

Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs
et des architectes

società svizzera
degli ingegneri
e degli architetti

swiss society
of engineers
and architects

selnaustrasse 16
postfach
ch-8027 zürich
www.sia.ch



Merci de prendre connaissance du correctif dans l' annexe.

Cahiers techniques SIA

Les cahiers techniques sont publiés par la SIA en tant que règlements complémentaires et commentaires dans des domaines spécifiques.

Les cahiers techniques font partie intégrante des normes SIA.

Les cahiers techniques sont valables trois ans à partir de leur parution. Leur validité est renouvelable par période de trois ans.



Merci de prendre connaissance du correctif dans l'annexe.

Les corrections et commentaires éventuels concernant la présente publication sont disponibles sous www.sia.ch/correctif.

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.

2012-12 1^{er} tirage

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Avant-propos	4
0 Domaine d'application	5
0.1 Délimitation	5
0.2 Références normatives	5
0.3 Dérogations	6
1 Terminologie	7
1.1 Termes techniques	7
1.2 Notations, termes et unités	8
2 Principes	8
2.1 Généralités	8
2.2 Classes de risque, classes d'environnement, classes de prévention	9
3 Mesures de prévention de la RAG	11
3.1 Généralités	11
3.2 Exigences relatives au granulat	12
3.3 Exigences relatives au béton	13
3.4 Mesures supplémentaires requises pour la classe de prévention P3	14
4 Bibliographie	16
Annexe	17
A Détermination des classes de risque R1, R2, R3 (normative)	18
B Détermination des classes d'environnement U1, U2, U3 (normative)	20
C Mesures supplémentaires requises pour la classe de prévention P3 (normative)	22
D Expériences à long terme (normative)	24
E Essai Microbar (normative)	25
F Essai de Performance du béton (normative)	34

AVANT-PROPOS

La réaction alcalis-granulats (RAG) est un mécanisme de dégradation des ouvrages en béton qui a été observé en Suisse depuis quelques années seulement. La réaction alcalis-granulats (RAG) est une réaction chimique entre le granulat réactif et les alcalins actifs dans la solution des pores du béton. Cette réaction chimique est accompagnée d'une augmentation volumique qui peut conduire à la destruction du béton.

Un projet de recherche récemment terminé du groupe de travail recherche en matière de ponts AGB de l'OFROU [Merz 2006] a montré, que les dégâts en Suisse ont été sous-évalués jusqu'à présent. Diverses mesures de prévention de la RAG ont été présentées dans le rapport de cemsuisse [cemsuisse 2005] ainsi que dans une documentation de l'OFROU [ASTRA 2007]. Les éléments essentiels de ces publications ont été adoptés dans le présent cahier technique. D'autres connaissances proviennent du colloque du groupe de travail recherche en matière de ponts AGB de l'OFROU du 16 novembre 2005 [ASTRA 2006a, b]. L'élaboration de ce cahier technique a aussi été initiée dans le cadre de ce colloque.

Les normes SN EN 206-1 et SIA 262 actuellement en vigueur ne contiennent pas d'exigences concrètes relatives aux bétons résistants à la RAG.

Le présent cahier technique comble cette lacune. Il se base sur l'état actuel des connaissances et indique aux spécialistes impliqués les moyens pour limiter efficacement les désordres dus à la RAG dans les ouvrages en béton. Ces dispositions s'appliquent aussi bien pour le béton des nouvelles constructions que pour celui des remises en état des ouvrages existants.

La mise en pratique des nouvelles dispositions conduira dans une phase initiale à une certaine augmentation des coûts de fabrication du béton (p.ex. modification des recettes de béton, coûts supplémentaires pour les essais de laboratoire). Les frais supplémentaires engendrés sont faibles en comparaison avec les coûts épargnés d'entretien et de remise en état et sont donc justifiés.

Ce cahier technique sera prorogé jusqu'à ce qu'un document supérieur réglant la pratique de la RAG soit validé en Suisse.

Groupe de travail RAG de la Commission SIA 262

0 DOMAINE D'APPLICATION

0.1 Délimitation

- 0.1.1 Ce cahier technique définit les règles de prévention de la réaction alcalis-granulats (RAG) des nouveaux ouvrages en béton et s'applique en relation avec les normes SN EN 206-1 et SIA 262. Ce cahier technique est appliqué au béton selon SN EN 206-1, au mortier (p.ex. selon la norme SIA 266) et au mortier de réparation selon SN EN 1504-3 ainsi qu'au béton projeté selon SN EN 14487-1. Il peut être appliqué par analogie à l'analyse structurale et à la maintenance des ouvrages existants.
- 0.1.2 La fourniture de béton résistant à la RAG selon ce cahier technique exige la certification du producteur selon SN EN 206-1. Des mesures particulières doivent être appliquées si le béton n'est pas produit selon la norme SN EN 206-1.
- 0.1.3 Ce cahier technique s'adresse aux auteurs de projet, maîtres d'ouvrage et administrations ainsi qu'aux entrepreneurs et aux producteurs de granulats et de béton.

0.2 Références normatives

- 0.2.1 Ce cahier technique renvoie également aux normes et cahiers techniques énumérés ci-après, dont les dispositions s'appliquent intégralement ou partiellement, selon la forme du renvoi.
- Norme SIA 197 Projets de tunnels – Bases générales
 - Norme SIA 197/1 Projets de tunnels – Tunnels ferroviaires
 - Norme SIA 197/2 Projets de tunnels – Tunnels routiers
 - Norme SIA 198 Constructions souterraines
 - Norme SN EN 206-1 Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité
 - Norme SIA 260 Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses
 - Norme SIA 262 Construction en béton
 - Norme SIA 262/1 Construction en béton – Spécifications complémentaires
 - Norme SIA 266 Maçonnerie
 - Norme SIA 267 Géotechnique
 - Norme SIA 267/1 Géotechnique – Spécifications complémentaires
 - Norme SIA 270 Étanchéités et drainages – bases générales et délimitations
 - Norme SIA 272 Étanchéité et drainage d'ouvrages enterrés et souterrains
 - Norme SIA 274 Étanchéité des joints dans la construction
 - Cahier technique SIA 2030 Béton de recyclage
 - Norme SN EN 197-1 Ciment – Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants
 - Norme SN EN 450-1 Cendres volantes pour béton – Partie 1: Définition, spécifications et critères de conformité
 - Norme SN EN 1008 Eau de gâchage pour bétons – Spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton
 - Norme SN EN 1504-2 Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 2: Systèmes de protection de surface pour béton
 - Norme SN EN 1505-3 Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité – Partie 3: Réparation structurale et réparation non structurale
 - Norme SN EN 1990 Eurocodes: Bases de calcul des structures
 - Norme SN EN 12620 Granulats pour béton (SN 670 102 inclus)
 - Norme SN EN 13139 Granulats pour mortier (SN 670 101 inclus)
 - Norme SN EN 13263-1 Fumée de silice pour béton – Partie 1: Définitions, exigences et critères de conformité
 - Norme SN EN 14487-1 Béton projeté – Partie 1: Définitions, spécifications et conformité

- Norme SN EN 15167-1 Laitier granulé de haut-fourneau moulu pour utilisation dans le béton, mortier et coulis – Partie 1 : Définitions, exigences et critères de conformité
- AFNOR P 18-454 Norme AFNOR P 18-454, Béton – Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali réaction – Essai de performance, Normalisation française, 2004
- AFNOR FD P 18-456 Norme AFNOR P 18-456, Béton – Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction – Critères d'interprétation des résultats de l'essai de performance, Normalisation française, 2004
- AFNOR XP P 18-594 Norme AFNOR XP P 18-594, Granulats – Méthodes d'essai de réactivité aux alcalis, Normalisation française, Février 2004
- AFNOR FD P 18-542 Norme AFNOR FD P18-542, Granulats – Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction, Normalisation française, Février 2004
- ASTM C 1260-01 Standard Test Method for the Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar Bar Method)
- SN 670 115 Minéralogie et pétrographie qualitative et quantitative des granulats
- SN 670 116 Fillers – Minéralogie, pétrographie et minéraux argileux gonflants

0.2.2 Est applicable la version de la norme actuellement en vigueur.

0.2.3 Les publications et rapports mentionnés dans le cahier technique sont énumérés sous chapitre 4 (bibliographie).

0.3 Dérogations

0.3.1 Des dérogations au présent cahier technique ne sont admissibles que si elles sont fondées par la théorie ou par des essais, ou si de nouvelles connaissances dans le domaine concerné le justifient.

0.3.2 En présence de conditions d'utilisation non couvertes par le présent cahier technique, la procédure à suivre doit être convenue entre l'auteur du projet, le maître d'ouvrage ainsi que d'éventuelles instances d'approbation. La procédure choisie doit être décrite de manière appropriée dans la convention d'utilisation.

1 TERMINOLOGIE

1.1 Termes techniques

Les termes généraux utilisés ici sont définis dans les normes SIA 260, SIA 261 et SIA 262 ainsi que SN EN 206-1. Le présent cahier technique utilise les termes techniques et spécifiques définis ci-dessous.

Addition
Zusatzstoffe
aggiunta
addition

Matériau d'origine minérale finement divisé utilisé dans le béton afin d'améliorer certaines propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières. La norme SN EN 206-1 traite deux types d'additions minérales :

- Type I: les additions quasiment inertes (fillers, pigments)
- Type II: les additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent (cendres volantes, fumée de silice, laitier, pouzzolanes, schistes calcinés).

Classe d'environnement (U1, U2, U3)
Umgebungs-klasse
classe ambientale
environmental class

Les classes d'environnement U1, U2 et U3 regroupent des classes d'exposition selon la norme SN EN 206-1. Les classes d'environnement montrent la dépendance du développement des dommages dus à la RAG en fonction de l'exposition. Remarque: L'utilisation isolée d'une classe d'exposition de la norme SN EN 206-1 n'est pas adéquate pour la description des sollicitations du béton dues à la RAG.

Classe de prévention (P1, P2, P3)
Präventions-klasse
classe di prevenzione
precaution class

Les classes de prévention P1, P2 et P3 résultent de la combinaison des classes de risques et d'environnement. La nécessité et le type de mesures à prendre en découlent.

Classe de risque (R1, R2, R3)
Risikoklasse
classe di rischio
risk class

Les classes de risque R1, R2 et R3 décrivent les différents niveaux de risques acceptables en tenant compte de l'étendue des dommages et de la probabilité d'occurrence pendant la durée de service prévue, respectivement la durée de vie restante.

Eau recyclée
Restwasser
acqua residua
residual water

L'eau récupérée des fabrications de l'industrie du béton comprend (cf. SN EN 1008) :

- l'eau qui contenait le béton excédentaire;
- l'eau utilisée pour nettoyer l'intérieur des malaxeurs de béton fixes, des tambours mélangeurs des camions malaxeurs et des pompes à béton;
- l'eau de fabrication provenant des opérations de sciage, meulage et découpage sous eau du béton durci;
- l'eau extraite du béton frais lors de la production.

Réaction alcali-granulats
Alkali-Aggregat-Reaktion
reazione alcali-aggregati
alkali aggregate reaction

La réaction alcalis-granulats (RAG) est une réaction chimique entre le granulats réactif et les alcalins dans la solution des pores du béton. Cette réaction chimique entraîne la formation de gels silicatés. Ceux-ci sont plus ou moins expansifs et provoquent une augmentation volumique qui peut conduire à la dégradation complète du béton. En Allemagne, le terme AKR est également utilisé pour désigner la réaction alcalis-silice (Kieselsäure). Le terme ASR est employé en allemand et en anglais pour la réaction alcalis-silice (Silika ou silica) et la réaction alcalis-silicates. Le terme RAG représente le terme générique en français. En Suisse allemande, on utilise le terme générique allemand et anglais AAR « Alkali-Aggregat-Reaktion » (alkali-aggregate-reaction). La réaction appelée « alcalis-car-

bonates» est un phénomène extrêmement controversé parmi les spécialistes et son existence n'a pas été entièrement prouvée jusqu'à ce jour. En Suisse aucune réaction de ce type n'est connue.

1.2 Notations, termes et unités

Les abréviations ne sont utilisées que dans les annexes. Afin de faciliter le travail des laboratoires de contrôle, les notations sont également définies dans les annexes.

2 PRINCIPES

2.1 Généralités

- 2.1.1 La résistance à la RAG du béton est considérée comme une exigence complémentaire par rapport aux propriétés du béton et doit être spécifiée ainsi. En règle générale on prescrira l'utilisation du béton de type « béton à propriétés spécifiées » (norme SIA 262, chiffre 3.1.1.1.2). Un exemple, basé sur les dispositions de la norme SIA 262, chiffre 3.1.1.2.3, est donné ci-après :

Béton selon SN EN 206-1

C 30/37 Classe de résistance à la compression

XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH) Classe d'exposition

$D_{\max}$ 32 Valeur nominale du diamètre maximal du granulat

Cl 0,10 Classe de teneur en chlorures

C3 Classe de consistance

AAR-P2 Exigence complémentaire : résistance à la RAG classe P2 selon SIA CT 2042

- 2.1.2 L'exigence de résistance à la RAG du béton dépend de la classe de prévention selon chiffre 2.2. La classe de prévention résulte des classes d'environnement et de risques de l'ouvrage.

- 2.1.3 Les essais décrits dans ce cahier technique pour la vérification de la résistance à la RAG du béton ne sont valables que s'ils sont réalisés par des laboratoires accrédités pour ces essais.

- 2.1.4 Pour obtenir un béton résistant à la RAG, il est possible d'utiliser un type de ciment particulier (p.ex. un ciment avec une teneur accrue en cendre volante, en schiste calciné, en fumée de silice ou en laitier) ou d'ajouter au béton de la cendre volante, de la fumée de silice ou du laitier.

Remarque 1: Ces mesures changent la composition de la solution interstitielle du béton de manière à ce que le granulat soit moins attaqué. Les ciments et additions mentionnés ci-dessus réduisent la teneur en alcalins et/ou la valeur pH de la solution interstitielle du béton.

Remarque 2: La prise de position [SIA 2006] (voir chap. 4) est à considérer pour les farines de roches volcaniques en raison d'effets négatifs possibles.

Remarque 3: L'emploi de sels de lithium pour la fabrication d'un béton résistant à la RAG n'est actuellement pas admis, faute d'expérience suffisante, ainsi que pour des questions de sécurité au travail et d'écologie relatives à certains composés de lithium.

- 2.1.5 Les dispositions de la norme SN EN 206-1 et de ses annexes règlent la prise en compte des additions. Les valeurs limites sont à respecter dans tous les cas.
- 2.1.6 L'utilisation de l'eau récupérée selon la norme SN EN 1008 n'est pas admise pour la fabrication d'un béton de la classe de prévention P2 ou P3.
- 2.1.7 Le béton contenant du granulat recyclé peut être utilisé pour des éléments d'ouvrage en béton exempts d'exigences de résistance à la RAG ou pour la classe de prévention P1 (selon chiffre 2.2). Se référer également au chiffre 3.2.7 et 3.2.8.
- 2.1.8 Les critères de conformité sont définis dans ce cahier technique pour les granulats non réactifs au chiffre 3.2 et pour le béton résistant à la RAG au chiffre 3.3. Les dispositions des normes SN EN 12620 respectivement SN EN 13139 et SN EN 206-1 sont en outre applicables pour le contrôle de production par le fabricant.
- 2.1.9 Le producteur de granulats (fournisseur) doit être engagé, de manière contractuelle, à fournir au prescripteur/utilisateur (producteur de béton) les informations concernant l'origine des granulats, à l'avertir à temps d'un éventuel changement des granulats et à lui fournir les fiches techniques, rapports d'essai et certificats (certificats et déclarations de conformité).
- 2.1.10 Le producteur de béton doit être engagé, de manière contractuelle, à fournir au prescripteur/utilisateur (entrepreneur) toutes les informations concernant l'origine du granulat, des ciments, des additions, des adjuvants employés et leurs teneurs en alcalins, à l'avertir à temps de tout changement prévu dans la composition des bétons ou des granulats et à lui fournir les fiches techniques, rapports d'essai et certificats (certificats et déclarations de conformité).
- 2.1.11 L'entrepreneur doit être engagé, de manière contractuelle dans les conditions particulières ou le plan de contrôle, à fournir au maître de l'ouvrage et à ses représentants les informations concernant l'origine du granulat, des ciments, des additions, des adjuvants employés et leurs teneurs en alcalins, à l'avertir à temps de tout changement prévu dans la composition des bétons ou des granulats et à lui fournir les fiches techniques, rapports d'essai et certificats (certificats et déclarations de conformité).
- 2.1.12 Les annexes A, B et C de ce cahier technique sont conçues pour être le cas échéant intégrées comme annexes à la base du projet; elles doivent être remplies par l'auteur du projet.
- 2.1.13 Les annexes D, E et F décrivent les procédures à suivre pour les vérifications et les essais. Les annexes E et F contiennent en plus les règles d'application des normes AFNOR et visent à uniformiser leur mise en pratique.

2.2 Classes de risque, classes d'environnement, classes de prévention

- 2.2.1 Les classes de risque sont définies soit en fonction de l'ouvrage global soit de ses éléments. Les classes d'environnement et les classes de prévention doivent être définies séparément pour chaque élément d'ouvrage.
- 2.2.2 Une démarche pratique pour la détermination de la classe de risque est donnée à l'annexe A. Elle tient compte:
- de la sécurité des personnes
 - des coûts, de l'importance, de l'aptitude au service et de la durée de vie de l'ouvrage
 - de l'importance du comportement structural de l'élément d'ouvrage
 - des entraves relatives à l'entretien et la surveillance de l'élément d'ouvrage
 - de l'épaisseur de l'élément d'ouvrage.
- 2.2.3 Les classes d'environnement sont définies dans l'annexe B. Elles regroupent des classes d'exposition selon SN EN 206-1 en tenant compte des aspects suivants:
- saturation en eau du béton (faible, moyenne, en alternance, élevée)
 - sollicitation de l'élément d'ouvrage par des variations de températures (faible, moyenne, élevée)
 - apport d'alcalins de l'extérieur sous forme de sels de déverglaçage ou d'eaux souterraines (faible, moyen, élevé).
- 2.2.4 La classe supérieure prévaut, si plusieurs classes d'environnement s'appliquent simultanément à un élément d'ouvrage.
- 2.2.5 La classe d'environnement est déterminée sans tenir compte des mesures de prévention possibles (voir chiffre 3.4).

- 2.2.6 Les classes de prévention P1, P2 et P3 selon le tableau 1 résultent de la combinaison des classes de risque et d'environnement. Les mesures de prévention à prescrire sont déduites de la classe de prévention.

Tableau 1: Définition des classes de prévention P1, P2 et P3

Classe de risque	Classe d'environnement		
	U1	U2	U3
R1	P1	P1	P1
R2	P1	P2	P2
R3	P2	P2	P3

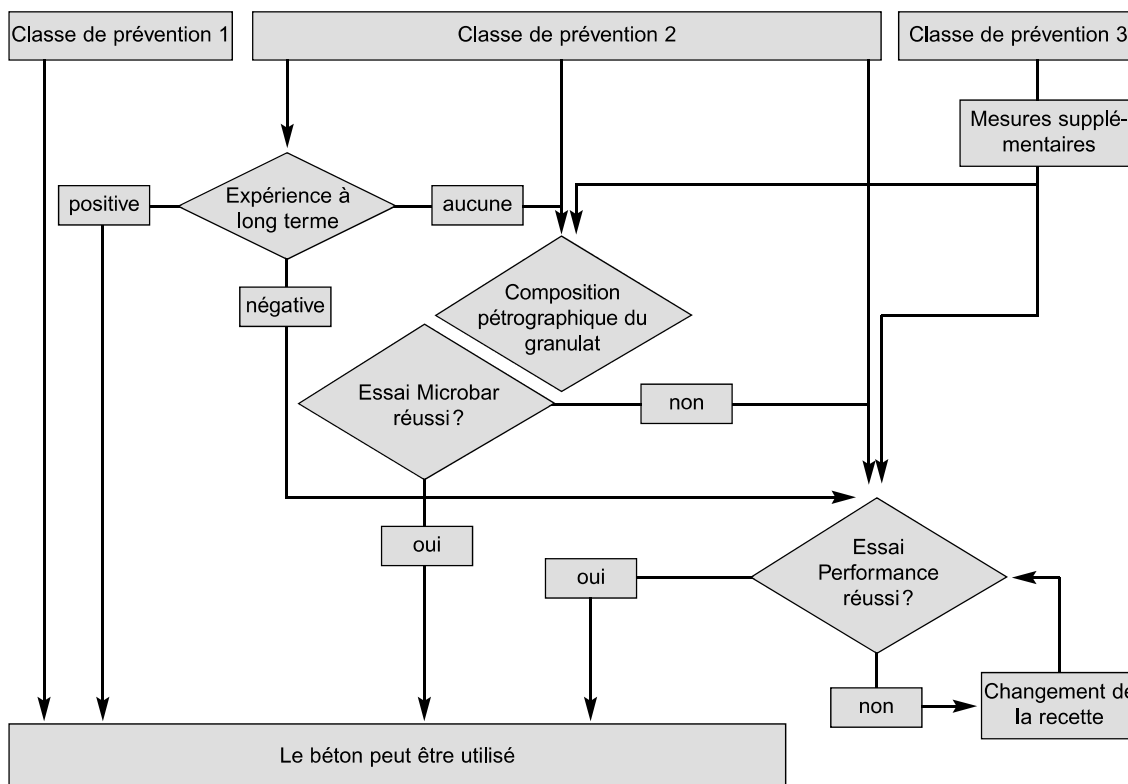
- 2.2.7 Pour la classe de prévention P1 aucune mesure supplémentaire particulière par rapport aux exigences des autres normes à respecter n'est requise.
- 2.2.8 Pour la classe de prévention P2 les exigences relatives aux granulats (selon chiffre 3.2) et relatives au béton (selon chiffre 3.3) sont à respecter par le producteur.
- 2.2.9 La classe de prévention P3 requiert des mesures supplémentaires qui doivent être prises en compte par le maître de l'ouvrage et ses mandataires selon le chiffre 3.4, en plus des exigences relatives au granulat (selon chiffre 3.2) et relatives au béton (selon chiffre 3.3).
- 2.2.10 Si deux classes de prévention apparaissent pour un même élément d'ouvrage (p.ex. face supérieure et inférieure, face avant et arrière, face intérieure et extérieure), les exigences de la classe de prévention supérieure doivent être remplies.
- 2.2.11 Dans le cas où les mesures prescrites pour une classe de prévention donnée ne sont pas entièrement appliquées, il faut le justifier dans la convention d'utilisation.

3 MESURES DE PRÉVENTION DE LA RAG

3.1 Généralités

- 3.1.1 La résistance à la RAG du béton peut être assurée par une seule mesure ou par la combinaison des mesures suivantes :
- mesures selon chiffre 3.4 et annexe C
 - utilisation de granulats avérés non-réactifs (granulat qui ne montre pas d'alcali-réactivité potentielle) selon chiffre 3.2 et annexe E
 - utilisation d'un béton avéré résistant à la RAG selon chiffre 3.3 et annexe F.
- 3.1.2 Pour la classe de prévention P2 il est possible de prouver la résistance à la RAG d'un béton par des expériences à long terme. La procédure et les exigences y relatives sont décrites dans l'annexe D.
- 3.1.3 La procédure de prévention de la RAG dépend de la classe de prévention, elle est représentée à la figure 1.

Figure 1: Procédure de prévention de la RAG pour les trois classes de prévention P1, P2, P3



- 3.1.4 L'essai Microbar n'est obligatoire que pour prouver la non-réactivité du granulat. Si la réactivité potentielle du granulat est reconnue ou supposée, l'essai n'est pas nécessaire et il est recommandé de passer directement à l'essai de Performance.

3.2 Exigences relatives au granulat

- 3.2.1 L'analyse pétrographique selon les normes SN 670 115 et SN 670 116 sert à l'identification du granulat et à l'évaluation de son aptitude à l'emploi pour la fabrication de béton. En principe il est possible d'identifier par l'analyse pétrographique les granulats potentiellement réactifs et de vérifier l'applicabilité de l'essai Microbar à ces granulats (voir annexe E).
- 3.2.2 L'alcali-réactivité potentielle des granulats naturels doit être contrôlée au moyen de l'essai Microbar selon la procédure d'essai en annexe E, soit pour les classes granulaires 0/4mm et 8/16mm, soit globalement pour un mélange granulaire défini (procédure d'essai basée sur la norme AFNOR XP 18-594). Les résultats de l'essai Microbar ne peuvent être interprétés correctement que si la composition pétrographique du granulat, selon la norme SN 670 115, respectivement SN 670 116, est connue (voir annexe E).
- 3.2.3 Si l'allongement relatif moyen obtenu par l'essai Microbar est $< 0,110\%$ pour tous les rapports ciment/granulat des classes granulaires contrôlées, le granulat est considéré comme non réactif s'il remplit en outre les critères pétrographiques définis dans l'annexe E. Il peut être dès lors employé sans aucune autre mesure supplémentaire.
- Si l'allongement relatif moyen est $\geq 0,110\%$ pour au moins un des trois rapports ciment/granulat des classes granulaires contrôlées, le groupe granulaire concerné du granulat est considéré comme potentiellement réactif. Dans ce cas, il faut apporter la preuve selon le chiffre 3.3 que la résistance à la RAG du béton fabriqué avec ce granulat est suffisante.
- Un granulat est qualifié de « potentiellement réactif avec effet de pessimum » si l'allongement relatif moyen du rapport ciment/granulat = 5 est supérieur de plus de 10% à celui correspondant au rapport ciment/granulat = 2 et que la valeur limite est dépassée par au moins un des trois rapports ciments/granulats (voir aussi annexe E). Dans ce cas, il faut apporter la preuve selon le chiffre 3.3 que la résistance à la RAG du béton fabriqué avec ce granulat est suffisante.
- 3.2.4 L'allongement mesuré par l'essai Microbar permet conjointement avec les critères pétrographiques de distinguer les granulats potentiellement réactifs des granulats non réactifs. Il ne donne pas d'information sur le degré de réactivité du granulat.
- 3.2.5 Si les granulats employés proviennent de plusieurs sites d'exploitation, les preuves par l'essai Microbar et les analyses pétrographiques doivent être fournies pour chaque site d'exploitation.
- 3.2.6 Les résultats des essais Microbar restent valables pendant 5 ans, s'il est garanti que pendant ce temps l'origine et la composition pétrographique du granulat n'ont pas changé.
- 3.2.7 L'essai Microbar n'est pas admis pour l'évaluation des granulats recyclés (à l'exception des granulats naturels non liés et pierres naturelles) et des granulats artificiels (p.ex. verre, verre cellulaire, argile expansée).
- 3.2.8 Dans le cas de granulats recyclés généraux, il conviendra de considérer le matériau comme un granulat potentiellement réactif, sauf s'il a été spécifiquement établi qu'il n'est pas réactif (SN EN 12620, annexe D.3.2). Des informations régionales se trouvent p.ex. dans [Merz 2006] et [cemsuisse 2005]. Le cas échéant, il faut apporter la preuve de la résistance à la RAG du béton au moyen de l'essai de Performance du béton (chiffre 3.3).
- La résistance à la RAG des bétons contenant des granulats légers vitreux doit être contrôlée au moyen de l'essai de Performance du béton (chiffre 3.3).
- 3.2.9 Des méthodes d'essai alternatives par rapport à l'essai Microbar ne sont en principe pas admises. Dans le cadre de grands ouvrages de la classe de prévention P3, il est possible de convenir d'utiliser d'autres essais normés pour l'assurance qualité, tels que p.ex. les essais sur mortier selon la norme ASTM C 1260 ou de l'essai autoclave selon la norme AFNOR XP 18-594.
- 3.2.10 Pour des raisons écologiques et économiques, il n'est généralement pas justifié de remplacer les granulats réactifs. Dans le cas où il n'est pas possible d'obtenir un béton résistant à la RAG selon chiffre 3.3 par des mesures de technologie du béton, cette solution pourrait être éventuellement envisagée pour la classe de prévention P3. Le cas échéant, un remplacement partiel de certaines classes granulaires s'avère généralement suffisant.

3.3 Exigences relatives au béton

3.3.1 Les bétons résistants à la RAG sont soit fabriqués avec des granulats non réactifs selon chiffre 3.2.3, soit avec des granulats réactifs, en modifiant la composition du béton pour que ce dernier remplisse les exigences selon chiffre 3.3.

3.3.2 La résistance à la RAG d'un béton particulier doit être contrôlée au moyen de l'essai de Performance du béton selon l'annexe F (procédure d'essai basée sur la norme AFNOR P 18-454). Les critères d'évaluation sont définis sous le chiffre 3.3.3. Des méthodes d'essai alternatives ne sont pas admises.

Remarque 1: L'essai de Performance du béton peut être appliqué aux bétons selon SN EN 206-1 et aux mortiers.

Remarque 2: Pour les bétons projetés par voie humide, la recette de base sera contrôlée. Pour les bétons projetés par voie sèche, la composition du produit final sera contrôlée. Celle-ci doit être déterminée par un spécialiste.

3.3.3 Les bétons sont résistants à la RAG s'ils remplissent l'un des trois critères suivants:

– Critère 1:

A l'échéance de 5 mois de durée d'essai, la déformation longitudinale moyenne des 3 éprouvettes est inférieure à 0,200‰ (0,200 mm/m) et aucune valeur individuelle ne dépasse 0,250‰ (0,250 mm/m).

L'évolution mensuelle de la déformation longitudinale moyenne, mesurée sur les 3 éprouvettes au cours des 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} mois, doit satisfaire aux conditions suivantes:

- deux des trois valeurs sont inférieures à 0,025‰ (0,025 mm/m)
- la somme des trois valeurs est inférieure à 0,100‰ (0,100 mm/m).

– Critère 2:

En cas d'expansion différée pendant les premiers mois: à l'échéance de 5 mois de durée d'essai la déformation longitudinale moyenne des 3 éprouvettes est inférieure à 0,100‰ (0,100 mm/m) et aucune valeur individuelle ne dépasse 0,150‰ (0,150 mm/m), indépendamment de l'évolution mensuelle de la déformation longitudinale moyenne des éprouvettes.

– Critère 3:

Une formulation de béton qui ne respecte pas les critères 1 ou 2 à l'échéance de 5 mois peut néanmoins être apte à l'emploi si la déformation longitudinale moyenne des 3 éprouvettes est inférieure à 0,300‰ (0,300 mm/m) à l'échéance de 12 mois d'essai et si aucune valeur individuelle ne dépasse 0,350‰ (0,350 mm/m).

3.3.4 Les critères d'évaluation sous chiffre 3.3.3 sont également valables pour les bétons avec fibres, granulats de gomme ou autres constituants similaires, à condition qu'un expert procède à l'analyse et à l'évaluation des résultats et des éprouvettes.

Les critères d'évaluation sous chiffre 3.3.3 sont valables pour les bétons avec air entraîné. Si la recette du béton à tester prévoit l'emploi d'un entraîneur d'air, celui-ci doit être ajouté selon le dosage prévu pour la fabrication des éprouvettes.

Remarque: Le dosage de l'entraîneur d'air en laboratoire ne conduit pas automatiquement à la teneur en air prévue dans le béton d'ouvrage, mais permet de tenir compte de l'effet chimique de l'entraîneur d'air sur le développement de l'alcali-réaction.

3.3.5 Si un béton ne satisfait pas aux critères selon chiffre 3.3.3, sa composition sera modifiée en conséquence. L'efficacité de la modification de la recette de béton doit être prouvée par un nouvel essai de Performance du béton.

3.3.6 Les résultats des essais de Performance des bétons fabriqués avec un granulat naturel ou artificiel restent valables pendant 5 ans au maximum, s'il est garanti que les exigences selon chiffre 3.3.3 et selon le tableau 2 sont respectées. En cas de doutes fondés quant à la représentativité d'anciens résultats d'essai pour la production en cours, les essais sont à renouveler avant l'expiration des 5 ans.

3.3.7 Le tableau 2 définit les conditions limites de validité des résultats de l'essai de Performance du béton qui sont à respecter pour pouvoir transposer ces résultats d'essai à un autre béton.

3.3.8 Les essais de Performance du béton doivent couvrir toute la gamme de mélanges employés en cas d'utilisation de granulats de différentes provenances.



- 3.3.9 Il est recommandé de procéder à des essais de Performance du béton sur des recettes de béton avec des dosages en ciment et additions couvrant les aléas relatifs aux exigences du chantier (p.ex. ouvrabilité, résistance à court terme, etc.).

Tableau 2: Conditions de validité des résultats de l'essai de Performance du béton

Composant	Conditions limites, exigences
Granulats	a) Les granulats proviennent du même site d'exploitation et présentent une composition pétrographique comparable. Par principe les normes SN 670 115 et SN 670 116 et le cas échéant l'essai Microbar sont à appliquer pour la vérification. b) Si les granulats employés proviennent de plusieurs sites d'exploitation, les preuves selon a) doivent être fournies pour tous les granulats. c) L'incidence d'un changement significatif (p.ex. supérieur à 50%) de la teneur en granulat concassé doit être évaluée par un spécialiste. Remarque: Le fait que les granulats soient livrés par le même fournisseur n'est pas une preuve suffisante, car le granulat livré ne provient pas forcément de la même gravière ou a été acheté à un fournisseur tiers.
Origine du ciment	Le ciment est produit par la même cimenterie.
Type de ciment	Le béton contient le même type de ciment, de la même classe de résistance.
Teneur en ciment	Les résultats ne sont transposables que si le béton possède une teneur en ciment égale ou inférieure d'au maximum 50 kg/m ³ .
Rapport e/c	Le rapport e/c ne peut varier que de $\pm 0,05$ au maximum.
Additions	Les additions appartiennent à la même classe et proviennent du même fournisseur et du même producteur. La teneur en additions s'écarter au maximum de $\pm 10\%$ -masse par rapport à la teneur initiale.
Adjuvants	Les changements de composition et du dosage d'un même type d'adjuvant sont admis sans restrictions, tant que leur contribution à la teneur en alcalins du béton n'augmente pas plus que 50%-masse par rapport à la contribution initiale. Par conséquent il est possible d'enlever un type d'adjuvant mais pas d'en rajouter un nouveau type dans la composition du béton.

3.4 Mesures supplémentaires requises pour la classe de prévention P3

- 3.4.1 La classe de prévention P3 requiert, en plus des exigences relatives au granulat et/ou au béton, les mesures supplémentaires suivantes:
- mesures relatives à la convention d'utilisation et à la base du projet (chiffres 3.4.2, 3.4.3)
 - mesures de conception structurale (chiffres 3.4.4, 3.4.5, 3.4.6)
 - mesures d'analyse de sensibilité (chiffre 3.4.7)
 - mesures de protection de l'ouvrage (chiffres 3.4.8, 3.4.9)
 - mesures relatives à l'appel d'offres, à la réalisation et à l'exploitation (chiffres 3.4.10, 3.4.11, 3.4.12).
- 3.4.2 De manière générale, et plus particulièrement dans le cas de grands ouvrages du génie civil, les exigences relatives à la fissuration, à la robustesse et à la ductilité ainsi que les dérogations éventuelles par rapport au cahier technique SIA 2042 sont à définir dans la convention d'utilisation
- Dans le domaine du bâtiment, ces indications peuvent être fixées uniquement dans la base du projet.
- 3.4.3 Les exigences supplémentaires relatives à la RAG pour le béton à propriétés spécifiées sont à définir dans la base du projet (voir norme SIA 262, chiffre 3.1.1.2).
- 3.4.4 Tous les éléments porteurs en contact avec les eaux doivent présenter une pente suffisante à l'exception des éléments durablement immergés dans les nappes phréatiques.

- 3.4.5 Toutes les mesures de conception et constructives favorisant la robustesse et la ductilité de la structure porteuse, afin d'éviter une défaillance fragile sans signes précurseurs, peuvent réduire le risque de diminution de la capacité portante des ouvrages due à la RAG :
- limitation de l'élancement des éléments d'ouvrage
 - recours à une armature de cisaillement (structures essentiellement fléchies, p.ex. poutres, dalles, cadres, etc.)
 - recours à une armature de frettage (structures essentiellement comprimées, p.ex. piliers, pieux, radiers contre-voûtés, voussoirs, etc.).
- 3.4.6 Les infiltrations et la circulation d'eau dans les ouvrages peuvent être limitées par le choix d'un ouvrage de conception aussi monolithique que possible et une limitation de l'ouverture des fissures aussi bien sous déformations entravées que sous charges imposées.
- 3.4.7 Les incidences d'une réduction sensible de la classe de résistance du béton due à la RAG sur la sécurité structurale et l'aptitude au service de l'ouvrage peuvent être évaluées comme mesure d'analyse de sensibilité pour apprécier les conséquences de la RAG.
- 3.4.8 Les mesures de protection suivantes peuvent être évaluées, p.ex. :
- système de protection hydrofuge renouvelable des surfaces exposées aux intempéries, aux sels de déverglaçage et autres agents agressifs
 - système de drainage durable des structures enterrées
 - système de protection durable des structures enterrées au moyen d'une étanchéité.
- 3.4.9 Un système d'étanchéité renouvelable est exigé pour les dalles de roulement.
- 3.4.10 Une augmentation des exigences relatives au maintien de l'étaisage, du coffrage et de la cure peut être évaluée par l'auteur du projet avant l'appel d'offres.
- 3.4.11 Un programme de contrôle (maître de l'ouvrage) et un plan de contrôle (entrepreneur), qui intègrent les exigences spécifiques à la RAG, doivent être établis avant la réalisation.
- 3.4.12 Un plan de surveillance (inspections visuelles et suivi des déformations de l'ouvrage) durant l'exploitation doit être établi avant la mise en service de l'ouvrage.
- 3.4.13 Les exigences supplémentaires requises du chiffre 3.4 sont énumérées dans le tableau de l'annexe C. Ce tableau doit être rempli par l'auteur du projet séparément pour chaque élément porteur important et peut dans cette forme constituer une annexe de la base du projet.

4 BIBLIOGRAPHIE

- AGB 2006a *Alkali-Aggregatreaktion in Beton – wie weiter? Handlungs- und Forschungsbedarf*, rapport relatif au colloque du groupe de travail recherche dans le domaine des ponts GRP de l'OFROU, 16 novembre 2005 et 5 mars 2006. Auteur: Paul Wüst.
- AGB 2006b *Alkali-Aggregatreaktion in Beton – wie weiter? Handlungs- und Forschungsbedarf*, colloque du groupe de travail recherche dans le domaine des ponts GRP de l'OFROU, 16 novembre 2005, conclusion finale: urgence et besoins de recherche du point de vue du GRP, rapport du 31 mai 2006. Auteur: Paul Wüst.
- ASTRA 2007 *Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) – Grundlagen und Massnahmen bei neuen und bestehenden Kunstbauten*, documentation OFROU 8213, 2007. Le document peut être obtenu sans frais sur www.ofrou.admin.ch.
- cemsuisse 2005 *Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR) in der Schweiz*. cemsuisse, association suisse de l'industrie du ciment, 2005. Le document peut être obtenu sans frais sur www.cemsuisse.ch.
- Merz 2006 Ch. Merz, F. Hunkeler et A. Griesser, *Schäden durch Alkali-Aggregat-Reaktion an Betonbauten in der Schweiz*, mandat de recherche GRP2001/471, rapport VSS N° 599, juillet 2006.
- SIA 2006 lettre/
communication *Einsatz von «Hydrolith F200» für die Betonherstellung in der Schweiz – Beschlüsse der Normenkommission SIA 262 «Betonbau»* (www.sia.ch/forum/showthread.php?t=385).
- LCPC 1994 *Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées 1994. Cette proposition peut être obtenue sur www.lcpc.fr.

ANNEXE A (normative)

DÉTERMINATION DES CLASSES DE RISQUE R1, R2, R3

Tableau 3: Détermination des classes de risque R1, R2, R3 pour des ouvrages globaux

Attribution des classes selon la somme des notes N :		N ≤ 5: R1			6 ≤ N ≤ 12: R2		N > 12: R3		Annexe à la base du projet, BPA N° :	
Type d'ouvrage :		Attribution directe de la classe R3	Attribution des notes en fct. des risques encourus en cas de dégâts dus à la RAG			Type d'élément d'ouvrage :				
Types de risques/ critères						Exemples d'ouvrages et d'éléments d'ouvrage				
Ouvrage global	Sécurité des personnes	effondrement global brutal et fragile de l'ouvrage	R3				barrages non armés	parking souterrain avec résistance au poinçonnement insuffisante	parois de pieux avec armature de frettage insuffisante	
		effondrement global progressif et ductile de l'ouvrage			2		parois de pieux munies d'un frettage approprié	murs de soutènement	dalles, poutres et sommiers du bâtiment	
	Coût de l'ouvrage (pour la communauté)	ouvrage dont le coût est exceptionnel	R3				barrages, centrales nucléaires	grands ouvrages d'art, tunnels, tranchées couvertes, ponts et viaducs	grands bâtiments, gares, hôpitaux, écoles, bâtiments publics	
		ouvrage dont le coût est élevé			3		ponts et viaducs, grands murs de soutènement	ouvrages d'art, tunnels, tranchées couvertes	bâtiments, gares, hôpitaux, piscines, STEP, écoles, bâtiments publics	
		ouvrage dont le coût est moyen				2		ponts, passages inf. et supérieurs	bâtiments moyens	
		ouvrage dont le coût est faible					1			
	Importance de l'ouvrage (pour la vie et la desserte d'une région)	ouvrage d'importance exceptionnelle	R3				barrages, centrales nucléaires, ponts constituant le seul accès à une région	grands ouvrages d'art, tunnels, tranchées couvertes, ponts et viaducs	grands bâtiments, gares, hôpitaux, écoles, bâtiments publics	
		ouvrage d'importance élevée			3		ouvrages d'art tunnels, tranchées couvertes	ponts et viaducs, grands murs de soutènement	bâtiments, gares, hôpitaux, piscines, STEP, écoles, bâtiments publics	
		ouvrage d'importance moyenne				2		ponts, passages inf. et supérieurs	bâtiments moyens	
		ouvrage d'importance faible					1			
	Ouvrage global	Somme des notes N :					Classe de risque ouvrage global :			

Remarque concernant Tab. 3 et 4: Le mode de mise en œuvre du béton peut constituer un risque intrinsèque de recourir à un dosage en clinker élevé qui doit être maîtrisé par une adaptation de la recette du béton (pieux forés tubés, éléments préfabriqués, bétons projetés, béton SCC, etc.)

Tableau 4: Détermination des classes de risque R1, R2, R3 pour des éléments d'ouvrage

Attribution des classes selon la somme des notes N :			N ≤ 5: R1			6 ≤ N ≤ 12: R2	N > 12: R3	Annexe à la base du projet, BPA N° :	
Type d'ouvrage :		Attribution directe de la classe R3	Attribution des notes en fct. des risques encourus en cas de dégâts dus à la RAG			Type d'élément d'ouvrage :			
Types de risques/ critères						Exemples d'ouvrages et d'éléments d'ouvrage			
Elément d'ouvrage	Sécurité des personnes	effondrement local brutal et fragile d'un élément de l'ouvrage		3			pièces comprimées élancées avec armature de frettage insuffisante	éléments de façades suspendus	pièces fléchies avec armature de cisaillement insuffisante
		effondrement local progressif et ductile d'un élément de l'ouvrage				1	pile de pont armée selon les règles de l'art	pilier du bâtiment armé selon les règles de l'art	dalles, poutres et sommiers du bâtiment
	Importance du comportement structural de l'élément	élément d'importance vitale	R3				piles, fondations et culées des grands ponts, mâts et tablier des ponts haubanés	piles, fondations et culées des ponts implantés dans des versants de stabilité précaire	structures des tranchées couvertes, voûtes et radiers armés des tunnels, pieux
		élément d'importance élevée			3		tablier des grands ponts, parapets et bordures des ponts précontraints transversalement	fondations des grands bâtiments	autres structures enterrées du génie civil, parking souterrains
		élément d'importance moyenne			2			fondations des bâtiments moyens	autres structures enterrées du bâtiment
		élément d'importance faible				1			
	Entraves relatives à la surveillance de l'élément	surveillance impossible		3			semelles de fondation superficielles des ponts et viaducs	semelles et radiers du bâtiment	pieux battus
		surveillance difficile ou onéreuse				2	pieux forés tubés	tranchées couvertes, revêtements des tunnels	autres structures enterrées du génie civil, parking sout.
		surveillance simple ou peu onéreuse				1			
	Entraves relatives à l'entretien de l'élément	entretien impossible		3			fondations profondes des ponts et viaducs, pieux forés tubés et battus	fondations profondes du bâtiment	fondations profondes des ponts et viaducs, pieux forés tubés et battus
		entretien difficile ou onéreux				2	fondations superficielles des ponts et viaducs	fondations superficielles du bâtiment, parking souterrains	fondations superficielles des ponts et viaducs
		entretien simple ou peu onéreux				1			
	Epaisseur de l'élément	E > 1,0 m		3			semelles de fondation superficielles		semelles de fondation superficielles
		0,1 m ≤ E ≤ 1,0 m				2			
		E < 0,1 m				1			
Elément d'ouvrage	Somme des notes N :					Classe de risque de l'élément d'ouvrage :			

ANNEXE B (normative)

DÉTERMINATION DES CLASSES D'ENVIRONNEMENT U1, U2, U3



Tableau 5: Détermination des classes d'environnement U1, U2, U3

Type d'ouvrage:				Elément d'ouvrage:	Annexe à la base du projet, BPB N°:
Classe d'environnem.	Classe d'exposition ¹⁾	Béton selon NPK	Description	Exposition du béton	Exemples
U1	XC1		environnement sec, faible saturation en eau	béton à l'intér. des bâtiments (faible humid. rel. de l'air)	dalles, piliers, murs du bâtiment
	XC3 XF1 ou XC4 XF1	NPK C	humidité modérée et saturation modérée en eau sans agents de déverglaçage.	béton à l'extérieur, protégé des intempéries et faiblement sollicité par le gel	façades
U2	XC1 XC2 XC3		environnement humide de manière perman. ou quasi-permanente. Forte saturation en eau possible, sans apport significatif d'alcalins externes (p.ex. eau souter.)	béton protégé à l'intérieur des bâtiments avec une forte humidité d'air béton de masse à l'intérieur	piscines couvertes, caves, sous-sols
U2	XC4 XD1 XF2 ou XC4 XD1 XF4	NPK D (T1) ou NPK E (T2)	alternance d'humidité et de séchage, humidité modérée avec chlorures ou saturation modérée en eau avec agents de déverglaçage; sans imbibition et sans apport significatif d'alcalins externes (p.ex. sels de déverglaçage)	béton à l'extérieur, exposé aux intempéries (brouillard salin, faible à forte sollicitation par le gel ou le gel avec sels)	piles, banquettes sur pieux, radiers, dalles de transition, culées, murs de soutènement, dalles de roulement avec étanchéité
U3	XC1 XC2	NPK C NPK H NPK I NPK K NPK L	environnement humide de manière perman. ou quasi-permanente, forte saturation en eau possible, sans apport significatif d'alcalins externes (p.ex. eau souter.)	béton des fondations	fondations du bâtiment et du génie civil, pieux
U3	XC4 XD3 XF2 ou XC4 XD3 XF4	NPK G (T4) ou NPK F (T3)	alternance d'humidité et de séchage avec chlorures, forte saturation en eau avec agents de déverglaçage, apport significatif d'alcalins externes (p.ex. sels de déverglaçage, eaux souterraines) ou températures élevées	béton à l'extérieur, exposé aux intempéries (brouillard et éclaboussures salins, forte sollicitation par le gel avec sels); éléments structuraux dans des sols ou des eaux souterraines fortement chargées en alcalins (évt. agressifs pour le béton)	murs de soutènement, parapets et bordures, piles; revêtements routiers en béton, dalles de roulement non protégées par une étanchéité; parements et portails des tunnels et des tranchées couvertes
	XF3		cycles de gel, forte saturation en eau sans agents de déverglaçage	piles dans l'eau, surfaces horizontales de béton; p.ex. couronnements de mur, revêtements en béton non exposés aux sels de déverglaçage	
	XD2		humide, rarement sec avec chlorures, forte saturation en eau, apport significatif d'alcalins externes (eau)	réceptacles, bassins de rétention pour des eaux fortement chargées en alcalins	
Classe d'environnement:					

Remarque: Des facteurs supplémentaires, qui peuvent amplifier la RAG, sont: une classe d'exposition XA (selon la norme SN EN 206-1, attaques chimiques), une orientation sud des surfaces d'éléments d'ouvrage, des variations de température quotidiennes et de grande amplitude, un nombre au-dessus de la moyenne de cycles de gel-dégel annuels, etc.

¹⁾ selon SN EN 206-1

ANNEXE C (normative)

MESURES SUPPLÉMENTAIRES REQUISES POUR LA CLASSE DE PRÉVENTION P3

Tableau 6: Mesures supplémentaires requises pour la classe de prévention P3

Type d'ouvrage :			imposé ou choix de l'auteur du projet : oui/non	Type d'élément d'ouvrage :	Annexe à la base du projet, BPC N° :
Type de mesures				Commentaires/exemples	
Mesures relatives à la convention d'utilisation et à la base du projet	1	fixer les exigences relatives à la fissuration dans la convention d'utilisation	imposé en GC	l'élaboration d'une convention d'utilisation est exigée selon la norme SIA 260, chiffre 2.1.2	
	2	fixer les dérogations éventuelles par rapport au cahier technique 2042 dans la convention d'utilisation	imposé en GC		
	3	fixer les exigences en matière de robustesse et de ductilité dans la convention d'utilisation	imposé en GC		
	4	fixer les exigences supplémentaires relatives au béton dues à la RAG dans la base du projet	imposé en GC	l'élaboration d'une base du projet est exigée selon la norme SIA 260, chiffre 2.1.3	
	5	établir les bases des contrôles durant les tra- vaux et de la surveillance durant l'utilisation dès le stade du projet de détail (projet définitif)	imposé en GC	ces documents sont exigés selon la norme SIA 267, chapitre 6, pour les structures en interaction avec le sol	
Mesures de conception structurale	6	pourvoir les structures non immergées d'une pente minimale pour éviter la stagnation des eaux	imposé en GC	dalles du bâtiment, dalles de roulement, radiers	semelles de fondation, banquettes sur pieux, tranchées couvertes
	7	choix de structures dont la sécurité structurale et l'aptitude au service ne dépendent pas ex- cessivement des résistances à la compression et à la traction du béton (voir mesures 15 et 16)		dalles du bâtiment, piliers du bâtiment, radiers	piles de ponts et via- ducs, tranchées cou- vertes, voussoirs en tunnel
	8	recourir à des épaisseurs de béton suffisan- tes pour éviter une rupture fragile des sec- tions		dalles du bâtiment, piliers du bâtiment, radiers	poutres, murs, piliers et piles
	9	recourir à une armature de cisaillement pour éviter une rupture fragile prématurée, aug- menter la robustesse et la ductilité des struc- tures		semelles superficielles, radiers, murs et dalles des grands bâtiments	semelles filantes, radiers, murs et dalles de tranchées couver- tes
	10	recourir à une armature de fretage accrue pour éviter une rupture fragile prématurée, augmenter la robustesse et la ductilité des structures		piliers du bâtiment, piles de ponts et via- ducs, pieux	voûtes et radiers con- trevoûtés des tunnels, tranchées couvertes de section rectangul.
	11	choix d'une structure aussi monolithique que possible pour éviter les circulations d'eau au droit des joints de dilatation		grands bâtiments, ponts flottants, structures enterrées	tranchées couvertes, murs de soutène- ment, parois ancrées, dalles de roulement et radiers contrevoûtés en tunnel
	12	choix d'une composition du béton spécifique pour limiter les retraits thermique et hydrique			
	13	choix d'une armature minimale pour limiter l'ouverture des fissures sous déformations entravées	imposé en GC		
	14	dimensionnement de l'armature pour limiter l'ouverture des fissures sous charges impo- sées	imposé en GC		

Suite du tableau 6

Type d'ouvrage :			imposé ou choix de l'auteur du projet : oui/non	Type d'élément d'ouvrage :	Annexe à la base du projet, BPC N° :
Type de mesures				Commentaires/exemples	
Mesures d'analyse de sensibilité	15	évaluer les incidences d'une réduction sensible de la classe de résistance du béton sur la sécurité structurale de l'ouvrage (voir mesure 7)		dalles du bâtiment, piliers du bâtiment, radiers	piles de ponts et viaducs, tranchées couvertes, voussoirs en tunnel
	16	évaluer les incidences d'une réduction sensible de la classe de résistance du béton sur l'aptitude au service de l'ouvrage (voir mesure 7)			
Mesures de protection de l'ouvrage	17	système de protection hydrofuge renouvelable des surfaces exposées aux intempéries et aux sels de déverglaçage		murs de soutènement, bordures et parapets	parements et portails des tunnels et des tranchées couvertes
	18	système de drainage durable des structures enterrées		murs de soutènement, bâtiments	tranchées couvertes, tunnels
	19	système d'étanchéité durable des structures enterrées		radiers du bâtiment, murs du bâtiment	tranchées couvertes, tunnels
	20	système d'étanchéité renouvelable des dalles de roulement exposées au trafic routier	imposé en GC	dalles de roulement de parking	dalles de roulement de ponts et viaducs
Mesures relatives à l'appel d'offres, à la réalisation et à l'exploitation	21	augmenter les exigences relatives au maintien de l'étaisage, du décoffrage et de la cure		dans les conditions particulières, dans le devis descriptif	dalles du bâtiment, tranches couvertes
	22	définir les exigences spécifiques à la RAG dans le programme de contrôle du MO et dans le plan de contrôle de l'entrepreneur	imposé en GC	programme de contrôle du MO	bâtiment, génie civil
	23	établir le plan de contrôle de l'ouvrage durant les travaux	imposé en GC	structures en interaction avec le sol (voir mesure 5)	
	24	établir le plan de contrôle et de suivi des déformations de l'ouvrage durant l'exploitation	imposé en GC	structures en interaction avec le sol (voir mesure 5)	
	25	lister les mesures prévues pour garantir la pérennité des mesures de protection adoptées	imposé en GC	dans la base du projet, dans le programme de contrôle, dans le plan de surveillance	

ANNEXE D (normative)

EXPÉRIENCES À LONG TERME

- D.1 Les expériences à long terme sont valables pour la classe de prévention P2 à condition qu'un spécialiste en RAG puisse attester et documenter qu'il existe dans la région où l'ouvrage concerné sera construit des ouvrages de type et de béton similaires qui ne présentent aucun ou seulement très peu de dégâts dus à la RAG.
- D.2 Pour évaluer, si des ouvrages peuvent être pris en compte (ou non) pour la justification des expériences à long terme, on tiendra compte des exigences indicatives suivantes :
- béton comparable selon chap. 3, tableau 2
 - âge de l'ouvrage: ≥ 30 ans
 - humidité et exposition du béton similaires
 - orientation géographique similaire pour des murs ou des éléments d'ouvrage similaires
 - dimensions géométriques des éléments d'ouvrage comparables
 - armatures, respectivement précontrainte comparables
 - conditions d'utilisation similaires.
- Remarque : Des éléments d'ouvrage avec revêtement de protection ne sont, par exemple, pas comparables avec des éléments sans revêtement.
- D.3 Le béton d'un groupe d'ouvrages à évaluer est considéré comme comparable, si les exigences du tableau 2 sont satisfaites, à l'exception de la teneur en ciment. Le dosage en ciment moyen prouvé ne doit pas s'écarter de plus $\pm 20 \text{ kg/m}^3$. En cas de doutes il faut faire appel à un expert de la RAG.
- Remarque : La restriction de $\pm 20 \text{ kg/m}^3$ est définie dans le sens d'un groupe de béton avec des propriétés similaires. Une variation importante de la teneur en ciment est souvent aussi accompagnée d'un changement de la granularité ou des variations des proportions des classes granulaires. Ceci influence finalement la résistance à la RAG.
- D.4 La documentation ou l'attestation d'une expérience à long terme justifiée reste valable pendant 5 ans, à moins que des incidents particuliers (p.ex. l'apparition de nouveaux dommages) ou des nouvelles connaissances (p.ex. des résultats de recherche) rendent une vérification nécessaire.

ANNEXE E (normative)

ESSAI MICROBAR

Remarque : Le texte suivant sous chiffre E.1 se base sur les chapitres de la norme française AFNOR XP P 18-594: 2004, qui décrivent les dispositions relatives à l'essai Microbar. Le chiffre E.2 contient les règles suisses complémentaires concernant la réalisation de l'essai. Les lacunes et erreurs de la norme AFNOR étant corrigées, c'est la présente version avec les règles suisses qui fait foi.

E.1 Essai Microbar selon AFNOR XP P18-594: 2004 (extrait)

E.1.1 Introduction (extraits des chap. 1, 2, 3 et 4 de la norme AFNOR XP P18-594)

La méthode d'essai permet de qualifier l'alcali-réactivité d'un granulat par le classement suivant:

1. Les granulats non réactifs montrent des gonflements inférieurs au seuil fixé pour l'essai réalisé.
2. Les granulats potentiellement réactifs montrent des gonflements supérieurs au seuil fixé pour l'essai réalisé.
3. Les granulats potentiellement réactifs à effet pessimum contiennent certaines espèces minérales siliceuses facilement solubles en milieu alcalin. Dans ce cas, le risque d'expansion n'existe que lorsque ces espèces sont en proportions voisines d'une certaine plage de ces matériaux.

Le risque de désordres dépend du comportement de l'ensemble du squelette granulaire. Aussi, pour prévenir ce risque, il est nécessaire que les essais qualifient soit séparément la fraction sable et la fraction gravillon, soit globalement la totalité du mélange granulaire entrant dans la composition du béton.

La qualification des fines ne fait l'objet d'aucun test spécifique lorsqu'elles constituent un élément utilisé séparément des sables. La qualification de ces dernières peut être réalisée à l'aide de l'essai décrit dans la norme AFNOR XP P18-594, chap. 5.3.

E.1.2 Méthode d'essai (chap. 5.2 de la norme AFNOR XP P18-594)

E.1.2.1 Principe

La réactivité potentielle des granulats vis-à-vis des alcalins du béton est mesurée par des essais de gonflement d'éprouvettes de mortier soumises à des cures successives dans la vapeur d'eau, puis à l'autoclave à 150 °C dans une solution de potasse.

E.1.2.2 Appareillage d'usage courant

- Tamis normalisés 0,16 mm et 0,63 mm, avec fond et couvercle.
- Broyeur permettant d'obtenir un sable 0,16 mm – 0,63 mm.
- Malaxeur à mortier selon la norme SN EN 196-1.
- Étuve ventilée, réglée à 150 ± 2 °C
- Balance dont la portée limite est compatible avec la masse à peser et ayant une précision relative de 0,1%.
- Comparateur au 1/1000 mm (ou de préférence palpeur de mesures incrémental), avec embout sphérique de diamètre 5 mm, monté sur un support de mesures muni à sa base d'un embout sphérique de diamètre 5 mm centré par rapport à la pointe du palpeur ou comparateur.
- Tournevis, pipette, marqueur noir indélébile résistant aux solutions alcalines à 150 °C.
- Armoire humide > 95% HR, réglée à 20 ± 2 °C, selon la norme SN EN 196-1.
- Règle d'arasage
- Enceinte de conservation à humidité relative égale à 100% HR, 20 ± 2 °C (par exemple dessiccateur, dont l'élément desséchant a été remplacé par un fond d'eau).
- Table à chocs, conforme à celle décrite dans la norme SN EN 196-1.

E.1.2.3

Appareillage spécifique

- Récipients en acier inoxydable, de capacité de 70 ml à 150 ml, pouvant être bouchés hermétiquement et supporter une température de 150 °C.
- Adaptation du malaxeur type SN EN 196-1 selon les figures E.1 et E.2 : bol permettant des gâchées de 150 g environ, palette à mouvement planétaire.
- Moules démontables en matériau autolubrifiant tel que PVC (à utiliser sans huile) et ne présentant pas de sensibilité aux agents alcalins, permettant la confection de quatre éprouvettes parallélépipédiques de dimensions 10 mm x 10 mm x 40 mm $\pm$ 0,5 mm. Les logements prévus pour recevoir le mortier sont équipés d'inserts en acier inoxydable, vissés par l'extérieur et positionnés au centre des faces de section carrée. Ces pièces sont bloquées en position. Les plans des moules et inserts sont donnés sur les figures E.3 et E.4.
- Rehausses de moules
- Couvercles de moules rectangulaires de 100 x 180 mm, d'épaisseur 8 mm, en matière plastique, maintenus à une distance de 5 mm de la surface.
- Porte-échantillons en matériau résistant aux solutions alcalines à haute température (type polymère fluoro-ré), permettant de maintenir quatre éprouvettes en position verticale et sans contact entre elles à l'intérieur des récipients en acier inoxydable.
- Ballon à col large, muni d'un système permettant de positionner les éprouvettes sans contact entre elles, ni avec les parois, verticalement au-dessus d'eau en ébullition.
- Réfrigérant à boules et système permettant de recycler dans le ballon l'eau de condensation sans qu'elle ne coule sur les éprouvettes.
- Une référence de mesure : pièce en invar, de longueur $L = 40 \pm 0,05$ mm, et aux extrémités adaptées à l'embout du palpeur et du support de mesures.

Figure 2: Mini-malaxeur

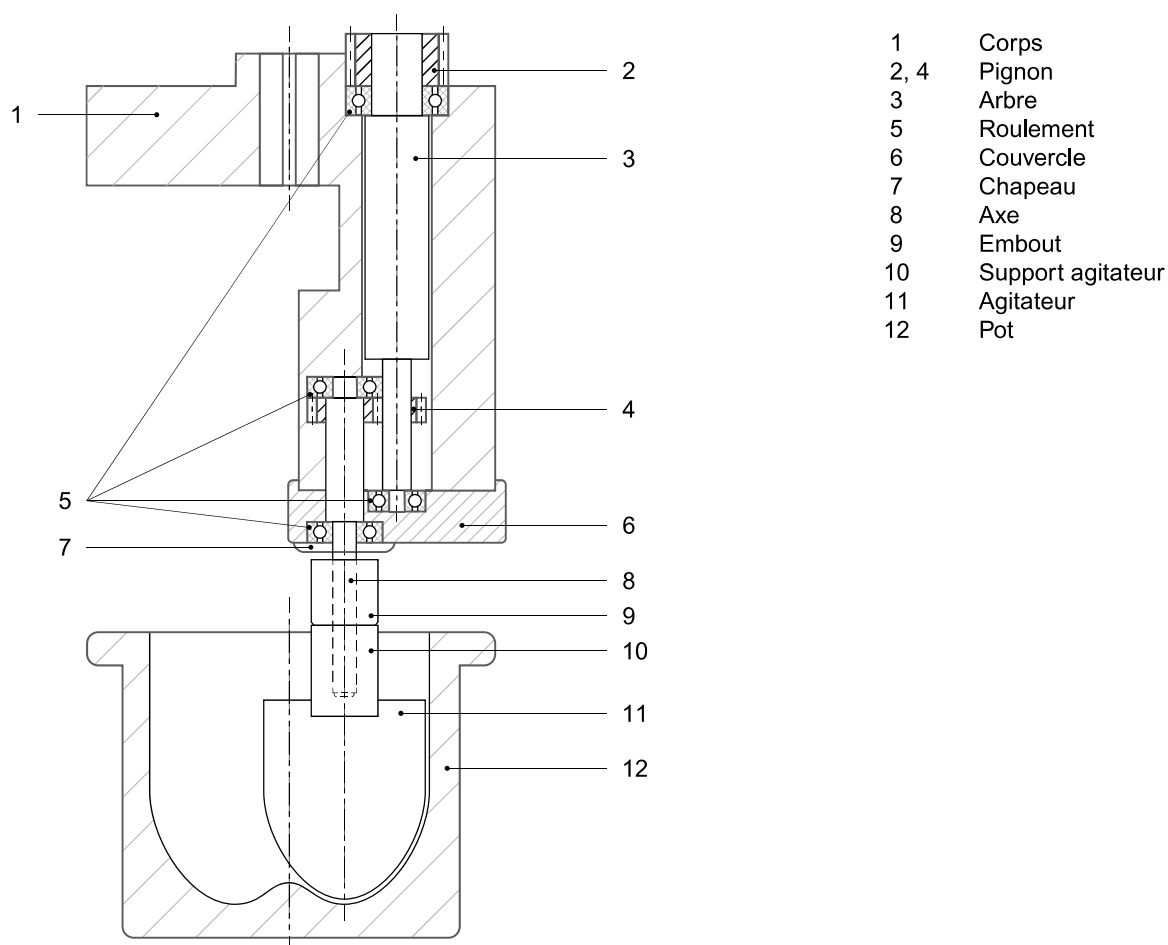


Figure 3: Pot agitateur du mini-malaxeur (dimensions en millimètres)

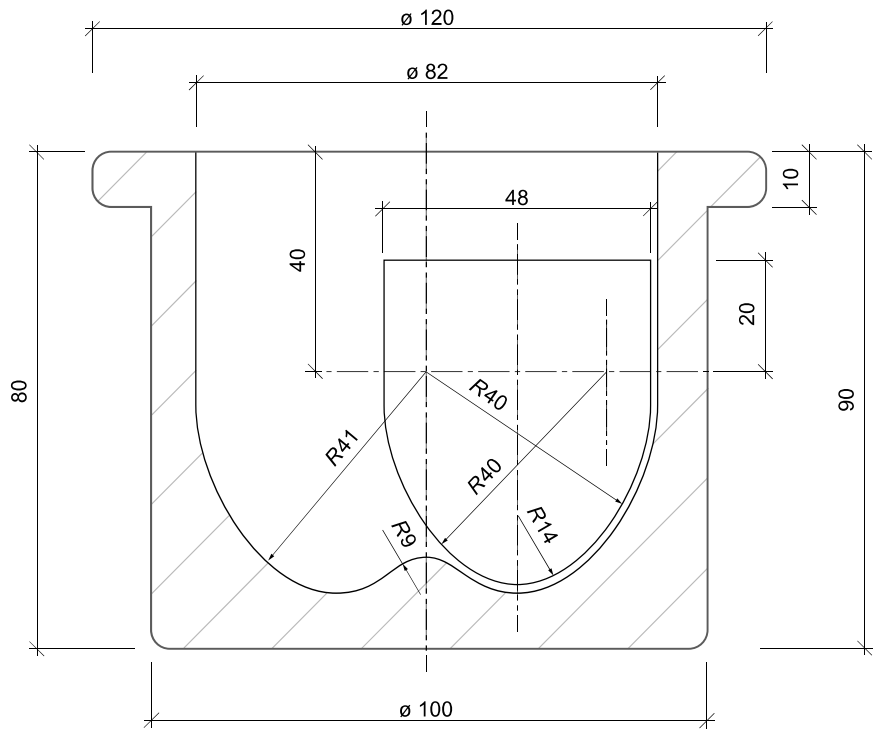


Figure 4: Moule pour éprouvettes 10 x 10 x 40 mm (dimensions en millimètres)

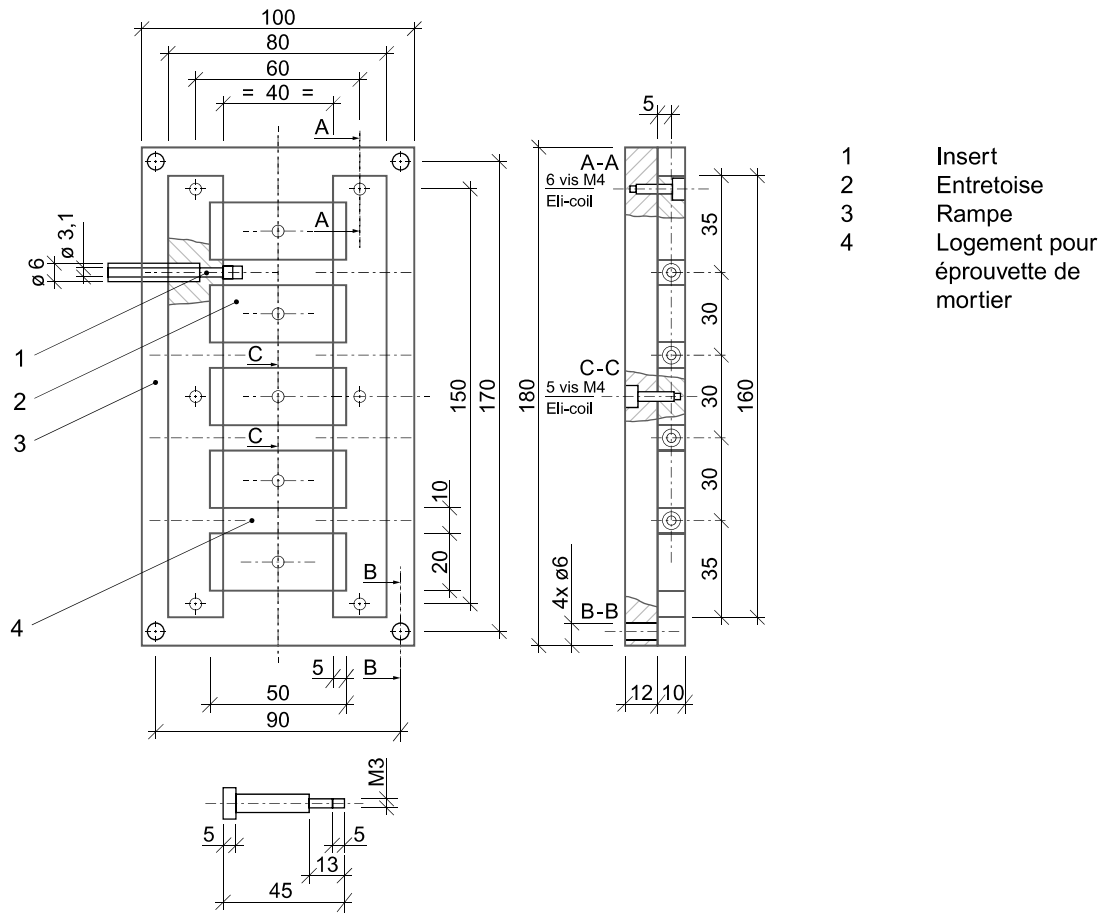
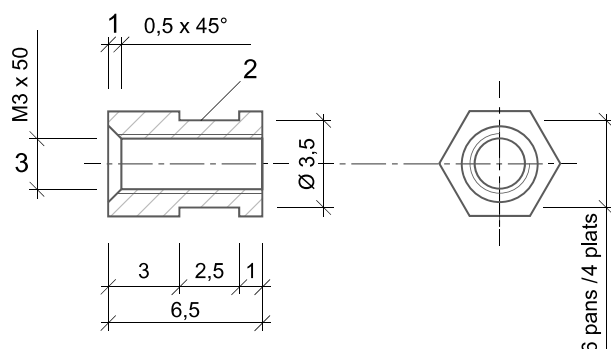


Figure 5: Insert 6 pans 4/plats en acier inoxydable (dimensions en millimètres)



- 1 Portée conique pour contact avec bille du comparateur
- 2 Saignée permettant le bon accrochage de la pâte de ciment
- 3 Filetage servant à la fixation de l'insert sur la paroi du moule

E.1.2.4 Réactifs et matériaux

- Solution KOH (qualité pour analyses) à 10%
- Solution NaOH: à 2 mol/kg de solution, soit $80 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g NaOH/kg}$ de solution
- Soude en pastilles (qualité pour analyses)
- Eau déminéralisée
- Ciment CEM I 42,5 (SN EN 197-1) de teneur en équivalent Na_2O (% masse $\text{NaO} + 0,658\% \text{ K}_2\text{O}$) comprise entre 0,6 et 1% masse et de teneur en MgO inférieure à 2% masse (analyses RFA).

E.1.2.5 Matériau soumis à l'essai

L'échantillon est préparé suivant les prescriptions de la norme SN EN 932-2.

La masse nécessaire pour effectuer l'essai est de 3 kg avec le mini-malaxeur, ou de 5 kg avec le malaxeur standard. Le matériau peut être un produit classé et livré par la carrière, ou un échantillon de roche. Le matériau soumis à l'essai est un sable 0,16 mm – 0,63 mm, obtenu par broyage jusqu'à refus nul à 0,63 mm.

Obtention du sable 0,16 mm – 0,63 mm.

Tamiser sous eau les éléments obtenus, conserver la classe granulaire 0,160 mm/0,630 mm. Sécher ce groupe granulaire à $80 \pm 5^\circ\text{C}$ et l'homogénéiser ensuite.

Peser trois prises d'essai de granulat sec (en grammes) selon le tableau 7:

Tableau 7: Prises d'essai du granulat pour la confection des mortiers (en grammes)

Prises d'essai	Masse sable 0,16/0,63 mm mini-malaxeur selon fig. 2	Masse sable 0,16/0,63 mm malaxeur conforme à SN EN 196-1
P 1	$10 \pm 0,05 \text{ g}$	$60 \pm 0,1 \text{ g}$
P 2	$16 \pm 0,05 \text{ g}$	$96 \pm 0,1 \text{ g}$
P 3	$40 \pm 0,05 \text{ g}$	$240 \pm 0,1 \text{ g}$

E.1.2.6 Confection du mortier avec le mini-malaxeur

La confection du mortier se fait avec le mini-malaxeur (fig. 2).

Trois mélanges sont préparés selon le tableau 8, de manière à obtenir des mortiers de rapport ciment/granulat (C/G) respectivement égaux à 2, 5 et 10.

Tableau 8: Quantités à peser (en grammes) pour le mini-malaxeur

Mélange	1	2	3
Rapport C/G	2	5	10
Ciment	80 ± 0,1 g	80 ± 0,1 g	100 ± 0,1 g
Solution NaOH	24 ± 0,05 g	24 ± 0,05 g	30 ± 0,05 g
Granulat	40 ± 0,05 g	16 ± 0,05 g	10 ± 0,05 g

La quantité de soude Q_{NaOH} est calculée de façon à obtenir une concentration en Na_2O_{Eq} final de 1,5% dans le ciment par la formule suivante :

$$Q_{NaOH} = \frac{1,5-x}{62} \cdot 1000 \cdot \frac{m_c}{100} \quad [g]$$

avec: x concentration Na_2O_{Eq} du ciment, en % masse
 m_c masse de ciment pour la prise d'essai (80 ou 100 g)
 Q_{NaOH} quantité de solution NaOH 2 mol/kg, en grammes, à peser avec une précision de 0,05 g

Compléter à 30 g ou 24 g selon le mélange 1, 2 ou 3 avec de l'eau déionisée.

Remarque: Le calcul de la quantité de solution de soude a été repris de l'ancienne norme AFNOR P 18-588 (1991).

E.1.2.7 Confection du mortier avec le malaxeur normé

La confection du mortier se fait avec le malaxeur conforme à la norme SN EN 196-1.

Trois mélanges sont préparés selon le tableau 9, de manière à obtenir des mortiers de rapport ciment/granulat (C/G) respectivement égaux à 2, 5 et 10.

Tableau 9: Quantités à peser (en grammes) pour le malaxeur normé

Mélange	1	2	3
Rapport C/G	2	5	10
Ciment	480 ± 1 g	480 ± 1 g	600 ± 1 g
Solution NaHO	144 ± 0,1 g	144 ± 0,1 g	180 ± 0,1 g
Granulat	240 ± 0,5 g	96 ± 0,1 g	60 ± 0,05 g

La quantité de soude Q_{NaOH} est calculée de façon à obtenir une concentration en Na_2O_{Eq} final de 1,5% dans le ciment par la formule suivante :

$$C = \frac{1,5-x}{62} \cdot \frac{1000}{30} \cdot 40 = (1,5-x) \cdot 43 \quad [g]$$

avec: x concentration Na_2O_{Eq} du ciment, en % masse

Utiliser cette solution telle quelle suivant les quantités indiquées dans le tableau 9.

Remarque: Le calcul de la quantité de solution de soude a été repris de l'ancienne norme AFNOR P 18-588 (1991).

E.1.3 Exécution de l'essai

E.1.3.1 Gâchage

Introduire le ciment et le granulat pour le mélange 1 dans le bol du malaxeur et mélanger à petite vitesse durant 1 min. Les vitesses mentionnées sont identiques à celles de la norme SN EN 196-1. Ajouter la solution enrichie en soude. Malaxer pendant 1 minute à petite vitesse, puis 2 minutes à grande vitesse. Racler à l'aide d'une spatule souple les parois et malaxer à nouveau 2 minutes à grande vitesse.

E.1.3.2 Confection des éprouvettes

Introduire le mortier correspondant au mélange 1 dans les quatre compartiments du moule, en commençant par les extrémités et en insistant au niveau des inserts pour ne pas emprisonner de bulles d'air. Remplir les moules à mi-hauteur. Placer la rehausse et positionner l'ensemble au centre de la table à secousses, en fixant le moule avec deux serre-joints. Compacter 15 coups. Compléter le remplissage jusqu'à moitié de l'épaisseur de la rehausse. Compacter à nouveau trois fois 15 coups. Ôter la rehausse et araser le mortier excédent.

Procéder à la gâchée du mélange 2, puis à celle du mélange 3 et à la confection des éprouvettes.

Placer les moules recouverts de leurs couvercles en armoire humide, les y laisser $24 \pm 1/2$ h.

E.1.3.3 Démoulage et mesure initiale

Démonter les moules, en commençant par les vis situées au-dessous des moules, puis par les vis qui tenaient les inserts en position, puis démonter les parois latérales et séparer les éprouvettes des entretoises. Numéroté chaque éprouvette.

Vérifier que les inserts soient libres de toute poussière ou aspérité, les nettoyer éventuellement. Régler le comparateur ou palpeur à zéro, en utilisant la référence de mesure, puis procéder aux mesures L_0 des 12 éprouvettes.

E.1.3.4 Cure à la vapeur

Placer les éprouvettes dans le ballon à col large au-dessus de l'eau en ébullition. Veiller à éviter les contacts mutuels, en séparant les éprouvettes de 2 mm, la vapeur d'eau doit pouvoir circuler librement autour des éprouvettes. Laisser 4 h en système clos.

Placer les éprouvettes dans l'enceinte de conservation à 20 ± 2 °C et à humidité relative de 100% jusqu'à ce qu'elles atteignent 20 °C (entre 4 h et 24 h).

E.1.3.5 Cure alcaline

Disposer les quatre éprouvettes de la même série dans les porte-éprouvettes, eux-mêmes placés dans les récipients en acier inoxydable. Recouvrir de solution KOH 10%. Mettre à l'étuve à 150 ± 2 °C pendant 360 ± 10 minutes.

Sortir les éprouvettes, les rincer à l'eau déminéralisée, tamponner les six faces sur papier absorbant et placer en enceinte de conservation pendant 60 ± 5 min.

E.1.3.6 Mesures de L_1 et L_c

Vérifier la propreté des inserts.

Effectuer les mesures de longueur L_1 des éprouvettes.

Garder les éprouvettes dans l'enceinte de conservation à 20 ± 2 °C et mesurer à nouveau le lendemain pour contrôle (L_c).

E.1.4 Expression des résultats

Calculer pour chaque éprouvette l'allongement relatif $\varepsilon(n)$.

$$\varepsilon(n) = \frac{L_1(n) - L_0(n)}{L_R + L_0(n)} \cdot 100$$

avec: n numéro de l'éprouvette
 L_R longueur de référence
 L_0 mesure initiale
 L_1 mesure finale (après cure alcaline).

Pour chaque série C/G = 2, 5 et 10, le résultat exprimé en pourcentage est la moyenne des allongements $\varepsilon(n)$ des quatre éprouvettes correspondantes. Lorsque l'allongement relatif moyen est supérieur à 0,03%, l'allongement relatif de chaque éprouvette ne doit pas s'écarter de $\pm 15\%$ de la valeur moyenne.

Parmi les trois résultats à C/G = 2, 5 et 10, l'allongement le plus élevé est retenu pour évaluer la réactivité du granulat testé.

E.1.5 Précision de l'essai

La répétabilité r , pour des niveaux de valeurs compris entre 0,016 et 0,336%, est de $0,2x + 0,02$.

E.2 Réglementation Suisse relative à l'essai Microbar

E.2.1 Ciment employé

L'essai doit être réalisé par tous les laboratoires avec un ciment identique, afin d'assurer une comparaison fondamentale valable entre les résultats. Le ciment pour la confection des éprouvettes (y compris l'indication de la teneur en alcalins solubles à l'acide) peut être obtenu auprès du département Béton/chimie de la construction de l'Empa à Dübendorf.

E.2.2 Exemple de la fabrication de la solution NaOH pour l'utilisation du mini-malaxeur selon chiffre E.1.2.6

Données relatives au calcul de la quantité nécessaire de:

- solution NaOH (2 mol/kg), c'est-à-dire 80 g $\pm$ 0,05 g NaOH dans 920 g eau déionisée
- $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$ du ciment, p.ex.: 0,91% masse.

Il en résulte:

$Q_{\text{NaOH}} = 7,61 \text{ g}$ ou $9,52 \text{ g}$ selon le rapport ciment/granulat

Ensuite:

- solutions 1 + 2: peser 7,61 g + 0,05 g solution NaOH et compléter à 24 g avec de l'eau déionisée
- solution 3: peser 9,52 g + 0,05 g solution NaOH et compléter à 30 g de l'eau déionisée.

E.2.3 Réalisation de l'essai

E.2.3.1 Mesure

Effectuer un premier cycle de mesure en commençant par l'éprouvette 1 et terminer le cycle par la deuxième mesure de la pièce invar. Si cette dernière s'écarte de plus que ± 1 micron de la première mesure, nettoyer les palpeurs et la pièce invar et mettre le comparateur à nouveau à zéro. Effectuer un second cycle de mesure. Si la différence entre la seconde et la première mesure est supérieure à 2 microns à la fin du cycle de mesure, nettoyer à nouveau les inserts des éprouvettes concernées ainsi que la pièce invar et effectuer à nouveau la mesure, ceci jusqu'à stabilisation de deux mesures successives à ± 2 microns.

E.2.3.2 Cure à la vapeur

Si les séries ont été confectionnées dans un intervalle de temps suffisamment court et si le démoulage et les mesures L_0 se déroulent rapidement, on peut placer les éprouvettes dans l'enceinte humide en attente de la deuxième et troisième série de la journée, afin de débiter la cure vapeur simultanément.

Le début de la cure s'effectue $24 \pm 1/2 \text{ h}$ après la fin du gâchage et dure 4 heures $\pm$ 15 minutes.

E.2.3.3 Cure alcaline: prévention des accidents

Laisser les récipients refroidir suffisamment, afin d'éviter des éclaboussures de KOH en raison de la pression interne: sortir les récipients de l'étuve, les plonger dans un bain d'eau froide (p.ex. dans un évier rempli d'eau), attendre 3–4 minutes, ouvrir les récipients (à l'aide d'une pince et de gants) et sortir les éprouvettes.

E.2.4 Résultats

Pour le calcul des allongements relatifs, on utilise les deuxièmes mesures L_1 (les premières mesures L_1 ne sont utilisées que lorsqu'une impureté induit de grandes différences entre les deux cycles de mesures L_1).

Les valeurs L_c servent au contrôle. Si les valeurs de contrôle L_c des allongements moyens s'écartent de plus de 15% des valeurs L_1 , il faut répéter l'essai.

Pour chaque série C/G = 2, 5 et 10, le résultat exprimé en pourcentage est la moyenne des $\varepsilon(n)$ des quatre éprouvettes correspondantes. Lorsque l'allongement relatif moyen est supérieur à 0,03%, l'allongement relatif de chaque éprouvette ne doit pas s'écarter de $\pm 15\%$ de la valeur moyenne. Sinon cette valeur sera éliminée. Si l'une des trois valeurs restantes présente un écart supérieur à 15% de la moyenne des trois valeurs, la série est annulée et il faut répéter l'essai.

E.2.5 Valeur limite

Voir chiffre 3.2.3.

E.2.6 Interprétation des résultats

Les granulats fins et grossiers sont évalués séparément en fonction de leur composition pétrographique et des allongements mesurés. En l'absence de données sur la composition pétrographique des granulats, les valeurs des essais Microbar sont ininterprétables.

On distingue trois groupes de granulats :

- Groupe A: Les granulats composés essentiellement de calcaires purs, calcschistes, marbres, dolomies, etc. (c-à-d. des calcaires sans quartz et/ou silicifications) peuvent être considérés comme non réactifs. La réactivité potentielle des granulats peut être contrôlée au moyen de l'essai Microbar. Si l'essai Microbar entraîne un gonflement inférieur à la valeur limite, le granulat est considéré comme non réactif. Un essai supplémentaire n'est pas nécessaire. Si le gonflement est supérieur à la valeur limite, cela signifie que du SiO_2 est présent et qu'il n'a apparemment pas pu être mis en évidence par la simple analyse pétrographique. Le granulat est considéré comme réactif. Un essai de Performance du béton pour contrôler le comportement du granulat dans une formule de béton donnée est nécessaire.
- Groupe B: Les granulats présentant un mélange de différents types de roches sont considérés comme potentiellement réactifs. Suivant leur composition, les granulats peuvent être qualifiés de non réactifs à fortement réactifs. Lorsque la teneur en silice des granulats augmente (par ex. grès à ciment siliceux et calcaires siliceux), la valeur de l'essai Microbar sera vraisemblablement élevée. L'estimation de la réactivité potentielle des granulats peut être contrôlée par l'essai Microbar. Si l'essai Microbar entraîne un gonflement inférieur à la valeur limite, le granulat est considéré comme non réactif. Un essai supplémentaire n'est pas nécessaire. Si le gonflement est supérieur à la valeur limite, le granulat est considéré comme réactif. Un essai de Performance du béton pour contrôler le comportement du granulat dans une formule de béton donnée est nécessaire.
- Groupe C: Certains granulats alpins, réagissant très lentement (p. ex. des granitoïdes, gneiss et quartzites peu déformés sous des conditions rétrogrades du faciès schistes verts) ne peuvent pas être décelés par l'essai Microbar. Les granulats composés essentiellement de roches métamorphiques ou des roches cristallines (dont des quartzites, arénites quartzitiques, sables quartzitiques) sont donc classés comme potentiellement réactifs. L'estimation de la non réactivité potentielle des granulats ne peut être contrôlée par l'essai Microbar. Si l'essai Microbar entraîne un gonflement supérieur à la valeur limite, le granulat est considéré comme réactif. Un essai de Performance du béton pour contrôler le comportement du granulat dans une formule de béton donnée est nécessaire. Une valeur Microbar inférieure à la limite ne signifie pas que le granulat ne soit pas réactif. Un essai de Performance du béton pour contrôler le comportement du granulat avec une formule de béton donnée est nécessaire.

E.2.7 **Rapport d'essai**

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes :

- Référence au cahier technique SIA 2042
- Mandant
- Date de l'essai
- Granulat:
 - provenance, date de l'échantillonnage
 - groupe granulaire testé ou
 - en cas d'un mélange granulaire : les proportions exactes en % masse
 - analyse pétrographique selon chiffre 3.2.1
- Allongement relatif moyen, indiqué avec une précision de 0,001%, pour les trois rapports C/G, sous forme d'un tableau et d'un diagramme
- Evaluation des résultats selon le cahier technique SIA 2042.

E.2.8 **Exigence relative au laboratoire d'essai**

L'essai n'est valable que s'il est réalisé par un laboratoire accrédité à cet effet.

ANNEXE F (normative)

ESSAI DE PERFORMANCE DU BÉTON

Remarque: Le texte suivant sous chiffres F.1 et F.2 se base sur les chapitres de la norme française AFNOR P18-454:2004, qui décrivent les dispositions relatives à l'essai de Performance du béton. Le chiffre F.3 contient les règles suisses complémentaires concernant la réalisation de l'essai. Les lacunes et erreurs de la norme AFNOR étant corrigées, c'est la présente version avec les règles suisses qui fait foi.

F.1 Essai de Performance du béton selon AFNOR P18-454:2004 (extrait)

F.1.1 Domaine d'application

L'essai permet d'évaluer la résistance à l'alcali-réaction d'une formule de béton. Il s'applique à des bétons dont les dimensions maximales du granulat sont 22,4 mm. Remarque: des exceptions sont possibles (voir chiffre F.1.4).

F.1.2 Principe de la méthode

La sensibilité de la formule de béton testée vis-à-vis de l'alcali-réaction est mesurée par un essai de gonflement de trois prismes en béton de dimensions 70 mm x 70 mm x 282 mm, conservés dans une enceinte à 60 °C en atmosphère saturée d'humidité et dont on mesure la déformation longitudinale à des échéances données. L'appareil mentionné sous chiffre F.1.3.2 est réputé de garantir le respect de ces conditions.

F.1.3 Appareillage et produits

F.1.3.1 Appareillage d'usage courant:

- Malaxeur de béton à axe vertical
- Moules pour éprouvettes prismatiques 70 x 70 x 282 mm (± 1 mm), permettant de fixer les plots de mesure (figure 6). Remarque: voir réglementation suisse sous chiffre F.3.
- Plots de mesure en acier inoxydable disposés pour avoir une longueur de mesure effective (distance entre faces internes des plots égale à $250 \pm 0,5$ mm. Un exemple de plots de mesure est donné à la figure 7. La partie extérieure des plots doit être dans le plan des deux faces du prisme comportant les plots. Remarque: voir réglementation suisse sous chiffre F.3.
- Balance dont les caractéristiques métrologiques sont compatibles avec la masse totale de l'échantillon et permettant de peser 30 kg au gramme près.
- Table vibrante
- Chronomètre (à la seconde près).

F.1.3.2 Appareillage spécifique:

- Appareil de mesure de déplacement permettant une lecture à 0,003 mm près. Cet appareil comporte deux palpeurs munis d'une bille rectifiée d'un diamètre compris entre $1,4d_1$ et $1,4d_2$, avec d_1 et d_2 respectivement, petit diamètre et grand diamètre de la partie chanfreinée des plots de mesure.
- Barreau étalon en invar de 282 ± 1 mm de longueur si le principe de fonctionnement de l'appareil de mesure de déplacement le nécessite.
- Conteneurs en acier inoxydable équipés d'un joint d'étanchéité (figure 8).
- Réacteur métallique muni de résistances chauffantes immergées dans de l'eau, assurant une température à l'intérieur des conteneurs de 60 ± 2 °C (figure 9).
- Plaques non absorbantes et inertes vis-à-vis du béton, avec joint d'étanchéité pour les moules (figure 10).

F.1.3.3 Produits

Solutions NaOH de concentration connue ou pastilles NaOH (qualité pour analyse).



Les matériaux soumis à l'essai sont identiques à ceux qui seront utilisés sur chantier sauf en ce qui concerne l'eau de gâchage (utilisation de l'eau du réseau selon la norme SN EN 1008), si nécessaire, on utilisera la plus grande dimension des granulats.

Compte tenu de la taille des éprouvettes, la plus grande dimension des granulats est limitée à $D = 22,4$ mm. Le rapport gravillon/sable de la formulation initiale est conservé.

Dans le cas d'un béton dont le diamètre des gravillons est supérieur à 22,4 mm, l'essai peut s'appliquer, sous réserve d'un accord entre les parties, à condition de concasser de façon ménagée la fraction supérieure à 22,4 mm, en minimisant la production d'éléments fins < 4 mm, qui seront éliminés (les masses seront enregistrées).

Pour le ciment, une attention particulière doit être portée à la représentativité et à la variabilité des lots notamment en ce qui concerne leur teneur en oxydes alcalins : la teneur en oxydes alcalins sera augmentée par l'ajout de soude NaOH à l'eau de gâchage pour tenir compte de cette variabilité.

Le calcul de la quantité δ d'alcalins Na_2O à ajouter est fait de la manière suivante :

- a) lorsque des données statistiques des teneurs en alcalins actifs du ciment sont disponibles :

$$\delta = \frac{C}{100} [A_m(1 + 2V_c) - A_{ech}] \quad [\text{kg/m}^3]$$

C dosage en ciment dans le béton en kg/m^3

A_m teneur en alcalins actifs du ciment en % masse $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$

V_c Coefficient de variation de la teneur en $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$ du ciment

A_{ech} teneur en $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$ actif de l'échantillon de ciment utilisé pour la confection des éprouvettes en % masse (avec $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$)

Si δ est négatif, aucun alcalin n'est ajouté.

- b) en l'absence de données sur la dispersion des teneurs en alcalins, la quantité $\delta \text{Na}_2\text{O}$ à ajouter sous forme de soude NaOH au béton des éprouvettes est égale à :

$$\delta = 0,0025 \cdot C \cdot A_{ech} \quad [\text{kg/m}^3]$$

Exemple : Pour $C = 380 \text{ kg/m}^3$ et $A_{ech} = 1\%$, l'équation donne : $\delta = 0,0025 \cdot 380 \cdot 1\% = 0,95 \text{ kg/m}^3 \text{Na}_2\text{O}$.

Les constituants, leurs dosages et les procédures d'utilisation (ordre et délais d'introduction) doivent être conformes aux conditions du chantier, en particulier pour les adjuvants.

Effectuer le malaxage dans une salle régulée à $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Sa durée minimale est de 3 min (sauf spécifications contraires liées aux adjuvants). Les conditions de malaxage doivent être consignées dans le rapport d'essai (en particulier la vitesse de rotation du système de malaxage en tr/min).

L'ordre d'introduction des matériaux est le suivant :

- environ la moitié du gravillon, des sables et les éventuels correcteurs granulométriques
- le ciment et les éventuelles additions
- le reste du gravillon et du sable
- l'eau de gâchage contenant l'ajout de NaOH (il convient de veiller à la dissolution complète de la soude avant ajout au mélange).

Les éléments d'identification de la formule de béton, les ajouts éventuels de NaOH et d'adjuvants, et ses caractéristiques de béton frais (rapport e/c, affaissement ou étalement, etc.) sont consignés dans le rapport d'essai.

Utiliser les moules pour éprouvettes prismatiques de $70 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times 282 \text{ mm}$, à trois compartiments par moule. Chaque compartiment est préalablement légèrement huilé puis équipé de plots en acier inoxydable (non huilés).



Sauf caractéristique auto-plaçante du béton, la mise en place, qui doit être particulièrement soignée au niveau des plots, est faite sur une table vibrante après remplissage préalable du moule jusqu'à mi-hauteur. Le temps de vibration est chronométré et ajusté suivant la consistance du béton: la vibration est arrêtée dès l'apparition d'une remontée de laitance. Le béton doit alors affleurer le haut du moule. Les conditions de mise en place (auto-placement, mode et durée de vibration) doivent être consignées dans le rapport d'essai.

La surface du béton est de préférence laissée telle quelle: sans arasement ni talochage qui, s'ils s'avéraient indispensables, devraient être réduits au strict minimum afin de ne pas décompacter la partie supérieure des éprouvettes.

Le moule rempli de béton est protégé par une plaque.

F.1.5.3 Conservation

Les prismes sont conservés dans leurs moules pendant 24 ± 2 h à une température de 20 ± 2 °C dans des conditions permettant d'éviter toute perte de masse supérieure à 10 g (par moule de trois éprouvettes).

Si on ne dispose pas d'une enceinte climatique adaptée, on enveloppe les moules munis de leur couvercle dans des linges humides et on place l'ensemble dans des sacs étanches.



F.1.5.4 Démoulage et mesures initiales

Lors du démoulage, chaque éprouvette est immédiatement identifiée, ébavurée et mesurée comme indiqué sous chiffre F.1.5.5: soit $M_0(n)$ et $L_0(n)$, avec n = indice identifiant de l'éprouvette.

Les éprouvettes sont ensuite immergées pendant 30 ± 5 min dans de l'eau à 20 ± 2 °C, puis l'eau de surface est éliminée à l'aide d'une éponge humide.

On procède alors à une nouvelle mesure de masse et de longueur afin de s'assurer de l'exactitude des points « zéro ». Cette opération ne doit pas excéder 5 minutes. Les éprouvettes prennent du poids mais ne changent pas de longueur. Un résultat contraire entraîne une vérification de la chaîne de mesure.

Lorsque tous les prismes ont été démoulés, pesés, mesurés, ils sont introduits dans un conteneur en acier inoxydable (figure 8) contenant 35 ± 5 mm d'eau. Les conteneurs sont ensuite stockés dans un réacteur (figure 9).

F.1.5.5 Procédure des mesures de poids et de déformation longitudinale

A chaque échéance de mesures:

- Sortir, sans les ouvrir, les conteneurs (étanches) dont on souhaite mesurer les prismes; les amener dans la salle de mesure régulée à 20 ± 2 °C; fixer le couvercle à l'aide d'un ruban adhésif toilé large; laisser les conteneurs dans la salle de mesure pendant 24 ± 2 h; vérifier le zéro du comparateur avec le barreau étalon.
- Appliquer la procédure de mesure suivante, qui n'excédera pas 2 minutes par prisme afin de limiter au maximum la dessiccation:
 - 1) sortir un prisme d'un conteneur en prenant soin de refermer aussitôt le couvercle
 - 2) peser le prisme, soit $M_t(n)$ la masse avec n = l'identifiant du prisme et t = l'échéance en semaines de la mesure
 - 3) essuyer avec soin les plots de mesure en inox
 - 4) mesurer le prisme, en le présentant toujours de la même façon. La mesure brute est notée $L_t(n)$ avec n = l'identifiant du prisme et t = l'échéance en semaines. On s'assure de la constance de cette mesure en faisant pivoter légèrement le prisme sur lui-même
 - 5) réintroduire le prisme dans le conteneur en le retournant (haut/bas)
 - 6) refaire les étapes 1 à 5 pour tous les prismes du conteneur.
- Vérifier le zéro du comparateur avec le barreau d'étalon à chaque prisme et avant d'appliquer les étapes 1 à 5 pour le conteneur suivant.
- S'il apparaît un écart de plus de 3 microns sur la longueur du barreau d'étalon, recommencer les mesures des prismes du conteneur concerné.
- Refaire le zéro si besoin.
- A la fin des mesures, vérifier les niveaux d'eau dans le(s) conteneur(s) et dans le(s) réacteur(s), les ajuster si nécessaire, et remettre les conteneurs dans le réacteur régulé à 60 °C.

Remarque: Lorsque les mesures de déformation portent sur un nombre de prismes inférieur au contenu du conteneur, la procédure définie sous chiffre F.1.5.5 peut être appliquée. On cherchera toutefois à limiter ce

cas de figure. En particulier, on évite toute sortie des conteneurs contenant des prismes ayant moins de 4 semaines de conservation en réacteur.

F.1.6 Durée de l'essai et échéances des mesures

F.1.6.1 Durée de l'essai

La durée de l'essai est fonction de la nature des constituants du béton.

F.1.6.2 Echéances des mesures

Les mesures de masse et de déformation longitudinale doivent être effectuées aux échéances suivantes : 4 – 8 – 10 – 12 semaines, puis toutes les quatre semaines. Remarque : voir réglementation suisse.

Par convention : l'échéance à 3 mois correspond à 12 semaines ; l'échéance à 5 mois correspond à 20 semaines ; l'échéance à 12 mois correspond à 52 semaines.

L'évolution mensuelle d'un gonflement au cours d'un mois n est calculée en effectuant la différence entre la l'allongement mesuré à l'échéance de n mois et celui mesuré à l'échéance de $(n-1)$ mois.

Des mesures peuvent être effectuées à des échéances intermédiaires en comptant un minimum de deux semaines entre chaque mesure.



F.1.7 Expression des résultats

Calculer à chaque échéance t et pour chaque prisme n :

- l'allongement moyen $\Delta \varepsilon_t(n)$ des trois prismes en % avec quatre chiffres après la virgule :

$$\Delta \varepsilon_t(n) = \frac{\text{allongement } [\mu\text{m}]}{2500}$$

L'allongement en microns est égal à $L_t(n) - L_0(n)$, $L_t(n)$ et $L_0(n)$ étant exprimées dans cette même unité.

- la variation de masse de chaque prisme en %, avec deux chiffres après la virgule :

$$\Delta M_t(n) = \frac{M_t(n) - M_0(n)}{M_0(n)} \cdot 100$$

On vérifiera que les prismes ne perdent pas de masse par rapport à leur masse initiale mesurée avant le trempage.

Les résultats d'essai doivent être présentés sous forme de tableaux et de graphiques. Remarque : voir réglementation suisse F3.3.

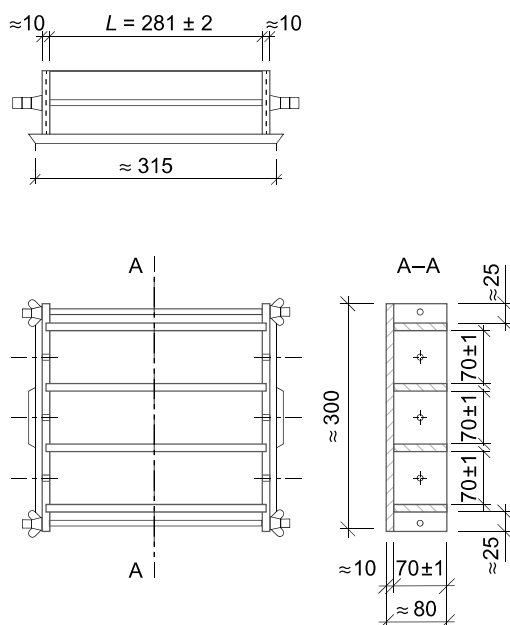
F.1.8 Fiabilité de l'essai

Résultats de la campagne d'essais inter-laboratoires AFREM 1993 :

- Pour deux formules de béton fabriquées et mesurées dans six laboratoires différents, les écarts-types inter-laboratoires (de reproductibilité fabrication- mesures) ont été calculés à 0,0061 et 0,0054% pour une valeur moyenne de l'allongement de 0,02% (seuil).
- Pour les deux mêmes formules de béton fabriquées dans un laboratoire, avec répartition des prismes dans dix laboratoires réalisant chacun l'essai, les écarts-types inter-laboratoires (reproductibilité uniquement pour l'aspect mesure) ont été calculés de 0,0046 et 0,0038%, pour la même valeur moyenne de l'allongement de 0,02% (seuil).

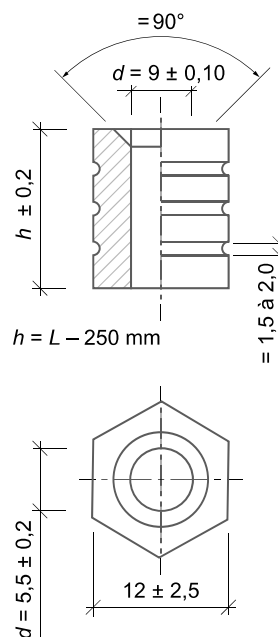


Figure 6: Moule pour éprouvettes
70 x 70 x 281 mm
(dimensions en millimètres)



L = longueur des prismes
 h = longueur des plots de mesure

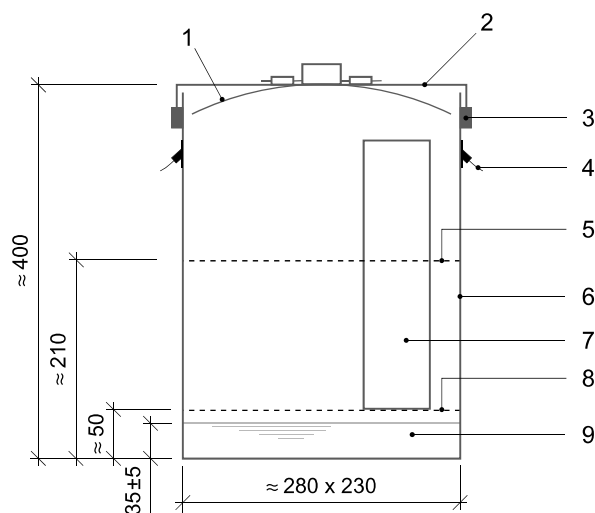
Figure 7: Exemple de plot de mesure en
acier inox
(dimensions en millimètres)



L = 281 ± 2 mm
 h = L - 250 mm, tolérance ± 0,2 mm

Remarque: voir réglementation suisse, chiffre F.3.

Figure 8: Conteneur en inox pour six prismes (dimensions en millimètres)



- 1 Forme qui évite les retombés de condensation
- 2 Couvercle
- 3 Joint d'étanchéité
- 4 Poignée articulée
- 5 Grille inox, maille de 80 mm environ, pour positionner les prismes
- 6 Conteneur en tôle inox de 1,5 mm
- 7 Prisme 70 x 70 x 281 mm
- 8 Grille inox, maille de 10 mm environ
- 9 Eau

Figure 9: Réacteur en acier inox pour 9 conteneurs (dimensions en millimètres)

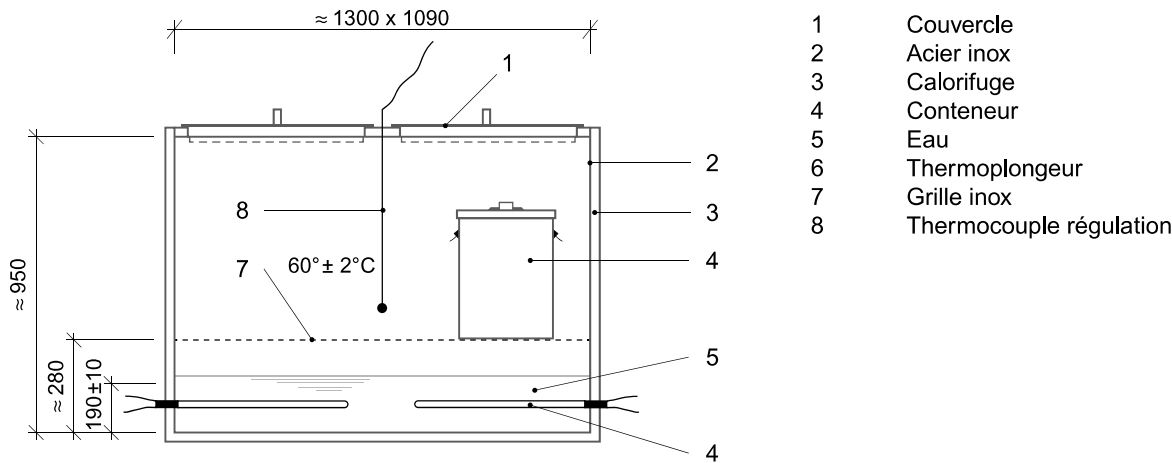
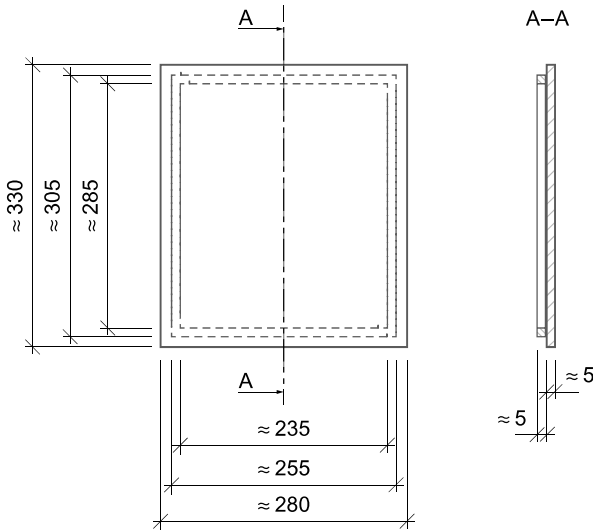


Figure 10: Exemple de plaque avec joint d'étanchéité (dimensions en millimètres)



F.2 Détermination des alcalins actifs des ciments selon AFNOR P18-454:2004 (Annexe A)

F.2.1 Méthode conventionnelle

Dans un premier temps, il est nécessaire de mesurer la teneur en alcalins totaux de chacun des constituants, par photométrie de flamme (voir SN EN 196-2) ou toute autre méthode équivalente. Le résultat est exprimé en pourcentage massique d'oxydes K_2O et Na_2O . On désigne par a le pourcentage de « Na_2O équivalent total ».

$$a = \% Na_2O + 0,658\% K_2O$$

Dans l'état actuel des connaissances, on admettra que la proportion de « Na_2O équivalent actif » ou plus simplement d'« alcalins actifs » A est égale à :

– Pour le clinker (K)	$A_K = 1,00 a_K$	
– Pour le gypse (G)	$A_G = 1,00 a_G$	
– Pour le laitier (S)	$A_S = 0,50 a_S$	
– Pour la fumée de silice (D)	$A_D = 0,17 a_D$	(en l'absence de données disponibles)
– Pour les pouzzolanes naturelles (P)	$A_P = 0,17 a_P$	
– Pour les pouzzolanes naturelles calcinées (Q)	$A_Q = 0,17 a_Q$	
– Pour les cendres volantes siliceuses (V)	$A_V = 0,17 a_V$	
– Pour les cendres volantes calciques (W)	$A_W = 1,00 a_W$	(en l'absence de données disponibles)
– Pour les schistes calcinés (T)	$A_T = 1,00 a_T$	(en l'absence de données disponibles)
– Pour les calcaires de type (L)	$A_L = 0,50 a_L$	
– Pour les calcaires de type (LL)	$A_{LL} = 0,50 a_{LL}$	

Les pourcentages en masse (hors gypse) des constituants de chaque ciment doivent être connus. Ils sont désignés par K pour le clinker, S pour le laitier, P pour la pouzzolane, etc.

Ces teneurs étant liées par la relation suivante :

$$K + (S + D + P + Q + V + W + T + L + LL) = 1$$

On peut alors calculer la teneur en alcalins actifs A du ciment par la formule suivante, en connaissant en outre la proportion de gypse :

$$A = (1-G)(K \cdot A_K + D \cdot A_D + S \cdot A_S + P \cdot A_P + Q \cdot A_Q + V \cdot A_V + W \cdot A_W + T \cdot A_T + L \cdot A_L + LL \cdot A_{LL}) + G \cdot A_G$$

F.2.2 Méthode analytique

Dans le cas où l'on ne dispose pas des informations nécessaires à l'application de la méthode précédente, ou pour des besoins de contrôle, il est recommandé d'appliquer la méthode suivante pour déterminer la teneur en alcalins actifs des ciments de type CEM II ou CEM V :

- effectuer, selon le mode opératoire disponible auprès du LCPC (méthode LCPC no 48), une attaque du ciment par un acide dilué (HNO_3 1:50) pour déterminer la quantité d'alcalins solubles du ciment a_s et la teneur en résidu insoluble r (partie pouzzolanique);
- déterminer, selon la norme SN EN 196-2 ou toute autre méthode donnant des résultats équivalents, la quantité d'alcalins totaux a_t contenue dans le ciment. La teneur en alcalins actifs du ciment est alors donnée par la formule :

$$A = 0,17 (a_t - a_s) + \left(\frac{(100-J) + 0,5(J-r)}{100-r} \right) \cdot a_s$$

avec :

a_t et a_s en Na_2O_{Eq} % masse du ciment

r en %

J est la somme des teneurs (en % masse) en constituants autres que le clinker

Remarques : Dans le cas où r est inférieur à 2 % masse, on considérera que les teneurs en alcalins solubles et en alcalins totaux sont égales, et on ne conservera de la formule ci-dessus que le second terme. De

même, dans l'éventualité où la valeur trouvée pour a_t serait inférieure à celle obtenue pour a_s , le premier terme de l'addition sera considéré comme nul, et on ne conservera que le second.

Dans le cas des ciments de type CEM I, il est inutile d'appliquer la formule proposée ci-dessus, la teneur an alcalins actifs étant égale à la teneur an alcalins totaux.

F.3 Réglementation suisse relative à la réalisation et l'évaluation de l'essai de Performance du béton

F.3.1 Définitions

Teneur en alcalins actifs Il est admis que seuls les alcalins solubles à plus ou moins long terme participent à la réaction alcalis-granulats, c'est-à-dire seulement une partie de la teneur totale en alcalins, mais une proportion nettement supérieure que celle des alcalins solubles à l'eau.

Il est défini par convention que la teneur en alcalins actifs correspond à celle analysée par la méthode LCPC n° 48. Celle-ci se base sur la teneur en alcalins totaux, la teneur en résidu insoluble et la teneur en alcalins solubles dans une solution d'acide nitrique 1:50.

Teneur en alcalins totaux Teneur en alcalins totaux, obtenue par dissolution à l'acide et analysée selon SN EN 196-2.

F.3.2 Appareillage

Les moules de dimension 281 mm avec une tolérance de ± 2 mm sont admis pour l'essai. La longueur des implants doit être adaptée à la longueur des prismes pour respecter les exigences concernant la longueur effective de mesure de $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

Les malaxeurs à axes non verticaux sont admis.

F.3.3 Détermination de la teneur en alcalins actifs

Pour les types de ciment CEM I, CEM II/A-LL et CEM II/B-LL la teneur en alcalins actifs correspond à la teneur en alcalins totaux. La teneur en alcalins actifs est déterminée pour ces ciments par une mise en solution à l'acide et une analyse au spectromètre de flamme selon SN EN 196-2 (méthode de référence). D'autres méthodes analytiques (p.ex. ICP) sont admises, mais les analyses doivent être réalisées sur des mises en solution à l'acide selon SN EN 196-2.

La teneur en alcalins actifs des autres types de ciment est déterminée selon chiffre F.2.1 ou F.2.2.

F.3.4 Evaluation statistique de la teneur en alcalins actifs

Les teneurs en alcalins actifs pour une évaluation statistique peuvent être obtenues par le mandant ou le laboratoire d'essai auprès du fabricant de ciment.

L'évaluation statistique de la teneur en alcalins actifs selon chiffre F.1.4 se base sur au moins 6 valeurs d'échantillons prélevés aux points de délivrance du ciment et distribuées sur les 12 mois précédents. L'intervalle d'échantillonnage doit être de 2 mois environ.

Le coefficient de variation V_c est calculé comme suit: écart-type/moyenne.

F.3.5 Dispositions concernant l'ajout d'alcalins

Si l'on dispose des données justifiées statistiquement de la teneur en alcalins actifs selon chiffre F.3.4, l'ajout d'alcalins suit la procédure a selon chiffre F.1.4 (ajout statistique).

Si l'on ne dispose pas ou pas assez de données, l'ajout suit la procédure b) selon chiffre F.1.4 (ajout fixe).

La quantité des alcalins ajoutée ainsi que la teneur en alcalins actifs du ciment employé doivent être indiquées dans le rapport d'essai.

Les alcalins sont ajoutés sous forme de NaOH, c'est-à-dire $1,29 \cdot \delta \text{ Na}_2\text{O kg/m}^3$.



F.3.6 **Prise en compte des alcalins actifs des additions**

Les dispositions concernant le ciment doivent être appliquées de manière analogue aux additions du type II selon SN EN 206-1. L'analyse des alcalins se fait selon SN EN 196-2 et pour en déduire les alcalins actifs utiliser les facteurs indiqués sous chiffre F.2.1. Les ajouts d'alcalins sont calculés pour chaque addition séparément.

Pour des nouveaux types de ciment il est possible de calculer les ajouts d'alcalins en fonction de la proportion des additions.

F.3.7 **Préparation du granulat**

Normalement le groupe granulaire 16–32 mm est tamisé afin d'éliminer les grains > 22,4 mm ; si pour ce même effet le granulat > 22,4 mm est concassé, il faut l'indiquer dans le rapport d'essai.

Sécher le granulat à 80 °C, laisser refroidir et conserver à l'air (climat normal de laboratoire).

F.3.8 **Exigences relatives à la préparation de l'essai**

Le malaxage du béton et la fabrication des éprouvettes peuvent se faire dans une salle avec des conditions climatiques normales.

L'ordre d'introduction des matériaux suit les indications sous chiffre F.1.5.1, en l'absence de données précises du chantier.

Des éventuels adjuvants sont ajoutés après l'eau de gâchage.

Les mesures des caractéristiques du béton frais sont facultatives.

Les opérations doivent être effectuées rapidement pour éviter une perte d'eau par évaporation. Le moule rempli de béton est protégé de suite par une plaque ou une feuille en plastique.

Les prismes sont conservés dans leurs moules pendant 24 ± 2 h à une température de 20 ± 2 °C et une HR supérieure à 90%. La conservation dans des linges humides n'est pas autorisée. La vérification de la perte de masse n'est plus nécessaire.

F.3.9 **Exigences relatives aux conditions climatiques lors des mesures de l'allongement**

La conservation des prismes dans les conteneurs fermés pour le refroidissement ainsi que les mesures des éprouvettes doivent se faire dans une salle climatisée avec une température ambiante de 20 ± 2 °C et une humidité relative de d'au moins 70%.

F.3.10 **Variations de masse des éprouvettes**

Les variations de masses des éprouvettes d'une mesure à l'autre ne doivent pas dépasser 1% masse.

F.3.11 **Echéances de mesures**

0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 40, 48 semaines, resp. 0, 28, 56, 84, 112, 140, 168, 224, 280, 336 jours

Des mesures entre ces échéances ne sont pas admises.

Lorsque les mesures de déformation portent sur un nombre de prismes inférieur au contenu du conteneur, il n'est pas autorisé d'appliquer la procédure sous chiffre F.1.5.5. Elle sera remplacée par la procédure suivante: la série de prismes qui n'est pas mesurée est transférée rapidement dans un conteneur préchauffé à 60 °C, remis dans le réacteur à 60 °C de suite. Ce cas de figure doit être limité au maximum.



F.3.12 Evaluation des résultats

Les résultats sont fournis sous forme d'un tableau avec les mesures de l'allongement à chaque échéance. Les valeurs de l'allongement sont indiquées en ‰ ou en mm/m à trois chiffres après la virgule et les variations de masse en % avec deux chiffres après la virgule. Les résultats sont également présentés sous forme graphique avec une courbe des allongements et des variations de masse en fonction du temps et montrant la valeur limite.

Calcul des allongements pour chaque échéance de mesure t et chaque prisme n :

- L'allongement moyen relatif des 3 prismes $\Delta\varepsilon_t(n)$ en ‰ (ou en mm/m) avec 3 chiffres après la virgule :

$$\Delta\varepsilon_t(n) = \frac{\text{allongement } [\mu\text{m}]}{\text{longueur effective } [\mu\text{m}]}$$

avec:

Longueur effective: Distance entre les plots de mesure (précision 100 microns). Ceci correspond à la longueur de l'éprouvette dont est déduite deux fois la profondeur de pose des implants de mesure. La longueur effective doit être $250,0 \pm 5,0$ mm.

L'allongement en microns est égal à $L_t(n) - L_0(n)$, où $L_t(n)$ et $L_0(n)$ sont exprimé dans cette même unité.

- Les variations de masse de chaque éprouvette en % avec deux chiffres après la virgule:

$$\Delta M_t(n) = \frac{M_t(n) - M_0(n)}{M_0(n)} \cdot 100$$

Les variations de masse moyennes des trois éprouvettes sont à indiquer en % avec deux chiffres après la virgule. Il faut veiller à ce que les éprouvettes ne perdent pas de masse par rapport à leur masse initiale mesurée avant le trempage.



F.3.13 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

- Référence au cahier technique SIA 2042
- Mandant
- Date de l'essai
- Nom de la centrale à béton ou de l'installation de chantier
- Le code de formulation du béton (ce code est celui représentant les constituants du béton, à ne pas confondre avec un code de vente ou de produit)
- Teneur en alcalins actifs du ciment en % masse $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$
- Teneur en alcalins actifs des additions en % masse $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$
- Ajout d'alcalins pour le ciment et les additions en $\text{kg Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}/\text{m}^3$ (avec indication si ajout statistique ou fixe)
- Teneur en alcalins de la recette de béton testée en $\text{kg Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}/\text{m}^3$, calculée sur la base uniquement des teneurs en alcalins du ciment, des additions et de l'ajout
- Facultatif: Propriétés du béton frais: consistance, densité, teneur en air occlu
- Présentation tabulaire et graphique selon chiffre F.3.11
- Evaluation des résultats selon le cahier technique SIA 2042.

En cas d'un examen par le prescripteur, respectivement un spécialiste du maître d'ouvrage, des possibilités de transposer les résultats à une autre recette de béton, la recette du béton avec la teneur et la provenance de tous les composants du béton est à indiquer:

- Granulat: provenance, granularité, le cas échéant proportion de granulat concassé (voir tab. 2), proportion de granulat recyclé
- Type, provenance et teneur en ciment, additions et adjuvants
- Teneur en eau.

F.3.14 Durée de validité des rapports d'essai

Les rapports d'essai qui remplissent les exigences du cahier technique sont valables pendant 5 ans.

La validité des rapports d'essai qui ne remplissent pas les exigences du cahier technique (mais celle de l'AFNOR P 18-454), doit être vérifiée par un spécialiste autre que celui qui a signé le rapport d'essai en question.

Lors de cette vérification, l'effet de l'absence ou de l'insuffisance de l'ajout d'alcalins pour les additions sur les allongements doit être considéré en particulier, en évaluant, si la formule de béton respecterait aussi la valeur limite en tenant compte des ajouts d'alcalins pour les additions.

F.3.15 Exigence relative au laboratoire d'essai

L'essai n'est valable que s'il est réalisé par un laboratoire accrédité à cet effet.

Abréviations des organisations représentées dans le groupe de travail RAG

OFROU Office fédéral des routes

Groupe de travail RAG

Bernard Houriet, dr ing. dipl. EPF, Tramelan (présidence)	Bureau d'études
Jean-Gabriel Hammerschlag, dr dipl. géol., Lausanne	Industrie
Christine Merz, dr dipl. géol., Würenlingen	Industrie
Daniel Lüthy, ing. dipl. EPF, Ittigen	OFROU
Cédric Thalmann, dr dipl. géol. EPF, Gümliigen	Bureau d'études

Commission SIA 262

Président	Hans Rudolf Ganz, dr ing. dipl. EPF, Bödingen	Ingénieur-conseil
Membres	Manuel Alvarez, dr ing. dipl. EPF, Ittigen	OFROU
	Daniel Buschor, ing. dipl. EPF, Berthoud	Bureau d'études
	Aldo Chitvanni, ing. dipl. EPF, Coire	Bureau d'études
	Christoph Czaderski, dr ing. dipl. EPF, Dübendorf	Empa
	Blaise Fleury, ing. dipl. EPF, Eclépens	Industrie
	Ernst Honegger, ing. dipl. EPF, Berne	Industrie
	Bernard Houriet, dr ing. dipl. EPF, Tramelan	Bureau d'études
	Fritz Hunkeler, dr ing. dipl. EPF, Wildegg	Laboratoire des matériaux
	Albin Kenel, prof. dr ing. dipl. EPF, Rapperswil	Haute école spécialisée
	Rudolf Lagger, ing. dipl. EPF, Thoune	Entreprise
	Peter Lunk, dr ing. dipl., Würenlingen	Industrie
	Konrad Moser, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études
	Aurelio Muttoni, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne	EPFL
	Erdjan Opan, ing. dipl. EPF, Neuchâtel	Bureau d'études/direction de travaux
	Luc Tausch, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études
Procès-verbal	Daniel Heinzmann, dr ing. dipl. EPF, Visperterminen	Haute école spécialisée

Adoption et validité

La Commission centrale des normes de la SIA a adopté le présent cahier technique SIA 2042 le 23 novembre 2011.

Il est valable à partir du 1^{er} octobre 2012.

Copyright © 2012 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie, intégrale ou partielle (photocopie, microcopie, CD-ROM, etc.), d'enregistrement sur ordinateur et de traduction sont réservés.

Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton

Correctif C1 au cahier technique SIA 2042:2012

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs et
des architectes

società svizzera
degli ingegneri e
degli architetti

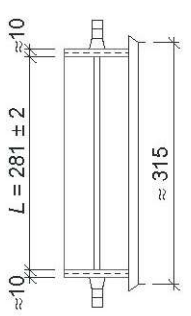
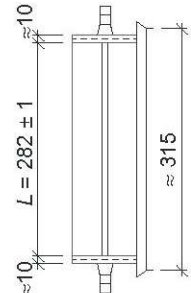
swiss society
of engineers and
architects

selnaustrasse 16
postfach
ch-8027 zürich
www.sia.ch

Correctif C1 au cahier technique SIA 2042:2012

Page	Chiffre/ Figure	Jusqu'à présent (Les fautes sont marquées en caractères gras et barrés)	Corrections (Les corrections sont marquées en caractères gras et obliques)																																										
13	3.3.3	Critère 2 :	- Critère 2: En cas d'expansion différée pendant les premiers mois: à l'échéance de 5 mois de durée d'essai la déformation longitudinale moyenne des 3 éprouvettes est inférieure à 0,100‰ (0,100 mm/m) et aucune valeur individuelle ne dépasse 0,150‰ (0,150 mm/m), indépendamment de l'évolution mensuelle de la déformation longitudinale moyenne des éprouvettes. Figure 1b: Evolutions possibles de l'expansion différée, en comparaison avec l'expansion continue <table><caption>Données estimées de la Figure 1b</caption><tr><th>Temps [mois]</th><th>expansion continue/2</th><th>expansion continue/1</th><th>expansion différée/3</th><th>expansion différée/2</th><th>expansion différée/1</th></tr><tr><td>0</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1</td><td>0.05</td><td>0.04</td><td>0.02</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2</td><td>0.10</td><td>0.08</td><td>0.04</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>3</td><td>0.15</td><td>0.12</td><td>0.06</td><td>0.03</td><td>0.00</td></tr><tr><td>4</td><td>0.20</td><td>0.16</td><td>0.08</td><td>0.04</td><td>0.00</td></tr><tr><td>5</td><td>0.25</td><td>0.20</td><td>0.10</td><td>0.05</td><td>0.00</td></tr></table>	Temps [mois]	expansion continue/2	expansion continue/1	expansion différée/3	expansion différée/2	expansion différée/1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	0.05	0.04	0.02	0.01	0.00	2	0.10	0.08	0.04	0.02	0.00	3	0.15	0.12	0.06	0.03	0.00	4	0.20	0.16	0.08	0.04	0.00	5	0.25	0.20	0.10	0.05	0.00
Temps [mois]	expansion continue/2	expansion continue/1	expansion différée/3	expansion différée/2	expansion différée/1																																								
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																																								
1	0.05	0.04	0.02	0.01	0.00																																								
2	0.10	0.08	0.04	0.02	0.00																																								
3	0.15	0.12	0.06	0.03	0.00																																								
4	0.20	0.16	0.08	0.04	0.00																																								
5	0.25	0.20	0.10	0.05	0.00																																								
17	Note relative à l'utilisation de l'annexe A	Les classes de risque R1, R2 et R3 sont déterminées sur l'ouvrage global ou sur ses éléments séparément à l'aide de l'annexe A selon les principes suivants: ----	Les classes de risque R1, R2 et R3 sont déterminées pour l'ouvrage global selon tableau 3 ou pour ses éléments séparément selon tableau 4 de cette annexe selon les principes suivants: -----																																										

Page	Chiffre/ Figure	Jusqu'à présent (Les fautes sont marquées en caractères gras et barrées)	Corrections (Les corrections sont marquées en caractères gras et obliques)																		
17	Note relative à l'utilisation de l'annexe C		----- Dans l'annexe C, l'abréviation GC est utilisée pour désigner « génie civil ».																		
20	Tableau 5 Titre de la 3 ^e col.	Béton-selon-NKP	Béton ¹⁾ ----- ¹⁾ Béton selon la norme SN EN 206-1/NE:2013. Remarque: Au tableau 5 (annexe B) les données manquantes relatives aux sortes de béton sont à compléter selon le tableau ci-dessous. Le tableau 5 complet avec toutes les corrections est joint au correctif sous forme d'annexe. <table><tr><th>Environnement</th><th>Classe d'exposition</th><th>Sorte de béton</th></tr><tr><td>U1</td><td>XC1</td><td>A</td></tr><tr><td>U2</td><td>XC1, XC2, XC3</td><td>A ou B</td></tr><tr><td>U3</td><td>XF3</td><td>D (T1)</td></tr><tr><td>U3</td><td>XD2a</td><td>D (T1)</td></tr><tr><td>U3</td><td>XD2b</td><td>F (T3)</td></tr></table>	Environnement	Classe d'exposition	Sorte de béton	U1	XC1	A	U2	XC1, XC2, XC3	A ou B	U3	XF3	D (T1)	U3	XD2a	D (T1)	U3	XD2b	F (T3)
Environnement	Classe d'exposition	Sorte de béton																			
U1	XC1	A																			
U2	XC1, XC2, XC3	A ou B																			
U3	XF3	D (T1)																			
U3	XD2a	D (T1)																			
U3	XD2b	F (T3)																			
35	F.1.4	----- Compte tenu de la taille des éprouvettes, la plus grande dimension des granulats est limitée à D = 22,4 mm. Le rapport gravillon/sable de la formulation initiale est conservé. -----	----- Compte tenu de la taille des éprouvettes, la plus grande dimension des granulats est limitée à D = 22,4 mm. Le rapport des masses gravillon/sable de la formulation initiale est conservé. -----																		
35	F.1.5.1		Complément suisse après le 1^{er} paragraphe: L'absorption d'eau des granulats doit être prise en compte pour la détermination de la quantité d'eau de gâchage dans la formule de béton, lorsqu'elle est prise en compte dans la formule de béton testé. La teneur en eau totale et la quantité d'eau déduite en raison de l'absorption d'eau des granulats sont à consigner dans le rapport d'essai (voir chiffre F.3.13).																		

Page	Chiffre/ Figure	Jusqu'à présent (Les fautes sont marquées en caractères gras et barrées)	Corrections (Les corrections sont marquées en caractères gras et obliques)
36	F.1.5.4		Note suisse: a) <i>Immédiatement après le démoulage: Mesure zéro.</i> b) <i>Après conservation dans le bain d'eau (35 ± 5 min) : Mesure de répétition pour confirmer la mesure zéro</i> c) <i>Normalement les résultats des mesures a) et b) sont identiques, à l'incertitude de lecture près. Dans ce cas, les valeurs de la mesure zéro selon a) sont utilisées pour la mesure initiale.</i> d) <i>En cas de différences, les valeurs de la mesure zéro selon a) sont utilisées, sauf si des mesures de répétition montrent que les valeurs de la mesure zéro sont erronées.</i>
37	F.1.6.2	Echéances des mesures Les mesures de masse et de déformation longitudinale doivent être effectuées aux échéances suivantes: 4—8—10—12 semaines, puis toutes les quatre semaines. Remarque: voir réglementation suisse. Par convention: l'échéance à 3 mois correspond à 12 semaines; l'échéance à 5 mois correspond à 20 semaines; l'échéance à 12 mois correspond à 52 semaines. ----	Echéances des mesures Les règlements suisses selon chiffre F.3.11 s'appliquent pour la mesure des changements de masse et de longueur. ----
38	Figure 6	Figure 6 : Moule pour éprouvettes 70 x 70 x 281 mm (dimensions en millimètres) Figure 6: Moule pour éprouvettes 70 x 70 x 281 mm (dimensions en millimètres) 	Figure 6 : Moule pour éprouvettes 70 x 70 x 282 mm (dimensions en millimètres) Nouvelles dimensions: L = 282 ± 1 mm Figure 6: Moule pour éprouvettes 70 x 70 x 282 mm (dimensions en millimètres) 

Page	Chiffre/ Figure	Jusqu'à présent (Les fautes sont marquées en caractères gras et barrées)	Corrections (Les corrections sont marquées en caractères gras et obliques)
42	F.3.6	Prise en compte des alcalins actifs des additions Les dispositions concernant le ciment doivent être appliquées de manière analogue aux additions du type II selon SN EN 206-1. ----	Prise en compte des alcalins actifs des additions Les conditions applicables au ciment s'appliquent de manière analogue aussi pour les additions de type I et type II selon SN EN 206-1. Pour l'addition de type I, on peut renoncer à la détermination de la teneur en alcalins s'il est certain que celle-ci est négligeable. -----
42	F.3.11	Echéances de mesures 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 32, 40, 48 semaines, resp. 0, 28, 56, 84, 112, 140, 168, 224, 280, 336 jours ----	Echéances de mesures Les mesures des changements de masse et de longueur sont à réaliser aux échéances suivantes: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 et 12 mois. Note: 1 mois correspond à 4 semaines (= 28 jours), 12 mois correspondent à 48 semaines et 48 semaines correspondent à 1 année. -----
43	F.3.13	----- En cas d'un examen par le prescripteur, respectivement un spécialiste du maître d'ouvrage, des possibilités de transposer les résultats à une autre recette de béton, la recette du béton avec la teneur et la provenance de tous les composants du béton est à indiquer: – Granulat: provenance, granularité, le cas échéant proportion de granulat concassé (voir tab. 2), proportion de granulat recyclé – Type, provenance et teneur en ciment, additions et adjuvants – Teneur en eau	En cas d'un examen par le prescripteur, respectivement un spécialiste du maître d'ouvrage, des possibilités de transposer les résultats à une autre recette de béton, la recette du béton avec la teneur et la provenance de tous les composants du béton est à indiquer: – Granulat: provenance, granularité, le cas échéant proportion de granulat concassé (voir tab. 2), proportion de granulat recyclé – Type, provenance et teneur en ciment, additions et adjuvants – Teneur en eau totale et absorption d'eau des granulats en %-masse et en litres par m³ de béton gâché.

ANNEXE B (normative)

DÉTERMINATION DES CLASSES D'ENVIRONNEMENT U1, U2, U3

Tableau 5: Détermination des classes d'environnement U1, U2, U3

Type d'ouvrage:				Elément d'ouvrage:	Annexe à la base du projet, BPB N°:
Classe d'environnement	Classe d'exposition	Sorte de béton ¹⁾	Description	Exposition du béton	Exemples
U1	XC1	A	environnement sec, faible saturation en eau	béton à l'intér. des b ^{ât} iments (faible humid. rel. de l'air)	dalles, piliers, murs du b ^{ât} iment
	XC3, XF1 ou XC4, XF1	C	humidité modérée et saturation modérée en eau sans agents de déverglaçage.	Béton à l'abri des intempéries ou exposé aux intempéries et à l'extérieur, faible agression par le gel	façades
U2	XC1 ou XC2 ou XC3	A ou B	environnement humide de manière perman. ou quasi-permanente. Forte saturation en eau possible, sans apport significatif d'alcalins externes (p.ex. eau souter.)	béton protégé à l'intérieur des b ^{ât} iments avec une forte humidité d'air béton de masse à l'intérieur	piscines couvertes, caves, sous-sols
U2	XC4, XD1, XF2 ou XC4, XD1, XF4	D (T1) ou E (T2)	alternance d'humidité et de séchage, humidité modérée avec chlorures ou saturation modérée en eau avec agents de déverglaçage; sans imbibition et sans apport significatif d'alcalins externes (p.ex. sels de déverglaçage)	béton à l'extérieur, exposé aux intempéries (brouillard salin, faible à forte sollicitation par le gel ou le gel avec sels	piles, banquettes sur pieux, radiers, dalles de transition, culées, murs de soutènement, dalles de roulement avec étanchéité
U3	XC1 ou XC2	C, H, I, K ou L	environnement humide de manière perman. ou quasi-permanente, forte saturation en eau possible, sans apport significatif d'alcalins externes (p.ex. eau souter.)	béton des fondations	fondations du b ^{ât} iment et du génie civil, pieux
U3	XC4, XD3, XF2 ou XC4, XD3, XF4	G (T4) ou F (T3)	alternance d'humidité et deséchage avec chlorures, forte saturation en eau avec agents de déverglaçage, apport significatif d'alcalins externes (p. ex. sels de déverglaçage, eaux souterraines) ou températures élevées	béton à l'extérieur, exposé aux intempéries (brouillard et éclaboussures salins, forte sollicitation par le gel avec sels); éléments structuraux dans des sols ou des eaux souterraines fortement chargées en alcalins (évt. agressifs pour le béton)	murs de soutènement, parapets et bordures, piles; revêtements routiers en béton, dalles de roulement non protégées par une étanchéité; parements et portails des tunnels et des tranchées couvertes
	XF3	D (T1)	cycles de gel, forte saturation en eau sans agents de déverglaçage	piles dans l'eau, surfaces horizontales de béton; p. ex. couronnements de mur, revêtements en béton non exposés aux sels de déverglaçage	
	XD2a	D (T1)	humide, rarement sec avec chlorures ≤ 0,5 g/l (eau douce), forte saturation en eau, apport significatif d'alcalins externes (eau)	récipients, bassins de rétention pour des eaux fortement chargées en alcalins	
	XD2b	F (T3)	humide, rarement sec avec chlorures > 0,5 g/l (eau salée), forte saturation en eau, apport significatif d'alcalins externes (eau)		
Classe d'environnement:					

¹⁾ Sorte de béton selon norme SN EN 206-1/NE:2013.

Remarque: Des facteurs supplémentaires, qui peuvent amplifier la RAG, sont: une classe d'exposition XA (selon la norme SN EN 206-1, attaques chimiques), une orientation sud des surfaces d'éléments d'ouvrage, des variations de température quotidiennes et de grande amplitude, un nombre au-dessus de la moyenne de cycles de gel-dégel annuels, etc.

Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton

Correctif C2 au cahier technique SIA 2042:2012

schweizerischer
ingenieur- und
architektenverein

société suisse
des ingénieurs et
des architectes

società svizzera
degli ingegneri e
degli architetti

swiss society
of engineers and
architects

selnaustrasse 16
postfach
ch-8027 zürich
www.sia.ch

Correctif C2 au cahier technique SIA 2042:2012 fr

Page	Chiffre/ Figure	Jusqu'à présent (Les fautes sont marquées en caractères gras et barrées)	Corrections (Les corrections sont marquées en caractères gras et obliques)
9	2.1.6	L'utilisation de l'eau récupérée selon la norme SN EN 1008 n'est pas admise pour la fabrication d'un béton de la classe de prévention P2 ou P3.	Un producteur de béton peut utiliser de l'eau recyclée selon SN EN 1008 pour la production de bétons résistants à la RAG pour les classes P2 et P3 lorsqu'il peut établir que cela n'est pas préjudiciable. La preuve de l'innocuité peut être établie comme suit : 1 Pour des utilisations dans le bâtiment le béton de sorte C, pour des utilisations dans le génie civil la sorte F et pour des pieux et parois moulés la sorte P2 doit être contrôlée avec un essai de performance sur béton selon chiffre 3.3.2. 2 La composition des bétons à tester (bétons d'essai) doit être identique au béton produit habituellement. 3 Pour la production des bétons d'essai, de l'eau recyclée avec une densité entre 1,07 et 1,08 (teneur en matières solides d'env. 0,13 à 0,15 kg/l) selon annexe A de SN EN 1008 doit être utilisée. La matière solide contenue ne doit pas dépasser 1 % en masse des granulats et doit être prise en compte lors de la formulation des bétons. L'eau recyclée doit être homo-généisée avant le gâchage. La teneur en adjuvant fluidifiant / super-plastifiant est à augmenter si nécessaire. 4 L'eau recyclée utilisée pour la production du béton doit être analysée chimiquement. Les teneurs solubles de Na, K, Cl, SO42- ainsi que les teneurs soluble et totale de CO2 organique sont à déterminer. La valeur pH et la conductivité électrique sont également à déterminer. 5 L'utilisation de l'eau recyclée peut être considérée comme non préjudiciable si le mélange d'essai remplit un des critères selon chiffre 3.3.3. 6 La preuve d'aptitude pour le béton avec eau recyclée vaut également pour le béton identique sans eau recyclée. 7 Les chiffres 3.3.6 et 3.3.7 s'appliquent concernant la durée de validité et la transmissibilité des résultats.