relation simple entre une méthode d'essai indirect (vitesse de propagation du son ou indice de rebondissement) et la résistance à la compression. L'utilisation combinée de techniques faisant appel à la vitesse de propagation du son et à l'indice de rebondissement et de la résistance de carottes constitue une technique utile, mais les procédures ne sont pas détaillées dans le présent document.

(7) Le présent document a été élaboré dans l'optique d'être utilisé avec l'EN 1992-1-1. S'il est utilisé conjointement avec d'autres normes de calcul, il peut être nécessaire de modifier certains des facteurs. De plus, le présent document utilise la valeur recommandée de 1,0 pour le coefficient α_{cc} donné dans l'EN 1992-1-1:2004, 3.1.6, et la valeur recommandée de 0,85 pour le coefficient η donné dans l'EN 1992-1-1:2004, A.2.3. Lorsque les dispositions nationales adoptent des valeurs différentes pour ces coefficients, des ajustements de la formule appropriée dans la présente norme peuvent être nécessaires.

(8) Des techniques en dehors de la gamme de celles spécifiées dans le présent document peuvent être stipulées dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation. Elles comprennent par exemple :

- la combinaison de deux méthodes d'essai indirect avec des essais sur carottes ;
- l'utilisation de carottes d'un diamètre inférieur à 50 mm ;
- l'utilisation d'essais d'arrachement ;
- un essai crible conforme aux principes énoncés en 9.4 ;
- dans les procédures de l'Article 8, des dispositions stipulant moins de 8 carottes sans essais indirects ;
- l'évaluation du gradient de résistance sur une section après un incendie ;
- dans les procédures de l'Article 9, la comparaison d'un élément dont la qualité du béton est douteuse avec un élément similaire contenant un béton conforme.

En outre, les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation peuvent stipuler des exigences pour d'autres aspects non spécifiés dans le présent document. Elles comprennent par exemple :

- la relation entre les résistances à la compression de carottes 2:1 et 1:1 si une valeur autre que 0,82 est justifiée sur la base de données d'essai pour les matériaux locaux ;
- la relation entre la résistance à la compression sur site et le rapport longueur/diamètre des carottes pour des valeurs autres que 2:1 ou 1:1 ;
- la relation entre la résistance à la compression sur site pour les bétons légers et le rapport longueur/diamètre des carottes ;
- l'ajustement de la résistance des carottes pour des carottes contenant une armature transversale ;
- la relation entre la résistance d'une carotte et la résistance d'un cylindre coulé de même diamètre et de même longueur ;
- les coefficients lorsque l'évaluation n'est pas réalisée sur la base de l'EN 1992-1-1 ou de l'EN 1990 ;
- le coefficient η donné en A.2.3 de l'EN 1992-1-1:2004 lorsque les dispositions nationales utilisent une valeur différente de la valeur recommandée de 0,85 ;
- en 8.3, différents critères pour l'évaluation de la structure ;
- en 9.2 et 9.3, des critères différents lorsque les critères relatifs à la résistance à la compression de l'EN 206:2013+A1:2016, B.3.1, n'ont pas été utilisés pour l'évaluation d'un certain nombre de charges livrées sur un site de construction ;
- des recommandations sur les actions appropriées lorsque le producteur du béton a déclaré une non-conformité ou lorsque le béton s'est révélé non conforme.

(9) Les recommandations concernant la réalisation d'une étude sont données à l'Annexe A.

(10) Des recommandations complémentaires et des informations de base sur la présente révision de l'EN 13791 ainsi que des exemples pratiques de calculs sont donnés dans le CEN/TR 17086 [1].

Tableau 1 — Informations concernant les articles/paragraphes pertinents

Action	Article/ paragraphe
Objectif de l'étude	Article 4, A.1
Sélection des méthodes d'essai	A.3, A.4
Sélection de la méthode d'évaluation :	A.2
pour la détermination de la résistance sur site fondée sur :	
— des données d'essai sur carottes ;	8.1
— des essais indirects étalonnés par rapport à des éprouvettes ;	8.2
— des essais sur carottes et des essais indirects.	8.3
ou, pour l'évaluation de la résistance à la compression lorsque les données de contrôle de production montrent la conformité et les données d'essais d'identité indiquent une non-conformité fondée sur :	
— des données d'essai sur carottes ;	9.2
— des essais indirects et des essais sur carottes sélectionnées ;	9.3
— un essai crible.	9.4
Procédure lorsque le producteur a déclaré une non-conformité de la résistance à la compression	9.5
Sélection des zones d'essai et des aires d'essai	5.1, 5.2, A.4
Détermination de la résistance sur site à partir de données d'essai sur carottes	Article 6
Évaluation d'un ensemble de données pour déterminer s'il concerne un seul et même béton	7.1
Évaluation d'un ensemble de données pour déterminer s'il contient des valeurs aberrantes	7.2
Évaluation et utilisation des données	A.4, A.5, A.6

1 Domaine d'application

(1) Le présent document :

- fournit des méthodes et des procédures permettant d'estimer la résistance à la compression sur site et la résistance caractéristique à la compression sur site du béton dans les structures et les éléments préfabriqués en béton, à l'aide de méthodes directes (essais sur carottes) et de méthodes indirectes, par exemple vitesse de propagation du son, indice de rebondissement ;

NOTE Afin de s'aligner sur la norme de calcul EN 1992-1-1, où la résistance à la compression est basée sur des cylindres 2:1, la résistance à la compression sur site est basée sur des carottes 2:1 d'un diamètre ≥ 75 mm.

- donne des principes et des recommandations pour l'établissement des relations entre les résultats de méthodes d'essai indirectes et la résistance à la compression sur site ;
- fournit des procédures et des recommandations pour l'évaluation de la conformité à la classe de résistance à la compression d'un béton fourni à des structures en construction lorsque les essais normalisés indiquent un doute ou en cas de doute sur la qualité de l'exécution.

(2) Le présent document spécifie des exigences relatives à la détermination de la résistance sur site au niveau d'aires d'essai et de la résistance caractéristique de zones d'essai, mais la manière dont ces informations doivent être utilisées doit être considérée à la lumière de la situation spécifique et d'une expertise technique appliquée au cas particulier.

(3) Le présent document n'inclut pas l'évaluation de la qualité du béton pour des propriétés autres que la résistance à la compression, par exemple les propriétés liées à la durabilité.

(4) Le présent document ne traite pas de l'évaluation de la conformité de la résistance à la compression du béton selon l'EN 206 ou l'EN 13369, sauf pour les points évoqués dans l'EN 206:2013+A1:2016, 5.5.1.2 ou 8.4.

(5) Le présent document ne traite pas des procédures ou critères pour le contrôle courant de la conformité des éléments préfabriqués en béton par des mesurages directs ou indirects de la résistance sur site.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

EN 206:2013+A1:2016, *Béton — Spécification, performances, production et conformité*

EN 1990:2002, *Eurocodes structuraux — Bases de calcul des structures*

EN 1992-1-1:2004, *Eurocode 2 : Calcul des structures en béton — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments*

EN 12350-1, *Essais pour béton frais — Partie 1 : Prélèvement*

EN 12390-2, *Essais pour béton durci — Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance*

EN 12390-3, *Essais pour béton durci — Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes*

EN 12504-1, *Essais pour béton dans les structures — Partie 1 : Carottes — Prélèvement, examen et essais en compression*

EN 12504-2, *Essais pour béton dans les structures — Partie 2 : Essais non destructifs — Détermination de l'indice de rebondissement*

EN 12504-4, *Essais pour béton dans les structures — Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son*

EN 13369:2018, *Règles communes pour les produits préfabriqués en béton*

EN 13670, *Exécution des structures en béton*

3 Termes, définitions, symboles et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes :

- IEC Electropedia : disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/> ;
- ISO Online browsing platform : disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>.

NOTE Les abréviations liées aux expressions de la résistance à la compression et leur signification sont données en 3.2.

3.1.1

coefficient de longueur des carottes

facteur de conversion du mesurage d'essai sur carotte ou d'un résultat d'essai sur carotte en valeur équivalente pour une carotte de même diamètre et de longueur égale au double de son diamètre

3.1.2

essai indirect

essai non destructif conformément à l'EN 12504-2 pour l'indice de rebondissement ou à l'EN 12504-4 pour la vitesse de propagation du son (VPS)

3.1.3

charge

quantité de béton transporté dans un véhicule comprenant une ou plusieurs gâchées

3.1.4

maturité

fonction de l'âge et de la température de telle sorte que, pour un béton donné, tout lot ayant la même maturité a la même résistance à la compression

Note 1 à l'article : La maturité est souvent exprimée en âge équivalent en jours à 20 °C. Selon l'EN 13670, les calculs de la maturité doivent être basés sur une fonction de maturité appropriée et reconnue, tenant compte notamment du type de ciment ou d'une combinaison de ciment et d'additions.

3.1.5

indice de rebondissement

médiane d'au moins neuf relevés valides obtenus avec le scléromètre au niveau d'une aire d'essai après ajustement, si nécessaire, en fonction de l'orientation du scléromètre

Note 1 à l'article : L'indice de rebondissement est exprimé sous forme de nombre entier.

Note 2 à l'article : La procédure de détermination de l'indice de rebondissement est spécifiée dans l'EN 12504-2.

3.1.6

essai crible

procédure d'essai indirect présentant une relation générique ou spécifique avec la résistance à la compression

Note 1 à l'article : La relation établie peut être utilisée pour indiquer la conformité à une classe de résistance à la compression spécifiée.

3.1.7

petite zone d'essai

pour l'évaluation des structures, une petite zone d'essai est une zone suffisamment petite pour que les variations de la résistance à la compression sur site soient essentiellement dues aux aires d'essai sélectionnées et à la variabilité des essais, et non aux variations de la qualité du béton fourni

3.1.8

aire d'essai

aire limitée qui est sélectionnée pour les mesurages et qui sert généralement à estimer un seul résultat d'essai, lequel doit permettre l'évaluation de la résistance à la compression sur site

Note 1 à l'article : Voir l'Article 6 (9) et 8.1 (2) pour l'exception.

3.1.9

zone d'essai

un ou plusieurs éléments structuraux ou éléments préfabriqués en béton similaires dont il est connu ou supposé qu'ils sont constitués d'un béton ayant les mêmes constituants et la même classe de résistance à la compression ou équivalents au volume défini associé aux essais d'identité pour la résistance à la compression

Note 1 à l'article : Une zone d'essai contient des aires d'essai.

3.1.10

résultat d'essai

moyenne arithmétique des mesurages ou, dans le cas de l'indice de rebondissement, médiane des mesurages effectués au niveau d'une aire d'essai

Note 1 à l'article : Un résultat d'essai peut comprendre un seul mesurage sur carottes de diamètre ≥ 75 mm ou un seul mesurage de la vitesse de propagation du son.

3.1.11

vitesse de propagation du son

VPS

vitesse à laquelle une impulsion ultrasonore se propage à travers le béton

Note 1 à l'article : La procédure de détermination de la VPS est spécifiée dans l'EN 12504-4.

3.2 Symboles et abréviations

- CLC coefficient de longueur des carottes
- G_p valeur critique selon le test de Grubbs
- k_n facteur de fractile caractéristique [SOURCE : EN 1990:2002]
- m nombre de résultats d'essai indirect valides dans la zone d'essai étudiée
- n nombre de résultats d'essai sur carottes
- p nombre de paramètres de la courbe de corrélation
- s estimation de l'écart-type global de la résistance à la compression sur site
NOTE 1 Voir la Formule (6) pour le calcul de s .
- s_c écart-type résiduel, qui est une mesure de la dispersion des données d'essai de résistance sur carottes autour de la courbe de régression ajustée
NOTE 2 Voir la Formule (8) pour le calcul de s_c .
- s_e écart-type de l'ensemble des valeurs de résistance estimées, qui est une mesure de la dispersion des résistances estimées des carottes autour de leur valeur moyenne
NOTE 3 Voir la Formule (7) pour le calcul de s_e .
- $x_{i,cor}$ valeur d'essai indirect au niveau de l'aire d'essai « i » utilisée pour la corrélation
- x_0 valeur d'essai indirect au niveau de l'aire d'essai « 0 » (où la résistance sur site est requise à des fins d'évaluation de la structure)
- $\bar{x}$ moyenne des m valeurs d'essai indirect utilisées pour la corrélation

NOTE 4 Les abréviations utilisées pour la résistance à la compression sont indiquées dans le Tableau 2.

Tableau 2 — Abréviations utilisées pour la résistance à la compression

Abréviation	Description et explication
f_c ou $f_{c,cube}$	Résistance à la compression déterminée à partir d'échantillons de béton prélevés conformément à l'EN 12350-1, confectionnés sous forme d'éprouvettes cylindriques ou cubiques conservées conformément à l'EN 12390-2 et soumises à essai conformément à l'EN 12390-3.
$f_{c, carotte}$	Résistance à la compression d'une carotte, déterminée conformément à l'EN 12504-1 NOTE Il s'agit d'une abréviation générique utilisée pour couvrir tous les rapports longueur/diamètre.
$f_{c,1:1carotte}$ ou $f_{c,2:1carotte}$	Résistance à la compression d'une carotte, déterminée conformément à l'EN 12504-1 NOTE Lorsque le rapport longueur/diamètre de la carotte est de 1:1, l'abréviation $f_{c,1:1carotte}$ est utilisée et lorsque le rapport longueur/diamètre est de 2:1, l'abréviation $f_{c,2:1carotte}$ est utilisée.
$f_{c,is}$	Résistance à la compression d'une carotte prélevée au niveau d'une aire d'essai dans un élément structural ou un élément préfabriqué en béton, exprimée en termes de résistance d'une carotte 2:1 de diamètre ≥ 75 mm. NOTE 1 Si plusieurs carottes sont prélevées au niveau d'une aire d'essai, le résultat d'essai est la moyenne des mesurages d'essai individuels. NOTE 2 Cette valeur est basée sur les conditions d'humidité sur site et n'est pas ajustée à des conditions d'humidité normalisées.
$f_{ck,is}$	Valeur de résistance à la compression sur site (exprimée par la résistance d'une carotte 2:1 de diamètre ≥ 75 mm), c'est-à-dire la résistance à la compression sur site au-dessous de laquelle 5 % des résultats d'essai sont censés se situer si tout le volume de béton considéré a été carotté et soumis à essai. NOTE 1 Ces valeurs ne sont pas normalisées pour des conditions d'humidité normalisées. NOTE 2 Il est peu probable que le volume de béton considéré sur site soit égal au volume utilisé pour déterminer la conformité du béton frais conformément à l'EN 206. C'est en général un volume plus faible.
$f_{c,is,est}$	Résistance à la compression sur site estimée au niveau d'une aire d'essai spécifique.
$f_{c,is,la plus élevée}$	Valeur la plus élevée de résistance à la compression sur site dans un ensemble de « n » aires d'essai (exprimée par la résistance d'une carotte 2:1 de diamètre ≥ 75 mm) NOTE Si plusieurs carottes sont prélevées dans une aire d'essai, les valeurs d'essai des carottes pour chaque aire d'essai sont moyennées et la « valeur la plus élevée » correspond à la valeur la plus élevée de la moyenne de ces mesurages.
$f_{c,is,la plus faible}$	Valeur la plus faible de résistance à la compression sur site dans un ensemble de « n » aires d'essai (exprimée par la résistance d'une carotte 2:1 de diamètre ≥ 75 mm) NOTE Si plusieurs carottes sont prélevées dans une aire d'essai, les valeurs d'essai des carottes pour chaque aire d'essai sont moyennées et la « valeur la plus faible » correspond à la valeur la plus faible de la moyenne de ces mesurages.
$f_{c,is,reg}$	Valeur d'essai indirect convertie en résistance à la compression sur site équivalente à l'aide d'une équation de régression.
$f_{ck,spec}$	Résistance caractéristique minimale d'éprouvettes cylindriques 2:1 associée à la classe de résistance à la compression spécifiée. NOTE Par exemple, $f_{ck,spec}$ est égale à 30 MPa pour la classe de résistance à la compression C30/37. Voir l'EN 206 pour toutes les classes de résistance.
$f_{c,m(i)is}$	Résistance moyenne à la compression sur site d'un ensemble de « i » aires d'essai (exprimée comme la résistance d'une carotte 2:1 de diamètre ≥ 75 mm)

4 Objectif de l'étude et paramètres d'essai

(1) Avant de commencer les essais sur site, les éléments suivants doivent être déterminés et documentés :

- a) l'objectif de l'étude ;
- b) les normes, méthodes d'essai et techniques d'évaluation devant être appliquées ;

NOTE 1 Voir A.3 et les normes de méthodes d'essai pour les limites des méthodes d'essai.

- c) la (les) zone(s) d'essai et les aires d'essai ;
- d) le nombre de mesurages par aire d'essai ;
- e) si des carottes sont prélevées, le diamètre et la longueur des carottes à prélever depuis la surface ;

NOTE 2 Le diamètre spécifié de la carotte se rapporte au diamètre de la carotte extraite et non à la dimension du trou.

- f) l'endroit où les carottes doivent être sciées pour obtenir la (les) longueur(s) adaptée(s) pour les essais ;
- g) la technique à utiliser pour préparer les extrémités des carottes ;
- h) si le prélèvement et les essais doivent être effectués par un laboratoire appliquant des procédures accréditées selon l'ISO/IEC 17025 [3] ;
- i) la méthode de remise en état après le carottage ;
- j) tout écart par rapport aux procédures spécifiées dans le présent document.

(2) Les Figures 1 et 2 sont des organigrammes facilitant la sélection des techniques et des articles/paragraphes appropriés.

(3) Les recommandations relatives à la réalisation d'une étude sont données dans l'Annexe A.

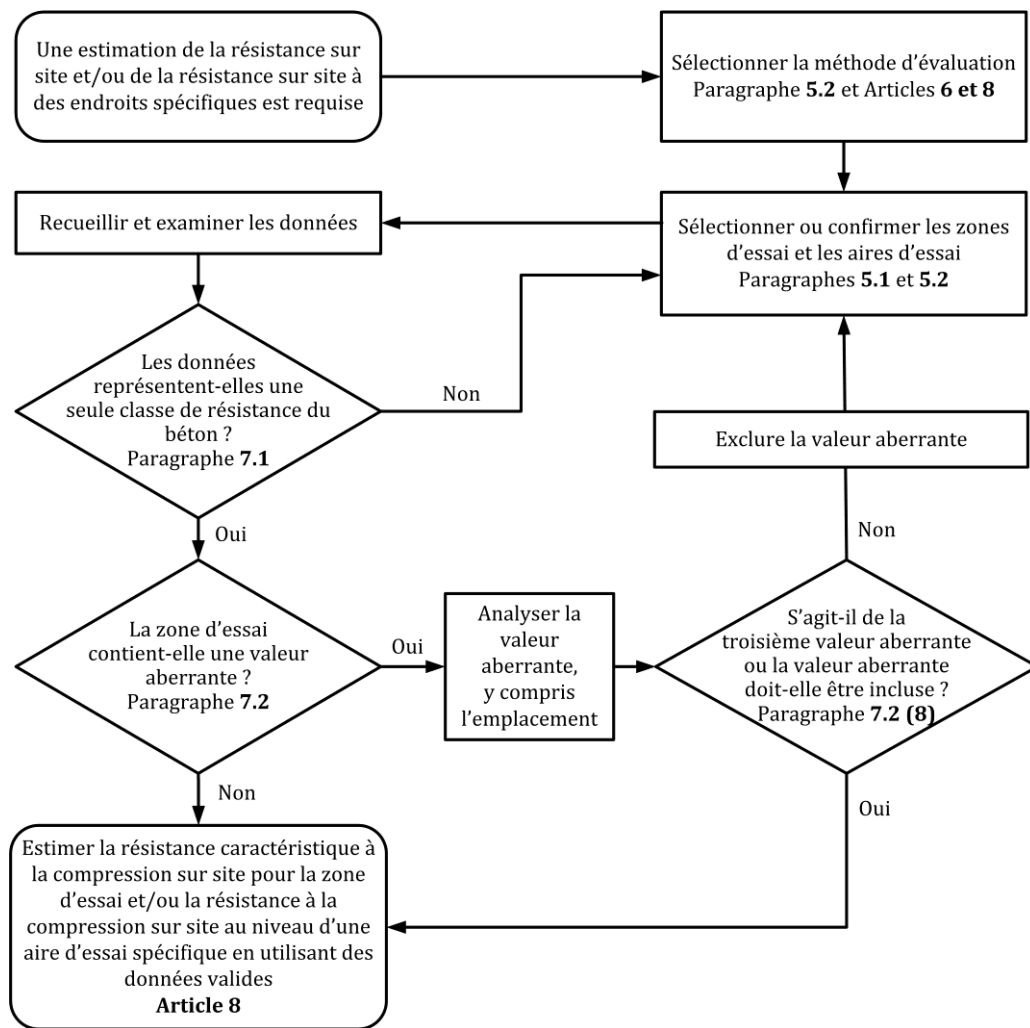


Figure 1 — Organigramme pour l'estimation de la résistance caractéristique à la compression sur site pour la zone d'essai et de la résistance à la compression sur site au niveau d'aires d'essai spécifiques

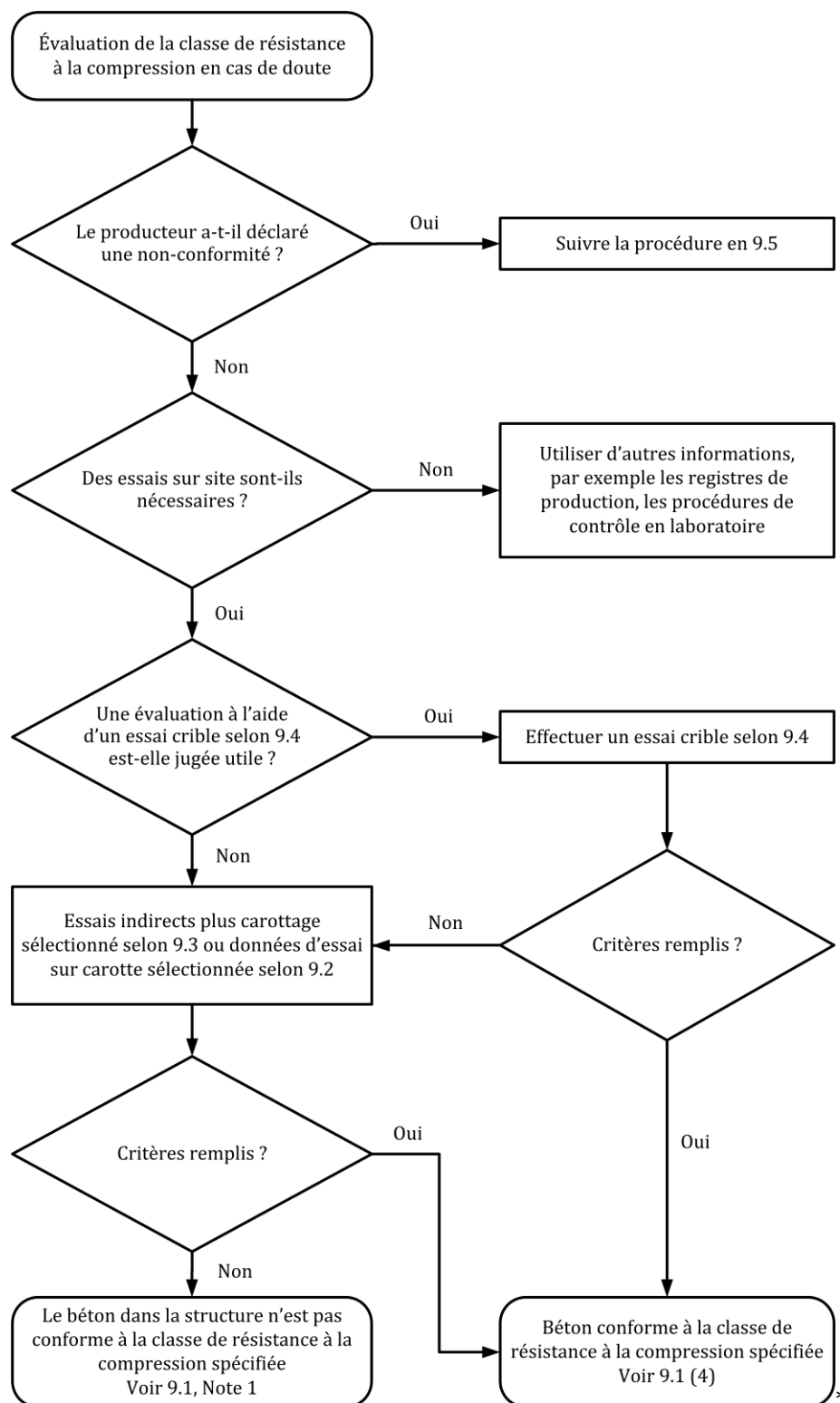


Figure 2 — Organigramme pour l'évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton fourni en cas de doute

5 Zones d'essai, aires d'essai et nombre d'essais

5.1 Zones d'essai

(1) Les zones d'essai doivent être définies. Elles peuvent comprendre une série d'éléments similaires, un seul élément de grandes dimensions ou le volume défini associé aux essais d'identité (contrôle sur site) pour la résistance à la compression. Des bétons ayant des formulations différentes doivent avoir des zones d'essai séparées. Lorsque la résistance des bétons n'est pas connue, une expertise technique doit être appliquée pour regrouper les éléments dans des zones d'essai et les résultats d'essai doivent être vérifiés pour déterminer s'ils concernent plus d'un seul béton.

NOTE 1 Dans les structures existantes, il est possible de ne pas savoir si le béton :

- a été produit sur site ou hors site ;
- a été fourni comme un béton à propriétés spécifiées ou à composition prescrite ;
- provenait de différentes sources à différents moments ;
- a subi une cure variable en raison d'une exposition variable.

Pour ces raisons, le béton sur site peut appartenir à différentes classes de résistance à la compression.

(2) Des bétons provenant de différentes centrales de malaxage de béton peuvent être admis dans la même zone d'essai à condition que la même formulation et les mêmes constituants soient utilisés, par exemple sur un grand chantier ou dans une usine de béton prêt à l'emploi comportant au moins deux centrales de malaxage.

(3) Lorsque les éléments étudiés comprennent des éléments préfabriqués en béton et du béton coulé en place, les éléments préfabriqués en béton et le béton coulé en place doivent former différentes zones d'essai.

(4) Le concept de petite zone d'essai est utilisé dans le présent document. Une telle petite zone d'essai ne doit pas inclure de charges connues ou suspectées d'être nettement différentes des autres charges constituant cette zone d'essai.

NOTE 2 Voir la définition en 3.1.7.

(5) Pour les procédures de l'Article 9, si le volume de béton n'est pas supérieur à 30 m³, fourni en une seule journée, et s'il n'y a pas d'indication que l'une des charges peut être différente des autres, il peut être supposé que le béton fourni ne varie pas de manière significative et que la variation des résultats d'essai est due principalement à l'aire considérée dans la zone d'essai et à la variabilité de l'essai.

5.2 Aires d'essai

(1) Le nombre d'aires d'essai par zone d'essai dépend du volume de béton considéré, de l'objectif des essais et du niveau de confiance requis pour l'estimation. Le nombre d'aires d'essai par zone d'essai doit être déterminé et spécifié.

(2) La sélection des aires d'essai doit permettre d'atteindre l'objectif de l'étude (voir Article 4). Chaque aire d'essai doit être déterminée et spécifiée. Le nombre minimal d'aires d'essai est spécifié en 8.1 et à l'Article 9.

NOTE 1 Des recommandations pour l'évaluation des structures existantes sont fournies dans l'EN 1998-3 [4].

(3) Le nombre de mesurages d'essai individuels pour obtenir un résultat d'essai varie selon la méthode d'essai (voir le Tableau 3).

(4) Lorsque l'objectif de l'étude est d'estimer la résistance caractéristique à la compression sur site ($f_{ck, is}$), les aires d'essai dans la zone d'essai doivent être sélectionnées en tenant compte des variations typiques de la résistance dans les éléments (voir A.4 pour des recommandations concernant la sélection des aires d'essai).

(5) Les conditions du site à prendre en compte doivent comprendre :

- la situation générale du site et la facilité de transport des équipements d'essai ;
- l'accessibilité de la zone suspecte sur le site ;
- la sécurité du personnel sur le site et la sécurité du public.

(6) Lors de la sélection des aires d'essai, éviter les armatures et les conduits de précontrainte, et éviter si possible :

- les zones présentant des fissures ;
- les sections critiques ou fortement sollicitées ;
- les armatures.

(7) Il est recommandé d'utiliser un pachomètre ou un radar pour s'assurer que les aires proposées sont exemptes d'acier passif ou d'armature de précontrainte.

(8) Lorsque des méthodes d'essai indirectes doivent être appliquées, consulter la norme relative à la méthode d'essai pertinente pour réaliser l'essai et le paragraphe ou l'article pertinent du présent document pour les recommandations concernant le nombre minimal d'aires d'essai par zone d'essai.

Tableau 3 — Types d'essai et leur relation entre aires d'essai et zones d'essai

Essai	Aire	Zone
Résistance à la compression à partir de carottes (EN 12504-1)	Le résultat d'essai peut être la résistance d'une seule carotte ou la résistance moyenne des carottes lorsque plusieurs carottes sont prélevées dans l'aire d'essai, par exemple lorsqu'une longue carotte est divisée en au moins deux carottes plus courtes. Voir également l'Article 6 pour les exigences relatives aux carottes de diamètre inférieur à 75 mm.	Le nombre minimal de résultats d'essai valides pour estimer la résistance caractéristique à la compression sur site d'une zone d'essai est de huit, à condition que le diamètre des carottes soit ≥ 75 mm ; voir 8.1 (2), où il est recommandé de carotter au moins dix aires d'essai pour tenir compte d'éventuelles valeurs aberrantes. Pour une petite zone d'essai, un nombre plus faible de résultats d'essai valides peut être autorisé, voir 8.1 (6). Le nombre minimal de résultats d'essai valides obtenus sur des carottes de diamètre ≥ 75 mm à utiliser en combinaison avec des essais indirects est de trois, voir 8.3, où il est recommandé de carotter au moins quatre aires d'essai pour tenir compte d'une éventuelle valeur aberrante.
Indice de rebondissement ^a (EN 12504-2)	Le résultat d'essai conformément à l'EN 12504-2 est l'indice de rebondissement et il comprend la médiane d'au moins 9 relevés valides au niveau d'une aire d'essai.	Une auscultation au scléromètre régulièrement espacée montrera les variations de dureté de surface du béton de la structure et identifiera les parties de la zone d'essai où il convient de prélever des carottes ou d'effectuer des études complémentaires.
VPS ^a (EN 12504-4)	Le résultat d'essai peut être un mesurage unique de la vitesse de propagation du son mesurée directement ou indirectement, à travers une section de béton, ou la vitesse moyenne de propagation du son si plusieurs mesurages sont effectués au niveau de l'aire d'essai.	Une auscultation par VPS régulièrement espacée montrera les variations de masse volumique du béton de la structure et identifiera les parties de la zone d'essai où il convient de prélever des carottes ou d'effectuer des études complémentaires.
^a Ni l'indice de rebondissement ni la vitesse de propagation du son ne sont des mesurages directs de la résistance à la compression, mais lorsqu'ils sont spécifiquement étalonnés par rapport au béton utilisé dans la structure, ils peuvent être utilisés pour estimer la résistance à la compression sur site (voir Article 8).		

NOTE 2 Si la courbe de fréquence en fonction de la valeur d'essai a une forme de cloche symétrique autour de la valeur moyenne, la distribution des résultats peut être considérée comme étant gaussienne. Si la distribution présente des pics faibles, ils indiquent des aires d'essai pouvant nécessiter une étude complémentaire.

6 Essais sur carottes et détermination de la résistance à la compression sur site

(1) Pour les procédures de l'Article 9, les essais sur carottes ne doivent pas être effectués sur des carottes ayant une maturité inférieure à celle ayant servi de base aux essais de conformité, par exemple 28 jours à 20 °C.

(2) Les essais sur carottes doivent être exécutés conformément à l'EN 12504-1, les éprouvettes étant stockées dans des conteneurs scellés, sauf lorsqu'elles sont découpées à la longueur souhaitée ou que les extrémités sont préparées pour les essais.

(3) Il convient de déterminer les masses volumiques des carottes conformément à l'EN 12390-7 et de les consigner dans le rapport.

NOTE 1 La masse volumique de la carotte est utile lors de l'interprétation des mesurages sur carottes.

(4) Des carottes découpées à la longueur souhaitée ayant un rapport longueur/diamètre de 2:1 ou 1:1 et un diamètre ≥ 75 mm doivent être spécifiées, excepté lorsqu'il n'est pas possible d'en disposer. Si, en raison de la disposition des armatures, il n'est pas pratique d'utiliser des carottes de diamètre ≥ 75 mm, des diamètres de carottes d'au moins 50 mm doivent être spécifiés.

NOTE 2 Aucune exigence n'est spécifiée pour convertir des carottes autres que 2:1 et 1:1 en résistance à la compression sur site ($f_{c, is}$).

NOTE 3 Des recommandations complémentaires concernant la sélection des tailles de carottes sont données en A.4.

(5) Il convient que les carottes ne contiennent pas d'armature. Lorsqu'une carotte contient une armature disposée perpendiculairement à la direction de l'effort, elle doit être enregistrée et évaluée séparément.

(6) Toute carotte contenant une armature dans la direction du carottage ou dans une direction proche de celle-ci doit être rejetée immédiatement et une nouvelle carotte doit être prélevée au niveau de la même aire d'essai.

(7) Pour déterminer la résistance sur site, le résultat d'essai sur carottes est converti en valeur équivalente d'une carotte 2:1 en utilisant le coefficient de longueur des carottes (*CLC*). Pour les bétons courants et lourds, le coefficient permettant de convertir une carotte 1:1 en une carotte 2:1 est égal à 0,82, sauf si une valeur différente est indiquée dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation ou si une valeur différente a été justifiée par des essais. Pour d'autres rapports longueur/diamètre, le coefficient *CLC* doit être indiqué dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation. Pour les bétons légers, le coefficient *CLC* doit être indiqué dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation ou justifié par des essais.

(8) Les exigences relatives à la détermination de la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire d'essai sont indiquées dans le Tableau 4.

NOTE 4 La dimension des granulats a une incidence significative sur la résistance mesurée lorsque le rapport entre le diamètre de la carotte et la dimension maximale des granulats est inférieur à environ 3.

NOTE 5 La direction de carottage est normalement exprimée comme verticale ou comme horizontale par rapport au sens de coulage de l'élément. La présente norme comme la précédente, EN 13791:2007, ne fait aucune distinction entre les deux directions de carottage.

(9) Lorsque des carottes de diamètre supérieur ou égal à 50 mm et inférieur à 75 mm sont prélevées dans le but de déterminer la résistance moyenne et qu'il n'y a aucun intérêt à obtenir une estimation de la résistance à la compression au niveau de chaque aire d'essai, une seule carotte peut être prélevée au niveau de chaque aire d'essai (voir 8.1 pour le nombre minimal d'aires d'essai).

NOTE 6 La résistance de carottes plus petites a une plus grande variabilité et le nombre de carottes a donc été augmenté pour atteindre le même niveau de confiance dans le résultat d'essai. Il est prouvé qu'avec une dimension maximale de granulats de 20 mm, des carottes 2:1 de 100 mm de diamètre présentent une résistance supérieure d'environ 7 % à celle de carottes de 50 mm de diamètre (voir l'EN 12504-1), mais les preuves sont insuffisantes pour quantifier la différence pour des carottes 1:1 ; par conséquent, cela n'est pas pris en compte.

NOTE 7 Pour atteindre le même niveau de confiance dans le résultat d'essai au niveau d'une aire d'essai spécifique que celui obtenu avec une carotte ≥ 75 mm, la moyenne d'un grand nombre de carottes de faible diamètre (voir Tableau 4) est nécessaire ; toutefois, le même niveau de confiance dans la résistance moyenne pour une zone d'essai peut être obtenu en augmentant le nombre d'aires d'essai et en prélevant une seule carotte de faible diamètre au niveau de chaque aire d'essai (voir 8.1).

Tableau 4 — Exigences pour obtenir un résultat d'essai pour une aire d'essai

Exigence	Diamètre de carotte	
	50 mm ^a	≥ 75 mm
Rapport longueur/diamètre	Nominal : 1:1 ^b Plage autorisée : 0,90:1 à 1,10:1	Nominal : 2:1 Plage autorisée : 1,95:1 à 2,05:1
Nombre minimal de valeurs de résistance à la compression de carottes pour obtenir un résultat d'essai au niveau d'une aire d'essai	3	1
Résistance à la compression sur site au niveau d'une aire d'essai ($f_{c, is}$)	CLC^c (moyenne des valeurs $f_{c, 1:1 \text{ carotte}}$)	moyenne des valeurs $f_{c, 2:1 \text{ carotte}}^d$
		CLC^c (moyenne des valeurs $f_{c, 1:1 \text{ carotte}}^d$)
^a Pour un diamètre supérieur à 50 mm et inférieur à 75 mm, il convient d'interpoler et de spécifier le nombre minimal de valeurs de résistance à la compression des carottes. ^b Aucune disposition n'est donnée pour les carottes 2:1 ayant un diamètre de 50 mm. ^c Voir l'Article 6 (7) pour la valeur du coefficient CLC . ^d Si une seule carotte a été prélevée, $f_{c, is} = f_{c, 2:1 \text{ carotte}}$ ou $CLC \times f_{c, 1:1 \text{ carotte}}$.		

7 Évaluation initiale de l'ensemble de données

7.1 Évaluation de la zone d'essai afin de déterminer si elle représente une seule classe de résistance du béton

(1) Lorsque l'on ne sait pas si la zone d'essai proposée contient une seule classe de résistance à la compression (ce qui est probable dans le cas où les procédures de l'Article 8 doivent être appliquées), il convient d'utiliser toutes les informations disponibles dans les enregistrements relatifs au contrôle de la production et au site pour déterminer les zones et aires d'essai nécessitant une étude spécifique. Bien qu'il soit raisonnable de supposer que le béton dans un seul élément correspond à une seule classe de résistance à la compression, il existe de rares exceptions où cette hypothèse n'est pas valable, par exemple lorsqu'une charge destinée à un autre élément a été déchargée dans l'élément étudié ; cependant, une telle charge peut aussi être identifiée comme étant une valeur aberrante haute ou basse (voir 7.2). Inspecter visuellement l'aire et contrôler les données de résistance pour vérifier s'il existe des résultats d'essai anormaux pouvant indiquer que la zone d'essai présente deux résistances à la compression (ou plus). Bien qu'une sélection attentive des zones d'essai réduise le risque d'inclure deux résistances à la compression dans une zone d'essai, cette éventualité n'est pas exclue.

NOTE 1 Par exemple, la zone d'essai peut avoir été déterminée par l'ensemble des poteaux dans un bâtiment. Si les données semblent provenir de deux populations, les « éléments ayant une localisation similaire » seraient tous les poteaux de dimensions similaires sur un ou plusieurs étages (il est possible que la résistance du béton dans les poteaux soit plus faible dans les étages supérieurs ou que certains poteaux aient été coulés avec un béton plus résistant pour tenir compte d'un temps temporairement froid).

NOTE 2 L'emplacement de la carotte (haut, milieu ou bas) aura un impact sur la résistance, mais si les recommandations de A.4 sont respectées, ces variations seront réduites. En général, il est sûr de considérer que le béton dans un seul élément correspond à une seule classe de résistance de béton.

(2) Si les résultats d'essai démontrent que la zone d'essai peut présenter deux résistances à la compression, il faut soit :

- diviser l'ensemble de données en deux zones d'essai, mais noter les exigences minimales pour une zone d'essai ; ou
- diviser les données en deux ensembles et déterminer si la résistance moyenne est différente en utilisant, par exemple, le test de Student.

NOTE 3 Étant donné que l'Article 8 traite de la détermination d'une résistance caractéristique à la compression sur site et que celle-ci est fondée sur la résistance moyenne et l'écart-type, un test permettant de déterminer si les résistances moyennes sont nettement différentes constitue l'approche appropriée.

NOTE 4 Il existe une variation naturelle de la résistance selon la hauteur de coulage due à la procédure de serrage et à son efficacité.

(3) Lorsque le test de Student est utilisé pour déterminer si les résistances moyennes sont différentes ou si un groupe a une valeur plus élevée que l'autre groupe, les variances doivent être regroupées.

(4) S'il s'avère que les résistances moyennes diffèrent de manière significative, les données doivent être divisées en deux zones d'essai ; si les résistances moyennes ne sont pas significativement différentes, l'ensemble de données doit être considéré comme étant associé à une seule zone d'essai.

(5) Cette vérification n'est pas requise pour les études réalisées selon les procédures de l'Article 9.

7.2 Évaluation des résultats d'essai individuels dans une zone d'essai

(1) Lorsqu'un ensemble de données semble contenir un ou plusieurs résultats d'essai anormalement bas ou élevés, il convient de vérifier ces résultats d'essai pour déterminer s'il s'agit de valeurs aberrantes d'un point de vue statistique.

NOTE 1 Voir A.6 pour des recommandations concernant le traitement des valeurs aberrantes.

(2) Un ensemble de résultats d'essai indirect peut également contenir des valeurs aberrantes pouvant indiquer la nécessité de procéder à une étude complémentaire au niveau de cette aire d'essai, par exemple un essai sur carottes.

(3) En évaluant, par exemple, la différence entre le résultat le plus faible ou le plus élevé et la moyenne de tous les résultats d'essai, il est possible de déterminer si le résultat le plus faible ou le plus élevé est une valeur aberrante d'un point de vue statistique. Lorsqu'un ou plusieurs résultats sont des valeurs aberrantes d'un point de vue statistique, l'action à mener relève de l'expertise technique.

(4) Il est permis d'utiliser toute méthode établie d'évaluation des valeurs aberrantes d'un point de vue statistique.

NOTE 2 Voir par exemple l'ISO 5725 [5] et l'ASTM E178 [6].

(5) Le test de Grubbs peut être utilisé pour déterminer les valeurs aberrantes d'un point de vue statistique à condition que les données présentent une distribution normale. Il convient que la valeur de test la plus élevée parmi n valeurs de test consécutives soit considérée comme une valeur aberrante lorsque

$$\frac{f_{c, \text{is, la plus élevée}} - f_{c, m(n) \text{ is}}}{s} > G_p \quad (1)$$

(6) Les valeurs critiques (G_p) pour déterminer les valeurs aberrantes sont données dans le Tableau 5 et sont basées sur un degré de signification de 1 %.

NOTE 3 D'autres degrés de signification peuvent être adoptés pour établir les valeurs de G_p .

Tableau 5 — Valeurs critiques (G_p) pour déterminer les valeurs aberrantes

Nombre de valeurs d'essai	G_p
4	1,496
5	1,764
6	1,973
7	2,139
8	2,274
9	2,387
10	2,482
11	2,564
12	2,636
13	2,699
14	2,755
15	2,806
16	2,852
17	2,894
18	2,932
19	2,968
20	3,001
25	3,135
30	3,236
35	3,316
40	3,381
50	3,482
60	3,560
70	3,621
80	3,673
90	3,716
100	3,754
120	3,817
140	3,867
160	3,910
180	3,946
200	3,978
250	4,042

(7) Il convient que la valeur d'essai la plus faible parmi n valeurs d'essai consécutives soit considérée comme une valeur aberrante lorsque

$$\frac{f_{c,m(n)is} - f_{c, is, \text{ la plus faible}}}{s} > G_p \quad (2)$$

(8) En cas de valeurs aberrantes éventuelles aux deux extrêmes, il convient d'appliquer cette technique tout d'abord à la valeur qui s'écarte le plus de la moyenne. Cette technique peut être appliquée deux fois à un ensemble de données relatif à une zone d'essai. Avant de répéter le test, la première valeur aberrante doit être exclue du calcul de la moyenne et de l'écart-type. Chaque valeur aberrante doit être documentée et évaluée séparément. Lorsque plus de deux résultats d'essai sont des valeurs aberrantes, cela peut indiquer que la zone d'essai comprend au moins deux bétons et il convient d'étudier cette possibilité.

Certaines autres techniques peuvent autoriser plus de deux valeurs aberrantes, mais il convient également de tenir compte de la possibilité que la zone d'essai comprenne plusieurs classes de résistance à la compression.

8 Estimation de la résistance à la compression en vue de l'évaluation d'une structure existante

8.1 Fondée uniquement sur des données d'essai sur carottes

(1) Les valeurs de résistance à la compression sur site ($f_{c, is}$) sont vérifiées pour s'assurer que toutes les valeurs sont valides. Tous les résultats d'essai valides sont utilisés pour estimer la valeur moyenne de la résistance à la compression sur site ($f_{c,m(n)is}$) et celle de l'écart-type de l'échantillon s de la zone d'essai dans la structure étudiée.

(2) Excepté pour de petites zones d'essai, l'estimation de la résistance caractéristique sur site doit être fondée sur au moins :

- huit résultats valides d'essai de résistance à la compression sur site basés sur des carottes de diamètre ≥ 75 mm conformément au Tableau 4 ou
- douze valeurs valides de résistance à la compression sur site, basées chacune sur une seule carotte de 50 mm de diamètre prélevée dans un béton ayant une dimension maximale de granulats ≤ 16 mm.

(3) Lorsque la Formule (3) est appliquée, l'écart-type de l'échantillon doit être la plus grande des deux valeurs suivantes : l'écart-type de l'échantillon calculé s ou la valeur qui donne un coefficient de variation de 8 %.

NOTE 1 Une valeur minimale du coefficient de variation est une protection contre l'utilisation d'une valeur faible irréaliste lorsque les résultats d'essai sur carottes sont anormalement proches.

(4) La résistance caractéristique à la compression sur site ($f_{ck,is}$) est estimée à partir de la plus faible des valeurs suivantes :

$$f_{ck,is} = f_{c,m(n)is} - k_n s \quad (3)$$

où

k_n est pris dans le Tableau 6 ; ou

$$f_{ck,is} = f_{c,is,la\ plus\ faible} + M \quad (4)$$

où

la valeur de M est basée sur la valeur de $f_{c,is,la\ plus\ faible}$ et prise dans le Tableau 7.

Tableau 6 — Valeurs de k_n à utiliser dans la Formule (3)

n	8	10	12	16	20	30	∞
k_n	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

NOTE 2 La Formule (3) et le Tableau 6 sont en phase avec l'EN 1990:2002+A1:2005, Annexe D.

Tableau 7 — Valeur de la marge M à appliquer dans la Formule (4)

Valeur de $f_{c,is,la\ plus\ faible}$ MPa	Marge MPa
≥ 20	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
< 12	1

(5) Il est permis d'utiliser la forme log-normale de la Formule (3). Dans ce cas, les formules données dans l'EN 1990:2002, D.7.2, doivent être appliquées en utilisant l'option coefficient de variation inconnu. L'écart-type des logarithmes népériens des valeurs de résistance doit être la plus grande des deux valeurs suivantes : la valeur calculée correspondante ou la valeur qui donne un coefficient de variation de 8 %.

(6) Le nombre minimal de carottes et les critères d'évaluation pour une petite zone d'essai peuvent être spécifiés dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation ou la procédure décrite en (7) peut être adoptée.

(7) Pour une petite zone d'essai comprenant un à trois éléments et ayant un volume total inférieur ou égal à environ 10 m³, au moins trois carottes de diamètre ≥ 75 mm doivent être prélevées, y compris au moins une carotte prélevée dans chaque élément dans la zone d'essai, et la résistance à la compression sur site ($f_{c,is}$) doit être calculée. Lorsque les aires des carottes représentent un béton qui restera dans la structure, prendre la plus faible valeur de trois carottes ou plus (à condition que la dispersion des résultats d'essai ne soit pas supérieure à 15 % de la valeur moyenne) comme étant la résistance à la compression sur site ($f_{ck,is}$) à des fins d'évaluation de la structure.

Si la dispersion des résultats est supérieure à 15 %, cela indique qu'il convient de rechercher davantage d'informations sur la zone d'essai.

8.2 Fondée sur une combinaison de données d'essai indirect et de données d'essai sur carottes

8.2.1 Utilisation d'essais indirects qui ont été spécifiquement étalonnés par rapport aux données d'essai sur carottes prélevées dans la structure considérée

(1) Idéalement, il convient de réaliser l'auscultation par essais indirects avant de procéder au carottage. Il est recommandé d'utiliser les données de cette analyse pour sélectionner les positions de carottage. Les carottes doivent être prélevées au niveau des aires où des valeurs d'essai indirect sont disponibles. Il y a lieu d'obtenir au moins 10 couples de résultats d'essai et il convient que les aires d'essai des carottes couvrent toute l'étendue des valeurs de l'essai indirect y compris les valeurs extrêmes, si le carottage peut être effectué en toute sécurité pour la structure au niveau de ces aires extrêmes. Les résultats d'essai sur carottes doivent être convertis en valeurs de résistance à la compression sur site ($f_{c,ls}$) et les résultats d'essai indirect doivent être reportés sur l'axe des abscisses en fonction des valeurs de résistance à la compression sur site (axe des ordonnées). La droite de régression linéaire la mieux ajustée à ces points doit être déterminée et jugée afin de déterminer si elle est raisonnable pour le béton évalué (type, âge, béton).

NOTE 1 Il est souvent possible d'établir une corrélation satisfaisante avec 8 couples de résultats d'essai. Il est recommandé d'obtenir 10 couples de résultats d'essai pour tenir compte d'éventuelles valeurs aberrantes et s'assurer que la corrélation est fondée sur au moins 8 couples de résultats d'essai.

(2) Lorsque cela est possible, il convient d'obtenir suffisamment de données d'essai sur carottes pour établir une corrélation spécifique entre l'essai indirect et la résistance à la compression sur site. S'il y a moins de 8 couples de résultats d'essai, il convient de suivre la procédure indiquée en 8.3.

NOTE 2 La plage des valeurs de résistance étant probablement limitée, l'ajustement d'une droite de régression linéaire est généralement approprié. Les équations du présent paragraphe sont directement applicables aux équations linéaires.

NOTE 3 Aucune indication n'est fournie sur ce qu'est une corrélation appropriée.

L'ensemble de données doit être évalué pour détecter les valeurs atypiques.

NOTE 4 L'analyse des résidus normalisés est une bonne procédure pour détecter les valeurs atypiques. Un résidu normalisé ou studentisé est le quotient résultant de la division d'un résidu par une estimation de son écart-type.

(3) À l'aide de l'équation de régression linéaire établie, toutes les valeurs d'essai indirect valides sont converties en valeurs équivalentes de l'équation de régression ($f_{c,ls,reg}$), même au niveau des aires d'essai pour lesquelles existent des résultats réels d'essai sur carottes. Lors de la détermination des valeurs de l'équation de régression, l'équation de régression ne doit pas être extrapolée de plus de 4 MPa aux deux extrémités de la relation établie.

NOTE 5 Si les résultats réels d'essai sur carottes sont inclus dans les calculs en 8.2.2 et 8.2.3, une erreur est introduite en raison du double comptage de la variabilité.

(4) Ces valeurs de l'équation de régression doivent être utilisées pour estimer la résistance caractéristique à la compression sur site (voir 8.2.2) et peuvent être utilisées pour estimer la résistance à la compression sur site au niveau d'aires spécifiques (voir 8.2.3).

8.2.2 Estimation de la résistance caractéristique à la compression sur site pour une zone d'essai

(1) La valeur moyenne de résistance à la compression sur site est estimée par :

$$f_{c,m(m)is} = \sum (f_{c,is,reg}) / m \quad (5)$$

(2) L'écart-type global de la résistance à la compression sur site de la zone d'essai est déterminé par :

$$s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2} \quad (6)$$

La valeur de s_e est donnée par :

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{c,is,reg} - f_{c,m(m)is})^2}{m-1}} \quad (7)$$

La valeur de s_c est donnée par :

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is} - f_{c,is,reg})^2}{n-2}} \quad (8)$$

NOTE Les Formules (8) et (9) sont uniquement valables lorsque la corrélation a deux paramètres, par exemple lorsqu'elle a la forme $(y = a + b \cdot x)$ ou $(\ln y = a + b \cdot \ln x)$. Si ce n'est pas le cas, le terme $(n - 2)$ est remplacé par $(n - p)$, où p est le nombre de paramètres dans la formule.

(3) La valeur de s_c doit être la valeur calculée ou 2,0 MPa, en retenant la plus grande de ces deux valeurs.

(4) Le nombre effectif de degrés de liberté associé à l'écart-type global s est calculé par :

$$n_{eff} = \frac{\left[s_c^2 + s_e^2 \right]^2}{\frac{s_c^4}{n-2} + \frac{s_e^4}{m-1}} \quad (9)$$

où

n est le nombre de couples de résultats d'essai utilisés pour établir la courbe de corrélation ; et

m est le nombre de valeurs de résistance estimées.

(5) Les Formules (3) et (4) sont ensuite utilisées pour estimer la résistance caractéristique à la compression sur site, excepté que dans le Tableau 6, n est remplacé par $(n_{eff} + 1)$ arrondi à l'entier le plus proche. Dans l'application de la Formule (4), $f_{c,is}$, la plus faible est la plus faible des valeurs les plus faibles des résistances estimées ou mesurées des carottes.

8.2.3 Estimation de la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire spécifique

(1) Il n'est pas sûr d'utiliser la relation moyenne pour estimer la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire spécifique, car il existe une probabilité de 50 % que la résistance réelle soit inférieure à la résistance estimée. Par conséquent, la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire spécifique doit être déterminée comme la valeur du résultat d'essai indirect convertie en valeur sur la courbe limite inférieure de l'intervalle de prédiction pour un degré de signification α de 5 % (test unilatéral).

(2) Pour l'évaluation des structures, la valeur estimée de la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire d'essai spécifique ($f_{c, is, est}$) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$f_{c, is, est} = f_{c, is, reg} - t_{(0,05, n-2)} s_c \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{i, cor} - \bar{x})^2}} \quad (10)$$

où 0,05 dans $t_{(0,05, n-2)}$ est la valeur alpha pour un test unilatéral avec $(n - 2)$ degrés de liberté.

NOTE 1 Formule (10): cette résistance n'est pas la résistance caractéristique à la compression de la zone d'essai.

(3) La Formule (10) est uniquement valable pour des corrélations linéaires. Lorsque la linéarité est obtenue après transformation de variables, les variables transformées doivent être utilisées dans les calculs.

(4) Si un résultat d'essai sur carottes de diamètre ≥ 75 mm au niveau de l'aire d'essai spécifique est disponible, cette valeur doit être utilisée, et non la valeur estimée.

NOTE 2 Une seule carotte de 50 mm de diamètre est insuffisante pour atteindre le niveau de confiance requis pour la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire d'essai.

8.3 Utilisation d'essais indirects avec les données d'essai sur au moins trois carottes

(1) Cette technique peut être appliquée à une zone d'essai ne comprenant pas plus de 30 m³ de béton afin d'estimer la résistance à la compression sur site en utilisant des méthodes indirectes sans étalonnage, lorsque la résistance à la compression du béton fourni ne pose aucun problème.

NOTE 1 Voir l'Article 9 pour la situation où la résistance à la compression du béton fourni pose problème.

(2) En utilisant des essais de vitesse de propagation du son ou des essais au scléromètre, analyser la zone d'essai afin de déterminer la variabilité et d'identifier les aires de plus faible résistance à la compression. Prélever au moins trois carottes de diamètre ≥ 75 mm ou un nombre équivalent de carottes de plus faible diamètre (voir Tableau 4) dans la zone autour de l'aire (des aires) ayant le résultat d'essai indirect le plus faible et calculer la résistance à la compression sur site ($f_{c, is}$). Lorsque les aires des carottes représentent un béton qui restera dans la structure, prendre la valeur moyenne de trois carottes ou plus (à condition que la dispersion des résultats d'essai ne soit pas supérieure à 15 % de la valeur moyenne) comme étant la résistance à la compression sur site ($f_{ck, is}$) à des fins d'évaluation de la structure (voir NOTE 3).

NOTE 2 Voir A.3 pour les limites d'utilisation du scléromètre.

NOTE 3 Les dispositions nationales peuvent spécifier, ou bien l'ingénieur concerné peut sélectionner, des critères différents aux fins d'évaluation de la structure, voir A.2 (5).

(3) Lorsque la dispersion des résultats d'essai est supérieure à 15 % de la valeur moyenne, si une étude fournit un motif justifié de rejet de l'un des résultats d'essai sur carottes, la résistance à la compression sur site ($f_{ck, is}$) retenue doit être la moyenne des valeurs valides restantes.

9 Évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton fourni, en cas de doute

9.1 Généralités

(1) Des doutes concernant l'obtention de la classe de résistance à la compression spécifiée du béton dans les structures en construction peuvent naître pour différentes raisons. La qualité sur site peut également susciter des doutes en cas de doute sur la qualité du béton fourni sur le site, de problèmes lors de l'exécution des travaux ou à la suite d'un événement exceptionnel sur le site. Le terme « doute » englobe, sans toutefois s'y limiter, les situations suivantes :

- résistance à la compression insuffisante d'échantillons prélevés pour le contrôle de la production, conduisant à une déclaration de non-conformité ;
- résistance à la compression insuffisante d'échantillons prélevés pour les essais d'identité ;
- problèmes durant l'exécution des travaux.

(2) Les critères des 9.2 et 9.3 sont basés sur, et applicables lorsque, les critères relatifs à la résistance à la compression de l'EN 206:2013+A1:2016, Annexe B, B.3.1 ont été utilisés pour l'évaluation d'un certain nombre de charges délivrées sur un site de construction.

(3) Le béton étudié doit être divisé en zones d'essai, celles-ci pouvant par exemple correspondre aux lots utilisés pour les essais d'identité. Il convient que la zone d'essai ne soit pas supérieure à environ 180 m³.

(4) Si les procédures du présent article sont respectées, la zone d'essai définie doit être acceptée comme étant conforme à la classe de résistance à la compression spécifiée. Partant de là, il est possible de conclure que le béton livré sur le site, tout ajustement du béton sur le site et tout écart par rapport à l'exécution, en termes de mise en place, de serrage et de cure, requise par l'EN 13670 ou l'EN 13369, selon le cas, n'étaient pas significatifs en ce qui concerne la résistance à la compression.

Il convient que toutes les parties impliquées participent à la décision concernant les procédures requises pour évaluer la classe de résistance à la compression du béton mis en place et, pour réduire les coûts, il peut être préférable d'envisager les options par ordre de moindres ressources, c'est-à-dire :

- essai crible (voir 9.4) ;
- essais indirects plus données d'essai sur carottes sélectionnées (voir 9.3) ;
- utilisation de données d'essai sur carottes (voir 9.2).

Les essais cribles en 9.4 fournissent une méthode d'évaluation rapide et sans dommage pour la structure, permettant de confirmer que le béton dans la structure provenait d'une population conforme. La non-satisfaction de ces exigences conservatives ne constitue pas une preuve de non-conformité, mais signifie que des essais directs par carottage sont nécessaires pour résoudre le problème.

Lorsque les carottes prélevées présentent des masses volumiques qui sont clairement inférieures à celles des éprouvettes d'essai normalisées, il convient d'en déterminer la (les) raison(s) (voir A.5).

NOTE 1 Le non-respect des critères indique que le béton peut ne pas avoir atteint la classe de résistance à la compression spécifiée, que des problèmes sont survenus pendant le transport du béton jusqu'au site, que les ajustements du béton effectués par l'utilisateur peuvent avoir été significatifs, que la mise en place, le serrage et la cure du béton n'ont pas été exécutés conformément à l'EN 13670 ou à l'EN 13369, selon le cas, que l'impact du cycle de température sur le béton jeune n'a pas été dûment pris en compte, ou toute combinaison de ces facteurs. Il se peut que le producteur et l'utilisateur soient obligés d'identifier quels facteurs sont importants, mais cela implique la prise en compte de toutes les modifications apportées au béton livré par le producteur, de la porosité et des armatures présentes dans les carottes ainsi que de la maturité de la carotte lors des essais. La présente Norme européenne ne fournit pas de recommandations sur la quantification de ces facteurs.

(5) Lorsque les résultats d'essai de résistance à la compression sur site ne remplissent pas les critères du présent article, il convient de vérifier la conformité structurale de l'ouvrage.

(6) Lorsque des carottes doivent être soumises à essai, l'utilisateur et le producteur doivent convenir du diamètre et du rapport longueur/diamètre des carottes et du laboratoire chargé de réaliser les essais.

(7) Lorsque la conformité à la classe de résistance à la compression spécifiée est fondée sur des essais réalisés sur des cubes, l'évaluation de la classe de résistance à la compression du béton mis en place peut être fondée sur la résistance caractéristique minimale des cubes associée à la classe de résistance à la compression spécifiée.

(8) L'hypothèse nulle dans les procédures des 9.2 à 9.4 est que le béton est conforme à la classe de résistance à la compression spécifiée, et les procédures évaluent s'il s'agit ou non d'une hypothèse valide.

(9) Lorsque le producteur a déclaré une non-conformité, les procédures du 9.5 s'appliquent.

NOTE 2 Dans cette situation, il n'est pas techniquement correct de supposer que le béton est conforme à la spécification de résistance ni d'utiliser un test statistique pour vérifier si cette hypothèse est correcte.

9.2 Utilisation de données d'essai sur carottes

(1) Chaque zone d'essai doit être divisée en volumes d'environ 30 m³. Lorsqu'un volume de moins de 30 m³ est fourni, il peut être traité comme un volume unique, à condition que le béton ait été fourni une seule journée et qu'il n'y ait aucune indication que l'une des charges puisse être différente des autres. Le nombre minimal d'aires d'essai pour chaque volume est spécifié dans le Tableau 8. En utilisant les procédures spécifiées à l'Article 6, des carottes sont prélevées au niveau de chaque aire d'essai afin d'obtenir un résultat d'essai pour chaque aire d'essai. Si les deux critères indiqués dans le Tableau 8 sont remplis, la conformité de la résistance à la compression peut être acceptée pour la zone d'essai étudiée.

NOTE 1 Trente mètres cubes correspondent à trois toupies de 10 m³ ou quatre toupies de 7,5 m³.

NOTE 2 Tableaux 8 et 10 : la valeur de 0,85 est la valeur recommandée du coefficient de conversion η indiqué dans l'EN 1992-1-1:2004, A.2.3.

Tableau 8 — Critères pour une évaluation fondée sur des données d'essai sur carottes

Nombre de volumes d'environ 30 m ³ dans la zone d'essai	Nombre minimal d'aires d'essai sur carottes pour chaque volume ^a	Moyenne des résultats d'essai sur carottes pour la zone d'essai ^b	Résultat d'essai le plus faible ^{b, c}
1 ^d	3	—	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
2 à 4	2	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 1)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
5 à 6	2	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 2)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
^a Voir l'Article 6 pour le nombre minimal de carottes permettant d'obtenir un résultat d'essai pour chaque aire d'essai. ^b La résistance des carottes peut être exprimée par $f_{c,1:1}$ carotte ou $f_{c,2:1}$ carotte selon la valeur sélectionnée de $f_{ck, spec}$. ^c Avec $M = 4$ MPa pour une classe de résistance à la compression C20/25 ou supérieure. Pour C16/20, C12/15 et C8/10, la marge M doit être réduite respectivement à 3, 2 et 1. ^d À condition qu'il soit traité comme un volume unique, voir 9.2 (1).			

9.3 Essais indirects plus données d'essai sur carottes sélectionnées

(1) Le béton étudié doit être divisé en zones d'essai ne dépassant pas environ 180 m³.

(2) Au minimum, le nombre d'aires d'essai indiqué dans le Tableau 9 doit être soumis à essai par la méthode d'essai indirect sélectionnée. Chaque fois que cela est possible, effectuer au moins un mesurage d'essai indirect au niveau d'aires dans les zones d'essai pour chaque livraison.

NOTE Pour les procédures de l'Article 9, il est raisonnable de supposer que la profondeur de carbonatation n'a pas dépassé 5 mm et l'utilisation d'un scléromètre est donc une méthode acceptable.

(3) Au niveau de chaque aire d'essai, un essai au scléromètre conformément à l'EN 12504-2 ou un mesurage de la vitesse de propagation du son conformément à l'EN 12504-4 doit être effectué. L'appareillage, la procédure d'essai et l'expression des résultats d'essai doivent être conformes à l'EN 12504-2 ou à l'EN 12504-4, selon le cas.

(4) Au niveau des aires d'essai spécifiées dans le Tableau 10, un résultat d'essai sur carottes conformément à l'Article 6 doit être obtenu.

Tableau 9 — Nombre minimal d'aires d'essai pour des mesurages d'essai indirect pour la zone d'essai

Nombre de volumes d'environ 30 m ³ dans la zone d'essai ^a	Nombre minimal d'aires d'essai indirect
1 ^b	9
2 à 4	12
5 à 6	20
^a Si le volume englobe une grande surface, il convient d'augmenter les essais indirects afin qu'ils soient représentatifs des variations dans la zone d'essai. ^b À condition qu'il soit traité comme un volume unique, voir 9.2 (1).	

(5) Si les deux critères indiqués dans le Tableau 10 sont remplis, la conformité de la résistance à la compression peut être acceptée pour la zone d'essai étudiée.

Tableau 10 — Aires pour la sélection des carottages et les critères d'évaluation

Nombre de volumes d'environ 30 m ³ dans la zone d'essai	Nombre minimal d'aires d'essai pour le carottage ^a	Moyenne des résultats d'essai sur carottes au niveau des aires les plus proches de l'indice de rebondissement médian ou de la vitesse moyenne de propagation du son pour la zone d'essai ^b	Résultat d'essai le plus faible ^{b, c}
1 ^d	Une carotte à chacune des deux valeurs d'essai indirect les plus faibles pour la zone d'essai	—	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
2 à 4	Une carotte à la valeur d'essai indirect la plus faible pour la zone d'essai et une carotte au niveau de chacune des deux aires d'essai les plus proches de l'indice de rebondissement médian ou de la vitesse moyenne de propagation du son pour la zone d'essai	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 1)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$
5 à 6		$\geq 0,85 (f_{ck, spec} + 2)$	$\geq 0,85 (f_{ck, spec} - M)$

^a Voir l'Article 6 pour le nombre minimal de carottes permettant d'obtenir un résultat d'essai pour chaque aire d'essai.

^b La résistance des carottes peut être exprimée par $f_{c,1:1}$ carotte ou $f_{c,2:1}$ carotte selon la valeur sélectionnée de $f_{ck, spec}$.

^c Avec $M = 4$ MPa pour une classe de résistance à la compression C20/25 ou supérieure. Pour C16/20, C12/15 et C8/10, la marge M doit être réduite respectivement à 3, 2 et 1.

^d À condition qu'il soit traité comme un volume unique, voir 9.2 (1).

9.4 Essai crible en utilisant une relation générale ou spécifique avec une procédure d'essai indirecte

(1) L'essai crible peut être utilisé pour estimer l'uniformité de la composition du béton dans la zone d'essai, par exemple pour déterminer la variabilité, identifier les aires de résistance à la compression plus faible et estimer si la classe de résistance à la compression spécifiée a été atteinte.

(2) Une relation générique ou spécifique entre la résistance du béton et l'indice de rebondissement ou la vitesse de propagation du son doit être établie par les procédures indiquées dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation, ou une relation générique peut être prévue dans les dispositions nationales.

NOTE 1 Un exemple de relation générique établie est donné dans l'Annexe B.

(3) Cette procédure doit être limitée aux situations dans lesquelles la méthode d'essai indirecte est appropriée.

NOTE 2 Voir A.3 et les normes d'essai pour des indications sur les limites des méthodes d'essai indirectes.

(4) Le même type et le même modèle de scléromètre/d'équipement d'essai de vitesse de propagation du son que ceux utilisés pour établir la relation doivent être utilisés pour évaluer la structure.

(5) Bien que les résultats de cette procédure puissent être acceptés comme une indication de la conformité du béton à la classe de résistance à la compression spécifiée, le non-respect des critères ne constitue pas une preuve que le béton ne présente pas la classe de résistance à la compression spécifiée. Lorsque le béton ne remplit pas ces critères, l'une des procédures décrites en 9.2 ou 9.3 doit être appliquée.

(6) L'essai au scléromètre est essentiellement utilisé pour estimer l'homogénéité de la composition du béton. Comme preuve de la capacité portante, une classe de résistance à la compression selon l'EN 206 peut être attribuée au béton sur site en utilisant les relations données dans les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation ou en indiquant dans les dispositions nationales que la relation donnée à l'Annexe B peut être appliquée.

9.5 Procédure lorsque le producteur a déclaré une non-conformité de la résistance à la compression

(1) Dans le cas d'éléments préfabriqués en béton, le fabricant doit respecter la procédure spécifiée dans l'EN 13369:2018, B.5. De plus, le fabricant doit identifier la ou les causes de la non-conformité et prendre des mesures pour réduire le risque de non-conformités ultérieures.

(2) Dans le cas d'un béton prêt à l'emploi ou malaxé sur site, lorsque le producteur a déclaré une non-conformité, il doit fournir les informations suivantes aux parties concernées, ou lorsque les informations ne sont pas disponibles ou connues, il doit indiquer cette situation :

- identification du béton non conforme ;
- résistance caractéristique à la compression estimée du béton fourni juste avant sa mise en place dans la structure ;
- données sur la base desquelles cette résistance caractéristique à la compression a été estimée ;
- raisonnement ayant conduit à cette résistance estimée ;
- causes de cette non-conformité ;
- actions proposées pour réduire le risque d'une non-conformité ultérieure.

NOTE Les dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation du béton peuvent fournir des recommandations supplémentaires concernant les actions appropriées à mener dans ce cas.

(3) Le cas échéant, il convient de prendre en compte les implications pour la durabilité, mais ce sujet ne relève pas du domaine d'application de l'EN 13791.

Annexe A (informative)

Recommandations relatives à la réalisation d'une étude

A.1 Informations devant être obtenues par les essais

(1) Dans le cadre de l'évaluation d'une structure, il peut être nécessaire de connaître la résistance à la compression sur site du béton d'un élément structural pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

a) évaluation de la structure :

- avant réhabilitation ou nouvelle utilisation ;
- prolongement de la durée de vie ;
- après dégradation du béton due à :
 - une surcharge ;
 - la fatigue ;
 - une action chimique ;
 - un incendie ;
 - une explosion ;
 - des intempéries, y compris l'action du gel-dégel ;
- pour s'assurer que la résistance du béton sur site est acceptable pour :
 - le système de chargement prévu à la conception ;
 - le système de chargement réel ;
 - un système de chargement projeté pour une nouvelle utilisation ;

b) évaluation d'une zone d'essai dans laquelle il a été vérifié que le béton fourni est conforme à la résistance à la compression déclarée, mais les résultats d'essai réalisés sur des échantillons prélevés sur le site indiquent une non-conformité résultant, par exemple :

- d'une non-conformité ou d'une suspicion de résistance à la compression discutable du béton fourni ;
- d'une teneur en air dépassant la valeur maximale autorisée ;
- de l'addition d'eau sur le site selon les instructions de l'utilisateur sans effectuer d'essais de contrôle ;

c) évaluation lorsque le producteur a déclaré une non-conformité ;

d) problèmes pendant l'exécution associés à la mise en place, au serrage ou à la cure du béton.

(2) Lors de la planification d'une étude, il est important de faire la distinction entre une évaluation d'une structure existante en utilisant les procédures de l'Article 8, et une évaluation de la classe de résistance à la compression du béton en cas de doute, en utilisant les procédures de l'Article 9.

(3) Pour une évaluation de la structure, il se peut que la résistance du béton soit connue ou au moins connue dans certaines aires, et l'objectif de l'étude est de déterminer la résistance dans des aires non connues ou présentant un intérêt du fait d'une détérioration, d'une réhabilitation ou d'un changement d'utilisation.

(4) Lorsque la résistance du béton fourni pour la structure n'est pas connue, par exemple lorsqu'il n'existe pas d'enregistrements conformes à l'exécution, l'estimation de la résistance caractéristique à la compression sur site doit être conservatrice. Plus la quantité de données disponibles est faible, plus la résistance caractéristique estimée doit être conservatrice afin de compenser l'incertitude. Il n'existe pas de règles définitives pour l'application des résultats d'essai. Par exemple, l'ingénieur peut décider de remplacer dans la structure le béton identifié comme donnant de faibles résultats d'essai et aurait donc de bonnes raisons d'exclure ces résultats d'essai de l'estimation de la résistance caractéristique à la compression sur site.

(5) Si des informations sont disponibles sur une structure existante, il convient de les utiliser pour aider à définir les zones d'essai et à indiquer les classes de résistance attendues après avoir pris en compte le développement de la résistance au fil du temps. Avec des structures existantes et en l'absence de données de construction fiables, il peut être approprié de vérifier toute estimation de la résistance à la compression avec une estimation de la résistance à la compression associée à l'utilisation passée.

(6) Même lorsque la résistance du béton fourni est connue, il peut être utile d'évaluer la résistance réelle développée au fil du temps.

(7) Lorsqu'il a été vérifié que le béton fourni est conforme à la résistance à la compression déclarée, mais que les résultats d'essai réalisés sur des échantillons prélevés sur le site indiquent une non-conformité, on doit déterminer si le béton dans la structure provient d'une population conforme à la classe de résistance à la compression spécifiée. Comme pour les essais d'identité de l'EN 206, il est supposé que le béton provenait d'une population conforme et l'évaluation fondée sur des essais sur site est réalisée pour déterminer si cela est vrai ou faux.

(8) Il convient de planifier et d'exécuter avec soin toute étude de structure afin de s'assurer que les informations obtenues soient suffisantes pour obtenir une évaluation suffisamment fiable de la résistance du béton dans la structure. Le programme d'essais détaillé dépendra du motif de l'étude et s'il est nécessaire :

- a) d'estimer la résistance caractéristique à la compression sur site du béton dans un élément structural ;
- b) d'estimer la résistance à la compression sur site au niveau d'aires spécifiques dans un élément ;
- c) de déterminer la résistance du béton sur la surface immédiate, au voisinage de la surface ou à une plus grande profondeur (voir A.3) ;
- d) d'obtenir des informations supplémentaires, par exemple homogénéité et masse volumique du béton.

A.2 Méthode d'évaluation de la résistance sur site

(1) Pour des raisons statistiques, un nombre minimal de résultats d'essai peut être exigé pour atteindre le niveau de confiance requis, mais le nombre d'essais doit tenir compte de questions pratiques telles que l'accès, l'impact sur la structure, le coût et l'efficacité d'une remise en état au niveau des aires d'essai.

(2) Lorsque l'objectif de l'étude est de déterminer la résistance caractéristique à la compression sur site et non la classe de résistance à la compression du béton en cas de doute, les options sont les suivantes :

- essais sur carottes (voir 8.1) ;
- méthodes indirectes avec étalonnage par rapport aux données d'essai sur carottes (voir 8.2) ;
- méthodes indirectes avec carottage sélectionné (voir 8.3).

(3) Si des essais indirects sont planifiés, vérifier les limites de la méthode d'essai indirect pour s'assurer qu'il existe une relation fiable entre la méthode d'essai indirect et le carottage (voir A.3 pour des recommandations).

(4) Pour toutes ces options, il est nécessaire de :

- sélectionner et spécifier la (les) zone(s) d'essai (voir 5.1) ;
- sélectionner et spécifier les aires d'essai (voir 5.2), et le nombre d'essais par aire d'essai (voir 5.2) ;
- sélectionner et spécifier le diamètre et le rapport longueur/diamètre des carottes (2: 1 ou 1: 1) ;
- spécifier la méthode de préparation des extrémités des carottes (voir l'EN 12504-1) ;
- spécifier la méthode de remise en état des aires où des carottes doivent être prélevées.

(5) Les recommandations fournies dans le présent document doivent être considérées à la lumière de la situation spécifique et d'une expertise technique appliquée au cas particulier. L'utilisation ou non de la valeur de la résistance caractéristique sur site ainsi estimée dans l'évaluation d'une structure dépendra des circonstances particulières. Si la valeur calculée est fondée sur un grand nombre de données d'essai sur carottes ou de données d'essais indirects, elle constitue une valeur appropriée pour les calculs de structure. Toutefois, lorsque le nombre de données d'essai diminue, la probabilité que, pour une structure inconnue, la structure contienne des aires (inconnues) moins résistantes augmente.

(6) Bien que le carottage donne la mesure la plus fiable de la résistance à la compression sur site au niveau d'une aire d'essai, le carottage est coûteux et les trous laissés par l'extraction des carottes nécessitent une remise en état. Le carottage à lui seul fournit des informations limitées sur une structure. Par conséquent, la tendance actuelle pour des structures anciennes est d'utiliser des essais indirects afin d'obtenir une évaluation détaillée de l'homogénéité du béton dans la structure, puis d'utiliser le carottage pour établir une relation spécifique entre les mesures d'essais indirects et la résistance à la compression sur site.

A.3 Sélection d'une méthode d'essai

(1) Le niveau de confiance avec lequel il est possible d'évaluer la résistance sur site d'un béton augmentera avec le nombre d'évaluations effectuées. Dans le cas de certains essais (par exemple vitesse de propagation du son, indice de rebondissement), les frais supplémentaires liés à l'obtention d'un grand nombre de données d'essai sont faibles. Dans d'autres cas (par exemple données d'essai sur carottes), le coût de chaque essai est significatif. La décision concernant le nombre et le type d'essais à réaliser sera donc basée sur une évaluation du coût associé à l'obtention d'une résistance sur site estimée ayant une fiabilité adéquate. Les essais sur carottes fournissent la mesure la plus directe de la résistance sur site.

(2) Les essais de vitesse de propagation du son et les essais au scléromètre ne mesurent pas la résistance du béton, mais d'autres propriétés (temps de transit des impulsions dans le cas de la vitesse de propagation du son et dureté de surface dans le cas du scléromètre) qui ont une relation spécifique au béton avec la résistance à la compression. Lorsque la relation entre la vitesse de propagation du son ou l'indice de rebondissement et la résistance à la compression est établie pour un béton particulier tel que décrit dans le présent document, une relation sûre et fiable peut être déterminée. La relation entre l'indice de rebondissement et la résistance est différente si le béton est carbonaté. Il est préférable de ne pas utiliser l'indice de rebondissement pour évaluer la résistance d'un béton carbonaté, mais il est encore utile pour déterminer les aires à carotter.

(3) Les avantages et limitations relatifs des essais pour différentes profondeurs par rapport à la surface sont résumés dans le Tableau A.1. Il existe d'autres essais, par exemple radiographie gamma et radar, non énumérés dans le Tableau A.1, mais leur objectif principal est autre que la détermination de la résistance à la compression.

(4) Compte tenu de l'incertitude associée à l'utilisation d'un nombre limité de données d'essai, il est recommandé que toute étude (autre que l'étude d'une petite zone d'essai) dans laquelle le nombre de carottes est inférieur à 10 soit étayée par des données d'essais indirects supplémentaires, par exemple l'indice de rebondissement.

(5) L'effet des dommages causés à la structure par les essais doit être pris en compte et là où des dommages surviendront, il sera nécessaire de spécifier la méthode de remise en état.

(6) Il convient que la sélection des méthodes d'essai tienne compte des éléments suivants :

- la situation générale du site et la facilité de transport des équipements d'essai ;
- la probabilité d'obtention de résultats d'essai pertinents en raison de la géométrie, de la structure, des armatures et de l'humidité relative ;
- l'accessibilité de la zone d'essai ;
- l'accès à une alimentation en électricité, en eau, en air comprimé ;
- la sécurité du personnel sur le site et la sécurité du public ;
- les conditions climatiques ;
- la disponibilité d'un personnel convenablement formé et qualifié ;
- les retards de construction ou d'exploitation dus à la réalisation des essais et aux prises de décision ;
- les dommages causés à la structure par les essais ;

- les retards dans l'achèvement et la réception ;
- le coût.

Tableau A.1 — Avantages et limitations relatifs des différents essais permettant de mesurer la résistance à la compression sur site

Zone soumise à essai	Essai	Norme	Exactitude de la résistance estimée	Rapidité de l'essai	Facilité de l'essai	Économie de l'essai	Absence de dommages à la structure
En profondeur	Carotte	EN 12504-1	****	**	**	*	*
	Vitesse de propagation du son	EN 12504-4	** a	***	***	***	****
À proximité de la surface	Arrachement	EN 12504-3	** b	**	**	**	*
Surface immédiate	Indice de rebondissement	EN 12504-2	** a	****	****	****	***

NOTE Plus le nombre d'astérisques est élevé, meilleures sont les performances.

a Uniquement si étalonné pour le béton particulier étudié.

b L'essai d'arrachement est plus couramment utilisé pour déterminer la résistance d'un béton jeune et, dans ce cas, l'exactitude de la résistance estimée est supérieure à celle indiquée dans ce tableau. L'exactitude indiquée est plus faible pour les applications traitées à l'Article 8 car la carbonatation et une amorce de délamination peuvent influencer sur l'exactitude.

(7) Le scléromètre donne une mesure de la résistance de surface et non une évaluation de la qualité du béton dans toute la section. L'utilisation du scléromètre n'est pas appropriée dans certaines conditions, notamment :

- des profondeurs de carbonatation supérieures à 5 mm ;
- en cas d'utilisation de coffrages à perméabilité contrôlée ou de durcisseurs de surface ;
- un béton endommagé par le feu ;
- des surfaces en béton dont la surface a été éliminée par l'action de produits chimiques ou du gel-dégel.

(8) Les mesurages de la vitesse de propagation du son donnent une évaluation sur toute la profondeur de la section, mais le résultat d'essai est influencé par la teneur en humidité du béton et d'autres facteurs (voir l'EN 12504-4:2004, Annexe B). La méthode de transmission directe est plus exacte que la méthode de transmission indirecte.

(9) L'exactitude des estimations de la résistance sur site obtenues par des essais indirects non destructifs dépend de la fiabilité de la corrélation entre la méthode d'essai et la résistance des carottes. Le présent document fournit des méthodes permettant d'obtenir des relations fiables et sûres. Deux procédures d'utilisation de techniques combinées sont décrites ci-après :

- utilisation d'une analyse approfondie avec des essais indirects (par exemple au scléromètre) et des essais sur carottes suffisants pour établir la relation entre la méthode indirecte et la résistance à la compression sur site pour le béton étudié. Toutes les données d'essai sont ensuite converties en résistances à la compression sur site. Ces données sont ensuite utilisées pour déterminer la résistance caractéristique à la compression sur site et les aires nécessitant une étude plus détaillée ;
- utilisation d'une méthode indirecte pour localiser la plus faible résistance à la compression dans une zone d'essai ne dépassant pas 30 m³ en vue de prélever quelques carottes (voir 8.3). Dans cette procédure, les données d'essai sur carottes sont insuffisantes pour établir la relation entre la méthode indirecte et la résistance des carottes.

(10) Les essais sur carottes ou les essais directs de certains produits préfabriqués constituent la méthode de référence.

A.4 Recommandations supplémentaires pour une évaluation fondée sur des données d'essai sur carottes

(1) Les essais sur carottes sont effectués conformément à l'EN 12504-1.

(2) Lorsque l'ingénieur prévoit d'évaluer l'adéquation de la structure en utilisant des Normes européennes telles que l'EN 1992-1-1, il convient idéalement d'effectuer les essais sur des carottes ayant un rapport longueur/diamètre de 2:1. Étant donné qu'il n'est pas toujours possible de prélever des carottes 2:1, l'option consistant à utiliser des carottes 1:1 est également prévue, mais ces résultats d'essai sont convertis pour une carotte équivalente de 300 mm par 150 mm de diamètre en utilisant la relation donnée à l'Article 6. L'Article 6 note que la dimension des granulats a une incidence significative sur la résistance mesurée lorsque le rapport entre le diamètre de la carotte et la dimension maximale des granulats est inférieur à environ 3. Idéalement, il convient que le diamètre des carottes soit compris entre 75 mm et 100 mm. Il est fortement conseillé de sélectionner les aires de carottage de telle sorte que les carottes ne contiennent pas d'armature. Cela a conduit à utiliser des carottes de plus faibles diamètres (compris entre 50 mm et 70 mm), mais les mesurages réalisés sont plus variables [7]. Pour surmonter cette variabilité, le présent document exige un plus grand nombre de carottes de faible diamètre au niveau de chaque aire d'essai, le « résultat d'essai » étant la moyenne de ces carottes, ou un plus grand nombre d'aires d'essai avec une seule carotte (voir Article 6 et 8.1).

(3) Le niveau de confiance attribué à la résistance à la compression sur site calculée lors des essais d'un béton identique est estimé à partir de la répétabilité/ $\sqrt{n}$. Pour des carottes de 100 mm de diamètre dont les extrémités sont préparées par rectification, il existe une probabilité de 95 % que la valeur moyenne vraie se situe dans un intervalle de $\pm 14 \text{ } \%/ \sqrt{n}$ par rapport à la valeur calculée [8]. Par conséquent, il est recommandé de prélever un groupe minimal de quatre carottes pour représenter une petite zone d'essai. Lorsque plus de quatre carottes sont prélevées dans une petite zone d'essai, le niveau de confiance dans la valeur moyenne de la résistance à la compression sur site est plus élevé. Un plus grand nombre de carottes est requis dans des zones d'essai plus grandes car il peut exister une variabilité du béton mis en place ainsi qu'une variabilité des essais et des aires.

(4) La préparation des extrémités par rectification est la méthode la plus précise, mais d'autres méthodes offrent une précision similaire pour des bétons à résistance normale si elles sont mises en œuvre par des laboratoires expérimentés dans la méthode de préparation des extrémités par surfacage [8]. Une préparation des extrémités par rectification est recommandée pour des résistances à la compression estimées supérieures à 50 MPa.

(5) Lorsque les carottes prélevées dans la structure doivent être sciées pour obtenir les éprouvettes, il convient que le diamètre, le rapport longueur/diamètre (2:1 ou 1:1) et la méthode de préparation des extrémités soient spécifiés à l'entreprise chargée du carottage/des essais. Le diamètre est le diamètre de la carotte, et non du trou. Une faible tolérance sur la longueur finie est autorisée (voir Article 6), par exemple une carotte 2:1 de 100 mm de diamètre aurait une longueur finie comprise entre 190 mm et 210 mm. Une carotte ayant un rapport longueur/diamètre dans les limites de tolérance indiquées à l'Article 6 est acceptée sans ajustement de la longueur. Lorsque ces recommandations ne sont pas respectées, il peut être nécessaire de corriger les résultats d'essai individuels sur carottes pour :

- un rapport longueur/diamètre afin de convertir la résistance à la compression des carottes ($f_{c, \text{carotte}}$) en résistance à la compression sur site ($f_{c, \text{is}}$) ;
- une armature transversale par rapport à la direction de la charge.

(6) L'Article 6 exige de rejeter une carotte contenant une armature longitudinale ou presque longitudinale à l'examen visuel et de prélever une carotte de remplacement.

(7) Il convient de consigner dans le rapport la résistance à la compression des carottes ($f_{c, \text{carotte}}$) et la résistance à la compression sur site ($f_{c, \text{is}}$). Pour être en mesure d'évaluer correctement la structure, il convient que l'ingénieur spécifie, le cas échéant, la consignation des informations supplémentaires suivantes (en plus des résultats d'essai sur carottes) obtenues lors des essais sur carottes :

- masse volumique de la carotte ;
- porosité excessive ;
- toute autre observation pertinente, par exemple fissures ou joint de reprise dans la carotte.

(8) Il convient que les aires d'essai pour le carottage soient telles qu'après découpe de la carotte à la longueur souhaitée, la carotte ne contienne pas :

- de béton situé à moins de 30 mm d'une surface ;
- de béton situé à moins de 50 mm ou 20 % du haut de la levée, en retenant la plus grande des deux valeurs, dans des sections où la hauteur de levée ne dépasse pas 1,5 m ;
- de béton provenant des 300 mm supérieurs de la levée, lorsque la hauteur de levée est supérieure ou égale à 1,5 m.

(9) Ces recommandations visent à s'assurer que les résultats d'essai soient représentatifs de la majeure partie du béton dans la structure.

A.5 Évaluation de la classe de résistance à la compression d'un béton fourni, en cas de doute

(1) La procédure à suivre dépendra de la cause du doute. Lorsque le producteur a déclaré une non-conformité, un test statistique basé sur l'hypothèse que le béton était conforme à la classe de résistance à la compression spécifiée n'est pas valable et il convient de suivre les procédures du 9.5.

(2) Lorsqu'un problème a été rencontré lors de l'exécution, en termes de mise en place (y compris une mise en place retardée), de serrage ou de cure, ou qu'un événement exceptionnel s'est produit sur le site et que le béton a été accepté comme étant conforme à sa spécification, l'utilisation des procédures de 9.2, 9.3 ou 9.4 peut encore être appropriée pour déterminer si la résistance du béton est adéquate.

(3) En cas de non-conformité possible du béton, il convient de respecter les recommandations en vigueur sur le lieu d'utilisation, par exemple CIRIA C519: *Action in the case of nonconformity of concrete structures* [9]. Il convient que l'étude initiale comprenne un examen des registres de production et des procédures d'essai. Une étape initiale consistera à vérifier que les procédures d'essai du béton utilisées pour établir la conformité et celles visant à remettre en question la conformité ont été mises en œuvre conformément aux normes pertinentes. Lorsque l'étude initiale identifie la nécessité de réaliser des essais sur site pour résoudre un litige concernant la résistance à la compression du béton fourni sur le site, les options sont les suivantes :

- essai crible (voir 9.4) ;
- essais indirects suivis d'un carottage sélectionné du béton le moins résistant (voir 9.3) ;
- essais sur carottes (voir 9.2).

(4) Pour ces évaluations, l'hypothèse nulle est que le béton provenait d'une population conforme et plus le nombre de données disponibles est faible, moins il existe d'éléments probants de rejeter l'hypothèse nulle et le béton.

(5) Les procédures de l'Article 9 évaluent la résistance à la compression du béton en place et si le résultat est positif, le béton fourni pour la structure est accepté comme étant conforme à la classe de résistance spécifiée, tout ajustement du béton livré sur le site est considéré comme non significatif et le soin apporté à la mise en place, au serrage et à la cure du béton est considéré conforme à l'EN 13670 ou à l'EN 13369, selon le cas.

(6) Lorsque les options d'essais supplémentaires 9.4, 9.3 et 9.2, ou des combinaisons de celles-ci, indiquent que la conformité du béton à la classe de résistance spécifiée n'est pas démontrée, il peut s'avérer nécessaire de procéder à une vérification de la conformité structurale en tenant compte de la résistance estimée, conformément aux dispositions en vigueur sur le lieu d'utilisation.

(7) Lorsque le béton ne remplit pas les critères de l'Article 9, il peut être nécessaire de déterminer la cause de la faible résistance, par exemple au moyen d'une procédure permettant de déterminer la résistance que ce béton aurait atteinte s'il avait été utilisé pour confectionner des éprouvettes. Toutefois, avec une non-conformité marginale et les incertitudes associées à l'estimation de cette résistance, il sera difficile de démontrer que le béton était ou n'était pas conforme à sa spécification.

(8) L'estimation de la résistance que le béton aurait atteinte s'il avait été utilisé pour confectionner des éprouvettes, plutôt que d'être mis en place puis carotté, est un processus complexe présentant un haut niveau d'incertitude. Ceci est dû au fait que les résistances des carottes doivent être ajustées au moins pour le volume d'air occlus en excès par rapport à celui trouvé dans les éprouvettes, la cure et la maturité pour estimer la résistance qu'aurait présenté ce béton s'il avait été utilisé pour confectionner des éprouvettes. La maturité du béton dépend de sa température et de l'historique de la cure, qui normalement n'est pas connu, et la maturité est fonction du type et de la teneur en ciment, du type et du contenu des additions, du type d'adjuvant, de l'épaisseur de la section, du type de coffrage, de la température de mise en place et de la température ambiante. La relation résistance-maturité dépend du type et de l'origine du ciment. L'origine du ciment est plus importante lorsque les carottes sont prélevées au jeune âge (avant d'atteindre une maturité équivalente à 28 jours à 20 °C). Toutefois, d'un point de vue structural, c'est la résistance inadéquate dans la structure qui importe, qu'elle soit due à un choix erroné des constituants, à un béton de mauvaise qualité, à une exécution de mauvaise qualité sur le site ou à une combinaison de ces facteurs.

(9) Une autre complication survient lorsque la section est grande et que le béton a subi l'augmentation et la baisse typiques de température ; la résistance d'un tel béton peut être jusqu'à 20 % inférieure à celle des éprouvettes durcies normalisées [10].

(10) Bien qu'une analyse complète de la résistance potentielle soit difficile et le résultat incertain, certains aspects de cette analyse sont fiables et pourraient être pris en compte lors de la détermination de la (des) cause(s) de la faible résistance.

(11) Si de l'eau a été ajoutée au béton selon les instructions du client, conformément à l'EN 206, il convient que le volume d'eau ajouté ait été enregistré sur le bon de livraison et que le producteur soit en mesure de fournir des preuves de l'impact de cette eau ajoutée sur la résistance à la compression.

NOTE L'eau ajoutée peut également avoir un impact sur la durabilité, mais cet aspect de la performance n'est pas traité dans le présent document.

(12) En utilisant les mêmes sources de constituants et les mêmes proportions du mélange, il pourrait être approprié d'effectuer un programme d'essais pour établir la relation entre :

- a) les variations de la teneur en eau et la résistance à la compression ;
- b) les variations de la teneur en air et la résistance à la compression ;
- c) les variations du niveau de serrage et la résistance à la compression.

L'utilisation de ces informations conjointement avec les données d'essai sur carottes et les autres informations peut aider à déterminer la cause de la faible résistance.

A.6 Acceptation des données d'essai

(1) Avant de lancer un programme, il est souhaitable que les parties intéressées parviennent à un accord total sur la validité de la procédure d'essai proposée, les critères d'acceptation et la désignation d'une personne et/ou d'un laboratoire pour :

- assumer la responsabilité des essais ;
- interpréter les résultats d'essai.

(2) Il est fortement recommandé que les essais soient effectués par un laboratoire agréé pour l'ensemble de la procédure d'essai, et pas seulement la réalisation de l'essai. Cela réduira le risque de litige sur la qualité des données d'essai.

(3) Lorsqu'un résultat d'essai sur carottes s'avère être une valeur aberrante d'un point de vue statistique (suspecte ou rejetée), il convient d'en déterminer la raison. Lorsque, au terme d'un nouvel examen, il est conclu que la valeur aberrante n'était pas un résultat d'essai valable, il convient de rejeter le résultat d'essai sur carottes et de ne pas l'utiliser dans l'évaluation de la résistance d'une structure ou d'un élément préfabriqué en béton. Lorsque le résultat d'essai sur carottes est valide et représente un défaut local, par exemple une zone qui n'est pas convenablement serrée, l'action à mener doit être déterminée. Par exemple, il peut être nécessaire d'éliminer et de remplacer l'aire locale. Lorsque la valeur aberrante représente un défaut local qui est corrigé, il convient de ne pas inclure le résultat d'essai sur carottes dans un calcul de la résistance caractéristique à la compression sur site. Dans certaines situations, il est nécessaire de prendre en compte une valeur aberrante lors de l'évaluation de l'adéquation de la structure, par exemple lorsque la zone moins résistante n'est pas éliminée et remplacée.

Annexe B (informative)

Exemple de relation générique entre l'indice de rebondissement et la classe de résistance à la compression

(1) L'exemple suivant est issu de la procédure donnée dans l'Annexe nationale allemande à l'EN 13791:2006.

(2) L'appareillage, la procédure d'essai et l'expression des résultats d'essai doivent être conformes à l'EN 12504-2. Au moins 9 aires d'essai doivent être sélectionnées dans la zone d'essai et un essai au scléromètre conformément à l'EN 12504-2 doit être effectué au niveau de chaque aire d'essai.

(3) Les essais doivent être réalisés par une personne convenablement formée à l'utilisation des scléromètres.

(4) Les indices de rebondissement relatifs à toutes les aires d'essai de la zone d'essai sont utilisés pour déterminer l'indice de rebondissement médian pour la zone d'essai (deuxième colonne du Tableau B.1 ou B.2).

(5) À condition que toutes les conditions suivantes soient satisfaites :

- le béton est un béton de masse volumique normale ;
- aucun coffrage à perméabilité contrôlée ou durcisseur de surface n'a été utilisé ;
- un scléromètre de type N présentant une énergie d'impact de 2,207 Nm a été utilisé pour mesurer l'indice de rebondissement sur la base de la distance de rebondissement (R) ou au moyen de mesurages d'énergie ou de vitesse (Q) ;
- la profondeur de carbonatation ne dépasse pas 5 mm ;
- les indices de rebondissement satisfont aux critères des colonnes 1 et 2 du Tableau B.1 (distance de rebondissement) ou aux critères des colonnes 1 et 2 du Tableau B.2 (différence d'énergie ou de vitesse) ;
- la classe de résistance à la compression associée (colonne 3) peut être présumée.

NOTE Pour les procédures de l'Article 9, il est raisonnable de supposer que la profondeur de carbonatation n'a pas dépassé 5 mm.

Tableau B.1 — Indice de rebondissement fondé sur la distance de rebondissement (type R) et les classes de résistance à la compression associées selon l'EN 206 pour un béton de masse volumique courante

Plus faible indice de rebondissement de toutes les aires d'essai de la zone d'essai	Indice de rebondissement médian pour la zone d'essai	Classe de résistance à la compression selon l'EN 206 ^a
≥ 26	≥ 30	C8/10
≥ 30	≥ 33	C12/15
≥ 32	≥ 35	C16/20
≥ 35	≥ 38	C20/25
≥ 37	≥ 40	C25/30
≥ 40	≥ 43	C30/37
≥ 44	≥ 47	C35/45
≥ 46	≥ 49	C40/50
≥ 48	≥ 51	C45/55
≥ 50	≥ 53	C50/60
≥ 53	≥ 57	C55/67
≥ 57	≥ 60	C60/75
≥ 62	≥ 65	C70/85
≥ 66	≥ 69	C80/95
^a Au niveau de confiance du 10 ^{ème} percentile.		

Tableau B.2 — Indice de rebondissement fondé sur la différence d'énergie ou de vitesse (type Q) et les classes de résistance à la compression associées selon l'EN 206 pour un béton de masse volumique courante

Plus faible indice de rebondissement de toutes les aires d'essai de la zone d'essai	Indice de rebondissement médian pour la zone d'essai	Classe de résistance à la compression selon l'EN 206 ^a
≥ 25	≥ 34	C8/10
≥ 29	≥ 40	C12/15
≥ 36	≥ 45	C16/20
≥ 42	≥ 49	C20/25
≥ 46	≥ 52	C25/30
≥ 51	≥ 56	C30/37
≥ 56	≥ 60	C35/45
≥ 58	≥ 62	C40/50
≥ 60	≥ 64	C45/55
≥ 62	≥ 66	C50/60
≥ 64	≥ 68	C55/67
≥ 66	≥ 71	C60/75
≥ 69	≥ 73	C70/85
≥ 71	≥ 75	C80/95
^a Au niveau de confiance du 10 ^{ème} percentile.		

Bibliographie

- [1] CEN/TR 17086¹, *Further guidance on the application of EN 13791 and background to the provisions*
- [2] EN 12390-7, *Essais pour béton durci — Partie 7 : Masse volumique du béton durci*
- [3] ISO/IEC 17025, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*
- [4] EN 1998-3, *Eurocode 8: Calcul des structures pour leur résistance aux séismes — Partie 3 : Évaluation et renforcement des bâtiments*
- [5] ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION, *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure, ISO 5725*
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, *Standard practice for dealing with outlying observations, ASTM E178*
- [7] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, *Inter-laboratory comparisons in support of CEN/ISO standards called up in EN 206, Concrete. Final report on experiment C, Juin 1997*
- [8] THE CONCRETE SOCIETY, *In situ concrete strength. An investigation into the relationship between core strength and standard cube strength*. The Concrete Society, Camberley, UK, 2004
- [9] AINSWORTH P.R., HOPKINS C.J. *Action in the case of nonconformity of concrete structures*. C519. CIRIA, 2000. ISBN 978 0 86017 519 3
- [10] HARRISON T. A., *Concrete properties: Setting and hardening, Advanced Concrete Technology — Concrete Properties*, 2003, p4/11

¹ En préparation. Stade à l'étape de la publication : FprCEN/TR 17086;2017.