

Remplace SIA 262/1:2013 et SIA 2042:2012, annexe F

Betonbau – Ergänzende Festlegungen

Costruzioni di calcestruzzo – Disposizioni complementari

Concrete Structures – Supplementary specifications

# Construction en béton – Spécifications complémentaires

262/1

Numéro de référence  
SN 505262/1: 2019 fr

Valable dès le: 2019-03-01

Éditeur  
Société suisse des ingénieurs  
et des architectes  
Case postale, CH-8027 Zurich

Même si dans la présente publication les personnes et les fonctions sont indiquées au masculin, elles concernent également le féminin.

Les rectificatifs éventuels concernant la présente publication sont disponibles sous [www.sia.ch/rectificatif](http://www.sia.ch/rectificatif).

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

---

2019-04 1<sup>er</sup> tirage

# TABLE DES MATIÈRES

|                                                                                                               | Page |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Avant-propos</b> .....                                                                                     | 4    |
| <b>0 Champ d'application</b> .....                                                                            | 5    |
| 0.1 Délimitation .....                                                                                        | 5    |
| 0.2 Références normatives .....                                                                               | 5    |
| 0.3 Dérogations .....                                                                                         | 7    |
| <b>1 Terminologie</b> .....                                                                                   | 8    |
| <b>2 Références</b> .....                                                                                     | 9    |
| <b>3 Essais suisses</b> .....                                                                                 | 12   |
| 3.1 Délimitation .....                                                                                        | 12   |
| 3.2 Application .....                                                                                         | 12   |
| 3.3 Valeurs limites et indicatives .....                                                                      | 14   |
| <b>Annexe</b>                                                                                                 |      |
| <b>A</b> (normative) <b>Perméabilité à l'eau</b> .....                                                        | 15   |
| <b>B</b> (normative) <b>Résistance aux chlorures</b> ..                                                       | 19   |
| <b>C</b> (normative) <b>Résistance au gel en présence de sels de déverglaçage</b> ..                          | 24   |
| <b>D</b> (normative) <b>Résistance aux sulfates</b> ..                                                        | 28   |
| <b>E</b> (normative) <b>Perméabilité à l'air dans les structures</b> .....                                    | 32   |
| <b>F</b> (normative) <b>Retrait et fluage</b> .....                                                           | 35   |
| <b>G</b> (normative) <b>Résistance à la réaction alcalis-granulats (RAG): Méthode de la performance</b> ..... | 38   |
| <b>H</b> (normative) <b>Teneur en eau du béton frais</b> .....                                                | 46   |
| <b>I</b> (normative) <b>Résistance à la carbonatation</b> .....                                               | 49   |
| <b>K</b> (normative) <b>Caractéristiques des pores</b> .....                                                  | 55   |
| <b>L</b> (informative) <b>Publications</b> .....                                                              | 58   |

## AVANT-PROPOS

La présente norme SIA 262/1 complète les normes SIA 262 *Construction en béton* ainsi que SIA 269/2 *Main-tenance des structures porteuses – Construction en béton*. Elle contient des références à des normes concernant les structures porteuses, les matériaux et les produits de construction, de même qu'à des normes relatives aux essais. En complément, elle spécifie quelques essais sur béton (insitu ou en laboratoire) qui ne figurent pas dans les normes européennes.

La motivation principale pour cette révision est l'intégration des correctifs SIA 262/1-C1:2015 et SIA 262/1-C2:2016, des précisions, compléments et corrections dans les annexes, mais aussi l'intégration de la méthode d'essai concernant la réaction alcalis-granulats comme nouvelle annexe G, qui a été prise dans une forme révisée du cahier technique SIA 2042:2012, annexe F.

L'essai de détermination du module d'élasticité de l'annexe G de la norme SIA 262/1:2013 a été remplacé par la norme SN EN 12390-13 *Essai pour béton durci – Partie 13: Détermination du module sécant d'élasticité en compression*.

Les références ont été actualisées.

Groupe de travail SIA 262/1

## 0 CHAMP D'APPLICATION

### 0.1 Délimitation

La présente norme s'applique conjointement avec la norme SIA 262 *Construction en béton* et avec la norme SIA 269/2 *Maintenance des structures porteuses – Structures en béton*.

### 0.2 Références normatives

Le texte de la présente norme fait référence aux publications suivantes, dont les dispositions s'appliquent intégralement ou en partie selon ce qu'indique le renvoi. Les références non datées se rapportent à la dernière édition de la publication (pour les SN EN y compris les amendements), les références datées se rapportent à l'édition correspondante.

#### 0.2.1 Publications SIA

|                          |                                                                                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recommandation SIA 162/6 | Béton renforcé de fibres métalliques                                                          |
| SIA 262:2013             | Construction en béton                                                                         |
| SIA 269/2                | Maintenance des structures porteuses – Structures en béton                                    |
| SIA 2042:2012            | Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton |

#### 0.2.2 Normes européennes

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SN EN 196-2            | Méthodes d'essais des ciments – Partie 2: Analyse chimique des ciments                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| SN EN 206:2013+A1:2016 | Béton – Spécification, performances, production et conformité                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SN EN 445              | Coulis pour câble de précontrainte – Méthodes d'essai                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| SN EN 446              | Coulis pour câble de précontrainte – Procédures d'injection de coulis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| SN EN 447              | Coulis pour câble de précontrainte – Prescriptions pour les coulis courants                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| SN EN 523              | Gaines en feuillard d'acier pour câbles de précontrainte – Terminologie, prescriptions, contrôle de qualité                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| SN EN 524-1 à -6       | Gaines en feuillard d'acier pour câbles de précontrainte – Méthode d'essais:<br>Partie 1: Détermination de la forme et des dimensions<br>Partie 2: Détermination du comportement à la flexion<br>Partie 3: Essai de flexion dans les deux sens<br>Partie 4: Détermination de la résistance aux charges latérales<br>Partie 5: Détermination de la résistance à la traction<br>Partie 6: Détermination de l'étanchéité (Détermination des pertes en eau) |
| SN EN 934-2+A1         | Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Partie 2: Adjuvants pour bétons – Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 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                                                                                                                                                                                                                                       |
| SN EN 1097-6           | Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SN EN 1992-1-1         | Eurocode 2: Calcul des structures en béton – Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| SN EN 1992-1-2         | Eurocode 2: Calcul des structures en béton – Partie 1-2: Règles générales – Calcul du comportement au feu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SN EN 1992-2               | Eurocode 2: Calcul des structures en béton – Partie 2: Ponts en béton – Calcul et dispositions constructives                                                                                                                                                                                                                  |
| SN EN 1992-3               | Eurocode 2: Calcul des structures en béton – Partie 3: Silos et réservoirs                                                                                                                                                                                                                                                    |
| SN EN 10080                | Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités                                                                                                                                                                                                                                              |
| FprEN 10138:2009           | Armatures de précontrainte en acier –<br>Partie 1: Prescriptions générales<br>Partie 2: Fils<br>Partie 3: Torons<br>Partie 4: Barres                                                                                                                                                                                          |
| SN EN 12350-1; -2; -6      | Essais pour béton frais –<br>Partie 1: Prélèvement<br>Partie 2: Essai d'affaissement<br>Partie 6: Masse volumique                                                                                                                                                                                                             |
| SN EN 12390-1; -2; -3; -13 | Essai pour béton durci –<br>Partie 1: Forme, dimensions et autres exigences aux éprouvettes et aux moules<br>Partie 2: Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance<br>Partie 3: Résistance à la compression des éprouvettes<br>Partie 13: Détermination du module sécant d'élasticité en compression |
| SN EN 12504-1 à -4         | Essais pour béton dans les structures –<br>Partie 1: Carottes – Prélèvement, examen et essais en compression<br>Partie 2: Essais non destructifs – Détermination de l'indice de rebondissement<br>Partie 3: Détermination de la force d'arrachement<br>Partie 4: Détermination de la vitesse de propagation du son            |
| SN EN 13369                | Règles communes pour les produits préfabriqués en béton                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| SN EN 13670                | Exécution des structures en béton                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| SN EN 13791                | Évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton                                                                                                                                                                                                                    |
| SN EN 14487-1              | Béton projeté – Partie 1: Définitions, spécifications et conformité                                                                                                                                                                                                                                                           |
| SN EN 14629                | Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Méthodes d'essais – Mesurage du taux de chlorure d'un béton durci                                                                                                                                                                          |
| SN EN 14630:2006           | Produits et systèmes pour la protection et de réparation des structures en béton – Méthodes d'essais – Mesurage de la profondeur de carbonatation d'un béton durci par la méthode à la phénolphthaléine                                                                                                                       |
| SN EN ISO 15630-1 à -3     | Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton – Méthodes d'essai –<br>Partie 1: Barres, fils machine et fils pour béton armé (ISO 15630-1:2010)<br>Partie 2: treillis soudés (ISO 15630-2:2010)<br>Partie 3: armatures de précontrainte (ISO 15630-3:2010)                                                              |
| 0.2.3                      | <b>Normes VSS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| SN 640450                  | Systèmes d'étanchéité et couches bitumineuses sur ponts avec tabliers en béton – Systèmes, exigences, exécution                                                                                                                                                                                                               |
| SN 640452                  | Systèmes d'étanchéité et couches bitumineuses sur dalles de roulement en béton avec fonction portante dans tunnels et galeries – Systèmes, exigences et mise en œuvre                                                                                                                                                         |

#### 0.2.4 **Autres publications**

Dans le texte de cette norme référence est faite en outre aux spécifications techniques et publications suivantes qui sont intégralement ou partiellement applicables.

Registre des aciers d'armature conformes selon la norme SIA 262:2013;

Register der Spannsysteme mit Eignungs- und Konformitätsnachweis nach Norm SIA 262:2013

*Éditeur: SIA, Zurich ([www.sia.ch/registre](http://www.sia.ch/registre))*

Directive OFROU 12010:2007      Dispositions pour garantir la durabilité des câbles de précontrainte dans les ouvrages d'art

Documentation ASTRA 82015:2011      Schrägseile und externe Spannglieder für den Brückenbau

*Éditeur: Office fédéral des routes, OUFROU ([www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch))*

EAD\_160004-00-0301:2016      Post-tensioning kits for prestressing of structures

*Éditeur: EOTA – European Organisation for technical assessment ([www.eota.eu](http://www.eota.eu))*

fib Recommendation (Bulletin 30):2005      Acceptance of stay cable systems using prestressing steels

fib Recommendation (Bulletin 75):2014      Polymer-duct systems for internal bonded post-tensioning

*Éditeur: Fédération Internationale du Béton ([www.fib-international.org](http://www.fib-international.org))*

Forschungs- und Arbeitsbericht 14.01      *TEKORS – Temporärer Korrosionsschutz von Spanngliedern – Wirksamkeit und Praxistauglichkeit*

*Éditeur: Empa Dübendorf, 2004 ([www.empa.ch](http://www.empa.ch))*

### 0.3 **Dérogations**

0.3.1 Des dérogations à la présente norme sont admises pour autant qu'elles soient suffisamment fondées sur des données théoriques ou sur des essais, ou qu'elles soient justifiées par de nouveaux développements ou de nouvelles connaissances.

0.3.2 Pour les situations non traitées par cette norme, la procédure à suivre doit être convenue entre les responsables du projet et le maître de l'ouvrage, ainsi que toutes les instances concernées. La procédure choisie sera décrite par étapes dans la convention d'utilisation et dans la base du projet.

# 1 TERMINOLOGIE

La présente norme fait usage des termes, définitions et notations définis dans la norme SIA 262.  
Les notations non répertoriées dans la norme SIA 262 sont définies lors de leur utilisation.

## 2 RÉFÉRENCES

Le tableau 1 contient les références citées dans la norme SIA 262 ainsi que les mots clés ou l'objet auxquels elles se rapportent.

Tableau 1 Références citées dans la norme SIA 262:2013

| Chiffre de la norme SIA 262 | Mot clé / objet                                               | Données complémentaires                                                        | Remarques                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.4.2.4                     | Classe d'exposition XA                                        | Chiffre 5.3.4 de l'annexe nationale NA à la SN EN 206:2013+A1:2016             | Selon les besoins, les essais ci-dessous peuvent contenir des exigences spécifiques au projet:<br>– perméabilité à l'eau (annexe A) ou à l'air (annexe E) pour les éléments de construction soumis aux classes d'exposition XA1, XA2 et XA3,<br>– en cas d'attaque sulfatique, essai selon l'annexe D. |
| 3.1.2.7.11                  | Agent réducteur de retrait (SRA)                              | SN EN 934-2                                                                    | Annexe nationale NB                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3.2.1.1                     | Acier d'armature passive                                      | – SN EN 10080<br>– Registre des aciers d'armature passive conformes aux normes | – EN ISO 15630-1 et -2 sont applicables conjointement.<br>– Le registre est périodiquement publié par la SIA.                                                                                                                                                                                          |
| 3.2.3.1                     | Acier d'armature passive conforme aux normes                  | SN EN 10080                                                                    | Chapitre 8: évaluation de la conformité                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3.3.1.1                     | Acier de précontrainte conforme aux normes                    | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.1.3                     | Propriétés de l'acier de précontrainte                        | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.2.1.4                   | Corrosion sous tension de l'acier de précontrainte            | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.2.1.5                   | Nature de la surface de l'acier de précontrainte              | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.2.3                     | Ductilité de l'acier de précontrainte                         | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.2.6, tab. 7             | Désignations et autres propriétés de l'acier de précontrainte | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.2.7.1                   | Relaxation de l'acier de précontrainte                        | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.3.3.1                     | Assurance de la qualité de l'acier de précontrainte           | FprEN 10138                                                                    | Parties 1 à 4                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3.4.1.2                     | Essais initiaux et évaluation de la conformité                | – EAD_160004-00-0301<br>– Registre des systèmes de précontrainte               | Le registre est périodiquement publié par la SIA.                                                                                                                                                                                                                                                      |

Tableau 1 Références citées dans la norme SIA 262:2013 (suite)

| Chiffre de la norme SIA 262 | Mot clé / objet                                                                                                                     | Données complémentaires                                             | Remarques                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.4.1.3                     | Qualification des systèmes de précontraintes pour lesquels il n'existe pas de document d'évaluation                                 | fib Recommendation (Bulletin 30)                                    | Pour haubans                                                                                                                                                           |
| 3.4.2.2                     | Catégories de protection contre la corrosion des unités de précontrainte                                                            | Directive de l'OFROU 12010                                          |                                                                                                                                                                        |
| 3.4.2.3                     | Protection contre la corrosion des unités de précontrainte sans adhérence et des unités de précontrainte extérieure                 | EAD_160004-00-0301                                                  | Documentation OFROU 82015                                                                                                                                              |
| 3.4.3                       | Exigences relatives aux ancrages et aux coupleurs                                                                                   | EAD_160004-00-0301                                                  |                                                                                                                                                                        |
| 3.4.4.2                     | Exigences et méthodes d'essai relatives aux gaines de précontrainte                                                                 | – SN EN 523, SN EN 524-1 à -6<br>– fib Recommendation (Bulletin 75) |                                                                                                                                                                        |
| 3.4.5.1                     | Exigences relatives au matériau d'injection des unités de précontrainte avec adhérence                                              | SN EN 447                                                           |                                                                                                                                                                        |
| 3.4.5.2                     | Exigences relatives au matériau d'injection des unités de précontrainte sans adhérence                                              | EAD_160004-00-0301                                                  |                                                                                                                                                                        |
| 3.4.5.3                     | Exigences relatives à la teneur en chlorures du matériau d'injection                                                                | SN EN 447                                                           |                                                                                                                                                                        |
| 4.3.10.2                    | Propriétés des matériaux soumis à l'action du feu                                                                                   | – SN EN 1992-1-2<br>– Littérature spécialisée (à titre informatif)  | – Kordina K., Meyer-Ottens C., «Beton-Brandschutz-Handbuch», Verlag Bau + Technik, 1999<br>– Schneider U., Lebeda C., «Baulicher Brandschutz», Kohlhammer Verlag, 2000 |
| 6.3.1                       | Protection contre la corrosion des unités de précontrainte lors de la fabrication, du transport, du stockage et de la mise en œuvre | – SN EN 13670<br>– Directive de l'OFROU 12010                       |                                                                                                                                                                        |
| 6.3.2                       | Délais d'attente entre la mise en œuvre, la mise sous tension et l'injection des unités de précontrainte                            | SN EN 13670                                                         |                                                                                                                                                                        |

Tableau 1 Références citées dans la norme SIA 262:2013 (suite)

| Chiffre de la norme SIA 262 | Mot clé / objet                                                            | Données complémentaires              | Remarques |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| 6.3.2                       | Mesures de protection temporaires avec une émulsion de protection adéquate | Forschungs- und Arbeitsbericht 14.01 |           |
| 6.3.3                       | Supports et fixations des unités de précontrainte                          | Directive de l'OFROU 12010           |           |
| 6.5.2.5                     | Mélange et approvisionnement en matériau d'injection                       | SN EN 446                            |           |
| 6.5.2.6                     | Exigences relatives au matériau d'injection                                | SN EN 447                            |           |

## 3 ESSAIS SUISSES

### 3.1 Délimitation

- 3.1.1 La présente norme définit dans les annexes A à G ainsi que I et K des méthodes d'essai pour déterminer des propriétés sur béton durci et dans l'annexe H une méthode d'essai pour déterminer la teneur en eau du béton frais, pour lesquelles il n'existe pas de normes européennes correspondantes.
- 3.1.2 La résistance à la compression sur cube est déterminée selon la norme SN EN 12390-3.
- 3.1.3 La résistance à la compression sur carotte est déterminée selon la norme SN EN 12504-1, et la résistance caractéristique est évaluée selon la norme SN EN 13791.

### 3.2 Application

- 3.2.1 Des éprouvettes ou des carottes prélevées sur l'ouvrage de dimensions conformes aux annexes de la présente norme sont utilisées pour les essais.
- Le cas échéant, les éprouvettes d'essai peuvent être prélevées sur des échantillons (cubes, cylindres ou prismes).
- 3.2.2 On distingue les types d'essai suivants pour les essais sur béton durci selon annexes A à G ainsi que I et K:
- Type d'essai TT-1: Essais sur des échantillons ou éprouvettes confectionnés, conservés et préparés selon les annexes A à D, I et K. Le programme d'essai commence 28 jours après la confection du béton.
  - Type d'essai TT-2: Essais sur des carottes prélevées sur l'ouvrage après la période de cure du béton et préparées selon les annexes A à E, I et K. Le programme d'essai commence 28 jours après la confection du béton.
  - Type d'essai TT-3: Carottes prélevées sur l'ouvrage:
    - a) Âge au moment du début de l'essai > 28 jours, et/ou
    - b) Conditions de conservation inconnues.
- 3.2.3 Les essais de type TT-1 sont utilisés dans le cadre du contrôle de production interne du producteur de béton et des contrôles d'assurance de qualité sur le chantier.
- 3.2.4 Les essais de type TT-2 sont utilisés pour mettre en évidence les propriétés du béton mis en œuvre d'un élément d'ouvrage ou d'un ouvrage entier.
- Les essais de type TT-2 sur des carottes prélevées dans l'ouvrage peuvent être utilisés comme alternative aux essais de type TT-1 sur des échantillons normalisés prélevés lors du chantier. Toutefois, ils ne remplacent pas les essais du contrôle de production interne selon SN EN 206+A1.
- Les éprouvettes destinées aux essais de type TT-2 peuvent être prélevées sur des carottes plus grandes, si nécessaire.
- 3.2.5 Les essais de type TT-3 sont utilisés pour une vérification ultérieure des propriétés du béton mis en œuvre d'un élément d'ouvrage ou d'un ouvrage entier (par ex. en cas de doute) ou dans le cadre d'un relevé d'état selon la SIA 269/2.
- Les éprouvettes utilisées pour l'essai peuvent être prélevées sur des carottes plus grandes, si nécessaire.
- 3.2.6 Les directives d'application des essais en fonction des types TT-1, TT-2 et TT-3 sont spécifiées au tableau 2. Elles sont valables pour des bétons avec  $D_{max}$  32. Les directives particulières pour des bétons avec un grain maximal plus petit se trouvent dans les annexes respectives.

Tableau 2 Directives d'application des essais sur béton durci avec  $D_{max}$  32

| Propriété                                        | Annexe       | Type d'essai TT-1                                                                                                                      |                                                     | Types d'essai TT-2 et TT-3                                                                                                             |                                         |
|--------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                  |              | Éprouvettes                                                                                                                            | Valeur limite                                       | Éprouvettes                                                                                                                            | Valeur indicative pour TT-2             |
| Perméabilité à l'eau                             | A            | 5 carottes prélevées sur des cube(s) $150 \times 150 \times 150$ mm: $D = 50$ mm $H = 50$ mm                                           | SN EN 206+A1                                        | 5 carottes: $D = 50$ mm $H = 50$ mm                                                                                                    | SN EN 13670                             |
| Résistance aux chlorures                         | B            | Prélevées sur cube(s) $150 \times 150 \times 150$ mm soit: 5 carottes $D = 50$ mm $H = 50$ mm; ou 3 carottes: $D = 100$ mm $H = 50$ mm | SN EN 206+A1                                        | Prélevées sur cube(s) $150 \times 150 \times 150$ mm soit: 5 carottes $D = 50$ mm $H = 50$ mm; ou 3 carottes: $D = 100$ mm $H = 50$ mm | SN EN 13670                             |
| Résistance au gel/dégel                          | C            | 3 plaques prélevées sur au moins 2 cubes $150 \times 150 \times 150$ mm: $L \geq 145$ mm $H = 50$ mm                                   | SN EN 206+A1                                        | 4 carottes: $D \geq 95$ mm $H = 50$ mm                                                                                                 | SN EN 13670                             |
| Résistance aux sulfates                          | D            | 6 carottes prélevées sur cube(s) de $150 \times 150 \times 150$ mm: $D = 28$ mm $145 \text{ mm} \leq H \leq 150 \text{ mm}$            | SN EN 206+A1                                        | 6 carottes: $D = 28$ mm $145 \text{ mm} \leq H \leq 150 \text{ mm}$                                                                    | SN EN 13670                             |
| Perméabilité à l'air sur l'ouvrage               | E            | pas applicable                                                                                                                         |                                                     | par zone auscultée 6 ou 12 mesures                                                                                                     | voir 3.3.2, tab. 3                      |
| Retrait et fluage                                | F            | 2 prismes: $120 \times 120 \times 360$ mm                                                                                              | aucune, évt selon exigences particulières du projet | pas applicable                                                                                                                         |                                         |
| Résistance à la réaction alcalis-granulats (RAG) | G            | 3 prismes de $70 \times 70 \times 280$ mm confectionnés au laboratoire selon l'annexe G                                                |                                                     | pas applicable                                                                                                                         |                                         |
| Résistance à la carbonatation                    | I            | 1 prisme: $120 \times 120 \times 360$ mm                                                                                               | SN EN 206+A1                                        | 4 carottes: $D \geq 50$ mm $H \geq 100$ mm                                                                                             | SN EN 13670                             |
| Caractéristiques des pores                       | K, méthode A | analogue annexe A                                                                                                                      |                                                     | analogue annexe A                                                                                                                      |                                         |
|                                                  | K, méthode B | pas applicable                                                                                                                         |                                                     | 5 carottes: $D \geq 50$ mm $H \geq 60$ mm                                                                                              | selon exigences particulières du projet |

 $D$  = diamètre,  $H$  = hauteur,  $L$  = longueur

### 3.3 Valeurs limites et indicatives

3.3.1 Pour les essais de type TT-1 ce sont les valeurs limites selon SN EN 206+A1 et pour les essais de type TT-2 les valeurs indicatives selon SN EN 13670 qui font foi. Il n'existe pas de valeurs limites ou indicatives pour les essais de type TT-3.

Les valeurs indicatives ne peuvent que servir de valeurs limites lorsque leur pertinence a été démontrée par des essais de convenance. Elles peuvent être adaptées de manière spécifique à un projet.

3.3.2 Pour l'évaluation des résultats des mesures de perméabilité à l'air, on peut se référer aux données du tableau 3 en fonction de la sorte de béton et pour un âge de béton entre 1 et 3 mois. À ce propos voir également les détails dans [5].

Tableau 3 Valeurs indicatives pour la perméabilité à l'air  $k_{Ts}$  en fonction de la sorte de béton selon SN EN 206+A1

| Désignation                                             | Sorte de béton |   |     |     |     |      |      |
|---------------------------------------------------------|----------------|---|-----|-----|-----|------|------|
|                                                         | A              | B | C   | D   | E   | F    | G    |
| Perméabilité à l'air $k_{Ts}$ en $10^{-16} \text{ m}^2$ | –              | – | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,50 | 0,50 |

3.3.3 Pour une évaluation selon 3.3.2, chaque zone de mesure doit satisfaire aux conditions suivantes:

- Condition 1: Pour 6 valeurs individuelles de mesure de perméabilité à l'air  $k_{Ti}$  d'une zone de mesure, une valeur individuelle au maximum peut dépasser la valeur indicative  $k_{Ts}$  du tableau 3. Lorsque pour une zone de mesure 2 des 6 valeurs individuelles de mesure dépassent la valeur indicative  $k_{Ts}$ , on procédera à une nouvelle série de 6 mesures individuelles sur la même zone de mesure mais à différents (nouveaux) points de mesure.
- Condition 2: Pour les nouvelles 6 valeurs individuelles de mesure de perméabilité à l'air  $k_{Ti}$  une valeur individuelle au maximum peut dépasser la valeur indicative  $k_{Ts}$ .
- Lorsque ni la condition 1, ni la condition 2 sont satisfaites, la zone de mesure ne convient pas aux exigences pour la perméabilité à l'air et une nouvelle zone de mesure doit être choisie.

## **Annexe A (normative)**

### **Perméabilité à l'eau**

#### **A.1 Champ d'application**

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer l'eau absorbée par un béton. Les résultats de l'essai permettent de tirer des déductions prévisionnelles sur l'étanchéité du béton exposé à de l'eau sans pression.

#### **A.2 Références normatives**

SN EN 12390-2.

#### **A.3 Définitions**

$q_w$  perméabilité à l'eau du béton, exprimée comme rapport entre l'absorption d'eau et la surface mouillée par unité de temps en g/(m<sup>2</sup>h).

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

#### **A.4 Principe**

Les éprouvettes sont soumises à la saturation en eau à différentes intensités. Les divers degrés de saturation atteints permettent de déterminer des valeurs caractéristiques relatives à l'absorption d'eau, à la porosité et à la masse volumique.

#### **A.5 Équipement d'essai**

- Local d'essai à une température de  $(20 \pm 2)$  °C,
- Balance équipée d'un dispositif de mesure sous l'eau, avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,03$  g,
- Instrument de mesure des longueurs avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,05$  mm,
- Pompe à vide permettant d'atteindre un vide  $< 1$  mbar,
- Étuve ventilée avec température réglable,
- Cuve à vide avec dispositif d'immersion avec de l'eau et manomètre pour le contrôle du vide  $< 1$  mbar,
- Dessiccateur avec agent absorbant, permettant de garantir une humidité de l'air  $< 5$  %,
- Cuve équipée d'un dispositif permettant de plonger les éprouvettes dans  $(3 \pm 1)$  mm d'eau tout en maintenant cette profondeur d'immersion pendant toute la durée de l'essai et munie d'un couvercle permettant de garantir une humidité de l'air  $> 95$  % d'humidité relative.

#### **A.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes**

- Conserver les éprouvettes selon la SN EN 12390-2 et dans l'eau jusqu'au moment de l'essai.
- Les éprouvettes destinées à l'essai sont des carottes prélevées soit sur des échantillons (cubes, prismes, etc.) confectionnés et conservés conformément à la norme, soit sur un élément de structure.
- Une série d'essai est composée d'éprouvettes d'un diamètre  $d = (50 \pm 2)$  mm et d'une hauteur  $h_{PK} = (50 \pm 2)$  mm. Le diamètre  $d$  et la hauteur  $h_{PK}$  doivent être déterminés avec une précision de 0,1 mm.
- La face à tester lors de l'essai est la face latérale coffrée des échantillons, resp. des carottes prélevées sur les échantillons ou la face extérieure des carottes prélevées sur ouvrage.
- Les éprouvettes peuvent être prélevées sur les faces latérales des échantillons (perpendiculairement au sens de remplissage) env. 1 semaine avant le début de l'essai.
- La couche superficielle des éprouvettes (environ 5 mm, maximale 10 mm) doit être coupée. Les extrémités des éprouvettes doivent être planes et perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette. Rectifier si nécessaire.
- Une fois préparées, les éprouvettes sont à conserver jusqu'au moment de l'essai dans l'eau à  $(20 \pm 2)$  °C.

- Lorsque le diamètre maximal du granulat est supérieur au tiers de la plus petite dimension de l'éprouvette, il faut cinq éprouvettes pour constituer une série d'essai. Lorsque le diamètre maximal est égal ou inférieur au tiers de la plus petite dimension de l'éprouvette, il faut trois éprouvettes pour constituer une série d'essai.

## A.7 Exécution

- Le programme d'essai commence 28 jours après la confection du béton et dure au moins 17 jours. Le programme d'essai est décrit dans le tableau 4.
- Avant le début de l'essai, déterminer les dimensions (diamètre  $d$ , hauteur  $h_{PK}$ ) et le volume  $V_A$  des éprouvettes; la précision de lecture doit être de 0,01 g lors du pesage et de 0,1 mm pour les dimensions.
- Enlever les résidus d'eau superficielle sur les éprouvettes avec un torchon ou une éponge humide préalablement essoré.
- Un four ventilé doit être utilisé pour le séchage des éprouvettes. Le four doit être rempli de telle manière à ce que les éprouvettes sèchent de manière régulière et omnilatérale. L'espacement entre les éprouvettes et les cloisons du four doit être  $\geq 20$  mm. En outre, les éventuelles tôles servant comme support aux éprouvettes doivent être trouées ou les éprouvettes doivent reposer sur des profils triangulaires d'une hauteur  $\geq 10$  mm.

Tableau 4 Exécution de l'essai de perméabilité à l'eau

| Temps jours | Traitement, conservation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Mesure                                                      |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1 – 3       | sécher à $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ pendant $(48 \pm 2)$ heures                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |
| 3           | laisser refroidir à la température ambiante                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | peser $m_B$                                                 |
| 3 – 4       | dans le récipient fermé, plonger les éprouvettes dans $(3 \pm 1)$ mm d'eau                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                             |
|             | à $t_x = 3$ à 10 heures                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | peser $m_x$ , consigner $t_x$                               |
|             | à $t_{24} = (24 \pm 0,5)$ heures                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | peser $m_{24}$                                              |
| 4 – 9       | conservé les éprouvettes sous l'eau (peut être prolongé de 1 à 2 jours si nécessaire)                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                             |
| 9           | peser sous l'eau, ensuite hors de l'eau                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | peser $m_{Eu}$ sous l'eau<br>peser $m_{Eo}$ hors de l'eau   |
| 9 – 10      | sécher les éprouvettes à $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ pendant $(20 \pm 4)$ heures et les laisser refroidir à la température ambiante, soumettre ensuite les éprouvettes au vide dans la cuve à vide pendant au moins 2 heures sous une pression maximale de 1 mbar, et remplir ensuite sous vide avec de l'eau (vitesse de montée du niveau d'eau: 50 mm en 10 minutes) |                                                             |
| 10 – 14     | ventiler à pression normale et continuer à conserver sous l'eau                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |
| 14          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | peser $m_{TOu}$ sous l'eau<br>peser $m_{TOo}$ hors de l'eau |
| 14 – 17     | sécher à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ pendant $(72 \pm 2)$ heures ou jusqu'à masse constante (variation de la masse $< 0,1$ %-masse en 1 heure)                                                                                                                                                                                                                        |                                                             |
| 17          | refroidir au dessiccateur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | peser $m_{110}$                                             |

## A.8 Résultats d'essai

A.8.1 On déterminera les volumes  $V_E$  et  $V_{TOT}$  (pores inclus) de chaque éprouvette sur la base des pesées:

$$V_E = \frac{m_{Eo} - m_{Eu}}{\rho_w} \quad \text{et} \quad V_{TOT} = \frac{m_{TOTo} - m_{TOTu}}{\rho_w} \quad \text{en m}^3 \quad (1)$$

$\rho_w$  désigne la masse volumique de l'eau. Si l'écart de  $V_E$  par rapport à  $V_{TOT}$  est supérieur à 1 % du volume, on utilisera dans les calculs suivants le volume  $V_A$ , déterminé à partir des dimensions mesurées, en lieu et place de  $V_E$ .

A.8.2 On calculera les valeurs caractéristiques suivantes:

– teneur en eau au début de l'essai d'absorption  $U_B$ :

$$U_B = \frac{m_B - m_{110}}{\rho_w \cdot V_E} \cdot 100 \quad \text{en \% du volume} \quad (2)$$

– absorption d'eau après 24 heures  $M_{24}$  ou après  $x$  heures  $M_x$ :

$$M_{24} = \frac{4 \cdot (m_{24} - m_B)}{d^2 \cdot \pi} \quad \text{resp.} \quad M_x = \frac{4 \cdot (m_x - m_B)}{d^2 \cdot \pi} \quad \text{en g/m}^2 \quad (3)$$

– montée du front de pénétration de l'eau après 24 heures  $h_{24}$  ou après  $x$  heures  $h_x$ :

$$h_{24} = h_{Pk} \cdot \frac{m_{24} - m_B}{m_{Eo} - m_B} \quad \text{resp.} \quad h_x = h_{Pk} \cdot \frac{m_x - m_B}{m_{Eo} - m_B} \quad \text{en m} \quad (4)$$

– teneur en pores d'hydratation  $U_E$  et porosité totale  $n$ :

$$U_E = \frac{m_{Eo} - m_{110}}{\rho_w \cdot V_E} \cdot 100 \quad \text{et} \quad n = \frac{m_{TOTo} - m_{110}}{\rho_w \cdot V_E} \cdot 100 \quad \text{en \% du volume} \quad (5)$$

– teneur en air  $LP$ :

$$LP = n - U_E \quad \text{en \% du volume} \quad (6)$$

– masse volumique sèche  $\rho_{R110}$  et densité  $\rho_{110}$ :

$$\rho_{R110} = \frac{m_{110}}{V_E} \quad \text{et} \quad \rho_{110} = \rho_{R110} \cdot \frac{100}{100 - n} \quad \text{en kg/m}^3 \quad (7)$$

A.8.3 La masse volumique du béton  $\rho_{110}$  doit correspondre à la valeur que l'on peut calculer à partir des constituants. La plausibilité est à contrôler (valeur indicative pour le béton normal: 2650 à 2750 kg/m<sup>3</sup>).

A.8.4 Dans une série, l'écart type de  $\rho_{110}$  ne doit pas dépasser 25 kg/m<sup>3</sup> et doit rester inférieur à l'écart type de  $\rho_{R110}$ .

A.8.5 Si les conditions énoncées en A.8.3 et A.8.4 ne sont pas remplies et qu'une étude détaillée ne permet pas d'en trouver l'explication, il faudra déterminer la masse volumique  $\rho_m$  à l'aide d'un pycnomètre à partir du béton séché à 110 °C et broyé, ou la calculer à partir des masses volumiques des constituants et de la composition du béton. Au cas où  $\rho_m > \rho_{110}$ , on calculera les valeurs recherchées en remplaçant les valeurs mesurées de la porosité  $n$  par la valeur calculée  $n^*$  suivante.

$$n^* = \frac{\rho_m - \rho_{R110}}{\rho_m} \cdot 100 \quad \text{en \% du volume} \quad (8)$$

A.8.6 Perméabilité à l'eau  $q_w$

On calculera la perméabilité à l'eau  $q_w$  de chaque série d'essais à l'aide des valeurs individuelles et moyennes de  $M_{24}$ ,  $U_E$ ,  $U_B$  et  $h_{24}$ . Pour un élément de construction de 200 mm d'épaisseur, le calcul s'effectue de la manière suivante ( $t_{24}$  en heures):

$$q_w = \frac{M_{24}}{t_{24}} \cdot \frac{U_E / 2}{U_E - U_B} \cdot \frac{h_{24}}{2 \cdot 200} \quad h \text{ en mm, } q_w \text{ en g/(m}^2\text{h)} \quad (9)$$

Si  $h_{24}/h_{Pk} > 0,85$ , on calculera la perméabilité à l'eau  $q_w$  à l'aide des valeurs mesurées  $m_x$ ,  $t_x$ ,  $h_x$ , en lieu et place de  $m_{24}$ ,  $t_{24}$  et  $h_{24}$ .

## A.9 Rapport d'essai

A.9.1 Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton, de la réception de l'échantillon au laboratoire et du début de l'essai ou de l'âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation des éprouvettes,
- Valeurs individuelles et valeurs moyennes avec écart type:  $h_{PK}$ ,  $d$ ,  $M_{24}$  ou  $M_x$ ,  $U_E$ ,  $n$ ,  $LP$ ,  $\rho_{R110}$ ,  $\rho_{110}$ ,
- Valeurs individuelles et valeurs moyennes avec écart type:  $U_B$ ,  $h_{24}$  ou  $h_x$ , au cas où cette valeur est utilisée pour le calcul de  $q_w$ ,
- Le cas échéant, indication du fait que le calcul a été effectué avec  $V_A$  ou  $n^*$ ,
- L'épaisseur admise de l'élément de construction  $d = 200$  mm,
- Indiquer si la masse volumique  $\rho_{110}$  s'écarte de la fourchette 2650 – 2750 kg/m<sup>3</sup>,
- La valeur moyenne et l'écart type de la perméabilité à l'eau  $q_w$  par série.
- Les valeurs individuelles et les valeurs moyennes doivent être données de la façon suivante dans le rapport d'essai:
  - Caractéristiques des pores  $n$ ,  $U_E$ ,  $LP$ , précision de 0,1 % en volume,
  - Hauteur du front de pénétration de l'eau  $h$ , précision de 0,1 mm,
  - La perméabilité à l'eau  $q_w$  en g/(m<sup>2</sup>h) à une décimale après la virgule près,
  - Masse volumique  $\rho$  en kg/m<sup>3</sup> et masses  $m$  en g en chiffres entiers.

## A.10 Précision

Les incertitudes de mesure indiquées au tableau 5 résultent d'un essai comparatif sur 4 bétons dont les rapports  $e/c$  étaient compris entre 0,35 et 0,65.

Tableau 5 Incertitudes de mesure pour valeurs moyennes [1], (nombre de laboratoire: 14)

| Grandeur mesurée                        |               |                      | Plage de mesure | Écart type de répétabilité $S_r$ | Écart type de reproductibilité $S_R$ | Répétabilité <sup>1)</sup> $r$ | Reproductibilité <sup>1)</sup> $R$ |
|-----------------------------------------|---------------|----------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Teneur en eau                           | $U_B$         | %-vol.               | 4 – 7           | 0,3                              | 0,5                                  | 0,7                            | 1,4                                |
| Pores d'hydratation                     | $U_E$         | %-vol.               | 9 – 14          | 0,3                              | 0,6                                  | 0,9                            | 1,6                                |
| Porosité totale                         | $n$           | %-vol.               | 11 – 15         | 0,4                              | 0,9                                  | 1,2                            | 2,5                                |
| Teneur en air                           | $LP$          | %-vol.               | 1 – 2           | 0,2                              | 0,5                                  | 0,6                            | 1,4                                |
| Masse vol. sèche                        | $\rho_{R110}$ | g/m <sup>3</sup>     | 2300 – 2400     | 12                               | 14                                   | 32                             | 40                                 |
| Masse volumique                         | $\rho_{110}$  | g/m <sup>3</sup>     | 2670 – 2710     | 7                                | 15                                   | 20                             | 41                                 |
| Montée du front de pénétration de l'eau | $h_{24}$      | mm                   | 25 – 39         | 1,2                              | 1,9                                  | 3,4                            | 5,3                                |
| Perméabilité à l'eau                    | $q_w$         | g/(m <sup>2</sup> h) | 3 – 5<br>10     | 0,2 – 0,4<br>0,7                 | 0,4 – 0,8<br>1,2                     | 0,7 – 1,0<br>2,0               | 1,1 – 2,3<br>3,4                   |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

## Annexe B (normative)

### Résistance aux chlorures

#### B.1 Champ d'application

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer la résistance aux chlorures d'un béton.

#### B.2 Références normatives

SN EN 12390-2.

#### B.3 Définitions

$D_{Cl}$  coefficient de migration des chlorures en  $m^2/s$

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

#### B.4 Principe

L'application d'une tension électrique à des éprouvettes saturées d'eau stimule la migration des ions de chlorures. La détermination de la profondeur de pénétration des ions chlorures libres permet de calculer le coefficient de migration des chlorures sur la base de la profondeur de pénétration, de la tension électrique appliquée ainsi que d'autres paramètres.

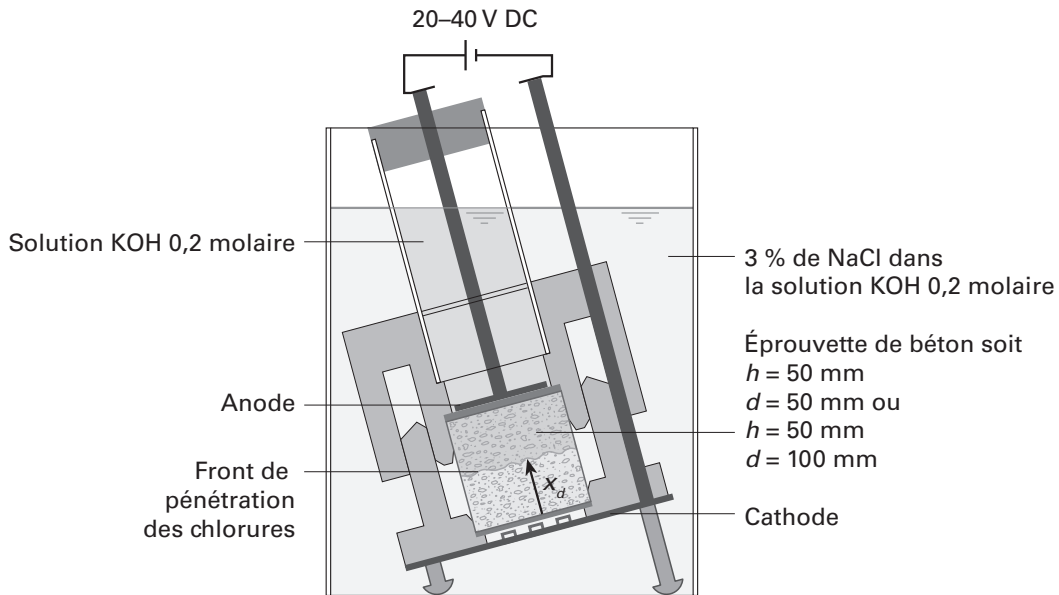
#### B.5 Équipement d'essai

- Local d'essai à une température de  $(20 \pm 2) ^\circ C$ ,
- Balance avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,05$  g,
- Instrument de mesure des longueurs avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,05$  mm,
- Voltmètre avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,05$  V,
- Cuves pour la conservation des éprouvettes sous l'eau,
- Cuve à ultrasons avec eau potable,
- Gaines de protection en latex, ruban adhésif,
- Thermomètre,
- Étuve ventilée avec température réglable,
- Cellule de migration pour éprouvettes, d'un diamètre de 50 mm ou de 100 mm (voir figure 1) avec voltmètre et régulateur de tension,
- Solution d'hydroxyde de potassium 0,2 molaire<sup>1)</sup>,
- 3 % de NaCl dans la solution de KOH 0,2 molaire<sup>1)</sup>,
- Solution 0,1 normale de nitrate d'argent,
- Alcool éthylique avec 0,1 % de fluorescéine (0,1 g de fluorescéine dans 100 g d'alcool éthylique à 70 %).

<sup>1)</sup> La solution confectionnée à  $(20 \pm 2) ^\circ C$  peut être entreposée au maximum 2 semaines dans un flacon hermétiquement fermé.

Lors de la confection de la solution de KOH le niveau de pureté de l'hydroxyde de potassium doit être pris en compte. Lors de l'utilisation d'une qualité «puriss, 86 %» peser 13,02 g et pour du «purum, 85 %» 13,2 g et dissoudre dans un kg d'eau déionisée. La solution NaCl-KOH est confectionnée de manière identique avec un ajout supplémentaire de 30 g de NaCl > 99 %.

Figure 1 Cellule de migration pour éprouvette de béton ou mortier



## B.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes

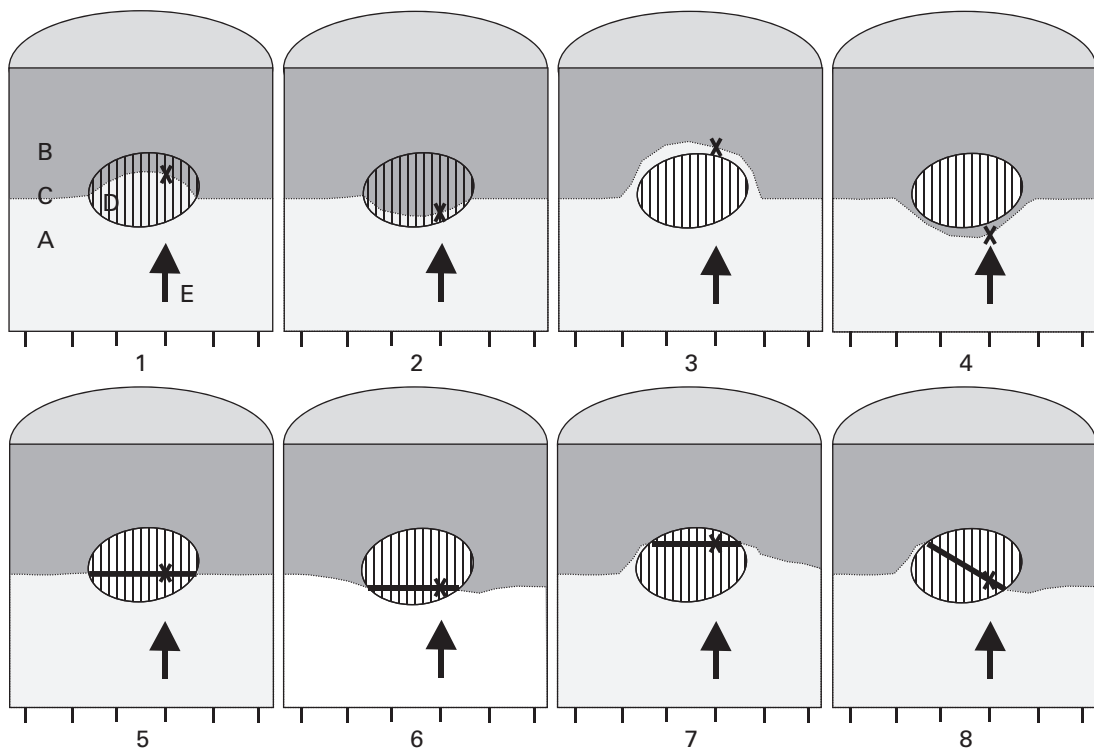
- Conserver les éprouvettes et échantillons selon SN EN 12390-2 et sous l'eau jusqu'au moment de l'essai.
- Les éprouvettes destinées à l'essai sont des carottes prélevées soit sur des échantillons confectionnés et conservés conformément à la SN EN 12390-2 (cubes, prismes, etc.), soit sur un élément de structure.
- La face à tester lors de l'essai est la face latérale coffrée des échantillons, resp. des carottes prélevées sur les échantillons ou la face extérieure des carottes prélevées sur ouvrage.
- Les éprouvettes sont à prélever sur les faces latérales des échantillons (perpendiculairement au sens de remplissage) env. 1 semaine avant le début de l'essai.
- La couche superficielle des éprouvettes (environ 5 mm, maximale 10 mm) est à couper. Les extrémités des éprouvettes doivent être planes et perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette. Rectifier si nécessaire.
- Des petits éclats ( $< 2$  mm) au bord des éprouvettes peuvent être colmatés avec un mastic afin d'assurer l'étanchéité latérale.
- Les éprouvettes préparées sont immergées dans de l'eau, d'abord jusqu'à mi-hauteur pendant  $(24 \pm 1)$  heures (face d'essai vers le bas) et ensuite entièrement jusqu'au début de l'essai (min. 5 jours).
- Une série d'essai se compose d'éprouvettes d'un diamètre  $d = (50 \pm 1)$  mm et une hauteur  $h = (50 \pm 2)$  mm ou avec un diamètre de  $(100 \pm 1)$  mm et d'une hauteur  $h = (50 \pm 2)$  mm. Mesurer le diamètre  $d$  et la hauteur  $h$  des éprouvettes avec une précision de 0,1 mm. Lorsque le diamètre maximal du granulat est supérieur au tiers du diamètre de l'éprouvette, il faut cinq éprouvettes pour constituer une série d'essai. Lorsque le diamètre maximal est égal ou inférieur au tiers du diamètre de l'éprouvette, il faut trois éprouvettes pour constituer une série d'essai.
- Après la période de conservation sous l'eau, peser les éprouvettes ( $m_n$ ) avec une précision de lecture de 0,1 g, puis les plonger immédiatement dans le bain à ultrasons pendant  $(120 \pm 10)$  secondes afin d'éliminer les bulles d'air adhérant à la surface.

## B.7 Exécution

- Le programme d'essai commence 28 jours après la confection du béton et dure 2 jours.
- Rendre étanches les faces latérales des éprouvettes (gaines en latex, ruban adhésif) et placer celles-ci immédiatement avec la face d'essai vers le bas dans la cellule de migration, en veillant à une bonne étanchéité latérale. Placer les cellules séparément dans les cuves. Ensuite, remplir les cuves avec les solutions d'essai (voir figure 1) de manière à éviter une différence hydrostatique entre les solutions et insérer l'anode. La distance entre l'anode (en haut) et la surface de l'éprouvette doit mesurer entre 10 mm et 15 mm.

- Les solutions d'essai ont une température de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , l'essai est réalisé à cette température.
- Procéder à la mise sous tension électrique des cellules, ce qui marquera le début de l'essai.
- La tension électrique est de  $20\text{ V} \pm 0,2\text{ V}$  et la durée de mesure 24 heures  $\pm 15$  minutes. Mesurer le temps effectif de la mesure.
- Immédiatement après le début, au moins une fois pendant ainsi qu'avant la fin de l'essai, mesurer et consigner la tension et l'intensité du courant de chacune des cellules ainsi que la température des solutions de KOH et de KOH avec NaCl.
- Au début et au moins une fois pendant ainsi qu'avant la fin de l'essai, contrôler si une poche d'air ou de gaz s'est formée au niveau des électrodes. Le cas échéant, l'éliminer en secouant légèrement la cellule.
- Après les mesures, retirer les éprouvettes des cellules et les fendre aussitôt en deux dans le sens de la longueur (sens de migration des chlorures). À l'état encore humide, vaporiser sur la surface de rupture des moitiés d'échantillon d'abord la solution de fluorescéine, puis la solution de nitrate d'argent. Sécher les moitiés d'éprouvette au four à  $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$  pendant 24 heures. Mesurer ensuite sur chaque moitié d'éprouvette la profondeur de pénétration des ions chlorures (zones de coloration rose; les zones sans chlorures libres sont de teinte sombre) en 6 points uniformément répartis pour les éprouvettes de diamètre 50 mm et en 10 points pour les éprouvettes de diamètre 100 mm (espacement des points environ 10 mm), et calculer la moyenne arithmétique  $x_d$ . Consigner également la profondeur de pénétration maximale des chlorures  $x_{max}$ . Les mesures de profondeur sont à consigner à 1 mm près. Noter dans le rapport d'essai « < 1 mm » si la profondeur de pénétration < 1 mm. La figure 2 donne des indications pour la mesure de la profondeur de pénétration.
- Effectuer une photo de chacune des surfaces de rupture à la fin de l'essai pour garantir la traçabilité de l'essai.

Figure 2 Procédure de détermination du front de pénétration des chlorures



Éprouvettes après fendage: 8 cas schématiques

- 1 et 2: Le granulat est déchaussé. Le front de pénétration des chlorures se marque en surface du granulat.
- 3 et 4: Le front de pénétration des chlorures contourne le granulat.
- 5 à 8: Le granulat est fendu. Le front de pénétration des chlorures est interpolé depuis les bords à l'emplacement prévu de la mesure.

- |                                                                                             |                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| A Zone de migration des chlorures                                                           | B Zone hors migration des chlorures |
| C Front de pénétration des chlorures                                                        | D Granulat                          |
| E Position de l'un des 6 points de mesure répartis de manière homogène                      |                                     |
| X Emplacement de la mesure pour le point concerné sur le front de pénétration des chlorures |                                     |

## B.8 Résultats d'essai

B.8.1 Masse volumique humide de l'éprouvette  $\rho_{nr}$

$$\rho_{nr} = \frac{4 \cdot m_w}{d^2 \cdot \pi \cdot h} \quad d \text{ et } h \text{ en m, } \rho_{nr} \text{ en kg/m}^3 \quad (10)$$

$m_w$  masse des éprouvettes après conservation dans l'eau, en kg

B.8.2 On déterminera le coefficient de migration des chlorures à l'aide de la relation suivante:

$$D_{Cl} = \frac{z}{t} \cdot (x_d - 1,5462 \cdot \sqrt{z \cdot x_d}) \quad \text{en m}^2/\text{s} \quad (11)$$

$$z = 8,619 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{h_T}{U} \quad \text{en m} \quad (12)$$

$h$  hauteur de l'éprouvette, en m

$T$  valeur moyenne de la température absolue des solutions de KOH et de KOH avec NaCl pendant l'essai, en K

$x_d$  profondeur moyenne de pénétration des ions chlorures des deux moitiés d'un échantillon, en m

$U$  valeur moyenne des tensions au début et en fin d'essai, en V

$t$  durée effective de la mesure, en s

Si la profondeur de pénétration des chlorures < 1 mm, le coefficient de migration des chlorures sera calculé pour une profondeur de 1 mm en précisant que le résultat «< coefficient de migration des chlorures calculé».

B.8.3 Pour chaque échantillon, le résultat d'essai sera exprimé sous la forme  $X, Y \cdot 10^{-Z} \text{ m}^2/\text{s}$ : par ex.  $1,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

## B.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton, de la réception de l'échantillon au laboratoire et du début de l'essai ou de l'âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton, Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation des éprouvettes,
- Diamètre des éprouvettes,
- La masse volumique à l'état humide de chaque éprouvette (en chiffres entiers),
- La profondeur de pénétration moyenne ( $x_d$ ) et maximale ( $x_{max}$ ) des chlorures sur chaque éprouvette (à une décimale après la virgule près),
- Les valeurs individuelles (à une décimale après la virgule près) et valeur moyenne (à une décimale après la virgule près) avec écart type (à une décimale après la virgule près) du coefficient de migration des chlorures pour chaque série.

## B.10 Précision

Les incertitudes de mesure indiquées au tableau 6 résultent d'un essai comparatif sur 3 bétons.

Tableau 6 Incertitudes de mesure pour valeurs moyennes [2], (nombre de laboratoires: 18)

| Coefficient de migration des chlorures<br>$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | Écart type de répétabilité<br>$S_r$<br>$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | Écart type de reproductibilité<br>$S_R$<br>$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | Répétabilité <sup>1)</sup><br>$r$<br>$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ | Reproductibilité <sup>1)</sup><br>$R$<br>$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 2,1                                                                       | 0,7                                                                    | 1,6                                                                        | 1,8                                                                  | 4,6                                                                      |
| 7,2                                                                       | 0,8                                                                    | 1,7                                                                        | 2,3                                                                  | 4,8                                                                      |
| 15                                                                        | 1,3                                                                    | 3,1                                                                        | 3,8                                                                  | 8,4                                                                      |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

## Annexe C (normative)

### Résistance au gel en présence de sels de déverglaçage

#### c.1 Champ d'application

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer la résistance au gel en présence de sels de déverglaçage d'un béton. L'action du gel peut aussi causer des dommages au cœur du béton; la présente méthode ne permet toutefois pas de le déterminer.

Cette méthode permet aussi d'évaluer la résistance du béton au gel sans sels de déverglaçage.

Il est possible que cet essai ne soit pas approprié à l'examen et à l'évaluation de certains bétons spéciaux, comme par ex. les bétons à haute résistance avec faible teneur en air ou bétons sans air entraîné. Dans ces cas-là, il est recommandé de faire appel à des spécialistes.

#### c.2 Références normatives

SN EN 12390-2.

#### c.3 Définitions

$\Delta m_i$  perte de masse du béton après  $i$  cycles, en  $\text{g/m}^2$

$m$  perte de masse du béton après un total de 28 cycles, en  $\text{g/m}^2$

$A$  aire d'essai en  $\text{cm}^2$

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

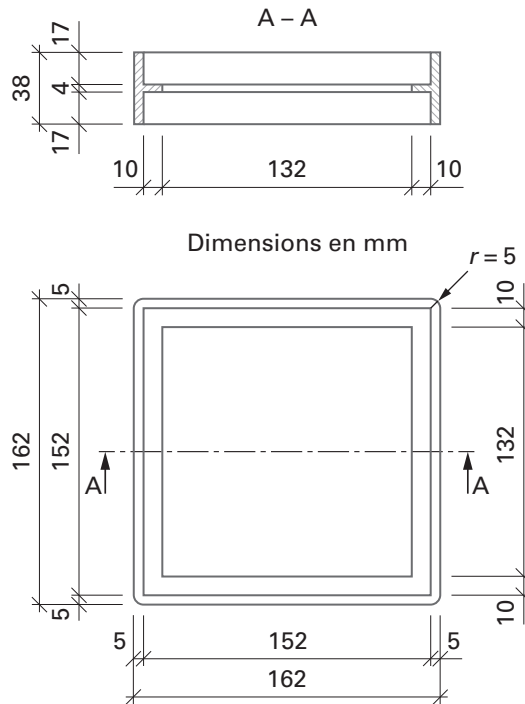
#### c.4 Principe

Les éprouvettes sont recouvertes d'une solution de chlorure de sodium et soumises à 28 cycles de gel-dégel. Les pertes de masse permettent de tirer des déductions prévisionnelles sur la résistance du béton au gel en présence de sels de déverglaçage.

#### c.5 Équipement d'essai

- Armoire frigorifique avec possibilités de régler le cycle suivant: maintenir  $+15^\circ\text{C}$  pendant  $(240 \pm 5)$  minutes, abaisser la température à  $-15^\circ\text{C}$  en  $(90 \pm 5)$  minutes, maintenir  $-15^\circ\text{C}$  pendant  $(330 \pm 5)$  minutes, élever la température à  $+15^\circ\text{C}$  en  $(60 \pm 5)$  minutes. La durée d'un cycle est de 12 heures. La température de l'air ne doit pas s'écarter de plus de  $2^\circ\text{C}$  de la valeur de consigne,
- Balance avec une précision de lecture de  $\pm 0,01$  g et une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,03$  g,
- Instrument de mesure des longueurs avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,1$  mm,
- Solution de NaCl à 3 % [ $(3 \pm 0,05)$  g NaCl pour  $(97 \pm 0,05)$  g d'eau déionisée],
- Cadre (voir figure 3) avec une ouverture d'au moins  $130 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ ,
- Bande adhésive (par ex. bande adhésive large utilisée par les peintres),
- Mastic d'étanchéité/de colmatage.

Figure 3 Cadre pour étanchéifier l'éprouvette (exemple) comme alternative à l'utilisation du mastic de colmatage



## c.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes

- Conserver les éprouvettes et échantillons selon la SN EN 12390-2 dans l'eau jusqu'au moment de l'essai.
- Les éprouvettes destinées à l'essai sont des plaques prélevées sur des échantillons confectionnés et conservés conformément à la SN EN 12390-2 (cubes, prismes, etc.) ou des carottes prélevées sur un élément de structure.
- Les éprouvettes sont à prélever sur les faces latérales des échantillons (parallèlement au sens de remplissage) au plus tôt 1 à 2 semaines avant le début de l'essai.
- Déterminer la masse volumique des éprouvettes (par ex. par mesure des dimensions et de la masse, ou par pesée hydrostatique).
- Exécuter sur la face d'essai un collier d'étanchéité latérale de  $(20 \pm 2)$  mm de hauteur. La face inférieure n'est pas rendue étanche.
- Un mastic d'étanchéité ou un cadre selon figure 3 peut être utilisé pour étanchéifier l'éprouvette.
- Si un mastic d'étanchéité est utilisé, le bord mastiqué du collier aura une épaisseur maximale de 2 mm.
- Si un cadre selon figure 3 est utilisé, procéder comme suit:
  - Couvrir la surface d'essai avec une bande adhésive qui se laisse enlever facilement et sans laisser des résidus de colle avant de monter le cadre. La bande adhésive doit être appliquée avec un écart de 2-3 mm du bord de la plaque, afin que l'étanchéité et l'adhérence du cadre sur le béton soient assurées lors de l'application du mastic de colmatage.
  - Appliquer le mastic sur le bord replié du cadre et poser l'éprouvette dans le cadre (surface d'essai en contact avec la colle). Retourner l'éprouvette et colmater avec un trait de mastic le joint inférieur pour éviter des fuites de la solution saline.
  - Retourner l'éprouvette et ôter les résidus de mastic sur la bande adhésive avec une spatule. Couper la bande adhésive proprement avec un cutter le long du cadre. Ôter la bande adhésive soigneusement à la main pour obtenir une surface d'essai propre.
- Une fois préparées, remettre les éprouvettes en conservation dans de l'eau à  $(20 \pm 2)$  °C selon SN EN 12390-2.
- Déterminer l'aire d'essai effective  $A$  (soit la surface sans le bord mastiqué, respectivement à l'intérieur du cadre) qui sera prise en compte pour le calcul. L'aire  $A$  de la surface d'essai est constituée par la surface de l'éprouvette exposée à la solution de chlorure de sodium.

- Calculer l'aire  $A$  à partir de la valeur moyenne de deux médianes mesurées perpendiculairement l'une à l'autre (pour les plaques) ou de deux diamètres mesurés perpendiculairement l'un à l'autre (pour les carottes).
- Une série d'essai se compose de 3 plaques dont la longueur des côtés est  $\geq 145$  mm et l'épaisseur  $h = (50 \pm 5)$  mm, ou de 4 carottes de diamètre  $d \geq 95$  mm et d'une hauteur  $h = (50 \pm 5)$  mm.
- Conserver dans l'eau les éprouvettes avec leur étanchéité latérale pendant au moins 7 jours, à une température de  $(20 \pm 2)$  °C. Cela vaut aussi pour les essais de type TT-2 et TT-3, à base d'éprouvettes provenant de l'ouvrage.

## c.7 Exécution

- Le programme d'essai commence 28 jours après la confection du béton (essais de type TT-1 et TT-2) resp. au plus tard après une conservation préalable dans l'eau de 7 jours (voir C.6) et dure 14 jours.
- Recouvrir la surface d'essai d'une couche de 3 à 4 mm de solution saline.
- Protéger les éprouvettes contre l'évaporation en les recouvrant, par ex., d'une feuille de polyéthylène.
- Disposer les éprouvettes préparées dans l'armoire frigorifique et lancer le processus des cycles de gel-dégel.
- Sans interruption des cycles des gel-dégel: Après les 6 premiers cycles, après les 8 suivants et après les 14 derniers (28 cycles au total), mesurer la perte de masse de chaque éprouvette de la manière suivante:
  - Échéance de mesure: au cours de la période de conservation dans l'enceinte à 15 °C: après 120 minutes jusqu'à maximum la fin de cette partie de cycle.
  - Verser la solution saline avec la matière perdue et rincer la surface avec de l'eau du réseau à  $(20 \pm 2)$  °C en recueillant le tout pour chaque éprouvette dans une cuve appropriée. Des bouts de matière visiblement décollés sont à détacher sans forcer au moyen d'une brosse à main souple spéciale dotée de poils synthétiques (monture ORP, 140 mm  $\times$  50 mm  $\times$  20 mm, PA 6.12  $\varnothing$  0,15 mm transparent, H2 = 24/19 mm, total env. 100 trous  $\varnothing$  4,5 mm).
  - Sécher la matière perdue à  $(110 \pm 5)$  °C pendant 24 heures ou jusqu'à constance de la masse (variation de masse pendant 1 heure  $< 0,1$  %-masse) et peser avec une précision de 0,01 g.
  - Après chaque mesure intermédiaire, recouvrir les éprouvettes d'une nouvelle solution saline.

## c.8 Résultats d'essai

C.8.1 Détermination de la quantité de matière perdue par éprouvette:

On calculera  $\Delta m_6$ ,  $\Delta m_{14}$ ,  $\Delta m_{28}$  en g/m<sup>2</sup> à partir des quantités de matière perdue respectivement au cours des 6 premiers cycles, au cours des cycles 7 à 14 et au cours des cycles 15 à 28 et de la grandeur de la surface d'essai  $A$ .

C.8.2 Calcul de la perte de matière  $m$  par éprouvette, après 28 cycles:

$$m = \Delta m_6 + \Delta m_{14} + \Delta m_{28} \quad (13)$$

## c.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton, de la réception de l'échantillon au laboratoire et du début de l'essai ou de l'âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Dimensions des éprouvettes,
- Désignation des éprouvettes,
- Les valeurs individuelles de l'aire d'essai effective  $A$  en cm<sup>2</sup> (à une décimale après la virgule près) ainsi que  $\Delta m_6$ ,  $\Delta m_{14}$  et  $\Delta m_{28}$  (en chiffre entier),

- La valeur moyenne et écart type de  $m$ , en chiffre entier et arrondis à 10 g/m<sup>2</sup>,
- Les résultats de l'examen visuel après 6, 14 et 28 cycles, par ex. des remarques sur la fissuration, sur une perte d'eau pendant l'essai, sur des modifications notables de l'éprouvette ou sur le type d'écaillage (ponctuel ou surfacique, par ex.),
- La masse volumique à l'état humide de chaque éprouvette (en chiffres entiers).

## c.10 Précision

Les incertitudes de mesure indiquées au tableau 7 résultent d'un essai comparatif sur 3 bétons.

Tableau 7 Incertitudes de mesure pour valeurs moyennes [3], (nombre de laboratoires: 20)

| Perte de matière<br>g/m <sup>2</sup> | Écart type de répétabilité<br>$S_r$<br>g/m <sup>2</sup> | Écart type de reproductibilité<br>$S_R$<br>g/m <sup>2</sup> | Répétabilité <sup>1)</sup><br>$r$<br>g/m <sup>2</sup> | Reproductibilité <sup>1)</sup><br>$R$<br>g/m <sup>2</sup> |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 70                                   | 16                                                      | 38                                                          | 44                                                    | 104                                                       |
| 2178                                 | 442                                                     | 837                                                         | 1125                                                  | 2320                                                      |
| 2050                                 | 336                                                     | 1097                                                        | 933                                                   | 2989                                                      |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

## **Annexe D (normative)**

### **Résistance aux sulfates**

#### **D.1 Champ d'application**

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer l'action d'une solution de sulfate de sodium sur la modification de volume d'éprouvettes en béton. On peut en tirer des déductions prévisionnelles sur la résistance aux sulfates du béton.

#### **D.2 Références normatives**

SN EN 12390-2.

#### **D.3 Définitions**

$\Delta l$  allongement de l'éprouvette sous l'action des sulfates (expansion due aux sulfates), en ‰

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

#### **D.4 Principe**

Les éprouvettes soumises de façon cyclique à un séchage suivi de la conservation dans une solution sulfatique absorbent des sulfates. Lors d'une conservation subséquente dans la solution sulfatique sans cycles de mouillage et de séchage, le sulfate peut en plus réagir avec des constituants de l'éprouvette et provoquer une modification du volume de celle-ci.

#### **D.5 Équipement d'essai**

- Local d'essai à une température de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,
- Balance avec une précision de lecture de 0,01 g et une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,03$  g,
- Pied à coulisse avec une précision de lecture de 0,01 mm et une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,05$  mm,
- Instrument de mesure des longueurs avec une précision de lecture de 0,001 mm et une incertitude de mesure maximale de  $\pm 0,002$  mm,
- Barre de référence invar,
- Implants de mesure permettant un positionnement sans ambiguïté de l'instrument de mesure des longueurs. Des implants qui doivent être insérés dans la face frontale sont proscrits,
- Colle pour fixer les implants de mesure qui résiste à la solution sulfatique et qui ne présente pas de variation de volume,
- Étuve ventilée permettant un séchage à  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ ,
- Dessiccateur avec agent absorbant, permettant de garantir une humidité de l'air  $< 5\%$ ,
- Par série d'essai, 1 cuve en matière synthétique, en verre ou en métal résistant à la corrosion, pourvue d'une bonne fermeture et destinée à la conservation des éprouvettes dans une solution sulfatique. On utilisera des écarteurs qui, avec des surfaces de contact aussi petites que possible, permettent d'assurer un espacement  $> 10$  mm des éprouvettes entre elles ainsi que par rapport aux bords et au fond de la cuve,
- Solution de sulfate de sodium à 5 % (5 g de sulfate de sodium anhydre dans 95 g d'eau déminéralisée). Pour chaque série d'essai une nouvelle solution d'essai est utilisée. La solution d'essai n'est pas renouvelée en cours d'essai. On utilisera 0,4 litre de solution par carotte, ce qui correspond à un ratio volumique de solution de sulfate de sodium/échantillon de 4 à 5.

#### **D.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes**

- Conserver les éprouvettes selon SN EN 12390-2 et sous l'eau jusqu'au moment de l'essai.
- Les éprouvettes destinées à l'essai sont des carottes prélevées soit sur des échantillons confectionnés et conservés conformément à la SN EN 12390-2 (cubes, prismes, etc.), soit sur un élément de structure.

- Les carottes issues des échantillons sont à prélever sur les faces latérales (perpendiculairement au sens de remplissage) 1 à 3 jours avant le début de l'essai. Elles sont à conserver à une température de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  et une humidité relative de 70 % à 90 % jusqu'au début de l'essai.
- Les éprouvettes sont des carottes de diamètre  $d$  de  $(28 \pm 1)$  mm et de longueur de  $(147,5 \pm 2,5)$  mm; une série d'essai comprend six éprouvettes.
- Déterminer la longueur  $l$  des éprouvettes avec une précision de 0,1 mm.
- Déterminer le diamètre  $d$  sur la base de la valeur moyenne de deux mesures à différents points de l'éprouvette avec une précision de 0,1 mm.
- Coller des implants de mesure sur les deux surfaces d'extrémité des éprouvettes. On veillera à ce que les implants adhèrent bien à l'éprouvette. La part de la surface d'extrémité de la carotte qui est couverte par l'implant et la colle ne doit pas excéder 15 mm de diamètre.
- Conserver les éprouvettes sous l'eau pendant  $(60 \pm 10)$  minutes et procéder ensuite à la mesure initiale  $l_0$  entre les implants de mesures, avec une précision de 0,001 mm (mesure différentielle relative à la barre de référence invar). Passer ensuite immédiatement à l'exécution de l'essai.

## D.7 Exécution

- Le programme d'essai commence 28 jours après la confection du béton et dure 84 jours.
- Cycle 1:
  - Sécher les éprouvettes à  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$  pendant  $(120 \pm 2)$  heures. Utiliser pour le séchage une étuve ventilée. Remplir l'étuve de manière à ce que les éprouvettes puissent sécher uniformément et omnilatéralement. D'éventuelles tôles servant de support aux éprouvettes doivent être perforées et les éprouvettes doivent être posées sur des profils triangulaires d'une hauteur  $\geq 10$  mm.
  - Laisser refroidir les éprouvettes à  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  pendant 1 h dans le dessiccateur, puis déterminer leur masse ( $m_{T1}$ ). Après le refroidissement, plonger les éprouvettes dans la solution sulfatique et les maintenir complètement immergées pendant  $(48 \pm 1)$  heures. Essuyer ensuite la surface des éprouvettes et déterminer leur masse ( $m_{S1}$ ) avec une précision de 0,01 g et leur longueur relative à la barre de référence invar ( $l_1$ ) avec une précision de 0,001 mm.
- Cycles 2 à 4:
  - Sécher les éprouvettes à  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$  pendant  $(120 \pm 2)$  heures, comme décrit ci-dessus, puis les laisser refroidir à  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  pendant 1 heure dans le dessiccateur. Déterminer ensuite leur masse ( $m_{T2}$  à  $m_{T4}$ ).
  - Après le refroidissement, plonger les éprouvettes dans la solution sulfatique et les maintenir complètement immergées pendant  $(48 \pm 1)$  heures. Essuyer ensuite la surface des éprouvettes et déterminer leur masse ( $m_{S2}$  à  $m_{S4}$ ) avec une précision de 0,01 g et leur longueur relative à la barre de référence invar ( $l_2$  à  $l_4$ ) avec une précision de 0,001 mm.
- Conservation supplémentaire:
 

Suite au 4<sup>ème</sup> cycle (après la dernière mesure de masse et de longueur), les éprouvettes sont replongées dans la même solution sulfatique. Après respectivement 7, 14, 28, 42 et 56 jours de cette conservation supplémentaire, sortir les éprouvettes de la solution sulfatique, essuyer leurs surfaces et déterminer leur masse ( $m_{S5}$  à  $m_{S12}$ ) avec une précision de 0,01 g et leur longueur relative à la barre de référence invar ( $l_5$  à  $l_{12}$ ) avec une précision de 0,001 mm.

## D.8 Résultats d'essai

On calculera les valeurs suivantes:

- La détermination du volume  $V_0$  par mesurage dimensionnel

$$V_0 = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot l}{4 \cdot 10^9} \quad \text{en m}^3 \quad (14)$$

$d$  diamètre moyen en mm

$l$  longueur de l'éprouvette sans implants de mesure en mm

- La modification de longueur après la  $n^{\text{ème}}$  semaine  $\Delta l_n$  avec  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12$

$$\Delta l_n = \frac{l_n - l_0}{l} \cdot 1000 \quad \text{en } \text{‰} \quad (15)$$

$l_n$  valeur de mesure après la  $n^{\text{ème}}$  semaine en mm

$l_0$  valeur de mesure «zéro» avant le premier cycle en mm

$l$  longueur de l'éprouvette sans les implants de mesure en mm

- Allongement sulfatique déterminant pendant la conservation supplémentaire  $\Delta l_s$

$$\Delta l_s = \Delta l_{12} - \Delta l_4 \quad \text{en } \text{‰} \quad (16)$$

- L'augmentation de la masse lors des cycles d'immersion et de séchage (informatif)

$$\Delta m_{Sn} = \frac{m_{Sn} - m_{Tn}}{V_0} \quad \text{en kg/m}^3 \quad (17)$$

$m_{Sn}$  masse après conservation dans la solution sulfatique au  $n^{\text{ème}}$  cycle,  $n = 1$  à 4, en kg

$m_{Tn}$  masse après séchage au  $n^{\text{ème}}$  cycle,  $n = 1$  à 4, en kg

- L'augmentation de la masse lors de la conservation supplémentaire (informatif)

$$\Delta m_{Sn} = \frac{m_{Sn} - m_{Sv}}{V_0} \quad \text{en kg/m}^3 \quad (18)$$

$m_{Sn}$  masse après conservation dans la solution sulfatique au terme du  $n^{\text{ème}}$  cycle,  $n = 5, 6, 8, 10, 12$ , en kg

$m_{Sv}$  masse après conservation dans la solution sulfatique au terme de la mesure précédente, en kg

## D.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton, de la réception de l'échantillon au laboratoire et du début de l'essai ou de l'âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation des échantillons et éprouvettes,
- Les valeurs individuelles de  $\Delta l_n$ ,  $\Delta l_s$  et  $\Delta m_{Sn}$  pour chaque éprouvette,
- La valeur moyenne et écart type de  $\Delta l_n$  et  $\Delta l_s$  pour chaque série,
- Représentation graphique de  $\Delta l_n$  pour chaque instant de mesure et éprouvette ainsi qu'en tant que valeur moyenne de la série,
- Observations particulières lors de l'essai (fissuration des éprouvettes, décollement de granulats, etc.).

## D.10 Précision

Les incertitudes de mesure indiquées au tableau 8 ont été déterminées lors d'un essai comparatif sur 4 bétons.

Tableau 8 Incertitudes de mesure pour valeurs moyennes [4], (nombre de laboratoires: 13)

| Niveau d'allongement sulfatique<br>$\Delta l_s$<br>‰ | Écart type de répétabilité<br>$S_r$<br>‰ | Écart type de reproductibilité<br>$S_R$<br>‰ | Répétabilité <sup>1)</sup><br>$r$<br>‰ | Reproductibilité <sup>1)</sup><br>$R$<br>‰ |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,251                                                | 0,017                                    | 0,081                                        | 0,047                                  | 0,223                                      |
| 0,538                                                | 0,063                                    | 0,114                                        | 0,174                                  | 0,315                                      |
| 0,629                                                | 0,025                                    | 0,102                                        | 0,070                                  | 0,282                                      |
| 5,574                                                | 0,503                                    | 2,230                                        | 1,393                                  | 6,180                                      |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

La méthode a été développée sur des bétons avec des rapports  $e/c$  entre 0,45 et 0,60, des volumes de pâte de ciment entre 250 l/m<sup>3</sup> et 350 l/m<sup>3</sup> et des types de ciment CEM I, CEM I SR, CEM II/A-LL, CEM II/B-M et CEM III/B. Les deux dernières lignes du tableau 8 concernent des bétons avec des granulats de grandeur maximale de 8 mm, les autres de 32 mm. Pour d'autres formulations de béton, tels que les bétons projetés, les résultats d'essai doivent être validés par un spécialiste.

## Annexe E (normative)

### Perméabilité à l'air dans les structures

#### E.1 Champ d'application

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer dans les structures, de façon non destructive, la perméabilité à l'air d'un béton. La perméabilité à l'air permet de tirer des déductions prévisionnelles sur la durabilité du béton situé au voisinage de la surface.

Pour l'évaluation des résultats voir 3.3.2 et 3.3.3.

#### E.2 Références normatives

Aucune.

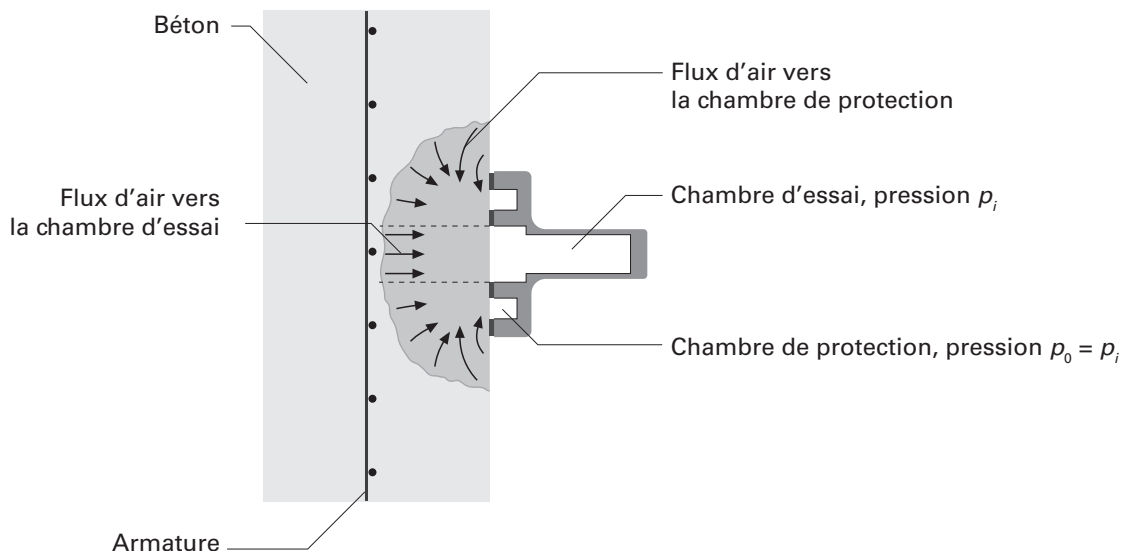
#### E.3 Définitions

- $k_T$  coefficient de perméabilité à l'air (ou en abrégé, perméabilité à l'air), en  $m^2$   
 $k_{Ti}$  valeurs individuelles du coefficient de perméabilité à l'air, en  $m^2$   
 $k_{Ts}$  Valeur indicative pour la perméabilité à l'air, en  $m^2$

#### E.4 Principe

Au moyen d'une pompe à vide, on crée une dépression dans une chambre d'essai et dans une chambre de protection qui l'entoure, les deux chambres étant ouvertes contre la surface du béton (voir figure 4). La liaison entre la chambre d'essai et la pompe à vide est ensuite hermétiquement fermée. Pendant la durée des mesures, la dépression de la chambre de protection est gérée de manière à être toujours égale à celle de la chambre d'essai. On mesure en fonction du temps la montée de pression induite par le flux d'air traversant le béton. On calcule ensuite la perméabilité à l'air à partir de la variation de pression en fonction du temps et d'autres valeurs caractéristiques.

Figure 4 Flux d'air lors de la détermination de la perméabilité à l'air



## E.5 Équipement d'essai

- Appareil permettant le contrôle automatique de la mesure avec une chambre d'essai (diamètre minimale 40 mm) et un anneau de protection disposé concentriquement autour de la chambre d'essai. Pendant la mesure, la pression dans l'anneau de protection doit être réglée par l'appareil de mesure de façon à ce qu'elle soit toujours égale à la pression dans la chambre d'essai à  $\pm 5$  mbar près,
- Pompe à vide pouvant générer une dépression  $< 20$  mbar,
- Appareil de mesure pour déterminer l'humidité du béton sur la base de l'impédance électrique,
- Appareil de mesure pour déterminer la température de l'air et de la surface du béton.

[5] contient des informations complémentaires par rapport aux appareils de mesure adéquats.

## E.6 Préparation de l'équipement et des surfaces d'essai

- L'appareil de mesure est à conditionner préalablement à la mesure. À cette fin, l'air de l'appareil est évacué pendant au moins 20 minutes en appliquant la chambre d'essai sur une surface imperméable.
- Calibrer l'appareil deux fois de suite. Lors de cette procédure, la montée en pression doit être  $\leq 5$  mbar pour chaque calibration et la différence entre les deux montées en pression  $\leq 0,5$  mbar.
- Protéger l'appareil de mesure d'un ensoleillement direct, avant et pendant la mesure.

## E.7 Exécution

- L'ouvrage à ausculter doit être divisé en groupes d'éléments présentant les caractéristiques suivantes:
  - Sorte de béton identique, c'est-à-dire classe d'exposition identique, classe de résistance à la compression identique et dimension maximale du granulats identique,
  - Bétonnage identique, c'est-à-dire que la mise en place, le compactage, la cure, etc. sont essentiellement identiques.
- Choisir une ou plusieurs surfaces à ausculter pour chaque groupe. Le nombre de surfaces à ausculter peut être déterminé de la façon suivante:
  - 1 surface à ausculter pour 500 m<sup>2</sup> de béton exposé et pour chaque portion restant inférieure à 500 m<sup>2</sup>,
  - 1 surface à ausculter pour une journée de bétonnage sur 3. Chaque période de bétonnage inférieure à 3 jours entraîne 1 surface à ausculter supplémentaire.
- L'essai est effectué de manière générale sur un béton âgé de 28 à 120 jours; les exigences concernant la température et à l'humidité doivent être respectées.
- L'humidité du béton doit être déterminée aux endroits où la perméabilité à l'air sera mesurée. Elle ne doit pas dépasser 5,5 %-masse.
- Les températures de l'air et du béton sont à déterminer aux points de mesure. Elles doivent être  $\geq 5$  °C.
- Effectuer de 6 à 12 mesures (voir l'évaluation) à différents endroits de chaque surface d'élément de construction à ausculter. Il faut prendre soin que les espaces verticaux et horizontaux entre les points de mesure ainsi qu'entre les points de mesure et le bord de l'élément de construction ne soient pas inférieurs à 0,2 m.
- La surface du béton doit être suffisamment lisse pour que la dépression provoque l'adhérence de la chambre d'essai et qu'il n'y ait aucune infiltration d'air entre la chambre d'essai et la surface du béton. Si tel n'est pas le cas, poncer la surface du béton à sec, avec précaution et aussi faiblement que possible.
- L'enrobage d'armature doit mesurer au moins 2 cm aux points de mesure; cela vaut par analogie aussi pour des gaines électriques et autres conduites, etc.
- Aucun système de protection de surface ou similaire ne doit se trouver sur le béton aux points de mesure, sauf s'il a été démontré que celui-ci n'influence pas la mesure.
- Appliquer la chambre d'essai avec la chambre de protection sur le béton et la pompe va y faire automatiquement le vide pendant 1 minute. La mise sous vide de la chambre d'essai est ensuite stoppée automatiquement et l'augmentation de la pression dans la chambre de mesure en fonction du temps est mesurée au moins toutes les 15 secondes.

## E.8 Résultats d'essai

L'appareil de mesure calcule la perméabilité à l'air  $k_T$  à partir des mesures enregistrées (montée de la pression, temps utilisé, autres valeurs caractéristiques spécifiques à la méthode), voir [5]).

$$k_T = \left( \frac{V_c}{A} \right)^2 \cdot \frac{\mu}{2 \cdot \varepsilon \cdot p_a} \cdot \left( \frac{\ln \left( \frac{p_a + \Delta p}{p_a - \Delta p} \right)}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right)^2 \quad (19)$$

- $k_T$  Perméabilité à l'air en  $\text{m}^2$
- $V_c$  Volume de la chambre d'essai en  $\text{m}^3$
- $A$  Aire de la chambre d'essai en  $\text{m}^2$
- $\mu$  Viscosité dynamique de l'air, admise constante avec  $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$
- $\varepsilon$  Porosité remplie de l'air du béton, admise constante avec 0,15
- $t$  Fin de la mesure en s
- $t_0$  Début de la mesure (après évacuation de l'air de la chambre d'essai), en s
- $p_a$  Pression atmosphérique en  $\text{N/m}^2$
- $\Delta p$  Différence de pression entre  $t_0$  et  $t$  (fin de la mesure) dans la chambre d'essai, en  $\text{N/m}^2$

## E.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date et heure des mesures,
- Ouvrage, élément de construction,
- Date de fabrication de l'élément investigué,
- Position des points de mesure,
- Particularités de l'élément de construction et des points de mesure telles que fissures, nids de gravier ou bullage de grandes dimensions,
- Dans le cas où une préparation du point de mesure a été effectuée (ponçage, par ex.), indiquer le type de traitement effectué,
- La température de l'air et de l'élément de construction,
- Les conditions météorologiques (par ex. soleil, couvert, etc.),
- Humidité du béton pour chaque point de mesure, en %-masse,
- Marque et modèle d'appareil de mesure utilisé,
- La valeur de montée en pression pour chaque calibration effectuée,
- Durée de mesure (< 6, 6 ou > 6 minutes par mesure),
- Les valeurs individuelles de la mesure de la perméabilité à l'air en  $10^{-16} \text{ m}^2$ ,
- La pression en mbar dans la cellule de mesure au début de l'essai, c'est-à-dire directement avant que la connection entre la pompe à vide et la cellule de mesure soit interrompue, peut être indiquée en plus.

## E.10 Précision

Des mesures de cinq laboratoires sur deux ouvrages avec chaque fois deux à trois éléments et des rapports  $e/c$  compris entre 0,40 et 0,50 ont permis de déterminer les valeurs caractéristiques du tableau 9.

Tableau 9 Incertitudes de mesure pour valeurs moyennes, [5], (nombre de laboratoires: 5)

| Ouvrage | Moyenne géométrique de la perméabilité à l'air $10^{-16} \text{ m}^2$ | Écart type des perméabilités à l'air (valeur logarithmique) $\log(\text{m}^2)$ | Écart type de répétabilité $S_r$ $\log(\text{m}^2)$ | Écart type de reproductibilité $S_R$ $\log(\text{m}^2)$ |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1       | 0,17                                                                  | 0,43                                                                           | 0,44                                                | 0,45                                                    |
| 2       | 0,19                                                                  | 0,79                                                                           | 0,55                                                | 0,58                                                    |

## **Annexe F (normative)**

### **Retrait et fluage**

#### **F.1 Champ d'application**

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer le retrait spécifique et la déformation spécifique de fluage d'un béton.

#### **F.2 Références normatives**

Aucune.

#### **F.3 Définitions**

Retrait voir SIA 262

Fluage voir SIA 262

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

#### **F.4 Principe**

La détermination du retrait spécifique s'effectue par mesure de la variation de longueur, en fonction du temps, d'éprouvettes soumises au processus de dessiccation.

La détermination de la déformation spécifique de fluage s'effectue par mesure de la variation de longueur, en fonction du temps, d'éprouvettes soumises simultanément à la dessiccation et à la traction ou à la compression. Dans ce cas, d'autres éprouvettes sont soumises à la mesure du retrait spécifique seul, afin de pouvoir déduire, par différence entre les deux essais, la part de variation de longueur due au fluage.

#### **F.5 Équipement d'essai**

- Instrument de mesure des longueurs avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 2 \mu\text{m}$ ,
- Barre de référence invar,
- Implants de mesure assurant le positionnement précis de l'instrument de mesure des longueurs,
- Local climatisé à une température de  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  pour une humidité relative de  $(70 \pm 5) \%$ ,
- Lors des essais de fluage, la charge doit pouvoir être appliquée avec une tolérance de  $\pm 1 \%$  et rester constante pendant toute la durée d'application choisie.

#### **F.6 Préparation des éprouvettes**

- L'essai se pratique sur des prismes de dimensions  $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 360 \text{ mm}$ . Chaque essai requiert deux prismes.
- La température de conservation des éprouvettes depuis leur fabrication jusqu'à leur mesure initiale doit être si possible  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Les éprouvettes doivent être protégées contre le dessèchement depuis leur fabrication jusqu'à leur démoulage. Une conservation sous l'eau n'est pas admise.
- Les exigences ci-dessus sont aussi valables pour les éprouvettes qui sont fabriquées sur les chantiers. Des mesures adéquates doivent être prises.
- Le démoulage et le collage des implants de mesure doivent être effectués si possible immédiatement avant la mesure initiale.
- Coller les implants de mesure sur deux faces latérales opposées de l'éprouvette de façon qu'ils soient à distance approximativement égale du centre des éprouvettes; sur chacune de ces deux faces, la distance entre les implants doit être  $\geq 200 \text{ mm}$ .

## F.7 Exécution

- Dans le local climatisé, conserver les éprouvettes de manière à ce qu'elles puissent sécher omnilatéralement (distance entre les éprouvettes, par rapport aux parois ou au sol > 2 cm) et que rien n'entrave les déformations dues au retrait.
- Effectuer la mesure initiale ( $24 \pm 1$ ) heures ( $t_0$ ) après la confection des éprouvettes. Contrôler l'instrument de mesure au moyen d'une éprouvette de référence avant et après les mesures de longueur. Relever et enregistrer séparément les différences de longueur des faces des éprouvettes avec une précision de 1  $\mu\text{m}$ .
- Sur demande du mandant, une mesure initiale  $t_0$  avant ( $24 \pm 1$ ) heures est admise. Dans ce cas, une mesure supplémentaire à ( $24 \pm 1$ ) heures doit toujours être effectuée.
- Une mesure initiale après  $t_0$  de ( $24 \pm 1$ ) heures n'est admise que lorsque la faible résistance à la compression ne permet pas un démoulage dans les délais. Ceci doit être mentionné dans le protocole d'essai.
- Les mesures sont répétées à  $t = 3, 7, 14, 28, 91$  jours: si besoin des mesures peuvent aussi être réalisées après 182 et 364 jours après la confection du béton. Les échéances de mesure dès l'échéance de 28 jours doivent être respectées à  $\pm 2$  jours près et reprises en correspondance dans l'évaluation.
- Pour l'essai de fluage, soumettre les échantillons 28 jours après leur confection à une charge correspondant au tiers de la résistance à la compression au moment du chargement et mesurer la longueur ( $t_0$ ). D'autres mesures de longueur auront lieu à  $t = 35, 42, 56, 70, 91$  jours: si besoin des mesures peuvent aussi être réalisées après 182 et 364 jours après la confection du béton. Parallèlement à l'essai de fluage, procéder à l'essai de retrait (voir ci-dessus), en effectuant des mesures supplémentaires après  $t = 35, 42, 56$  et 70 jours.

## F.8 Résultats d'essai

F.8.1 La variation de longueur  $\Delta l$  d'un côté de l'échantillon au temps  $t$  correspond à:

$$\Delta l_t = l_0 - l_t \quad \text{en } \mu\text{m} \quad (20)$$

$\Delta l_t$  variation de longueur au temps  $t$  en  $\mu\text{m}$

$l_0$  valeur de mesure initiale (= longueur de mesure entre les implants de mesure ou longueur effective de l'éprouvette), en  $\mu\text{m}$

$l_t$  valeur mesurée au temps  $t$  en  $\mu\text{m}$

F.8.2 On calculera le retrait spécifique  $\varepsilon_{CS}(t)$  et la déformation spécifique de fluage  $\varepsilon_{CC}(t)$  de la manière suivante:

$$\varepsilon_{CS}(t) = \frac{\overline{\Delta l_t}}{l_0} \cdot 1000 \quad \text{resp.} \quad \varepsilon_{CC}(t) = \frac{\overline{\Delta l_t}}{l_0} \cdot 1000 \quad \text{en } \text{‰} \quad (21)$$

$\overline{\Delta l_t}$  valeur moyenne des variations de longueur  $\Delta l_t$  de deux faces opposées d'une éprouvette (pour le fluage après déduction du retrait)

## F.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton ou âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation des échantillons et éprouvettes,
- Le moment de la mesure initiale,
- La longueur de la base de mesure entre les implants de mesure en mm,
- Pour les essais de fluage: le début de l'application de la charge et la grandeur de la contrainte appliquée,
- Les conditions de conservation: température, humidité relative,

- La représentation sous forme tabellaire des valeurs  $\varepsilon_{CS}(t)$  et  $\varepsilon_{CC}(t)$  pour chaque échéance de mesure et éprouvette et en tant que valeurs moyennes de série ainsi que sous forme graphique des valeurs  $\varepsilon_{CS}(t)$  et  $\varepsilon_{CC}(t)$  pour chaque échéance de mesure en tant que valeur moyenne de chaque série.

## F.10 Précision

F.10.1 L'incertitude sur la mesure du retrait spécifique a été déterminée sur la base d'un essai comparatif avec 3 bétons, voir les tableaux 10 et 11.

Tableau 10 Incertitude de mesure pour valeurs moyennes d'un retrait spécifique  $\varepsilon_{CS}$  de 91 jours [6], (nombre de laboratoires: 12)

| Niveau de retrait<br>$\varepsilon_{CS}(t)$<br>‰ | Écart type de répétabilité<br>$S_r$<br>‰ | Écart type de reproductibilité<br>$S_R$<br>‰ | Répétabilité <sup>1)</sup><br>$r$<br>‰ | Reproductibilité <sup>1)</sup><br>$R$<br>‰ |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,170                                           | –                                        | 0,032                                        | –                                      | 0,090                                      |
| 0,329                                           | 0,022                                    | 0,032                                        | 0,062                                  | 0,087                                      |
| 0,733                                           | –                                        | 0,049                                        | –                                      | 0,136                                      |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

Tableau 11 Incertitude de mesure pour valeurs moyennes d'un retrait spécifique  $\varepsilon_{CS}$  de 364 jours [6], (nombre de laboratoires: 5)

| Niveau de retrait<br>$\varepsilon_{CS}(t)$<br>‰ | Écart type de répétabilité<br>$S_r$<br>‰ | Écart type de reproductibilité<br>$S_R$<br>‰ | Répétabilité <sup>1)</sup><br>$r$<br>‰ | Reproductibilité <sup>1)</sup><br>$R$<br>‰ |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0,227                                           | –                                        | 0,017                                        | –                                      | 0,048                                      |
| 0,420                                           | 0,017                                    | 0,024                                        | 0,046                                  | 0,068                                      |
| 1,007                                           | –                                        | 0,062                                        | –                                      | 0,173                                      |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

F.10.2 Aucune donnée n'est disponible quant à l'incertitude sur la mesure des déformations dues au fluage.

## **Annexe G (normative)**

### **Résistance à la réaction alcalis-granulats (RAG):**

### **Méthode de la performance**

#### **G.1 Champ d'application**

L'essai permet d'évaluer la résistance à la réaction alcalis-granulats d'une formule de béton.

#### **G.2 Références normatives**

SIA 2042, SN EN 196-2 et SN EN 1008.

#### **G.3 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 [11]. 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.

#### **G.4 Principe**

La sensibilité de la formule de béton testée vis-à-vis de la réaction alcalis-granulats est mesurée par un essai de gonflement de trois prismes en béton de dimensions 70 mm × 70 mm × 281 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 G.5.2 permet de garantir le respect de ces conditions.

#### **G.5 Équipement d'essai**

##### **G.5.1 Appareillage d'usage courant:**

- Malaxeur de béton,
- Moules pour éprouvettes prismatiques 70 mm × 70 mm × 281 mm ( $\pm 2$  mm), permettant de fixer les plots de mesure (figure 5),
- Plots de mesure en acier inoxydable disposés pour avoir une longueur de mesure effective (distance entre faces internes des plots) égale à  $(250 \pm 5)$  mm. Un exemple de plots de mesure est donné à la figure 6. La partie extérieure des plots doit être dans le plan des deux faces du prisme comportant les plots,
- 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).

- G.5.2 Appareillage spécifique:
- Appareil de mesure de déplacement permettant une lecture à 0,001 mm près. Cet appareil comporte deux palpeurs munis d'une bille rectifiée d'un diamètre compris entre 1,4  $d_1$  et 1,4  $d_2$ , avec  $d_1$  et  $d_2$  respectivement, petit diamètre et grand diamètre de la partie chanfreinée des plots de mesure,
  - Barre de référence invar de  $(281 \pm 2)$  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 7),
  - Réacteur métallique muni de résistances chauffantes immergées dans de l'eau, assurant une température à l'intérieur des conteneurs de  $(60 \pm 2)$  °C (figure 8),
  - Plaques non absorbantes et inertes vis-à-vis du béton, avec joint d'étanchéité pour les moules (figure 9).
- G.5.3 Produits:
- Solutions NaOH de concentration connue ou pastilles NaOH (qualité pour analyse).

## G.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes

- G.6.1 Matériaux soumis à l'essai:
- 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) et, si nécessaire, la plus grande dimension des granulats.
  - Compte tenu de la taille des éprouvettes, la plus grande dimension des granulats est limitée à 22,4 mm. Si nécessaire, la classe granulaire 16–32 sera tamisée à 22,4 mm. Sécher les granulats à 80 °C, laisser refroidir à l'air dans le laboratoire, et conserver (conditions ambiantes normales).

- G.6.2 Ajout d'alcalins:
- 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, voir G.6.3. 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 d'alcalins  $\delta$  Na<sub>2</sub>O à ajouter est fait de la manière suivante:

$$\delta = \frac{C}{100} \cdot [A_m \cdot (1 + 2 \cdot V_c) - A_{ech}] \quad \text{en kg/m}^3 \quad (22)$$

$C$  dosage en ciment dans le béton en kg/m<sup>3</sup>

$A_m$  teneur en alcalins actifs du ciment en %-masse Na<sub>2</sub>O<sub>Eq</sub>

$V_c$  coefficient de variation de la teneur en Na<sub>2</sub>O<sub>Eq</sub> du ciment

$A_{ech}$  teneur en Na<sub>2</sub>O<sub>Eq</sub> actif de l'échantillon de ciment utilisé pour la confection des éprouvettes en %-masse (avec Na<sub>2</sub>O<sub>Eq</sub> = Na<sub>2</sub>O + 0,658 K<sub>2</sub>O)

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

Si  $\delta$  est négatif, aucun alcalin n'est ajouté.

- en l'absence de données sur la dispersion des teneurs en alcalins selon G.6.3, la quantité  $\delta$  Na<sub>2</sub>O à ajouter sous forme de soude NaOH au béton des éprouvettes est égale à:

$$\delta = 0,0025 \cdot C \cdot A_{ech} \quad \text{en kg/m}^3 \quad (23)$$

Exemple:

Pour  $C = 380$  kg/m<sup>3</sup> et  $A_{ech} = 1$  %, l'équation donne:  $\delta = 0,0025 \cdot 380 \cdot 1 \% = 0,95$  kg/m<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>O.

- Les alcalins sont ajoutés sous forme de NaOH, c'est-à-dire  $1,29 \cdot \delta$  Na<sub>2</sub>O kg/m<sup>3</sup>.
- Au cas où seul la teneur en liant du mélange est connu, et que la teneur en alcalins du liant ne peut pas être analysée (par ex. mortiers prêt à l'emploi), un ajout fixe en alcalins est requis. La teneur en alcalins du liant sera fixée à 1 %, pour autant qu'aucune autre valeur ne puisse être fondée. Des hypothèses judicieuses concernant la masse volumique du liant et des granulats, ainsi que les données sur la formulation du mélange devraient être fondées.

G.6.3 Détermination des alcalins actifs des ciments et des additions:

G.6.3.1 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 G.6.2 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.

G.6.3.2 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). 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 G.6.3.3 ou G.6.3.4.

G.6.3.3 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 par 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».

$$a = \% Na_2O + 0,658 \% K_2O \tag{24}$$

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:

Tableau 12  $Na_2O$  équivalent actif

|                                      |                        |                                       |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| clinker (K)                          | $A_K = 1,00 a_k$       |                                       |
| gypse (G)                            | $A_G = 1,00 a_G$       |                                       |
| laitier (S)                          | $A_S = 0,50 a_S$       |                                       |
| fumée de silice (D)                  | $A_D = 0,17 a_D$       | (en l'absence de données disponibles) |
| pouzzolanes naturelles (P)           | $A_P = 0,17 a_P$       |                                       |
| pouzzolanes naturelles calcinées (Q) | $A_Q = 0,17 a_Q$       |                                       |
| cendres volantes siliceuses (V)      | $A_V = 0,17 a_V$       |                                       |
| cendres volantes calciques (W)       | $A_W = 1,00 a_W$       | (en l'absence de données disponibles) |
| schistes calcinés (T)                | $A_T = 1,00 a_T$       | (en l'absence de données disponibles) |
| calcaire de type (L)                 | $A_L = 0,50 a_L$       |                                       |
| calcaire 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:

$$K + (S + D + P + Q + V + W + T + L + LL) = 1 \tag{25}$$

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

$$A = (1 - G) \cdot (K \cdot A_K + D \cdot A_D + S \cdot A_S + P \cdot A_P + Q \cdot A_Q + V \cdot A_V + W \cdot A_W + T \cdot A_T + L \cdot A_L + LL \cdot A_{LL}) + G \cdot A_G \tag{26}$$

#### G.6.3.4 Méthode analytique

Dans le cas où l'on ne dispose pas des informations nécessaires à l'application de la méthode selon G.6.3.3, 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 [11]: une attaque du ciment par un acide dilué ( $\text{HNO}_3$  1:50) pour déterminer la quantité d'alcalins solubles du ciment  $a_s$  et la teneur en résidu insoluble  $r$  (partie pouzzolanique).
- déterminer, selon 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:

$$A = 0,17 \cdot (a_t - a_s) + \left( \frac{(100-J) + 0,5 \cdot (J-r)}{100-r} \right) \cdot a_s \quad (27)$$

$a_t, a_s$  en %  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{Eq}}$  du ciment

$r$  en %

$J$  la somme des teneurs en constituants autres que le clinker, en %

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 (27) ci-dessus que le second terme. De même, dans l'éventualité où la valeur trouvée pour  $a_t < a_s$ , 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 (27) proposée ci-dessus, la teneur en alcalins actifs étant égale à la teneur en alcalins totaux.

#### G.6.3.5 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+A1.

L'analyse des alcalins se fait selon SN EN 196-2 et pour en déduire les alcalins actifs utiliser les facteurs indiqués sous G.6.3.3. Les ajouts d'alcalins sont calculés pour chaque addition séparément. 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.

Pour des nouveaux types de ciment il est possible de calculer les ajouts d'alcalins pour la partie clinker du ciment et les autres constituants majeurs du ciment selon G.6.3.3 ou G.6.3.4.

#### G.6.4 Préparation de l'essai:

- 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.
- 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.
- Sécher le granulat à 80 °C, laisser refroidir et conserver à l'air (climat normal de laboratoire).
- Le malaxage du béton et la fabrication des éprouvettes peuvent se faire dans une salle avec des conditions climatiques normales. Sa durée minimale est de 3 minutes (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).
- En l'absence de données précises du mandant l'ordre d'introduction des matériaux est le suivant:
  - environ la moitié du gravillon, des sables et les éventuels correcteurs granulométriques, et éventuellement environ deux tiers de l'eau de gâchage et laisser environ 10 minutes au repos,
  - le ciment et les éventuelles additions,
  - le reste du gravillon et du sable,
  - le reste de l'eau de gâchage contenant l'ajout de NaOH (il convient de veiller à la dissolution complète de la soude avant ajout au mélange),
  - adjuvant éventuel avec le reste de l'eau de gâchage. Le dosage en adjuvant peut être adapté jusqu'à la consistance désirée du producteur. Les accélérateurs sont à introduire à la fin du malaxage.
- Les mesures et le consignement des caractéristiques du béton frais (valeur  $e/c$ , consistance, etc.) sont facultatifs.

- G.6.5 Préparation des éprouvettes:
- Utiliser les moules pour éprouvettes prismatiques de 70 mm × 70 mm × 281 mm, à trois compartiments par moule. Chaque compartiment est préalablement légèrement huilé puis équipé de plots en acier inoxydable (non huilés).
  - Sauf caractéristique autocompactante 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. 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.
  - La confection des éprouvettes doit être réalisée impérativement à la suite de la confection du béton. Le moule rempli de béton est protégé après vibration de suite par une plaque.
  - Les prismes sont conservés dans leurs moules pendant  $(24 \pm 2)$  heures à une température de  $(20 \pm 2)$  °C et une humidité relative supérieure à 90 %. La conservation dans des linges humides n'est pas autorisée. La vérification de la perte de masse n'est pas nécessaire.

## G.7 Exécution

- G.7.1 Démoulage et mesures initiales:
- Lors du démoulage, chaque éprouvette est immédiatement identifiée, ébavurée et mesurée comme indiqué sous G.7.2: soit  $M_0(n)$  et  $L_0(n)$ , avec  $n$  = indice identifiant de l'éprouvette.
  - Les éprouvettes sont ensuite immergées pendant  $(30 \pm 5)$  minutes dans de l'eau à  $(20 \pm 2)$  °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.
- Commentaire: Normalement, les longueurs mesurées (1) et (3) sont identiques à la précision de mesure requise. Dans ce cas, les valeurs initiales selon 1) sont celles utilisées pour la valeur de début de l'essai. En cas de différence, les valeurs de la mesure initiale selon 1) sont utilisées, à moins que, sur la base de la répétition des mesures, il est montré que ces valeurs initiales sont devenues erronées.
- Lorsque tous les prismes ont été démoulés, pesés, mesurés, ils sont introduits dans un conteneur en acier inoxydable (figure 7) contenant  $(35 \pm 5)$  mm d'eau. Les conteneurs sont ensuite stockés dans un réacteur (figure 8).

### G.7.2 Procédure des mesures de masses et de déformation longitudinale

À 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  $(20 \pm 2)$  °C; fixer le couvercle à l'aide d'un ruban adhésif toilé large; laisser les conteneurs dans la salle de mesure pendant  $(24 \pm 2)$  h.
- Vérifier le zéro du comparateur avec la barre de référence invar.
- Appliquer la procédure de mesure suivante, qui n'excédera pas 2 minutes par prisme afin de limiter au maximum la dessiccation:
  - sortir un prisme d'un conteneur en prenant soin de refermer aussitôt le couvercle,
  - peser le prisme, soit: la masse  $M_t(n)$  avec  $n$  = l'identifiant du prisme et  $t$  = l'échéance en semaines de la mesure. Les variations de masses des éprouvettes d'une mesure à l'autre ne doivent pas dépasser 1 %-masse,
  - essuyer avec soin les plots de mesure en inox,
  - 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,
  - réintroduire le prisme dans le conteneur en le retournant (haut/bas),
  - refaire les étapes 1 à 5 pour tous les prismes du conteneur.
- Vérifier le zéro du comparateur avec la barre de référence invar à chaque prisme et entre deux conteneurs.
- S'il apparaît un écart de plus de 3 microns sur la longueur de la barre de référence invar, recommencer les mesures des prismes du conteneur concerné.

- Refaire le zéro si besoin.
- À la fin des mesures, vérifier les niveaux d'eau de  $(35 \pm 5)$  mm 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.

Lorsque les mesures de déformation portent sur un nombre de prismes inférieur au contenu du conteneur, la procédure suivante s'applique:

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.

#### G.7.3 Durée de l'essai et échéance des mesures:

- La durée d'essai est de 5 ou 12 mois et dépend du déroulement de la courbe d'expansion. L'essai peut être terminé après 5 mois, si les critères du correctif SIA 2042-C1:2015, chiffre 3.3.3, sont remplis.
- 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. Il est communément admis que: 1 mois correspond à 4 semaines (= 28 jours), 12 mois correspondent à 48 semaines et 48 semaines correspondent à 1 année.
- Des mesures entre ces échéances ne sont pas admises.
- L'évolution mensuelle d'un gonflement au cours d'un mois ( $n$ ) est calculée en effectuant la différence entre l'allongement mesuré à l'échéance de  $n$  mois et celui mesuré à l'échéance de  $(n - 1)$  mois.

## G.8 Résultats d'essai

### G.8.1 Évaluation 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  $\Delta\epsilon_t(n)$  en ‰ (ou en mm/m) avec 3 chiffres après la virgule:

$$\Delta\epsilon_t(n) = \frac{L_t(n) - L_0(n)}{L_{eff}} \cdot 1000 \quad \text{en ‰} \quad L_t(n); L_0(n); L_{eff} \text{ en } \mu\text{m} \quad (28)$$

La longueur effective  $L_{eff}$  est la 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.

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

$$\Delta M_t(n) = \frac{M_t(n) - M_0(n)}{M_0(n)} \cdot 100 \quad \text{en \%} \quad (29)$$

- 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.

## G.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom et adresse du laboratoire d'essai et de la personne responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de la production du béton,
- Désignation du béton,
- Informations sur la composition du béton sur demande du mandant,
- 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, masse volumique, teneur en air,
- Méthode de confection des prismes (autocompaction, type de vibration, durée de vibration),
- Présentation en tableau et graphique selon G.8,
- Évaluation des résultats selon le cahier technique SIA 2042.

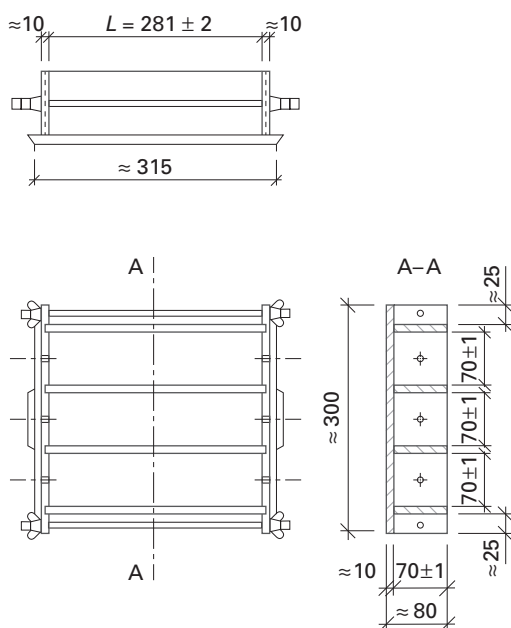
En cas d'un examen par le prescripteur, respectivement un spécialiste du maître d'ouvrage, des possibilités de transposer les résultats à une autre recette de béton, la recette du béton avec la teneur et la provenance de tous les composants du béton est à indiquer:

- Granulat: provenance, granularité, le cas échéant proportion de granulat concassé (voir SIA 2042:2012, tableau 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  $\text{m}^3$  de béton gâché.

## G.10 Fiabilité de l'essai

Résultats de la campagne d'essais interlaboratoires, voir [10].

Figure 5  
Moule pour éprouvettes  
70 mm × 70 mm × 281 mm  
(dimensions en millimètres)



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

Figure 6  
Exemple de plot de mesure en acier inox  
(dimensions en millimètres)

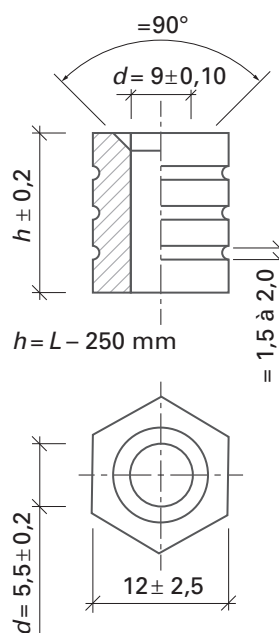


Figure 7 Conteneur en inox pour six prismes (dimensions en millimètres)

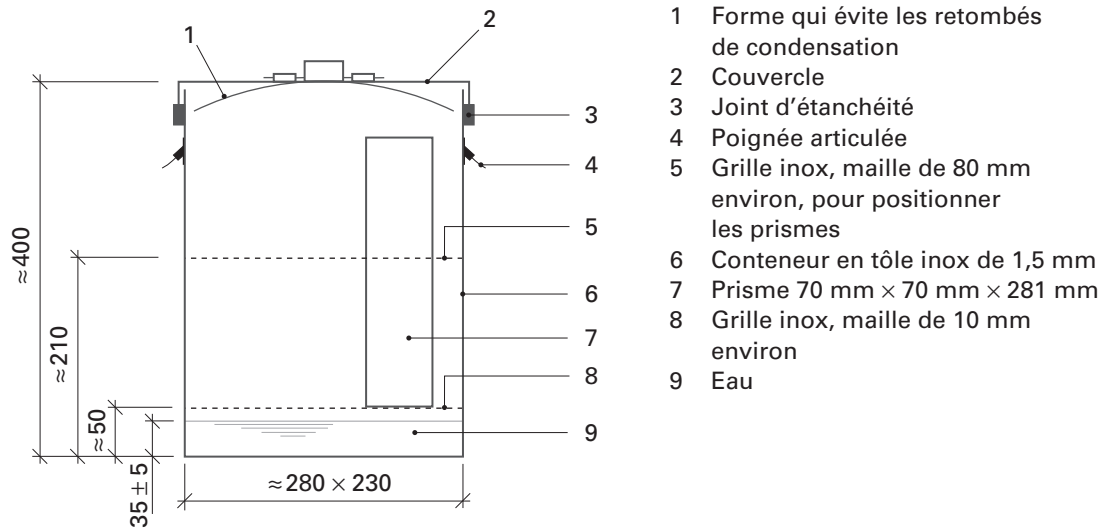


Figure 8 Réacteur en acier inox pour 9 conteneurs (dimensions en millimètres)

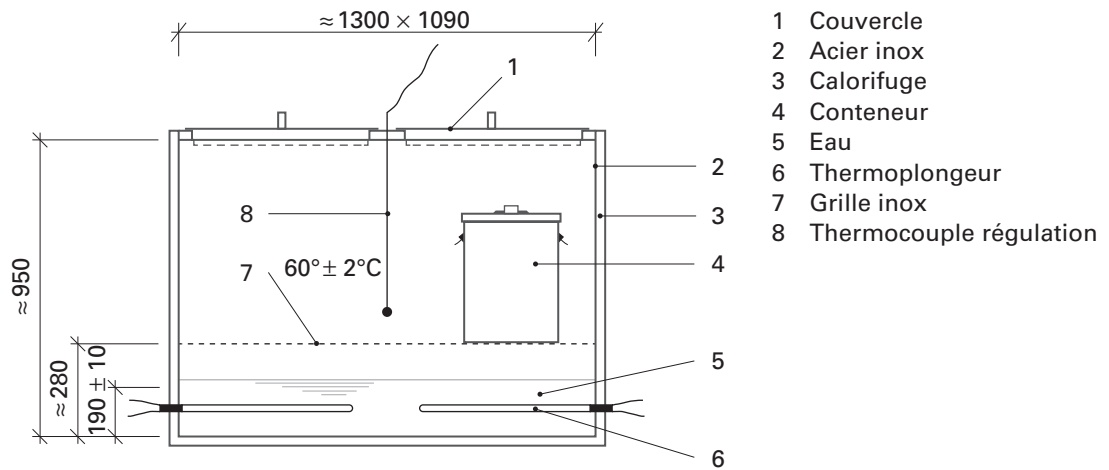
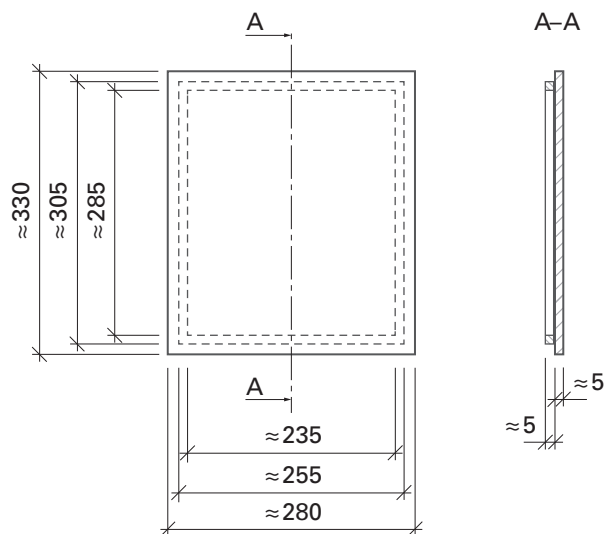


Figure 9 Exemple de plaque avec joint d'étanchéité (dimensions en millimètres)



## Annexe H (normative)

### Teneur en eau du béton frais

#### H.1 Champ d'application

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer la teneur en eau d'un béton frais. L'essai dure environ 30 à 45 minutes en fonction de la composition du béton.

#### H.2 Références normatives

SN EN 12350-1 et SN EN 12350-6.

#### H.3 Définitions

- $w_0$  teneur en eau du béton frais (somme de l'eau efficace et de l'eau absorbée par les granulats), en  $\text{kg/m}^3$   
 $w$  teneur en eau efficace, en  $\text{kg/m}^3$   
 $WA_{24}$  absorption d'eau des granulats dans le béton, en  $\text{kg/m}^3$ , pour des granulats normaux et lourds (selon SN EN 1097-6, données du producteur)

#### H.4 Principe

Un échantillon de béton frais est séché jusqu'à constance de la masse. On calcule la teneur en eau du béton frais à partir de la masse de l'échantillon avant et après le séchage, ainsi qu'à partir de la masse volumique du béton frais.

#### H.5 Équipement d'essai

- Balance avec une incertitude de mesure maximale de  $\pm 3$  g, abritée du vent,
- Récipient de séchage (propre et sec) dont le fond doit avoir une surface  $\geq 1500 \text{ cm}^2$  et dispositif permettant d'évaporer l'eau du béton frais par chauffage (brûleur à gaz, par ex.),
- Truelle, ustensile pour remuer le mélange, etc.

#### H.6 Préparation des échantillons

- Prélever l'échantillon de béton frais selon la SN EN 12350-1,
- Pour une dimension nominale de  $D_{max}$  de 8 mm à 32 mm, la quantité de béton frais requise est au moins 6 kg. La quantité peut être réduite pour un  $D_{max}$  plus petit. Pour un béton autoplaçant (SCC), un échantillon d'au moins 10 kg de béton frais est à utiliser.

#### H.7 Exécution

- Peser l'échantillon de béton frais avec une précision de lecture de 1 g ( $m_0$ ),
- Sécher l'échantillon de béton frais,
- Lorsqu'il semble être sec, peser l'échantillon avec une précision de lecture de 1 g ( $m_1 \dots$ ),
- Continuer à sécher pendant 5 minutes, puis peser à nouveau ( $m_2$ ),
- Si la différence entre  $m_2$  et  $m_1 < 5$  g, on assignera à  $m_{tr}$  la valeur de  $m_2$ . Si tel n'est pas le cas, on prolongera la durée de séchage jusqu'à ce que la différence de masse soit inférieure à 5 g entre deux pesées espacées de 5 minutes. La dernière valeur de pesée est alors à assigner à  $m_{tr}$ ,
- Pendant le séchage, remuer l'échantillon avec un ustensile adéquat de manière à éviter le croûtage et à assurer un séchage uniforme; désagréger les grumeaux avec précaution. Éviter la perte de particules appartenant à l'échantillon.

## H.8 Résultats d'essai

H.8.1 On calculera la teneur en eau  $w_0$  du béton frais à l'aide de la relation suivante:

$$w_0 = \rho_0 \cdot \frac{m_0 - m_{tr}}{m_0} \quad \text{en kg/m}^3 \quad (30)$$

$\rho_0$  masse volumique du béton en place en kg/m<sup>3</sup>, déterminée selon la SN EN 12350-6

$m_0$  masse de l'échantillon de béton frais en g

$m_{tr}$  masse de l'échantillon à l'état sec en g

La teneur en eau sera donnée avec une précision de 1 kg/m<sup>3</sup>.

H.8.2 Calculs subséquents

Le rapport eau/ciment ( $e/c$ ), resp. le rapport eau/ciment équivalent ( $e/c_{eq}$ ) dans la mesure où il est justifié, seront calculés à l'aide des relations suivantes:

$$e/c = \frac{w_0 - WA_{24}}{c} \quad \text{resp. } e/c_{eq} = \frac{w_0 - WA_{24}}{c + k \cdot ZS} \quad (31)$$

$c$  dosage en ciment en kg/m<sup>3</sup> (donnée du producteur de béton)

$ZS$  dosage en additions minérales en kg/m<sup>3</sup> autorisé dans le calcul du rapport  $e/c_{eq}$  selon la SN EN 206+A1 (donnée du producteur de béton)

$k$  coefficient [-] pour la prise en compte des additions minérales, selon la SN EN 206+A1

Les résultats seront donnés avec la précision suivante: 1 kg/m<sup>3</sup> pour le dosage en ciment et la teneur en eau, 10 kg/m<sup>3</sup> pour la masse volumique et 0,01 pour le rapport  $e/c$ .

## H.9 Rapport d'essai

Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date et heure de la fabrication du béton,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation de l'échantillon,
- Le type d'échantillon: échantillon ponctuel, échantillon global,
- Le numéro du bulletin de livraison,
- Le numéro de la recette de béton, pour autant que celui-ci soit connu,
- La masse de l'échantillon avant séchage, teneur en eau en kg/m<sup>3</sup> et masse volumique mesurée du béton frais,
- Résultat du calcul du rapport  $e/c$  ou  $e/c_{eq}$ , les valeurs utilisées  $k$  et les  $ZS$  sont à déclarer. L'absorption d'eau des granulats doit être prise en compte et indiquée. Si le coefficient d'absorption d'eau des granulats n'est pas connu, on identifie le rapport clairement par  $e_0/c$  ou  $e_0/c_{eq}$ ,
- La température du béton et de l'air, les conditions météorologiques.

## H.10 Précision

Les valeurs indiquées dans le tableau 13 ont été obtenues dans le cadre d'un essai comparatif sur les propriétés du béton frais. L'équation suivante permet de calculer la teneur en eau  $w_0$  en %-masse:

$$w_0 = \frac{m_0 - m_{tr}}{m_0} \cdot 100 \quad \text{en %-masse} \quad (32)$$

Tableau 13 Incertitudes de mesure pour valeurs moyennes [7],  
(nombre de laboratoires: variable, entre 18 et 51)

| Teneur en eau     |             | Écart type de<br>répétabilité | Écart type<br>de repro-<br>ductibilité | Répétabilité <sup>1)</sup> | Reproductibilité <sup>1)</sup> |
|-------------------|-------------|-------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| $w_0$             |             | $S_r$                         | $S_R$                                  | $r$                        | $R$                            |
| kg/m <sup>3</sup> | %-masse     | %-masse                       | %-masse                                | %-masse                    | %-masse                        |
| 145 – 146         | 5,99 – 6,11 | 0,18                          | 0,24                                   | 0,504                      | 0,672                          |
| 161 – 165         | 6,55 – 6,79 | 0,28                          | 0,38                                   | 0,784                      | 1,064                          |
| 173 – 188         | 7,13 – 7,85 | 0,23                          | 0,31                                   | 0,644                      | 0,868                          |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

## Annexe I (normative)

### Résistance à la carbonatation

#### I.1 Champ d'application

Le chiffre ci-après spécifie une méthode qui permet de déterminer le coefficient de carbonatation comme grandeur de mesure pour la résistance à la carbonatation d'un béton.

Pour des bétons très poreux, tel que le béton léger, la profondeur de carbonatation peut augmenter de plus de 20 mm entre deux échéances de mesure. Afin de pouvoir réaliser, dans un tel cas, l'essai convenablement, les deux faces d'extrémité du prisme doivent être rendues étanches au  $\text{CO}_2$ . Le commettant doit en informer à temps le laboratoire.

#### I.2 Références normatives

SN EN 12390-2 et SN EN 14630.

#### I.3 Définitions

|          |                                                                                                |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_K$    | profondeur de carbonatation en mm                                                              |
| $d_{KE}$ | valeur individuelle de profondeur de carbonatation en mm                                       |
| $d_{KM}$ | valeur moyenne de profondeur de carbonatation en mm                                            |
| $K_S$    | coefficient de carbonatation à 4,0 %-vol. de $\text{CO}_2$ , en $\text{mm}/\sqrt{\text{jour}}$ |
| $K_N$    | coefficient de carbonatation sous conditions normales, en $\text{mm}/\sqrt{\text{an}}$         |
| $t$      | temps, en jour ou an                                                                           |

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

#### I.4 Principe

La carbonatation d'un béton est accélérée dans une chambre avec une teneur en  $\text{CO}_2$  dans l'air augmentée. La résistance à la carbonatation est déterminée sur la base des profondeurs de carbonatation mesurées à différents instants sur les éprouvettes.

Des prismes (essai normatif dans le cadre du contrôle de conformité) ou des carottes prélevées sur des nouvelles ou anciennes structures en béton (assurance qualité, relevé d'état) sont utilisés. Les carottes ne doivent pas contenir des segments de barre d'armature et doivent être sans fissures d'ouverture  $> 0,05$  mm.

#### I.5 Équipement d'essai

- Chambre climatique avec une température de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , une humidité relative de  $(57 \pm 3) \%$  et une concentration normale moyenne en dioxyde de carbone de  $\leq 0,15$  %-vol.
- Enceinte de carbonatation accélérée avec une température de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , une humidité relative de  $(57 \pm 3) \%$ . La teneur en  $\text{CO}_2$  doit s'élever à  $72,4 \text{ g/m}^3$ , soit 4 % à  $25^\circ\text{C}$  et 1013 mbar. De brèves fluctuations de moins de 4 heures en dehors de ces tolérances sont admises (par ex. après ajout ou enlèvement d'éprouvettes). L'humidité de l'air et la teneur en  $\text{CO}_2$  doivent être réglées activement. Des capteurs calibrés sont à utiliser pour contrôler la teneur en  $\text{CO}_2$  et l'humidité de l'air. Un montage possible est illustré à la figure 5.

Les capteurs de  $\text{CO}_2$  courants indiquent la teneur en  $\text{CO}_2$  absolue et non pas relative de l'air (en  $\text{g/m}^3$ ). Cela n'est pas valable pour des capteurs de  $\text{CO}_2$  qui sont couplés avec des capteurs de pression et de température et qui compensent l'influence de ces deux paramètres sur la teneur relative en  $\text{CO}_2$ .

La valeur de consigne de la teneur en  $\text{CO}_2$  dans l'enceinte de carbonatation accélérée se réfère à la concentration absolue et non pas relative de  $\text{CO}_2$ . De cette manière, aucune correction ou compensation n'est nécessaire ni pour des variations de température et de pression, ni en fonction des emplacements géographiques des laboratoires d'essai.

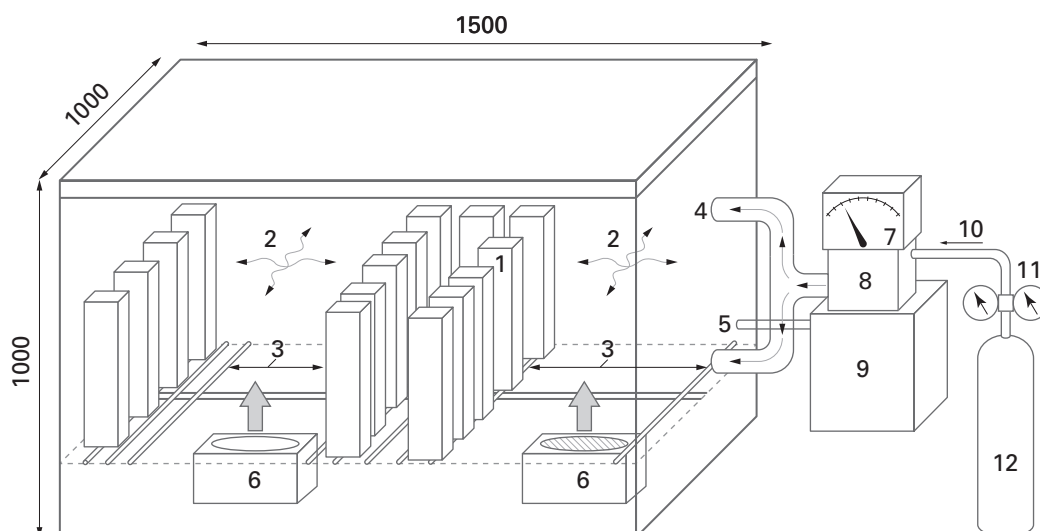
- Source pour une alimentation en continu de  $\text{CO}_2$  (par ex. bouteille de gaz).

- Équipement de monitoring pour enregistrer en continu la température et l'humidité relative dans la chambre climatique et dans l'enceinte de carbonatation accélérée. Dans la chambre climatique, la teneur admissible en CO<sub>2</sub> est à contrôler périodiquement. Dans l'enceinte de carbonatation accélérée, la teneur en CO<sub>2</sub> est à surveiller et à enregistrer en permanence. L'intervalle de mesure ne doit pas dépasser 10 minutes.
- Équipement permettant de fendre les éprouvettes afin d'en prélever des tranches de béton (par ex. au moyen d'une bande de chargement et d'une presse).
- Équipement pour déterminer la profondeur de carbonatation selon SN EN 14630.

**Mise en garde:** L'agence chimique européenne (ECHA) a ajouté la phénolphthaléine sur la liste des substances particulièrement cancérigènes sur la base de sa classification comme substance carcinogène de catégorie 1B. La poudre de phénolphthaléine doit être manipulée avec des gants de protection et sous une hotte ventilée. Il convient de veiller à ce que la concentration de la solution ne dépasse pas 1 % selon la norme SN EN 14630:2006, chiffre 3.

- Matériau pour rendre étanche au CO<sub>2</sub> les surfaces qui ne doivent pas se carbonater (par ex. la face de manteau d'une carotte), par ex. au moyen d'un tuyau thermo-rétractable (attention à ne pas chauffer excessivement), d'une résine d'époxy ou d'une cire de paraffine.
- Solution filmogène pour la conservation des surfaces de béton aspergées avec de la phénolphthaléine, resp. du changement de couleur (par ex. verre liquide).
- Pied à coulisse pour mesurer la profondeur de carbonatation, exactitude de mesure 0,5 mm.

Figure 10 Exemple d'un montage d'une enceinte de carbonatation accélérée avec stockage vertical des éprouvettes (schématique)



- |                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 Éprouvettes               | 7 Contrôleur de CO <sub>2</sub> |
| 2 Écoulement turbulent      | 8 Boîte de commande             |
| 3 Plateforme en bois        | 9 Déshumidificateur             |
| 4 Entrée de CO <sub>2</sub> | 10 Alimentation en gaz          |
| 5 Entrée vapeur             | 11 Régulateur                   |
| 6 Ventilateur               | 12 Bouteille de CO <sub>2</sub> |

## I.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes

### I.6.1 Prismes

- L'essai est réalisé avec un prisme de dimensions 120 mm × 120 mm × 360 mm. Le prisme est à confectionner selon SN EN 12390-2 avec un moule non absorbant (PVC, métal).
- Après démoulage (en général après 1 jour), le prisme doit être conservé sous l'eau à une température de 15 à 25 °C jusqu'à l'âge de  $(72 \pm 6)$  heures. Ensuite, il doit être préconditionné dans une chambre climatique jusqu'au début de l'essai à l'âge de 28 jours.
- Lorsqu'une conservation intermédiaire est nécessaire (par ex. en cas de confection du prisme sur un chantier ou dans une centrale à béton), le prisme doit être protégé contre la dessiccation (dans du film plastique, sous l'eau) jusqu'à l'âge de  $(72 \pm 6)$  heures. Au cas où le prisme n'est ensuite pas ou ne peut pas être amené immédiatement au laboratoire, il doit être entreposé dans un local protégé et sec (humidité relative  $\leq 70\%$ , température entre 10 °C et 30 °C) jusqu'au moment du transport au laboratoire. Au plus tard à partir du 10<sup>ème</sup> jour et jusqu'au début de l'essai à 28 jours, le prisme doit être préconditionné dans la chambre climatique.

### I.6.2 Carottes

- Pour un essai sur des carottes, 4 carottes (1 carotte par échéance de mesure) de diamètre  $\geq 50$  mm et de longueur  $\geq 80$  mm sont nécessaires.
- Les faces extérieures exposées (E) et intérieures non exposées aux intempéries (I) des carottes sont utilisées.
- La face intérieure des carottes doit être plane et perpendiculaire à l'axe de la carotte. Couper/rectifier si nécessaire.
- Les carottes sont préconditionnées pendant 21 jours dans la chambre climatique avant l'essai.
- Les surfaces latérales des carottes pour la conservation de 7, 28 et 63 jours dans l'enceinte de carbonatation accélérée sont à couvrir ou à revêtir avec un matériel étanche au CO<sub>2</sub> avant le début de l'essai.

## I.7 Exécution

### I.7.1 Prismes

- La mesure «zéro» de la profondeur de carbonatation est à réaliser à un âge de 28 jours après la fabrication du béton.
- Après la mesure «zéro», le prisme est placé dans l'enceinte de carbonatation accélérée et y reste jusqu'à la deuxième mesure.
- Les éprouvettes doivent être positionnées dans l'enceinte de carbonatation accélérée de manière à permettre à l'air de circuler librement autour des faces exposées (espacement entre les différentes éprouvettes et entre chaque éprouvette et les parois de l'enceinte  $> 10$  mm).
- Après 7, 28 et 63 jours, les éprouvettes sont sorties de l'enceinte de carbonatation accélérée et la profondeur de carbonatation est mesurée.
- Pour chaque mesure, une tranche de béton d'une épaisseur d'env. 50 mm est prélevée par fendage mécanique (en commençant par une extrémité du prisme et en progressant vers l'autre extrémité, sans alterner le côté, voir figure 11). Ensuite, l'essai continue dans l'enceinte de carbonatation accélérée. L'interruption du processus de carbonatation accélérée doit être aussi brève que possible ( $< 1$  heure).
- Après avoir nettoyé les restes de poussière et de particules de béton de la surface fraîchement fendue de la tranche de béton, celle-ci est aspergée au plus vite avec une solution de phénolphtaléine selon SN EN 14630. Après séchage de la solution (quelques minutes), la surface est aspergée avec la solution filmogène afin de conserver le changement de couleur. Puis la profondeur de carbonatation est mesurée et une photo de la surface colorée est prise.

**Mise en garde:** La solution d'indicateur est inflammable. L'absorption par voie orale, le contact avec la peau et les yeux et l'inspiration des vapeurs sont à éviter. Des conséquences néfastes sur le corps humain tel qu'une dégradation rénale ou un cancer sont possibles. La phénolphtaléine doit être manipulée uniquement avec des gants de nitrile et des lunettes de protection dans des locaux bien aérés ou avec un masque de protection adapté.

- L'utilisation de la solution filmogène pour la conservation du changement de couleur n'est pas nécessaire si on peut s'assurer que toutes les étapes de la mise en évidence (fendage des éprouvettes, asperger avec de la phénolphtaléine, mesure de la profondeur de carbonatation et documentation photographique) peuvent être réalisées en moins d'une heure.

- La profondeur de carbonatation est déterminée à 1 mm près à 3–5 points des 4 faces latérales du prisme, puis on déterminera avec ces valeurs la profondeur de carbonatation moyenne  $d_{KE}$  à 0,1 mm près pour chacun des côtés. Ces valeurs sont à consigner. Des pics de carbonatation (par ex. à cause de pores ou de granulats poreux ou déjà carbonatés), même ceux > 4 mm, doivent être pris en compte, voir figure 12.
- Avec les profondeurs de carbonatation moyennes  $d_{KE}$  des 4 côtés, la profondeur de carbonatation moyenne  $d_{KM}$  pour l'échéance de mesure correspondante est calculée et consignée à 0,1 mm près.
- Lors de la mesure des profondeurs de carbonatation, les zones d'angle et d'autres pics de carbonatation locaux ne doivent pas être pris en compte. Des irrégularités particulières sont à consigner.

Figure 11 Prélèvement des tranches par fendage

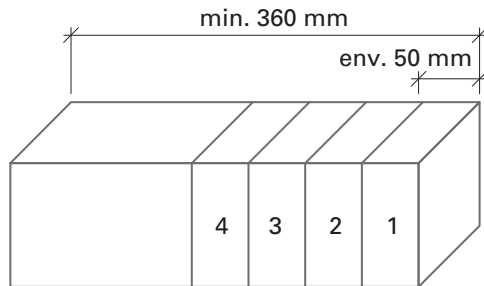
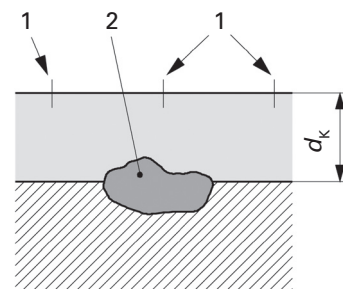
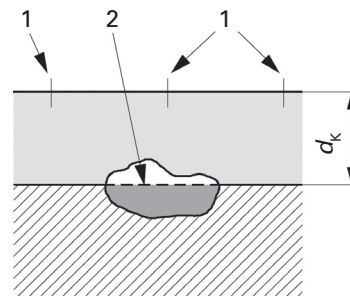


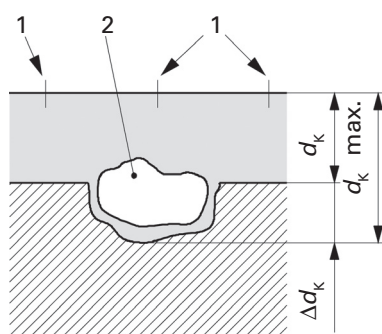
Figure 12 Indications pour la mesure de la profondeur de carbonatation



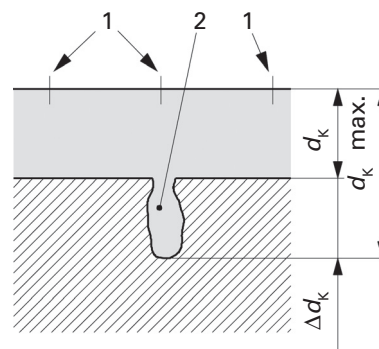
- a) Granulat compact interrompant le front de carbonatation  
 1 Points de mesure  
 2 Granulat compact



- b) Front de carbonatation théorique dessiné à travers un granulat compact  
 1 Points de mesure  
 2 Front de carbonatation théorique



- c) Granulat poreux interrompant le front de carbonatation  
 1 Points de mesure  
 2 Granulat poreux



- d) Bulle d'air interrompant le front de carbonatation  
 1 Points de mesure  
 2 Bulle d'air

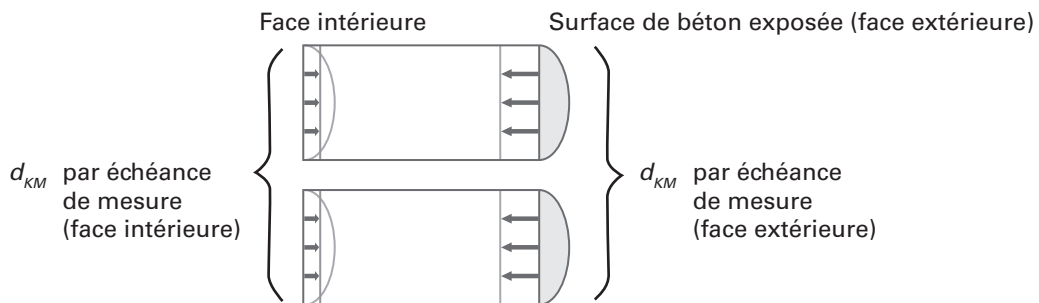
## I.7.2

### Carottes

En complément ou en dérogation aux indications I.7.1 les points suivants sont à prendre en compte pour les carottes:

- Après 21 jours de conservation des carottes dans la chambre climatique (voir I.6.2), la mesure «zéro» de la profondeur de carbonatation est réalisée.
- Pour chaque échéance de mesure, la profondeur de carbonatation est déterminée sur 1 carotte. Pour cela, la carotte est fendue dans le sens longitudinal et traitée de manière analogue aux tranches de béton.
- Pour des carottes de diamètre 50 mm, la profondeur de carbonatation est mesurée à 1 mm près à 3 points (figure 12), et pour des carottes de diamètre  $\geq 80$  mm à 5 points sur les 2 moitiés de carotte. Sur la base de ces valeurs et selon figure 13, les profondeurs de carbonatation moyennes  $d_{KE}$  sont ensuite calculées et consignées à 0,1 mm près pour chaque moitié de carotte et séparément pour la face intérieure et extérieure.
- Sur la base des profondeurs de carbonatation moyennes des faces extérieures  $d_{KE}$  (E) et intérieures  $d_{KE}$  (I) les profondeurs de carbonatation moyennes des faces extérieures  $d_{KM}$  (E) et intérieures  $d_{KM}$  (I) pour l'échéance de mesure correspondante sont calculées et consignées à 0,1 mm près.

Figure 13 Mesure de la profondeur de carbonatation sur des carottes



## I.8 Résultats d'essai

- I.8.1 Sur la base des profondeurs de carbonatation moyennes  $d_{KM}$  déterminées après 0, 7, 28 et 63 et éventuellement plus de jours, les constantes  $A$  et  $K_S$  de l'équation (33) sont déterminées moyennant une régression linéaire:

$$d_{KM} = A + K_S \cdot \sqrt{t} \quad (33)$$

$A$  constante, en mm  
 $t$  jours

- I.8.2 Sur la base de la valeur  $K_S$  le coefficient de carbonatation  $K_N$  correspondant à des conditions naturelles (hypothèse 0,04 %-vol.  $\text{CO}_2$ ) est calculé moyennant l'équation (34):

$$K_N = a \cdot b \cdot c \cdot K_S = 2,6 \cdot K_S \quad (34)$$

$K_N$  Coefficient de carbonatation correspondant à des conditions naturelles avec une concentration de  $\text{CO}_2$  de 0,04 %-vol, en  $\text{mm}/\sqrt{\text{an}}$

|     |                                                              |                     |         |
|-----|--------------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| $a$ | facteur de transformation de jour à un an                    | $\sqrt{(365/1)}$    | = 19,10 |
| $b$ | facteur de transformation de 4,0 à 0,04 %-vol. $\text{CO}_2$ | $\sqrt{(0,04/4,0)}$ | = 0,10  |
| $c$ | facteur de correction pour la carbonatation accélérée        |                     | = 1,36  |

## I.9 Rapport d'essai

I.9.1 Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton, de la réception de l'échantillon au laboratoire et du début de l'essai ou de l'âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation des éprouvettes,
- Type et durée de la cure après le démoulage, le cas échéant, type et durée de la conservation intermédiaire ainsi que durée du conditionnement dans la chambre climatique,
- Prismes: valeurs individuelles de profondeur de carbonatation  $d_{KE}$  (1 valeur par côté, soit 4 valeurs au total) et la valeur moyenne  $d_{KM}$  respective par échéance de mesure, précision: 0,1 mm,
- Constante  $A$  (précision: 0,1 mm) et coefficient de carbonatation  $K_S$  pour 4,0 %-vol.  $\text{CO}_2$ , précision: 0,1 mm/ $\sqrt{\text{jour}}$ ,
- Coefficient de carbonatation  $K_N$  pour des conditions naturelles (0,04 %-vol.  $\text{CO}_2$ ), précision: 0,1 mm/ $\sqrt{\text{an}}$ ,
- Facteur de correction  $c$  pour la carbonatation accélérée,
- Documentation photographique (1 image par échéance de mesure),
- Représentation graphique de l'évaluation selon équation (33) avec indication du coefficient de régression,
- Toutes particularités éventuelles et irrégularités importantes (porosité, grain maximal, fissures, etc.).

I.9.2 Pour les carottes, les points suivants sont à mentionner en complément ou en dérogation aux points ci-dessus en I.9.1:

- Cure de l'élément d'ouvrage (si connue), le cas échéant type et durée de la conservation intermédiaire ainsi que durée du conditionnement dans la chambre climatique,
- Valeurs individuelles de profondeur de carbonatation  $d_{KE}$  (1 valeur par moitié de carotte, soit 2 valeurs au total) et valeur moyenne  $d_{KM}$  par échéance de mesure séparément pour les faces extérieure (E) et intérieure (I) de la carotte, précision: 0,1 mm,
- Les coefficients de carbonatation  $K_S$  et  $K_N$  ainsi que la constante  $A$  sont à calculer et à consigner séparément pour les faces extérieure et intérieure.

## I.10 Précision

L'incertitude de mesure pour le coefficient de carbonatation indiquée dans le tableau 14 a été déterminée lors d'un essai comparatif avec 4 bétons.

Tableau 14 Incertitude de mesure sur moyennes des coefficients de carbonatation  $K_N$  [8], (nombre de laboratoires: 18)

| Niveau résistance à la carbonatation<br>$K_N$<br>mm/an <sup>0,5</sup> | Écart type de répétabilité<br>$S_r$<br>mm/an <sup>0,5</sup> | Écart type de reproductibilité<br>$S_R$<br>mm/an <sup>0,5</sup> | Répétabilité <sup>1)</sup><br>$r$<br>mm/an <sup>0,5</sup> | Reproductibilité <sup>1)</sup><br>$R$<br>mm/an <sup>0,5</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1,49                                                                  | 0,150                                                       | 0,291                                                           | 0,415                                                     | 0,807                                                         |
| 3,88                                                                  | 0,191                                                       | 0,304                                                           | 0,529                                                     | 0,842                                                         |
| 4,08                                                                  | 0,089                                                       | 0,359                                                           | 0,245                                                     | 0,994                                                         |
| 6,70                                                                  | 0,230                                                       | 0,588                                                           | 0,637                                                     | 1,630                                                         |

<sup>1)</sup> Répétabilité et reproductibilité sont indiquées avec un facteur de 2,83 (fiabilité de 99,5 %)

## **Annexe K (normative)**

### **Caractéristiques des pores**

#### **K.1 Champ d'application**

Les chiffres qui suivent spécifient une méthode permettant de déterminer les caractéristiques des pores du béton en s'appuyant sur la méthode décrite dans l'annexe A de la présente norme.

Deux méthodes sont décrites: La méthode A sert à caractériser un béton de structure, tandis que la méthode B sert à caractériser un support en béton selon SN 640450 et SN 640452.

#### **K.2 Références normatives**

SN EN 12390-2, SN 640450 et SN 640452.

#### **K.3 Définitions**

Les caractéristiques des pores englobent la porosité totale, les pores d'hydratation et la teneur en air.

Définition d'échantillon et d'éprouvette: voir 3.2.1.

#### **K.4 Principe**

Les éprouvettes sont soumises à la saturation en eau à différentes intensités. Les divers degrés de saturation atteints permettent de déterminer des valeurs caractéristiques relatives à la porosité et à la masse volumique.

#### **K.5 Équipement d'essai**

Selon annexe A de la présente norme.

#### **K.6 Prélèvement et préparation des éprouvettes**

Le prélèvement et la préparation des éprouvettes sont réalisés selon annexe A de la présente norme avec les compléments suivants:

- Méthode A: Des éprouvettes identiques à celles de l'essai de perméabilité à l'eau selon annexe A de la présente norme sont utilisées.
- Méthode B: La hauteur des carottes  $h_{PK}$  est de 60 à 65 mm. Les carottes sont découpées en 5 tranches d'une épaisseur de 8 à 10 mm si l'essai est réalisé selon le tableau 15 sans saturation sous pression.

Une série d'essai est constituée de 5 carottes (méthode A) ou de 5 carottes, resp.  $5 \times 5 = 25$  tranches de béton (méthode B).

#### **K.7 Exécution**

L'essai est exécuté selon annexe A de la présente norme en tenant compte des modifications suivantes:

- Les dimensions des carottes et des tranches ne sont pas à déterminer.
- L'étape «3–4 jours» du programme selon tableau 4 de l'annexe A de la présente norme n'est pas exécutée. L'essai se déroule comme indiqué au tableau 15.
- Pour la méthode B avec des tranches comme éprouvettes, les 5 tranches de béton prélevées sur une carotte sont pesées ensemble comme une éprouvette.

L'âge du béton au début de l'essai est défini comme suit:

- Méthode A: 28 jours après la fabrication du béton selon annexe A de la présente norme.
- Méthode B: au plus tôt 3 jours après la fabrication du béton.

Tableau 15 Exécution de l'essai pour déterminer les caractéristiques des pores

| Temps<br>Jours | Traitement, conservation                                                                                                                                                                                                                                                                         | Mesure                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 – 3          | sécher à $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ pendant $(48 \pm 2)$ heures                                                                                                                                                                                                                                  |                                                               |
| 3              | laisser refroidir à la température ambiante                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                               |
|                | peser les éprouvettes                                                                                                                                                                                                                                                                            | peser $m_B$                                                   |
| 3 – 8          | conserver les éprouvettes sous l'eau (peut être prolongé de 1 à 2 jours)                                                                                                                                                                                                                         |                                                               |
| 8              | peser sous l'eau, ensuite hors de l'eau                                                                                                                                                                                                                                                          | peser $m_{Eu}$ sous l'eau<br>peser $m_{Eo}$ hors de l'eau     |
| 8 – 9          | sécher les éprouvettes à $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ pendant $(20 \pm 4)$ heures et les laisser refroidir à la température ambiante                                                                                                                                                               |                                                               |
| 9 – 10         | soumettre ensuite les éprouvettes au vide dans la cuve à vide pendant au moins 2 heures, sous une pression maximale de 1 mbar; remplir ensuite sous vide avec de l'eau (vitesse de montée du niveau d'eau: 50 mm en 10 minutes), ventiler à pression normale et continuer à conserver sous l'eau |                                                               |
| 9              | en plus pour la méthode B avec des carottes comme éprouvettes: saturer les éprouvettes sous l'eau pressurisée ( $> 200$ bar) pendant 2 à 3 heures                                                                                                                                                |                                                               |
| 9 – 13         | conserver sous l'eau                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                               |
| 13             | peser sous l'eau, ensuite peser hors de l'eau                                                                                                                                                                                                                                                    | peser $m_{TOTu}$ sous l'eau<br>peser $m_{TOTo}$ hors de l'eau |
| 13 – 15        | sécher à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ pendant $(72 \pm 2)$ heures (méthode A) ou pendant $(48 \pm 2)$ heures (méthode B) ou jusqu'à constance de masse (variation de la masse pendant une heure $< 0,1$ %-masse)                                                                                  |                                                               |
| 15             | refroidir au dessiccateur                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                               |
| 15             | peser les éprouvettes                                                                                                                                                                                                                                                                            | peser $m_{110}$                                               |

## K.8 Résultats d'essai

Les résultats d'essai sont évalués selon l'annexe A de la présente norme avec les modifications suivantes:

- L'absorption d'eau et la montée du front de pénétration d'eau ne sont pas calculées.
- La perméabilité à l'eau n'est pas calculée.

## K.9 Rapport d'essai

K.9.1 Chaque rapport d'essai doit contenir les données suivantes:

- Nom et adresse du mandant,
- Nom de l'établissement qui a procédé à l'essai ainsi que celui du responsable de l'essai,
- Référence à la présente norme ainsi que, le cas échéant, les écarts par rapport à la norme,
- Date de confection du béton, de la réception de l'échantillon au laboratoire et du début de l'essai ou de l'âge au moment de l'essai. Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Composition du béton et/ou référence au bon de livraison ou au catalogue des sortes de béton, Si ces données ne sont pas disponibles, indiquer cela sur le procès-verbal,
- Désignation des éprouvettes,
- Les valeurs individuelles et valeurs moyennes avec écart type:  $U_E$ ,  $n$ ,  $L_P$ ,  $\rho_{R110}$ ,  $\rho_{110}$ ,
- Les valeurs moyennes et écart type:  $U_B$ ,
- Le cas échéant, indication du fait que le calcul a été effectué avec  $V_A$  ou  $n^*$ .

- K.9.2 Les valeurs individuelles et les valeurs moyennes doivent être données de la façon suivante dans le rapport d'essai:
- Caractéristiques des pores  $n$ ,  $U_E$ ,  $L_P$ ; précision: 0,1 %-vol,
  - Masses volumiques  $\rho$  en kg/m<sup>3</sup>, masses  $m$  en g; en chiffres entiers.

## K.10 Précision

Méthode A: cf. annexe A de la présente norme.

Méthode B: des données relatives à la précision ne sont pas disponibles.

## Annexe L (informative) Publications

- [1] VAB/ALA-Ringversuch *Wasserleitfähigkeit*, 2009
- [2] VAB/ALA-Ringversuch *Chloridwiderstand*, 2010
- [3] VAB/ALA-Ringversuch *Frost-Tausalzwiderstand*, 2015, VAB 2-1-042-02.16b, 10.3.2016 / rév. 26.4.2016
- [4] VAB/ALA-Ringversuch *Sulfatwiderstand (Absorptionsverfahren)*, 2014, VAB 2-1-039-06.14b, 30.6.2014 / rév. 10.7.2014

VAB: Vereinigung akkreditierter Baustoffprüflabors (ALA: Association des laboratoires accrédités); [www.vab-ala.ch](http://www.vab-ala.ch)

- [5] F. Jacobs, A. Leemann, E. Denarié und T. Teruzzi: *Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen*, Bundesamt für Strassenbau, Bericht VSS Nr. 641; Dez. 2009

<http://www.mobilityplatform.ch>

- [6] VAB/ALA-Ringversuch *Schwindmass*, 2012, VAB 2-1-036-12.13b, 18.3.2013 / rév. 19.12.2013
- [7] VAB/ALA-Vergleichsversuch *Frischbetonkontrolle*, 2002
- [8] VAB/ALA-Ringversuch *Karbonatisierungswiderstand*, 2014, VAB 2-1-040-02.15a, 16.2.2015 / rév.

VAB: Vereinigung akkreditierter Baustoffprüflabors (ALA: Association des laboratoires accrédités); [www.vab-ala.ch](http://www.vab-ala.ch)

- [9] F. Hunkeler und L. Lammar, *Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen*, Bundesamt für Strassen, Bericht VSS Nr. 649; Nov. 2012

<http://www.mobilityplatform.ch>

- [10] Corneille A. et Bollotte B. (1994): Results of a round robin test programme for the validation of the test methods in the French recommendations for the prevention of AAR damage to concrete, Congrès sur la durabilité des bétons, NICE, mai 1994, pp. 725–740
- [11] Méthode LCPC no 48: Evaluation de la teneur en alcalins équivalents actifs dans les ciments, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, LCPC no 502371, ISBN 2-7208-3710-5

LCPC: Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris, [www.lcpc.fr](http://www.lcpc.fr), **maintenant** IFSTTAR, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, [www.ifsttar.fr](http://www.ifsttar.fr)

---

Organisations représentées dans la commission SIA 262 et dans le groupe de travail SIA 262-1

|            |                                                           |
|------------|-----------------------------------------------------------|
| ALA        | Association des laboratoires accrédités                   |
| Empa       | Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche |
| EPFL       | École Polytechnique Fédérale de Lausanne                  |
| ETH Zürich | Eidgenössische Technische Hochschule Zürich               |

---

---

## Commission SIA 262, Construction en béton

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Représentant de                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Président     | Walter Kaufmann, Prof. Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Zurich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ETH Zurich                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Membres       | Daniel Buschor, dipl. Bau-Ing. EPF/SIA, Berthoud<br>Christoph Czaderski, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Dübendorf<br>Stephan Etter, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Zurich<br>Hans-Rudolf Ganz, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Bösinggen<br>Daniel Heinzmann, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Visperterminen<br>Ernst Honegger, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Berne<br>Bernard Houriet, Dr., ing. civil dipl. EPF/SIA, Tramelan<br>Rudolf Lagger, dipl. Ing. ETH, Thoun<br>Peter Lunk, Dr., dipl. Ing., Würenlingen<br>Aurelio Muttoni, Prof. Dr., ing. civil dipl. EPF/SIA, Lausanne<br>Sylvain Plumey, Dr., ing. dipl. EPF/SIA, Porrentruy<br>Yves Schiegg, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Wildegg<br>Ana Spasojevic, Dr., EPFL, dipl. Bau-Ing. GAF-NIS, Fribourg<br>Kerstin Wassmann, Dipl. Ing. TU, Würenlingen<br>Volker Wetzig, dipl. Ing. TU/SIA, Berne | Bureau d'études<br>Empa<br>Bureau d'études<br>Ingénieur-conseil<br><br>Haute école spécialisée<br>Industrie<br>Bureau d'études<br>Entreprise<br>Industrie<br>EPFL/Bureau d'études<br>Bureau d'études<br>Laboratoire des matériaux<br>Bureau d'études<br>Industrie<br>Industrie |
| Procès-verbal | Alexander Beck, Msc ETH Bau-Ing., Zurich                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                |

---

### Groupe de travail SIA 262/1

|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                             |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Présidence             | Hans-Rudolf Ganz, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Bösinggen                                                                                                                                                                                                                                                               | Ingénieur-conseil                                                                           |
| Membres                | Daniel Buschor, dipl. Bau-Ing. EPF/SIA, Berthoud<br>Stéphane Cuchet, dipl. Geol. UNIL, Eclépens<br>Fernand Deillon, Chem.-Ing. HTL/SIA, Wildegg<br>Stephan Etter, Dr., dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Zurich<br>Fritz Hunkeler, Dr., dipl. Werkstoffing. ETH/SIA, Wildegg<br>Andreas Leemann, Dr., dipl. Geol. ETH, Dübendorf | Bureau d'études<br>Industrie<br>ALA<br>Bureau d'études<br>Laboratoire des matériaux<br>Empa |
| Responsable Bureau SIA | Heike Mini, dipl. Bau-Ing. TU/SIA, Zurich                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                             |

## Adoption et validité

La commission centrale des normes de la SIA a adopté la présente norme SIA 262/1 le 13 novembre 2018.

Elle est valable dès le 1<sup>er</sup> mars 2019.

Elle remplace la norme SIA 262/1 *Construction en béton – Spécifications complémentaires*, édition 2013, et l'annexe F du cahier technique SIA 2042 *Prévention des désordres dus à la réaction alcalis-granulats (RAG) dans les ouvrages en béton*, édition 2012.

---

Copyright © 2019 by SIA Zurich

Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle, d'enregistrement ainsi que de traduction sont réservés.