

SN EN 206:2013+A1:2016

Béton – Spécification, performances, production et conformité

Annexe ND

Réglementation relative à l'application du concept de performance équivalente

Version du 11.08.2020

Information:

Cette annexe ND n'est pas approuvée par SIA.

Auteur:

Dr. Fritz Hunkeler, Merz Ingenieurberatung GmbH, Möriken

Traduction française:

Dr. Christine Merz, Merz Ingenieurberatung GmbH, Möriken

Remarque

Ce document a été élaboré sur mandat de deux producteurs de granulats et béton.

Préface

La plupart des règles de la SN EN 206:2013+A1:2016 sont en vigueur depuis plus que 15 ans. Elles ont contribué à l'adaptation de la production du béton sous des conditions changeantes (p.ex. nouveaux types de ciment avec des effets divers sur les propriétés du béton) et aux nouveaux besoins (p.ex. exigences de bétons plus écologiques). L'intégration d'exigences de durabilité et des essais associés dans la norme SN EN 206, respectivement SIA 2626/1 relève d'une importance toute particulière. Ce développement présentait la base pour les procédures d'approbation de nouveaux ciments, ajouts et combinaison ciment - ajout.

Or les règles actuelles rendent l'exploitation du potentiel du béton de plus en plus difficile. Les prescriptions rigides quant aux valeurs e/c et e/c_{eq} ainsi qu'à la teneur minimale en ciment sont particulièrement gênantes. Selon les prescriptions actuelles le béton est surdéterminé, puisqu'il existe autant d'exigences vis à vis de la composition que des propriétés (de durabilité).

Grâce aux connaissances actuelles de technologie du béton et des expériences maintenant disponibles ainsi que des méthodes d'essai suisse établies, il est possible de produire des bétons plus économiques et plus durables. A cet effet, les règles de la norme béton doivent être adaptées et complétées.

Il n'existe pas de règles suisses concernant le concept de performance équivalente (CPEB) et le concept de performance équivalente de combinaisons de ciment et d'additions (CPEC) (chiffres 5.2.5.3 et 5.2.5.4 EN 206), permettant de les appliquer en Suisse. Les nouvelles règles ici proposées poursuivent et élargissent les principes des deux concepts.

L'annexe nationale ND devra permettre de produire des bétons conçus sur mesure, c. à d. de produire des bétons avec des propriétés spécifiques pour des projets de construction spécifiques, sans que l'utilisateur du bétons doit s'occuper de la composition du béton.

Annexe nationale ND (normative)

Réglementation relative à l'application du concept de performance équivalente

Remarque 0 Les remarques suivantes servent à la meilleure compréhension. Elles ne font pas partie de la norme et seront éliminés le moment voulu.

ND.0 But

- ND.0.1 La présente annexe nationale fait partie intégrante de la SN EN 206:2013+A1:2016.
- ND.0.2 La présente annexe nationale contient les règles suisses relatives à l'application du concept de performance équivalente. Il remplace le concept de performance équivalente (CPEB) et le concept de performance équivalente de combinaisons de ciment et d'additions (CPEC) selon les chiffres 5.2.5.2 et 5.2.5.4 de la EN 206.
- ND.0.3 Les règles de cette annexe ne peuvent être appliquées que par des producteurs certifiés. Il est possible de produire tous les bétons ou seulement un ou quelques bétons selon cette annexe.
- ND.0.4 Les règles sont valables pour toutes sortes de béton. Les exigences diffèrent en partie pour des bétons autoplaçants et des bétons avec des granulats légers ou recyclés.
- ND.0.5 Le béton produit selon cette annexe nationale est un béton à propriétés spécifiées.

ND.1 Références normatives

N.D.1.1 Les normes suivantes s'appliquent:

SN EN 206:2013+A1:2016	Béton – Spécification, performances, production et conformité, incl. annexe NA,NB et NC
SIA 2049	Exigences relatives aux nouveaux ciments
SIA 262/1, Annexe X	Détermination de la quantité d'eau de ressuage ¹⁾
SIA 262/1, Annexe Y	Détermination du taux de ségrégation ¹⁾
SN EN 934-2, Annexe X	Détermination du point de saturation des fluidifiants ¹⁾

1) Remarque: voir explications lors de la journée béton 2017, séminaire 174301, Bau und Wissen, Wildegg. Ces essais doivent être encore élaborés.

ND1.2 Dans cette annexe la désignation EN 206 correspond toujours à la norme EN 206:2013+A1:2016 et SN EN 206 à la norme SN EN 206:2013+A1:2016.

ND.2 Terminologie

- ND.2.1 Liant (L): somme de ciment et d'additions type II comme p.ex. cendres volantes (CV), laitier (LHF), fumée de silice (FS) et Hydrolith F200 (F200).
- ND.2.2 Quantité d'eau de ressuage (ER): mesure de la tendance au ressuage, correspondant à la quantité d'eau pressée du béton frais selon SIA 262/1, annexe X.
- ND.2.3 Taux de ségrégation après 60 secondes de compactage (TS₆₀): mesure de la tendance du béton à la séparation des constituants gros et fins par sédimentation différée des granulats (grossiers) selon SIA 262/1 annexe Y.
- ND.2.4 Volume de porosité intergranulaire (VPI): espaces remplis d'air d'un granulat employé pour la production du béton.
Remarque: les termes volume de porosité intergranulaire et porosité intergranulaire sont équivalents et peuvent être employés simultanément.
- ND.2.5 Volume de la pâte (P): le volume de la pâte (P) est calculé en tenant compte de la masse volumique des constituants de la pâte: ciment (c), additions (AD), filler (FI), matières solides des adjuvants (FM) et eau de gâchage (e) ainsi que de la quantité définie de fines (F) contenues dans le granulat et de la teneur définie en air (A).

Filler (FI): Définition selon SN EN 12620: Granulat dont la plupart des grains passe au tamis de 0.063 mm, selon le tableau 7 de la SN EN 12620, et qui peut être ajouté aux matériaux de construction pour leur conférer certaines propriétés. On les appelle aussi farines de roche.

Fines: voir SN EN 12620. Fraction granulaire passant le tamis de 0.063 mm.

ND.2.6 Valeur eau - liant (e/L): Rapport entre la teneur en eau et en liant.

ND.2.7 Valeur eau - volume de pâte (e/P): rapporte entre la teneur en eau et le volume de la pâte.

ND.3 Exigences relatives aux composants du béton

ND.3.1 Les ciments (c) et les additions (add) pour la production du béton selon la présente annexe doivent satisfaire les exigences de la SN EN 206.

ND.3.2 Les fillers (FI) peuvent être employés, s'ils remplissent les exigences de la SN EN 12620.

ND.3.3 Les nouveaux ciments et additions (type I ou type II) peuvent être employés, s'ils remplissent les exigences d'une prénorme (cahier technique) ou norme suisses (p.ex. nouveaux ciments selon CT 2049) ou s'ils ont été approuvés selon les annexes NB ou NC de la SN EN 206.

ND.3.4 La teneur en fines du granulat (F) peut être pris en compte, à condition de disposer d'une valeur moyenne suffisamment consolidée.

ND.4 Exigences de base relatives au béton

ND.4.1 La composition du liant et le volume de la pâte ainsi que la valeur e/L, respectivement e/P sont à définir de manière telle que toutes les propriétés de béton frais et durci exigées puissent être obtenues et, le cas échéant, que la protection contre la corrosion de l'armature soit assurée.

ND.4.2 Les règles suivantes peuvent s'appliquer à tous ou un béton selon l'annexe NA de la SN EN 206. Les épreuves sont à fournir pour chaque béton séparément.

ND.4.3 Les règles suivantes peuvent aussi s'appliquer pour la production de béton avec des propriétés autres ou complémentaires (p.ex. résistance à la compression maximale ou chaleur d'hydratation).

ND.5 Exigences relatives au béton frais

ND.5.1 Le volume de la pâte d'un béton donné doit être tel que la pâte remplit suffisamment le volume correspondant à la porosité intergranulaire du mélange de granulats employé et qu'il permet d'obtenir des propriétés de béton frais robustes.

Remarque 1: Les exigences fixes, respectivement rigides des teneurs minimales en ciment, définies p.ex. avec C_{min} dans la SN EN 206, ou encore des teneurs minimales en liant L_{min} , ne sont pas appropriées pour produire des bétons robustes. Le volume minimal de pâte nécessaire pour obtenir un béton robuste diffère pour un granulat roulé ou concassé. Il peut même varier pour des granulats similaires. Le nouveau règlement permet d'optimiser la composition du béton.

ND.5.2 La porosité intergranulaire d'un mélange de granulats doit être déterminée selon SN EN 1097-3. Lors de l'essai le mélange de granulats ne doit pas être compacté par vibration ou d'autres moyens.

ND.5.3 Le volume de pâte P est calculé selon l'équation ND.1. Le **tableau 1** contient des valeurs indicatives de la masse volumique ρ pour différents composants. Les valeurs précises sont nécessaires pour le calcul et doivent être obtenues auprès des producteurs ou fournisseurs.

$$P = \frac{c}{\rho_c} + \frac{AD}{\rho_{AD}} + \frac{FI}{\rho_{FI}} + 0.5 \frac{f}{f} + \frac{F}{\rho_F} + \frac{e}{\rho_e} + 0.5 \cdot \frac{1000 \cdot A}{100}; \quad \text{l/m}^3 \quad \text{éq. ND.1}$$

c, AD, FI, FM et e: teneur selon recette du béton, kg

F: valeur moyenne de la teneur en fines, kg

A: valeur moyenne de la teneur en air, vol.-%

ND.5.4 Sur la base de 10 résultats d'essai, il est possible de prendre en compte au maximum 50 % de la teneur moyenne en fines du granulat (F) et 50 % de la valeur moyenne ou de la valeur cible de la teneur en air (A). Avant de disposer de 10 résultats d'essai, seulement 25 % de la teneur moyenne en fines et 50 % de la teneur moyenne en air peuvent être pris en compte au maximum.

Tableau 1: Valeurs indicatives de la masse volumique, resp. densité ρ de divers composants. Les valeurs précises sont nécessaires pour le calcul et doivent être obtenues auprès des producteurs ou fournisseurs.

Composant	Abrév.	densité, kg/m ³ (valeurs indicatives) ¹⁾
Fines du granulats	F	2.6 – 2.7
Cendres volantes	CV	2.2 – 2.6
Filler	FI	2.6 – 2.7
Laitier	LHF	2.9 – 3.0
Hydrolith F 200	F200	2.7 – 2.9
Air	A	0
Fumée de silice	FS	ca. 2.2 (suspension: ca. 1.4)
Eau	e	1.0
Ciment	c	2.9 – 3.1
Adjuvants	FM	1.0 – 1.3

ND.5.5 Le volume de pâte est suffisamment élevé, si l'étalement du béton frais avec un mélange donné de granulats est ≥ 490 mm. Ce volume de pâte est désigné comme P_{F4} . Le volume minimal de pâte P_{\min} exigé pour un béton donné, se calcule selon l'équation ND.2.

$$P_{\min} = P_{F4} + 1000 \cdot (\sigma_{VPI} + \sigma_A) + \frac{\sigma_F}{\rho_F}; \text{ l/m}^3 \quad \text{éq. ND.2}$$

avec:

P_{F4} volume de pâte pour obtenir un étalement $F4 \geq 490$ mm
 σ_{VPI} écart-type du volume de porosité intergranulaire, vol.-%
 σ_F écart-type de la teneur en fines, kg
 ρ_F masse volumique des fines, kg/m³
 σ_A écart-type de la teneur en air, vol.-%

ND.5.6 Pour un béton autoplçant le volume de pâte P_{SF1} qui permet d'obtenir un étalement au cône d'Abrams SF1 ≥ 550 mm sera déterminé et le volume minimal de pâte P_{\min} calculé selon l'équation ND.3.

$$P_{\min} = P_{SF1} + 1000 \cdot (\sigma_{VPI} + \sigma_A) + \frac{\sigma_F}{\rho_F}; \text{ l/m}^3 \quad \text{éq. ND.3}$$

avec:

P_{SF1} volume de pâte pour obtenir un étalement au cône d'Abrams SF1 ≥ 550 mm
 σ_{VPI} écart-type du volume de porosité intergranulaire, vol.-%
 σ_F écart-type de la teneur en fines, kg
 ρ_F masse volumique des fines, kg/m³
 σ_A écart-type de la teneur en air, vol.-%

ND.5.7 Avant de disposer de 10 résultats d'essai pour un béton donné, on utilisera les valeurs suivantes dans les équations ND.2 et ND.3:

- σ_{VPI} est remplacé par 10% de la valeur moyenne de VPI
- σ_A est remplacé par 50% de la valeur moyenne de A
- σ_F est remplacé par 50% de la valeur moyenne de F

ND.5.8 Pour un béton avec du granulat recyclé (granulat de béton ou de gravats mixtes) ou avec du granulat léger, le volume minimal de pâte P_{\min} autant selon le chiffre ND.5.5 que le chiffre ND.5.6 sera déterminé après un temps d'attente de 30 minutes, c. à d. l'essai débutera 30 minutes après la confection du béton.

Remarque 2: Les pores des granulats doivent pouvoir se remplir avec de l'eau pendant le temps d'attente. Cette eau n'a pas d'effet fluidifiant.

- ND.5.9 Le rapport P_{\min}/VPI sera calculé à partir du volume minimal de pâte et le volume moyen de porosité intergranulaire. Ce rapport correspond au taux de remplissage du volume de porosité intergranulaire et est désigné P_v .

Remarque 3: Les règles ci-dessus servent à compenser au mieux les variations des deux grandeurs.

- ND.5.10 Il est possible d'employer des fluidifiants pour satisfaire les exigences des chiffres ND.5.5 et ND 5.6. Lors de l'essai initial le dosage maximal admis correspondra au maximum à 50 % de la valeur du point de saturation. En absence d'indications fiables du fournisseur d'adjuvants, le point de saturation doit être déterminé selon SN EN 934-2, annexe X. En cas de bétons dont la résistance au gel ou au gel en présence de sel de déverglaçage est exigée, l'ajout d'un entraîneur d'air peut être nécessaire. L'ajout d'autres adjuvants (p.ex. accélérateurs, régulateurs de viscosité, stabilisateurs, réducteurs de retrait etc.) n'est pas admis lors de l'essai initial.

Remarque 4: Le point de saturation peut être déterminé p.ex. selon [Hemrich 2016, Dittmar 2018]. Le cas échéant les fournisseurs d'adjuvants peuvent donner des informations fiables.

- ND.5.11 A partir de la teneur en eau, la teneur en liant ainsi que le volume de pâte et le volume minimal de pâte selon l'éq. ND.1, ND.2 et ND.3, on calculera la valeur e/L , e/P et e/P_{\min} .
- ND.5.12 Un béton est considéré comme robuste, si la quantité d'eau de ressuage ER et le taux de ségrégation TS_{60} ne dépassent pas les valeurs limites du **tableau 2**.
- ND.5.13 La quantité d'eau de ressuage est déterminée selon SIA 262/1, annexe X, le taux de ségrégation selon SIA 262/1, annexe y.

Tableau 2: Exigences relatives à la quantité d'eau de ressuage ER et le taux de ségrégation TS_{60} (valeurs provisoires).

Application	Exigences	Quantité d'eau de ressuage ER , l/m ³	Taux de ségrégation TS_{60} , -
Bétons normaux et applications habituelles	néant	-	-
Béton de parement Tabliers de pont Pieux <15 m	accrues	40 – 50	1.70 – 2.00
Béton de parement Piliers Pieux >15 m	élevées	20 - 25	1.40 – 1.60

- ND.5.14 La protection contre la corrosion de l'armature est assurée pour un rapport $e/CaO \leq 2.0$. Les teneurs en CaO sont à demander auprès des fournisseurs des composants du béton. La teneur en CaO des fillers et des additions du type I (p.ex. farines de calcaire) ne peut pas être prise en compte.
- ND.5.15 Si le rapport e/CaO dépasse 2.0, il faut satisfaire les exigences selon SIA 2049, chiffre 5.7.
- ND.5.16 Les prescriptions des chiffres ND.5.14 et ND.5.15 ne doivent pas être respectées, si
- l'élément d'ouvrage est constitué de béton non armé (classe d'exposition X0)
 - le béton est prévu pour un élément d'ouvrage de la classe d'exposition XC1 (au sec).
- Au lieu du ciment on emploiera pour les essais la pâte telle qu'elle est prévue pour le béton considéré.
- ND.5.17 Au cas où l'armature est constituée d'acier inoxydable, les conditions des chiffres ND.5.14 et ND.5.15 peuvent être assouplies. Les exigences sont à définir par un spécialiste du domaine, en considérant outre la composition du béton p.ex. l'exposition, la composition de l'acier, le recouvrement en béton, l'ouverture possible des fissures et la durée de service.

ND.6 Exigences relatives au béton durci

- ND.6.1 Le béton durci doit satisfaire les exigences selon SN EN 206 et le cas échéant les exigences spécifiques du projet.
- ND.6.2 Les exigences spécifiques du projet concernant la montée en résistance et la prescription de valeurs maximales de la résistance à la compression à 28 jours sont admissibles.

- ND.6.3 Les exigences spécifiques du projet concernant le développement de la chaleur d'hydratation et la prescription de valeurs maximales sont admissibles.
- ND.6.4 Le module d'élasticité et le retrait sont à déterminer sur demande.
- ND.6.5 Les épreuves de durabilité exigés par la SN EN 206 s'appliquent aussi aux bétons selon la présente annexe.
- ND.6.6 Il est possible de formuler des exigences quant à d'autres propriétés, p.ex. la résistance au lessivage. La méthode d'essai doit être définie.

ND.7 Essais initiaux

- ND.7.1 L'essai initial sert d'épreuve que les exigences des chiffres ND.4.1, ND.5.1 et ND.6.1 soient respectées.
- ND.7.2 L'essai initial doit être réalisé autant avec une température de béton frais entre 5 et 10 °C (saison froide) qu'avec une température de béton frais entre 15 et 25 °C (saison chaude). Le délai entre les essais ne doit pas dépasser 6 mois. Les résultats plus défavorables seront décisifs pour la formulation de la recette du béton. Chez les centrales de béton, où la température du béton frais ne descend jamais en-dessous de 12 °C, les résultats d'essai de la saison chaude suffisent.
- ND.7.3 Lors de l'essai initial, les bétons contrôlés doivent être confectionnés selon ND.5.10 avec le volume minimal de pâte P_{\min} selon chiffre ND.5.5 ou ND 5.6, tout en respectant les valeurs e/L et e/P .
- ND.7.4 Lors de l'essai initial, la résistance à la compression mesurée à 28 jours doit dépasser la résistance à la compression minimale $f_{c, \text{cube}}$ de la classe de résistance visée de +8 N/mm². Exemple: pour la classe de résistance C20/25 la résistance à la compression sur cube doit atteindre 33 N/mm².
- ND.7.5 Dans le cadre de l'essai initial la montée en résistance (1, 2, 28, 56 et 91 jours), le module d'élasticité et le retrait doivent être déterminés.
- ND.7.6 L'essai initial doit être répété et la composition du béton éventuellement adaptée, si un ou plusieurs changements figurant au **tableau 3** interviennent ou doivent être effectués.

Tableau 3: Critères de répétition des essais initiaux

No	Paramètre	Répétition de l'essai initial nécessaire, en cas de	
1	Ciment, ajout	Changement du type ou du fournisseur	
2	Granulat, filler	Changement du type ou du fournisseur	
3	Fluidifiant, entraîneur d'air	Changement du type ou du fournisseur	
4	Valeur moyenne de la porosité intergranulaire (p.ex. en cas de changement de la courbe granulométrique du mélange de granulats)	≤ -10 vol.-%	≥ +5 vol.-%
5	Valeur moyenne du volume de pâte P ou P_{\min}	≤ -5 vol.-%	≥ +10 vol.-%
6	Rapport AD/c	LHF, CV, F200	≥ +5%
		FS	≥ +2%
7	Valeur e/L - ou e/P	+ 0.02	

- ND.7.7 Les résultats des essais initiaux peuvent être transposés à d'autres bétons, à condition de respecter les critères du tableau 3 et en plus les conditions suivantes:

- classe de résistance à la compression identique
- exigences identiques relatives au béton durci (p.ex. propriétés de durabilité)

Il est possible d'interpoler entre deux bétons testés individuellement, si la résistance à la compression ne diffère pas de plus que deux classes et que les autres conditions selon chiffres ND.7.6 et ND.7.7 sont satisfaites.

ND.7.8 Le procédé et les résultats des essais initiaux sont à documenter de manière qu'ils puissent être reproduits à tout moment. La composition du béton doit être décrit précisément, c. à d. la composition du liant, le volume de pâte P (calcul), P_{\min} , w/L, e/P, le granulat (provenance, composition du mélange, courbe granulométrique, porosité intergranulaire), adjuvants etc.

ND.8 Contrôles et fréquence de contrôle

ND.8.1 En plus des essais selon SN EN 206, il faut exécuter les essais de béton frais indiqués au **tableau 4**.

Tableau 4: Contrôles et fréquence de contrôle dans le cadre des essais initiaux et du contrôle de production de la centrale

Essais	Essai initial ¹⁾	Contrôle de production Fréquence minimale d'essais en fonction du nombre de résultats d'essai N	
		N ≤ 10	N _{min} > 10
Résistance à la compression	selon chiffre ND.7.5	selon EN 206	
Porosité intergranulaire	x	2/mois	6/an
Volume de pâte	x	4/an	1/an
Teneur en air	x	2/mois	6/an
Quantité d'eau de ressuage ER	x	1/mois	3/an
Taux de ségrégation TS ₆₀	x	1/mois	3/an
Module d'élasticité	x	sur demande, nombre à convenir	
Retrait, $\epsilon_{CS, 364d}$	x	sur demande, nombre à convenir	

¹⁾ Hiver/printemps et été/automne. Exceptions: voir chiffre ND.7.2

ND.8.2 La fréquence de contrôle d'un béton peut être réduite à la fréquence minimale pour N_{min} indiquée au tableau 4, dès que 10 résultats consécutifs des différents essais sont disponibles, présentant une marge de sécurité suffisante par rapport aux valeurs limites. La réduction de la fréquence de contrôle doit être documentée et justifiée. L'organisme de certification contrôle le procédé et la justification.

ND.8.3 Le nombre minimal d'essai N_{min} doit être doublé pour les bétons avec les valeurs e/L et e/P les plus élevées ainsi que pour ceux avec la valeur de serrage la plus basse ou la valeur d'étalement la plus élevée.

ND.9 Tâches incombant à l'organisme de certification

ND.9.1 L'organisme de certification accrédité suisse contrôle dans le cadre de sa surveillance le procédé et les résultats de l'essai initial et du contrôle de la production.

ND.9.2 Si le producteur remplit les exigences, il reçoit un certificat correspondant de l'organisme de certification. Le certificat habituel peut être employé à cet effet.

ND.9.3 En cas d'entorses graves aux règles de la présente annexe, l'organisme de certification peut retirer le certificat.

ND.10 Informations fournies par le producteur à l'utilisateur

ND.10.1 Le chiffre 7.2 de la EN 206 s'applique.

ND.10.2 Sur demande, les résultats de l'essai initial selon la présente annexe doivent être transmis.

ND.11 Bulletin de livraison pour béton prêt à l'emploi

ND.11.1 Le chiffre 7.3 de la EN 206 s'applique.

ND.11.2 Il faut mentionner sur le bulletin de livraison, si le béton a été conçu et produit selon cette annexe nationale.