

Remplace la recommandation SIA 162/5, édition 1997, et l'annexe A du cahier technique SIA 2018, édition 2004

Erhaltung von Tragwerken – Betonbau

Mantenimento di strutture portanti – Strutture in calcestruzzo

Existing structures – Concrete structures

Maintenance des structures porteuses – Structures en béton

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

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

2011-01 1^{er} tirage

TABLE DES MATIÈRES

	Page		Page
Avant-propos	4	Annexe	
0 Domaine d'application	5	A Propriétés des matériaux de construction	37
0.1 Délimitation	5	B Interventions liées à la construction	40
0.2 Références	5	C Détermination de l'indice d'ouverture des fissures	41
0.3 Dérogations	6	Adoption et validité	44
1 Terminologie	7		
1.1 Termes techniques	7		
1.2 Notations	9		
2 Principes	12		
2.1 Généralités	12		
2.2 Examen	12		
3 Matériaux de construction	13		
3.1 Généralités	13		
3.2 Béton	13		
3.3 Acier d'armature passive	14		
3.4 Acier de précontrainte	15		
4 Analyse structurale et vérifications ..	16		
4.1 Généralités	16		
4.2 Valeurs d'examen	16		
4.3 Vérification de la sécurité structurale ..	17		
4.4 Vérification de l'aptitude au service ...	18		
4.5 Particularités	19		
5 Relevé de l'état	23		
5.1 Généralités	23		
5.2 Méthodes d'investigations	23		
6 Evaluation de l'état	25		
6.1 Généralités	25		
6.2 Détérioration due à la réaction alcali-granulat	25		
6.3 Détérioration due à la corrosion de l'armature passive	26		
6.4 Prévision sur l'évolution de l'état	26		
7 Interventions de maintenance	27		
7.1 Généralités	27		
7.2 Principes de base et méthodes	27		
7.3 Renforcement	30		
7.4 Méthodes	31		
7.5 Exigences relatives aux produits et aux systèmes	35		
7.6 Assurance de la qualité	36		

AVANT-PROPOS

La norme SIA 269/2 fixe les procédures destinées à la maintenance des structures porteuses en béton et s'adresse aux professionnels de la maintenance des ouvrages. Elle concerne également les propriétaires d'ouvrages, les directeurs des travaux ainsi que les entrepreneurs.

La norme SIA 269/2 fait partie des normes de la SIA relatives à la maintenance des structures porteuses. Elle est complétée par les normes suivantes :

- Norme SIA 269 Bases pour la maintenance des structures porteuses
- Norme SIA 269/1 Maintenance des structures porteuses – Actions
- Norme SIA 269/3 Maintenance des structures porteuses – Structures en acier
- Norme SIA 269/4 Maintenance des structures porteuses – Structures mixtes acier-béton
- Norme SIA 269/5 Maintenance des structures porteuses – Structures en bois
- Norme SIA 269/6 Maintenance des structures porteuses – Structures en maçonnerie
- Norme SIA 269/7 Maintenance des structures porteuses – Géotechnique.

L'examen des ouvrages existants face aux séismes reste fondé sur le cahier technique SIA 2018. Il est toutefois prévu de compléter les normes de maintenance par une norme SIA 269/8 *Maintenance des structures porteuses – Sécurité parasismique*.

La norme SIA 269/2 fixe les principes de maintenance des structures porteuses en béton, dans la mesure où ils ne sont pas traités par les normes SIA 262 et 262/1.

Direction du projet Maintenance des structures porteuses et groupe de travail SIA 269/2

0 DOMAINE D'APPLICATION

0.1 Délimitation

- 0.1.1 La norme 269/2 fixe les principes de la maintenance des structures porteuses en béton armé, en béton précontraint et en béton non armé en tant que partie intégrante d'ouvrages existants.
- 0.1.2 La présente norme s'applique conjointement avec les normes SIA 269 et 269/1 ainsi qu'avec la norme SIA 262. Les utilisations non prévues par ces normes seront traitées par analogie avec les principes de la norme SIA 269/2.
- 0.1.3 La fabrication, la mise en place et les essais de matériaux de construction destinés à la maintenance des structures en béton sont traités dans la mesure où ils sont nécessaires à la détermination des exigences de qualité.
- 0.1.4 Lors de modifications de constructions en béton, les nouveaux éléments de structure seront en règle générale traités conformément à la norme SIA 262 et les éléments existants selon les normes SIA 269 et 269/2. En ce qui concerne la détermination des actions variables, on pourra déroger à cette règle si d'autres délimitations sont prises en compte sur la base de considérations spécifiques.
- 0.1.5 La norme SIA 269/2 n'est pas applicable à l'étude et au dimensionnement de nouvelles structures porteuses en béton.

0.2 Références

- 0.2.1 Cette norme renvoie également aux normes et recommandations énumérées ci-après, dont les dispositions s'appliquent dans le sens du renvoi :
- Prénorme SIA 166 *Armatures collées*
 - Recommandation SIA 179 *Les fixations dans le béton et dans la maçonnerie*
 - Norme SIA 233 *Revêtements de façades – Bardages*
 - Norme SIA 252 *Revêtements de sols industriels sans joint*
 - Norme SIA 269/3 *Maintenance des structures porteuses – Construction en acier*
 - Prénorme SIA 270 *Étanchéité et évacuation des eaux – bases générales et délimitations*
 - CEN/TS 14038 *Ré-alkalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé – parties 1 et 2 (n'existe qu'en allemand)*
 - SN EN 206-1 *Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité*
 - SN EN 10080 *Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités*
 - SN EN 12504 *Essais pour béton dans les structures, parties 1 à 4*
 - SN EN 12696 *Protection cathodique de la corrosion de l'acier dans le béton*
 - SN EN 13670 *Exécution des structures en béton*
 - SN EN 13791 *Évaluation de la résistance à la compression du béton en place dans les structures et les éléments préfabriqués*
 - SN EN 14487 *Béton projeté – parties 1 et 2*
 - 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 *Produits et systèmes de protection et de réparation des structures en béton – Méthodes d'essai – Mesurage de la profondeur de carbonatation par la méthode à la phénolphthaléine*
 - SN EN 14889 *Fibres pour béton – parties 1 et 2*
 - SN EN 1504 *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton – Définitions, prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité, parties 1 à 10*
 - SN EN ISO 15630 *Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton – Méthodes d'essais – parties 1 à 3.*

- 0.2.2 Les normes et recommandations caduques n'ont aucune validité et peuvent uniquement servir de références indicatives aux fins de documentation dans la convention d'utilisation et dans la base du projet.

0.3 **Dérogations**

- 0.3.1 Des dérogations à la présente norme sont admissibles, si elles sont suffisamment justifiées par la théorie ou par des essais, ou si de nouveaux développements ou de nouvelles connaissances dans le domaine en question permettent une telle démarche.
- 0.3.2 Les dérogations à la norme seront clairement mentionnées et dûment justifiées dans le dossier de l'ouvrage.

1 TERMINOLOGIE

1.1 Termes techniques

En complément aux termes techniques définis dans les normes SIA 260, SIA 262 et SIA 269, la présente norme utilise les termes techniques définis ci-dessous :

Ajout de béton <i>Betonauftrag</i> <i>aggiunta di calcestruzzo</i> <i>concrete adding</i>	Couche de béton appliquée sur une surface de béton préparée, avec changement de la géométrie existante.
Carbonatation <i>Karbonatisierung</i> <i>carbonatazione</i> <i>carbonation</i>	Diminution de l'alcalinité du béton par réaction chimique entre l'hydroxyde de calcium contenu dans la pâte de ciment, le gaz carbonique de l'air et l'eau.
Contamination par les chlorures <i>Chloridanreicherung</i> <i>contaminazione da cloruri</i> <i>chloride contamination</i>	Présence, dans un béton durci, de ions Cl^- due à des composants chlorés ou à la pénétration de chlorures par l'extérieur.
Elimination de béton <i>Betonabtrag</i> <i>rimozione del calcestruzzo</i> <i>concrete removal</i>	Démolition de béton existant par des procédés mécaniques (piquage, fraisage, découpage, sablage, grenailage ou hydro-démolition) suivie d'un nettoyage de la surface dégagée (aspiration, soufflage, aspersion, jet de vapeur ou d'eau).
Enduit <i>Beschichtung</i> <i>rivestimento</i> <i>coating</i>	Matériaux appliqués sur la surface du béton pour réaliser une couche de protection continue d'une épaisseur comprise entre 0,1 mm et 5 mm.
Essai de convenance <i>Eignungsprüfung</i> <i>prova di qualificazione</i> <i>acceptance test for suitability</i>	Essai servant à déterminer l'adéquation d'un matériau ou d'un procédé de construction dans les conditions spécifiques à l'objet examiné et dans le cadre prévu pour le déroulement des opérations.
Essai d'identification <i>Identitätsprüfung</i> <i>prova di identità</i> <i>identity test</i>	Essai servant à vérifier une valeur déclarée de la composition ou d'une caractéristique d'un produit ou d'un système en vue de contrôler la régularité de sa production.
Essai de qualité <i>Qualitätsprüfung</i> <i>prova della qualità</i> <i>quality test</i>	Essais destinés à vérifier la qualité exigée, pendant et après l'exécution.
Essai initial <i>Erstprüfung</i> <i>prova iniziale</i> <i>initial test</i>	Essais comprenant des tests d'identification et de performance servant à caractériser les propriétés d'un matériau de construction et à en déterminer l'aptitude de principe pour l'utilisation prévue.
Extraction de chlorures <i>Chloridentfernung</i> <i>estrazione di cloruri</i> <i>chloride extraction</i>	Suppression totale ou partielle des chlorures d'un béton existant par des méthodes électrochimiques ou par élimination du béton contaminé.
Imprégnation <i>Imprägnierung</i> <i>impregnazione</i> <i>impregnation</i>	Traitement du béton servant à obtenir une diminution de la porosité superficielle et un durcissement de la surface. Les pores et les capillaires sont partiellement ou totalement remplis.

Imprégnation hydrophobe <i>Hydrophobierung</i> <i>idrofobizzazione</i> <i>hydrophobic impregnation</i>	Traitement du béton servant à obtenir une surface hydrofuge. Les pores et les capillaires sont revêtus sans être remplis. Aucun film ne se formant en surface, l'apparence du béton ne change pratiquement pas.
Inhibiteurs <i>Inhibitoren</i> <i>inibitori</i> <i>corrosion inhibitor</i>	Composés organiques ou inorganiques qui préviennent, freinent ou stoppent la corrosion de l'acier.
Injection <i>Injektion</i> <i>iniezione</i> <i>injection</i>	Introduction sous pression de coulis de ciment, de mortier ou de produits synthétiques destinés à remplir des cavités telles que nids de gravier, fissures ou gaines de précontrainte.
Interface <i>Schichtgrenze</i> <i>interfaccia</i> <i>interface</i>	Surface de contact entre deux matériaux de construction (support, béton, mortier, couches de protection de surface).
Mortier ou béton de matières synthétiques <i>Kunststoffmörtel oder -beton</i> <i>malta o calcestruzzo di materie sintetiche</i> <i>polymer mortar or polymer concrete</i>	Mélange de liants polymères réactifs et de granulats à granularité continue, durcissant suite à la réaction de substances organiques.
Mortier ou béton hydraulique <i>Hydraulisch gebundener Mörtel oder Beton</i> <i>malta o calcestruzzo idraulici</i> <i>hydraulic cement mortar or concrete</i>	Matériau de construction qui durcit par hydratation et satisfait aux exigences des normes SIA 262, SN EN 206-1 et SN EN 1504-3.
Mortier ou béton modifié par des matières synthétiques <i>Kunststoffmodifizierter Mörtel oder Beton</i> <i>malta o calcestruzzo modificati con l'aggiunta di materie sintetiche</i> <i>polymer hydraulic cement mortar or concrete</i>	Mortier ou béton hydraulique complété par des ajouts de polymères en quantité suffisante pour obtenir des propriétés spéciales.
Passivité <i>Passivität</i> <i>passività</i> <i>passivity</i>	Etat de l'acier dans le béton, prévenant la corrosion grâce à la pellicule d'oxyde qui en protège la surface.
Profilage au mortier <i>Mörtelauftrag</i> <i>profilamento con malta</i> <i>mortar adding</i>	Mise en place d'une couche de mortier sur une surface de béton préalablement traitée dans le but de la profiler, de protéger le béton ou de lutter contre la corrosion.
Protection cathodique contre la corrosion <i>Kathodischer Korrosionsschutz</i> <i>protezione catodica contro la corrosione</i> <i>cathodic corrosion protection</i>	Protection contre la corrosion obtenue en compensant le courant électrique provoquant la corrosion, par un courant électrique contraire, équivalent ou supérieur.
Protection de surface <i>Oberflächenschutzmassnahme</i> <i>protezione della superficie</i> <i>surface protection measure</i>	Application d'une imprégnation et/ou d'un enduit, d'une étanchéité ou d'un revêtement ainsi que la combinaison de ces mesures entre elles.
Remplacement du béton <i>Betonersatz</i> <i>sostituzione del calcestruzzo</i> <i>concrete restoration</i>	Elimination de béton endommagé suivi de son remplacement par un nouveau béton en conservant la géométrie originale.
Repiquer <i>Aufrauen</i> <i>irruvidire</i> <i>roughening</i>	Enlever la surface de béton existante en vue d'améliorer la liaison avec les mesures de remise en état ou de protection.

Reprofilage <i>Reprofilierung</i> <i>riprofilamento</i> <i>reprofilation</i>	Rétablissement de la forme géométrique initiale d'un élément de construction par apport de béton ou de mortier.
Support <i>Untergrund</i> <i>substrato</i> <i>substrate</i>	Surface sur laquelle est appliqué un matériau de protection ou de remise en état ou qui est prévue à cet effet.
Surface de test <i>Musterfläche</i> <i>area di prova</i> <i>test surface</i>	Portion de surface traitée comme prototype avant la réalisation des travaux, en vue de déterminer l'adéquation du procédé de remise en état ou de protection sur l'ouvrage.
Teneur en chlorures restants <i>Restchloridgehalt</i> <i>tenore di cloruri rimanenti</i> <i>remaining chloride content</i>	Teneur en chlorures se trouvant encore dans le béton après une remise en état.
Unité de précontrainte extérieure <i>Externes Spannglied</i> <i>cavo di precompressione esterno</i> <i>external prestressing tendon</i>	Unité de précontrainte disposée à l'extérieur de la section de béton.

1.2 Notations

1.2.1 Majuscules latines

A	classe de ductilité
B	classe de ductilité
C	classe de ductilité, classe de résistance
A_S	aire de la section d'acier d'armature passive
A_P	aire de la section d'acier de précontrainte
$M_{Rd,act}^+$	résistance maximale à la flexion (valeur d'examen)
$N_{d,act}$	valeur d'examen de l'effort normal
RI	indice d'ouverture des fissures
R_m	profondeur moyenne de la rugosité du support du béton
$V_{d,act}^+$	effort tranchant accru (valeur d'examen)

1.2.2 Minuscules latines

c_{act}	enrobage de l'armature actualisé
$c_{lat,act}$	enrobage de l'armature actualisé pour les barres situées dans les bords (valeur plus grande)
d	hauteur statique, hauteur statique moyenne dans le cas de plusieurs nappes d'armature
$f_{bd,act}$	valeur d'examen de la contrainte d'adhérence
f_{bd}	valeur de calcul de la contrainte d'adhérence selon la norme SIA 262
$f_{cd,act}$	valeur d'examen de la résistance à la compression du béton
$f_{ci,min}$	valeur d'essai minimum de la résistance à la compression sur cylindre
f_{ck}	valeur caractéristique de la résistance à la compression sur cylindre (fractile 5%)
f_{cm}	valeur moyenne de la résistance à la compression du béton sur cylindre

$f_{cm,28}$	valeur moyenne de la résistance à la compression du béton sur cylindre à 28 jours
f_{pk}	valeur caractéristique de la résistance à la traction de l'acier de précontrainte
$f_{p0,1k}$	valeur caractéristique de la limite d'écoulement de l'acier de précontrainte selon la norme SIA 262
$f_{p0,1m}$	valeur moyenne de la contrainte limite d'élasticité à 0,1% de l'acier de précontrainte
$f_{p0,2k}$	valeur caractéristique de la limite d'écoulement de l'acier de précontrainte selon les anciennes normes SIA
$f_{p0,2m}$	valeur moyenne de la contrainte limite d'élasticité à 0,2% de l'acier de précontrainte
$f_{R,act}$	valeur actualisée de la surface relative projetée des nervures
$f_{sd,act}$	valeur d'examen de la limite d'écoulement de l'acier d'armature passive
f_{sm}	valeur moyenne des limites d'élasticité mesurées sur l'acier d'armature passive pour l'actualisation
$f_{sk,act}$	valeur caractéristique actualisée de la limite d'écoulement de l'acier d'armature passive
$f_{s0,2}$	valeur caractéristique de la limite d'écoulement de l'acier d'armature passive selon la norme SIA 262
f_t	résistance à la traction de l'acier d'armature passive
f_{tm}	valeur moyenne des résistances à la traction mesurées sur l'acier d'armature passive pour l'actualisation
$k_{b,lat}$	coefficient pour la détermination de la contrainte d'adhérence des barres d'armature passive situées dans les bords
k_c	coefficient pour la détermination de la résistance du béton
k_d	coefficient pour la détermination de la résistance au cisaillement selon la norme SIA 262
k_v	coefficient pour la prise en compte des déformations
k_5	coefficient pour la détermination des fractiles 5%
k_{10}	coefficient pour la détermination des fractiles 10%
l_{bd}	longueur d'ancrage
$l_{bd,0}$	valeur de base de la longueur d'ancrage pour l'acier de précontrainte dans le cas de la précontrainte par fils adhérents
$l_{bd,net}$	valeur de base de la longueur d'ancrage
l_s	longueur des joints à recouvrement
n	nombre, nombre des éprouvettes
s	écart type
s_{act}	valeur actualisée de l'espacement des barres d'armature parallèles
w_i	ouverture des fissures cumulée
w_n	ouvertures des fissures mesurées

1.2.3 Lettres grecques

α	inclinaison des champs de compression
γ_c	coefficient de résistance pour le béton
γ_{cE}	facteur partiel pour le module d'élasticité du béton
γ_s	coefficient de résistance pour l'acier d'armature passive et l'acier de précontrainte
$\Delta\varphi$	déviation angulaires imprévues par unité de longueur
$\Delta\sigma_{sd,act}$	valeur d'examen de l'accroissement de contrainte dans l'armature de poinçonnement

$\Delta\sigma_{sd,fat,act}$	valeur d'examen de la résistance à la fatigue de l'acier d'armature passive
$\Delta\sigma_{pd,fat,act}$	valeur d'examen de la résistance à la fatigue de l'acier de précontrainte
$\varepsilon_{0,6d}$	déformation longitudinale (en coupe) à une distance de $0,6d$ du bord comprimé de la section
$\varepsilon_{1d,act}$	valeur d'examen de la déformation principale
ε_{ud}	valeur de calcul de l'allongement spécifique de rupture de l'acier d'armature passive ou de précontrainte
$\varepsilon_{ud,act}$	valeur d'examen de l'allongement spécifique de rupture de l'acier d'armature passive ou de précontrainte
ε_{uk}	valeur caractéristique de l'allongement spécifique de rupture de l'acier d'armature passive ou de l'acier de précontrainte
$\varepsilon_{uk,act}$	valeur caractéristique actualisée de l'allongement spécifique de rupture de l'acier d'armature passive ou de l'acier de précontrainte
ε_{um}	valeur moyenne de l'allongement spécifique de rupture de l'acier d'armature passive ou de l'acier de précontrainte
μ	coefficient de frottement
$\sigma_{s,adm,act}$	contrainte limite actualisée dans le domaine de la fissuration
$\sigma_{s,adm}$	contrainte limite dans le domaine de la fissuration selon la norme SIA 262

1.2.4 Notations particulières

\varnothing	diamètre
\varnothing_n	diamètre équivalent d'une barre avec section de même aire
\varnothing_p	diamètre équivalent d'une unité de précontrainte
\varnothing_w	diamètre de l'armature de poinçonnement

1.2.5 Abréviations

CA	contrôle des zones anodiques
CC	mortiers et bétons hydrauliques
CP	protection cathodique
CR	remplacement du béton
IP	protection contre la pénétration de substances
IR	augmentation de la résistance électrique
KG	degré de corrosion de l'armature
MC	régularisation du bilan hydrique du béton
PC	mortiers et bétons de matières synthétiques
PCC	mortiers et bétons modifiés par des matières synthétiques
PR	capacité de résistance physique
RAG	réaction alcali-granulat dans le béton
RC	résistance aux substances chimiques
RP	conservation et restauration de la passivité
SS	renforcement statique

2 PRINCIPES

2.1 Généralités

- 2.1.1 L'examen des structures porteuses en béton et la planification des interventions de maintenance requièrent des connaissances approfondies de la technologie du béton, de la statique, de la construction et de la mise en œuvre. L'originalité de la construction en béton doit également être prise en considération.
- 2.1.2 Les interventions de maintenance liées à la construction porteront sur les défauts déterminants de la structure porteuse, ainsi que sur les détériorations et les mécanismes de détérioration du béton, de l'acier d'armature passive et de l'acier de précontrainte.
- 2.1.3 Lors de l'étude des interventions de maintenance, on distinguera entre la remise en état des détériorations du béton et celle des détériorations liées à la corrosion de l'armature. Le choix des interventions de maintenance liées à la construction sera effectué sur la base des principes de protection et de remise en état conformément à la norme SN EN 1504-9. Ces interventions peuvent englober plusieurs procédés de remise en état.
- 2.1.4 En règle générale, il est nécessaire d'effectuer des essais de convenance pour déterminer l'adéquation des principes et des procédés de remise en état.

2.2 Examen

- 2.2.1 L'analyse structurale des constructions en béton existantes sera effectuée à l'aide des valeurs d'examen pour le béton, l'acier d'armature passive et l'acier de précontrainte. Les valeurs d'examen seront fondées sur les indications du dossier de l'ouvrage ou déterminées par des essais sur la structure existante. Dans le premier cas, les valeurs d'examen obtenues seront considérées avec une attention critique et complétées au besoin par des essais sur la structure existante.
- 2.2.2 S'il existe des doutes justifiés sur la validité des valeurs d'examen des matériaux de construction, il est indiqué de procéder à une augmentation des coefficients partiels de sécurité.
- 2.2.3 Les effets des actions chimiques, physiques, biologiques, et météorologiques sur les propriétés du béton, de l'acier d'armature passive et de l'acier de précontrainte devront être prises en considération.
- 2.2.4 Les effets des actions déterminés selon les normes en vigueur au moment de la réalisation de l'ouvrage, peuvent être utilisés à titre indicatif pour les valeurs d'examen envisageables des résistances.
- 2.2.5 Le relevé de l'état et son évaluation se concentreront sur les détériorations et les mécanismes de détérioration. Pour l'analyse structurale, il est en règle générale nécessaire de contrôler les dimensions, l'épaisseur des couches d'éléments non porteurs, etc.

3 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

3.1 Généralités

- 3.1.1 La procédure d'actualisation des propriétés des matériaux se subdivise généralement en trois étapes :
- actualisation sur la base du dossier de l'ouvrage
 - essais d'identification non destructifs et sondages pour l'identification-produit du béton, de l'acier d'armature passive et de l'acier de précontrainte
 - analyse d'échantillons prélevés sur l'ouvrage.
- 3.1.2 Les désignations et propriétés du béton, de l'acier d'armature passive et de l'acier de précontrainte selon les anciennes normes figurent dans l'annexe A.
- 3.1.3 L'étendue des analyses nécessaires à la détermination des propriétés des matériaux de construction dépend de la réserve de résistance, du mécanisme et des formes de défaillance, ainsi que de l'influence des propriétés des matériaux de construction sur la résistance ultime.
- 3.1.4 Pour une analyse préliminaire, les propriétés des matériaux de construction peuvent être établies ou faire l'objet d'une estimation prudente à l'aide du dossier de l'ouvrage dans le cas où :
- un comportement ductile est prévisible
 - les exigences relatives aux dispositions constructives de la norme SIA 262 sont respectées
 - la structure porteuse dispose d'une réserve de charge suffisante.
- 3.1.5 Pour une analyse détaillée, les propriétés mécaniques des matériaux de construction désignées selon les anciennes normes peuvent être utilisées comme valeurs d'examen si :
- elles ont été confirmées et documentées à l'aide d'un nombre suffisant d'essais exécutés pendant la réalisation de l'ouvrage ou dans le cadre d'un relevé de l'état précédemment exécuté
 - aucun signe de détérioration n'est apparu (par ex. détérioration de la texture, RAG, gel, forte corrosion, etc.).
- Pour l'acier d'armature passive, on se référera aux conditions spécifiques du chiffre 3.3.1, et pour l'acier de précontrainte à celles du chiffre 3.4.1.
- 3.1.6 Si les résultats d'essais exécutés lors de la réalisation de l'ouvrage affichent des valeurs plus élevées que celles admises dans le calcul original, on pourra en tenir compte dans la détermination des propriétés des matériaux de construction pour l'examen, si les conditions du chiffre 3.1.5 sont respectées.
- 3.1.7 Si les conditions des chiffres 3.1.4 et 3.1.5 ne sont pas remplies, les propriétés des matériaux de construction doivent être déterminées sur l'ouvrage.
- 3.1.8 Les propriétés des matériaux de construction d'un élément de construction exposé au feu doivent être déterminées sur l'ouvrage.

3.2 Béton

- 3.2.1 Les valeurs d'examen de la résistance à la compression et de la limite de contrainte de cisaillement du béton seront déterminées conformément à la norme SIA 262 sur la base des classes de résistance à la compression. Si les valeurs d'essai tombent entre deux classes de résistance à la compression, les valeurs d'examen pourront être interpolées.
- 3.2.2 La procédure de référence pour la détermination de la résistance à la compression du béton sur site est l'essai sur carottes prélevées dans les structures avec un diamètre nominal et une longueur de 100 mm. La norme SN EN 12504-1 est applicable en matière d'essais, et la norme SN EN 13791 en matière d'évaluation de la résistance à la compression.
- 3.2.3 La résistance à la compression du béton dans l'ouvrage peut aussi être déterminée par des procédés indirectes (scléromètre à béton, essai d'extraction, ultrasons). La norme SN EN 12504, parties 2 à 4, est applicable en matière d'essais, et la norme SN EN 13791 en matière d'évaluation de la résistance à la compression.

- 3.2.4 La classe de résistance peut être déterminée à l'aide du tableau 1 (approche B de la norme SN EN 13791). L'approche A de la norme SN EN 13791 sera utilisée lorsqu'on dispose de plus de 15 carottes.
- La plus basse des deux valeurs $f_{ci,min}$ resp. $f_{cm(n)}$ est déterminante.

Tableau 1: Résistance à la compression des carottes d'un diamètre nominal de 100 mm

Classe de la résistance à la compression	Résultat d'essai le plus bas $f_{ci,min}$ [N/mm ²]	Valeur moyenne de n résultats d'essai $f_{cm(n)}$ [N/mm ²]		
		$n = 3 \text{ à } 6$	$n = 7 \text{ à } 9$	$n = 10 \text{ à } 14$
C8/10	5	16	15	14
C12/15	9	20	19	18
C16/20	13	24	23	22
C20/25	17	28	27	26
C25/30	22	33	32	31
C30/37	27	38	37	36
C35/45	34	45	44	43
C40/50	39	50	49	48
C45/55	43	54	53	52
C50/60	47	58	57	56
C55/67	53	64	63	62
C60/75	60	71	70	69
C70/85	68	79	78	77
.../...	> 68	> 79	> 78	> 77

- 3.2.5 Lorsque la résistance à la compression du béton est déterminée sur des carottes de petites dimensions, soit avec un diamètre et une longueur d'environ 50 mm, on augmentera le nombre d'éprouvettes en fonction du diamètre maximal du granulat D_{max} :
- pour $D_{max} = 32$ mm, le nombre d'éprouvettes est à multiplier par cinq (pour 1 résultat d'essai)
 - pour $D_{max} \leq 16$ mm, le nombre d'éprouvettes est à multiplier par trois (pour 1 résultat d'essai).
- 3.2.6 La détermination de la résistance à la compression du béton dans une zone particulière d'un ouvrage doit être fondée sur trois résultats d'essai au moins. Les zones d'essai seront définies en fonction des sollicitations, du comportement statique, des étapes de bétonnage, etc.
- 3.2.7 Si le béton ne contient pas d'additions accélérant le durcissement et si les conditions du chiffre 3.1.5 sont remplies, on pourra considérer que l'évolution de la résistance s'effectue selon les indications de la norme SIA 262. L'augmentation de résistance des bétons plus âgés (année de construction antérieure à 1985/1990), sans additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent (de type II selon la norme SN EN 206-1), peut être estimée comme suit:

$$f_{cm}(t) = f_{cm,28} \cdot 0,41[(\log t) + 1] \quad t \text{ en jours} \tag{1}$$

3.3 Acier d'armature passive

- 3.3.1 On pourra utiliser les propriétés mécaniques de l'acier d'armature passive figurant dans le tableau 8 lorsque les conditions suivantes sont remplies :
- la date de fabrication de l'acier d'armature passive est connue
 - le type d'acier est clairement identifiable par la configuration des nervures apparaissant dans les sondages
 - l'acier d'armature passive ne présente pas de détériorations.

- 3.3.2 Les propriétés de matériau des échantillons d'acier d'armature passive seront déterminées conformément à la norme EN ISO 15630, parties 1 et 2. Il est permis d'extraire des éprouvettes plus courtes, lorsque :
- les résultats d'essais ne justifient aucun doute
 - aucune indication de détérioration n'est apparente
 - l'influence sur la résistance ultime n'est pas sensible.
- 3.3.3 L'essai de résistance permet de déterminer la limite d'écoulement f_s en tant que contrainte d'écoulement supérieure ou comme contrainte limite d'élasticité à 0,2% ($f_{s0,2}$), ainsi que la résistance à la traction f_t . Ces valeurs sont obtenues en divisant les forces de traction respectives par l'aire de la section nominale A_s de la barre d'acier. La contrainte d'écoulement caractéristique (fractile 5%) est calculée à l'aide de la relation suivante :
- $$f_{sk,act} = f_{sm}(n) - k_5(n) \cdot s \quad (2)$$
- où $k_5(n)$ et A_s sont déterminés selon la norme SN EN 10080. Pour un nombre d'éprouvettes de $3 \leq n \leq 30$, $k_5(n)$ peut être déterminé de manière approximative à l'aide de la relation suivante :
- $$k_5(n) = 1,64 + 6 \cdot n^{-4/5} \quad (3)$$
- 3.3.4 Les propriétés de l'acier d'armature passive en matière de ductilité doivent satisfaire aux exigences de la norme SIA 262. Le coefficient d'écrouissage $(f_t/f_s)k$ et la valeur caractéristique de l'allongement spécifique de rupture ε_{uk} sont déterminés comme des fractiles 10% :
- $$\varepsilon_{uk,act} = \varepsilon_{um}(n) - k_{10}(n) \cdot s \quad (4)$$
- où $k_{10}(n)$ est déterminé selon la norme SN EN 10080. Pour un nombre d'éprouvettes de $3 \leq n \leq 30$, $k_{10}(n)$ peut être déterminé de manière approximative à l'aide de la relation suivante :
- $$k_{10}(n) = 1,28 + 5 \cdot n^{-4/5} \quad (5)$$
- 3.3.5 L'influence de l'état de la surface (corrosion, entailles, etc.) sur la résistance à la fatigue sera pris en considération tout en tenant compte de l'historique de charge.
- 3.3.6 L'aptitude au soudage dépend principalement de la composition chimique de l'acier. En général, les aciers à dureté naturelle fabriqués après 1956 sont aptes à être soudés. Le soudage sur des aciers d'armature écrouis à froid doit être étudié avec une attention particulière et tenir compte de l'effet de l'apport de chaleur sur les propriétés mécaniques.

3.4 Acier de précontrainte

- 3.4.1 On pourra utiliser les propriétés mécaniques de l'acier de précontrainte figurant dans le tableau 9 ou sur le certificat d'usine, lorsque les conditions suivantes sont remplies :
- la date de fabrication de l'acier de précontrainte est connue
 - le type d'unité de précontrainte est clairement identifiable par des sondages ou sur la base du dossier de l'ouvrage
 - l'acier de précontrainte ne montre pas de détériorations.
- 3.4.2 Les propriétés de matériau des échantillons d'acier de précontrainte seront déterminées selon la norme EN ISO 15630-3. Il est permis d'extraire des éprouvettes plus courtes, lorsque :
- les résultats d'essais ne justifient aucun doute
 - aucune indication de détérioration n'est apparente
 - l'influence sur la résistance ultime n'est pas sensible.
- 3.4.3 L'essai de résistance permet de déterminer la contrainte limite d'élasticité à 0,1% ($f_{p0,1}$) et la résistance à la traction f_p . Ces valeurs sont obtenues en divisant les forces de traction respectives par l'aire de la section nominale A_p de l'acier de précontrainte.
- 3.4.4 L'influence de l'état de la surface (corrosion, entailles, etc.) sur la résistance à la fatigue sera pris en considération tout en tenant compte de l'historique de charge.

4 ANALYSE STRUCTURALE ET VÉRIFICATIONS

4.1 Généralités

4.1.1 Méthodes de calcul

- 4.1.1.1 Le principe de la borne supérieure de la théorie de la plasticité (méthode cinématique) peut être appliqué pour
- démontrer une sécurité structurale insuffisante
 - déterminer les positions des charges déterminantes
 - confirmer le résultat d'un calcul selon le principe de la borne inférieure (méthode statique).
- 4.1.1.2 La vérification de la sécurité structurale tiendra compte de l'influence d'un manque, voire de l'absence d'armature minimale ainsi que de l'influence des dispositions constructives sur la ductilité de la structure porteuse.
- 4.1.1.3 La vérification de la capacité de déformation plastique tiendra compte des caractéristiques d'écrouissage de l'armature et des propriétés d'adhérence entre l'armature et le béton.

4.1.2 Structures précontraintes

4.1.2.1 Généralités

- 4.1.2.1.1 La vérification de la sécurité structurale doit tenir compte du fait que l'état d'auto-contraintes lié aux déformations imposées par la précontrainte, n'est modifié que dans les zones de déformation plastique.
- 4.1.2.1.2 Les sollicitations dues aux déformations imposées par la précontrainte influencent la position et la séquence de formation des rotules plastiques et, par conséquent, la déformation nécessaire pour atteindre la charge ultime.
- 4.1.2.1.3 Les unités de précontraintes présentent en général une rigidité d'adhérence et une résistance d'adhérence inférieures à celles des aciers d'armature passive. La différence de comportement en matière d'adhérence doit être prise en considération dans le calcul de vérification de la capacité de déformation plastique des éléments de construction avec armature mixte.
- 4.1.2.2 Pertes de force de précontrainte
- Les valeurs de μ et $\Delta\varphi$ seront définies sur la base des données du fabricant ou par référence à des systèmes de précontrainte comparables actuellement.
- 4.1.2.3 Force de précontrainte à l'état-limite ultime
- 4.1.2.3.1 Pour les unités de précontrainte injectées dont le remplissage et la résistance du matériau d'injection sont insuffisantes, la force de traction actualisée dans l'acier de précontrainte sera définie sur la base d'hypothèses d'états extrêmes.
- 4.1.2.3.2 Le calcul de l'évolution des forces dans l'acier de précontrainte doit tenir compte qu'une augmentation de la force de précontrainte n'est plausible que dans les zones décomprimées de la structure porteuse. Pour définir ces zones, il est utile de considérer la précontrainte comme effet des actions dues aux forces d'ancrage, de déviation et de frottement.

4.2 Valeurs d'examen

4.2.1 Béton

Pour l'examen de voiles et de l'âme de poutres à l'état fissuré, mais présentant des résistances à la compression du béton $f_{ck} > 30 \text{ N/mm}^2$, la résistance réduite à la compression du béton $k_c f_{cd,act}$ peut être calculée à l'aide du coefficient de réduction k_c suivant :

$$k_c = \frac{1}{1,25 + 60\varepsilon_{1d,act}} \leq 1,0 \quad (6)$$

où $\varepsilon_{1d,act}$ représente la valeur de la déformation perpendiculaire à la direction du champ de compression.

4.2.2 Acier d'armature passive et acier de précontrainte

Pour déterminer les valeurs d'examen des sections et des limites d'écoulement de l'acier d'armature passive et de précontrainte, il est nécessaire de tenir compte de l'effet des entailles et de la fragilisation de l'armature détériorée (par exemple à la suite de la corrosion).

4.3 Vérification de la sécurité structurale

4.3.1 Effort tranchant

4.3.1.1 Eléments de construction sans armature d'effort tranchant

4.3.1.1.1 Lorsque l'armature de flexion reste dans le domaine élastique, le coefficient k_v , qui tient compte des déformations, peut être calculé à l'aide de la relation suivante :

$$k_v = 2,5 \varepsilon_{0,6d} \quad \varepsilon_{0,6d} \text{ en } \text{‰} \quad (7)$$

où $\varepsilon_{0,6d}$ représente la déformation longitudinale à une distance de $0,6d$ du bord comprimé de la section, dans la direction principale de l'effort tranchant.

4.3.1.1.2 Lorsque l'armature dans une direction est constituée de plusieurs nappes sur la hauteur de la section, on pourra déterminer la déformation longitudinale $\varepsilon_{0,6d}$ de l'équation (7) par rapport à la hauteur statique la plus grande. En revanche, le coefficient k_d pour la détermination de la résistance à l'effort tranchant selon la norme SIA 262 doit être déterminé avec une hauteur statique se rapportant à la totalité des nappes d'armature dans la direction considérée.

4.3.1.1.3 Pour les dalles épaisses chargées uniformément, on déterminera en règle générale la résistance à l'effort tranchant des appuis de bord dans une section située à la distance $2d$ du bord d'appui, en plus des sections à vérifier selon la norme SIA 262.

4.3.1.2 Eléments de construction avec armature d'effort tranchant

4.3.1.2.1 Le choix d'une inclinaison a des champs de compression en dehors des limites données par la norme SIA 262 doit être justifié et tenir compte de la compatibilité des distorsions, des propriétés de l'armature en matière de ductilité et des propriétés d'adhérence entre l'armature et le béton.

4.3.1.2.2 Lorsque dans le segment de poutre considéré, on ne peut pas exclure des déformations plastiques de la membrure et que l'armature d'effort tranchant, posée perpendiculairement à l'axe de la poutre, est de classe de ductilité A selon la norme SIA 262, alors l'inclinaison a des champs de compression vaut, en règle générale, $\alpha \geq 30^\circ$.

4.3.1.2.3 Dans le cas où la surface relative projetée des nervures $f_{R,act}$ de l'armature longitudinale ne remplit pas les exigences requises par la norme SIA 262, il est nécessaire de vérifier la transmission des forces entre le champ de compression et la membrure tendue.

4.3.1.2.4 Lorsqu'il existe un doute sur la qualité de l'injection des unités de précontrainte, on utilisera la valeur nominale de l'épaisseur de l'âme pour des unités de précontrainte sans adhérence selon la norme SIA 262.

4.3.1.2.5 La résistance à l'effort tranchant des ailes de poutres profilées peut être prise en compte lorsque le cas est justifié.

4.3.1.3 Calcul en section

4.3.1.3.1 La superposition des résistances des armatures d'effort tranchant verticales et des armatures longitudinales relevées qui ont fonction d'armatures d'effort tranchant, ne doit pas résulter d'un calcul en section, mais doit être effectuée sur la base des champs de contraintes.

- 4.3.1.3.2 Lorsque les distorsions sont déterminées par une analyse détaillée de la section selon la norme SIA 262, il faut tenir compte des forces longitudinales dues à l'effort tranchant et à la précontrainte.
- 4.3.1.3.3 Pour l'âme des poutres, le coefficient k_c de l'équation (6) sera déterminé en admettant pour la déformation $\varepsilon_{1d,act}$ la demi-hauteur du bras de levier des forces internes. Si la surface relative projetée des nervures $f_{R,act}$ de l'armature longitudinale ne remplit pas les exigences de la norme SIA 262, le coefficient k_c sera généralement réduit.
- 4.3.1.4 Limitation des efforts tranchants par la résistance ultime à la flexion
- 4.3.1.4.1 Dans la détermination des efforts tranchants déterminants, on peut tenir compte du fait que ceux-ci sont limités par la charge ultime de flexion de la structure porteuse ou d'un segment de structure porteuse.
- 4.3.1.4.2 Pour la détermination des efforts tranchants $V_{d,act}^+$ induits par la charge ultime de flexion, les résistances à la flexion $M_{Rd,act}^+$ seront calculées de façon analogue aux indications de la norme SIA 262 en tenant compte des surrésistances. On vérifiera également que la capacité de déformation est suffisante.

4.3.2 Poinçonnement

4.3.2.1 Section de contrôle

Les reprises de bétonnage entre colonnes et dalle, situées au-dessus du bord inférieur de la dalle, seront considérées comme des affaiblissements de la dalle dans la vérification du poinçonnement, tant que la reprise du cisaillement sur le fût des colonnes ne peut pas faire l'objet d'une vérification concluante.

4.3.2.2 Dalles sans armature de poinçonnement

Lorsque la rotation de la dalle est déterminée par des méthodes de calcul non linéaires, on considérera comme déterminante la plus grande valeur obtenue à une distance de $2d$ de la section de contrôle.

4.3.2.3 Dalles avec armature de poinçonnement

La contrainte dans l'armature de poinçonnement, calculée selon les indications de la norme SIA 262, peut être augmentée de la valeur suivante :

$$\Delta\sigma_{sd,act} = 90 f_{R,act} \frac{d}{\varnothing_w} \leq 5 \frac{d}{\varnothing_w} \Delta\sigma_{sd,act} \text{ en N/mm}^2 \quad (8)$$

4.4 Vérification de l'aptitude au service

4.4.1 Généralités

- 4.4.1.1 En cas d'utilisation inchangée, la vérification de l'aptitude au service sera essentiellement dirigée sur la détermination des causes des grandes ouvertures des fissures, des éclatements importants et des déformations excessives.
- 4.4.1.2 Pour la vérification de l'aptitude au service, les effets du fluage et du retrait du béton seront estimés pour la durée d'utilisation restante.

4.4.2 Fissures

Les contraintes admissibles $\sigma_{s,adm}$ selon la norme SIA 262 pour la limitation de l'ouverture des fissures seront actualisées à l'aide de la relation suivante :

$$\sigma_{s,adm,act} = \sigma_{s,adm} \left(\frac{f_{bd,act}}{f_{bd}} \right)^{2/3} \quad (9)$$

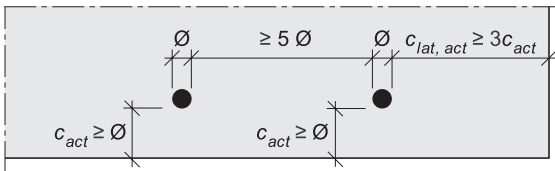
4.5 Particularités

4.5.1 Contrainte d'adhérence

- 4.5.1.1 La valeur de dimensionnement de la contrainte d'adhérence f_{bd} selon la norme SIA 262 peut être utilisée comme valeur d'examen $f_{bd,act}$ lorsque les conditions suivantes sont remplies (figure 1) :
- l'enrobage de l'armature actualisé c_{act} correspond au moins au diamètre des barres d'armature \emptyset
 - l'espacement actualisé des barres d'armature s_{act} est d'au moins $6\emptyset$
 - le plus grand enrobage de l'armature $c_{lat,act}$ des barres situées dans la zone de bord est au moins le triple de l'enrobage le plus faible c_{act}
 - la surface relative projetée des nervures actualisée $f_{R,act}$ satisfait aux exigences de la norme SIA 262
 - le béton et l'armature ne montrent aucune détérioration susceptible d'influencer l'adhérence.

Lorsque ces exigences ne sont pas satisfaites, la défaillance de l'adhérence apparaît en général soudainement, par éclatement du béton d'enrobage.

Figure 1 : Conditions géométriques pour l'utilisation de la contrainte d'adhérence f_{bd} selon la norme SIA 262 comme valeur d'examen



- 4.5.1.2 Lorsque $c_{act} = 0$, la valeur de la contrainte d'adhérence transmissible est réduite de moitié pour les barres d'armatures éloignées du bord. Pour des valeurs intermédiaires de c_{act} , on pourra interpoler.
- 4.5.1.3 Lorsque $s_{act} = \emptyset$, la valeur de la contrainte d'adhérence transmissible est réduite à zéro pour les barres d'armatures éloignées du bord. Pour des valeurs intermédiaires de s_{act} , on pourra interpoler.
- 4.5.1.4 Pour les barres d'armature de la zone de bord, la contrainte d'adhérence transmissible sera réduite au moyen du facteur $k_{b,lat}$:

$$k_{b,lat} = \frac{1}{2} + \frac{\frac{c_{lat,act}}{c_{act}}}{4 + \frac{2\emptyset}{c_{act}}} \leq 1,0 \quad (10)$$

- 4.5.1.5 La contrainte d'adhérence transmissible totale sera déterminée en tant que produit des facteurs de réduction selon les chiffres 4.5.1.2, 4.5.1.3 et 4.5.1.4.
- 4.5.1.6 L'influence de la surface relative projetée des nervures $f_{R,act}$ sur la valeur d'examen de la contrainte d'adhérence $f_{bd,act}$ est prise en compte par l'équation (11) :

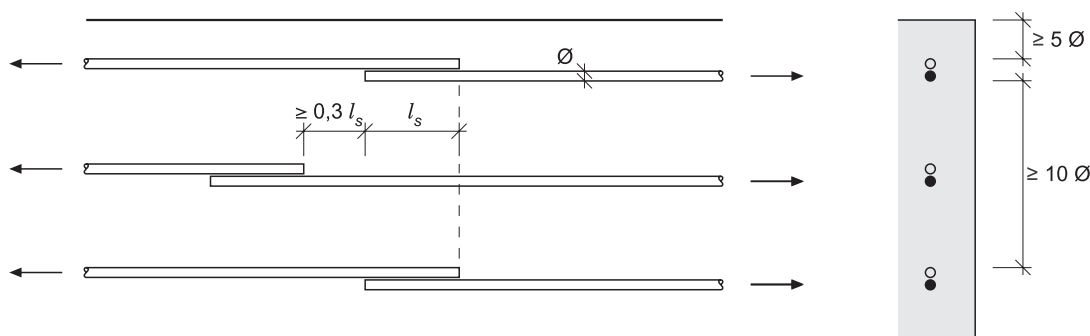
$$f_{bd,act} = f_{bd} (0,55 + 8f_{R,act}) \leq f_{bd} \quad (11)$$

4.5.2 Ancrage

- 4.5.2.1 La valeur de base de la longueur d'ancrage $l_{bd,net}$ sera déterminée selon la norme SIA 262 avec la valeur d'examen de la contrainte d'adhérence $f_{bd,act}$ définie au chiffre 4.5.1. Elle ne sera pas inférieure à $10\emptyset$ ni à 100 mm.
- 4.5.2.2 Lorsque la longueur de barre rectiligne suivant la courbure des crochets et des boucles n'atteint pas une longueur de $5\emptyset$, la valeur de base de la longueur d'ancrage sera augmentée de la différence entre $5\emptyset$ et la longueur effective.
- 4.5.2.3 Lorsque le rapport des diamètres d'un groupement de barres comportant des diamètres différents excède 1,7 ou lorsque le diamètre de comparaison \emptyset_n est plus grand que 55 mm, la détermination de la longueur d'ancrage devra faire l'objet d'une étude approfondie.

- 4.5.2.4 Lorsque l'aire de la section de l'armature transversale est inférieure à 25% de l'aire de la section d'une seule barre longitudinale, la force reprise par l'ancrage sera réduite de la différence entre l'aire de l'armature transversale et l'aire d'une seule barre longitudinale.
- 4.5.2.5 Lors du calcul de l'aire de la section de l'armature transversale selon chiffre 4.5.2.4, si les barres ancrées sont tendues, on pourra tenir compte de toutes les barres transversales situées sur la longueur d'ancrage. Si les barres ancrées sont comprimées, on pourra tenir compte des barres transversales situées sur le dernier tiers de la longueur d'ancrage et jusqu'à une distance de $4 \varnothing$ de l'extrémité de la barre.
- 4.5.3 **Joints à recouvrement**
- 4.5.3.1 La transmission de la force d'écoulement dans les joints à recouvrement des barres d'armature nécessite une longueur de recouvrement correspondant à la longueur d'ancrage selon chiffre 4.5.2, mais ne sera toutefois pas inférieure à $15 \varnothing$ ni à 200 mm.
- 4.5.3.2 Lorsque l'espace libre entre les barres d'armature se recouvrant dépasse la valeur de $4 \varnothing$, la longueur de recouvrement du chiffre 4.5.3.1 sera augmentée de la valeur du dépassement.
- 4.5.3.3 Lorsque l'aire de la section de l'armature transversale, posée sur les tiers extérieurs de la longueur de recouvrement, est inférieure à l'aire de la section de la barre longitudinale recouverte, la force ancrée d'une barre tendue sera réduite proportionnellement au rapport des aires des deux sections. Pour les barres comprimées, on pourra tenir compte des barres transversales supplémentaires, situées jusqu'à une distance de $4 \varnothing$ de l'extrémité de la barre longitudinale.
- 4.5.3.4 Lorsque le pourcentage des joints à recouvrement de plusieurs barres tendues calculé selon le chiffre 4.5.3.6 ne dépasse pas 30 %, la longueur de recouvrement selon le chiffre 4.5.3.1 sera augmentée de 40% si l'on se trouve dans l'un des deux cas suivants (figure 2) :
- L'enrobage de l'armature dans le plan du joint à recouvrement est inférieur à $5 \varnothing$.
 - L'espace libre entre joints à recouvrement voisins est inférieur à $10 \varnothing$.
- 4.5.3.5 Lorsque le pourcentage des joints à recouvrement de plusieurs barres tendues calculé selon le chiffre 4.5.3.6 excède 30%, la longueur de recouvrement selon le chiffre 4.5.3.1 sera en principe augmentée de 40%. En présence simultanée des deux cas mentionnés au chiffre 4.5.3.4, la longueur de recouvrement sera augmentée de 100%.
- 4.5.3.6 Les joints à recouvrement décalés longitudinalement ne seront pas pris en considération dans les calculs de pourcentage des joints, pour autant que la distance entre les extrémités des joints, selon figure 2, soit au moins égale à 30% de la longueur de recouvrement selon le chiffre 4.5.3.1.

Figure 2 : Conditions géométriques relatives à la longueur des joints à recouvrement



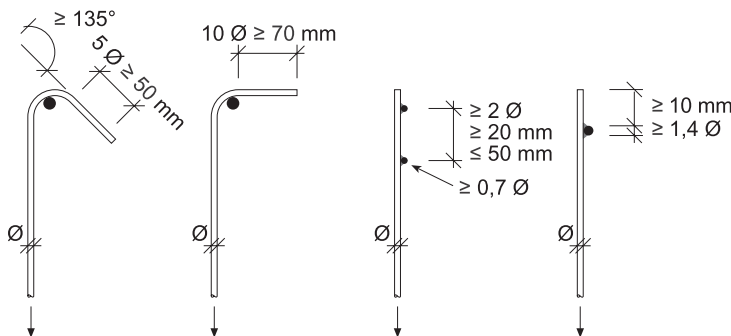
- 4.5.4 **Structures précontraintes**
- 4.5.4.1 En l'absence d'études plus approfondies, la résistance à la traction du béton sera négligée dans la vérification du flux des forces. La présence de fissures dans les zones d'ancrage et de couplage sera prise en considération dans la modélisation.

- 4.5.4.2 Dans le cas de la précontrainte par fils adhérents avec fils profilés ($0,010 \leq f_{R,act} \leq 0,015$) de diamètre \varnothing_p , on pourra calculer les longueurs d'ancrage conformément à la norme SIA 262, pour autant que l'enrobage de l'armature soit $> 3 \varnothing_p$ et que la distance des fils entre eux soit $> 3 \varnothing_p$. Sinon, on appliquera par analogie les conditions du chiffre 4.5.1.
- 4.5.4.3 Dans le cas de la précontrainte par fils adhérents avec torons ou fils nervurés ($0,020 \leq f_{R,act} \leq 0,025$) de diamètre \varnothing_p , on pourra calculer les longueurs d'ancrage conformément à la norme SIA 262, pour autant que l'enrobage de l'armature soit $> 3 \varnothing_p$ et que la distance des torons ou des fils entre eux soit $> 2 \varnothing_p$. Sinon, on appliquera par analogie les conditions du chiffre 4.5.1.
- 4.5.4.4 On peut estimer la longueur d'ancrage $l_{bd,0}$ des unités de précontrainte après libération des ancrages d'extrémité sur la base du chiffre 4.5.2.1. La valeur d'examen de la contrainte d'adhérence calculée avec (11) sera toutefois réduite de 10%. Pour déterminer la longueur d'ancrage l_{bd} destinée aux valeurs d'examen des actions, on pourra utiliser telle quelle l'équation (11).
- 4.5.4.5 Les rayons de courbure admissibles des unités de précontrainte seront actualisés sur la base des données du fabricant ou par référence à des systèmes de précontrainte comparables actuellement.

4.5.5 Poutres à section rectangulaire ou à T

- 4.5.5.1 Lorsque les étriers n'entourent pas l'armature longitudinale, on procédera à une étude approfondie sur la transmission des forces entre les étriers et l'armature longitudinale.
- 4.5.5.2 L'ancrage des étriers dans la zone comprimée est considéré comme suffisant pour la reprise de la force de plastification, si les exigences de la figure 3 sont respectées et si les soudures des barres transversales sont en mesure de reprendre la force à ancrer.

Figure 3 : Exigences posées à l'ancrage des étriers dans la zone comprimée pour la reprise de la force de plastification



- 4.5.5.3 Si les exigences du chiffre 4.5.5.2 relatives à la disposition des étriers dans la zone comprimée ne sont pas satisfaites, la force d'ancrage maximale des étriers pourra être calculée par analogie avec les dispositions du chiffre 4.5.2 et celles de la norme SIA 262. La longueur d'ancrage complète doit se trouver dans la zone comprimée.
- 4.5.5.4 La contribution des armatures longitudinales relevées à la résistance à l'effort tranchant peut être analysée sur la base de champs de contraintes en forme d'éventail centrés sur un point. On superposera cette contribution avec celle des armatures d'effort tranchant verticales et on vérifiera les effets de la superposition sur les contraintes du béton dans les champs de contraintes. On vérifiera également l'introduction locale des forces de déviation de l'armature dans le béton.
- 4.5.5.5 La vérification de la sécurité structurale pour le flux de force dans les zones d'appuis indirects sera effectuée sur la base des champs de contrainte. On tiendra compte de l'influence d'un manque d'armature de suspension sur la résistance et sur la ductilité de la section dans le sens porteur longitudinal (réduction du bras de levier des forces internes).

4.5.6 Dalles

- 4.5.6.1 Les exigences de la norme SIA 262 concernant la disposition constructive de l'armature de poinçonnement doivent être appliquées, pour les armatures relevées, au point de croisement des barres d'armature avec le plan moyen de la dalle.
- 4.5.6.2 Lorsque les exigences de la norme SIA 262 concernant la disposition constructive de l'armature de poinçonnement ne sont pas remplies, la sécurité structurale sera vérifiée sur la base des champs de contraintes, en négligeant la résistance à la traction du béton. En règle générale, on admettra une inclinaison du champ de contrainte de $\alpha = 45^\circ$.

4.5.7 Pièces comprimées

- 4.5.7.1 Si l'aire de la section de l'armature longitudinale des pièces comprimées est inférieure à la valeur minimale requise par la norme SIA 262 ou à $0,15 N_{d,act} / f_{sd,act}$, on vérifiera la sécurité structurale comme pour des éléments de construction non armés.
- 4.5.7.2 Si la distance entre étriers ou entre crochets est supérieure aux valeurs maximales de la norme SIA 262, on vérifiera le flambage de l'armature longitudinale.

4.5.8 Structures porteuses soumises à la fatigue

- 4.5.8.1 En général, la vérification à la fatigue se limitera à la vérification de l'armature. Dans le cas des dalles minces sans armature d'effort tranchant, on vérifiera également la résistance à la fatigue pour le cisaillement.
- 4.5.8.2 La valeur d'examen de la résistance à la fatigue peut être définie selon le tableau 2. Les données manquantes seront reprises telles quelles dans la norme SIA 262.

Tableau 2 : Valeurs d'examen de la résistance à la fatigue

Type d'armature	Valeur d'examen de la résistance à la fatigue $\Delta\sigma_{sd,fat,act}$ $\Delta\sigma_{pd,fat,act}$ [N/mm ²]
Acier d'armature passive	
Barres rectilignes $\varnothing < 30$ mm	150
Etriers verticaux $\varnothing < 20$ mm	150
– joints longitudinaux soudés – joints de croisement soudés (treillis, p. ex.) – liaison mécanique des barres	70
Acier et unités de précontrainte	
Unités de précontrainte à fils ou à torons, avec ou sans adhérence, dans des gaines en acier	110

- 4.5.8.3 Lorsque la vérification à la fatigue n'est pas concluante, on prendra des mesures de sécurité supplémentaires selon la norme SIA 269. Ces mesures devront, entre autre, tenir compte des points suivants :
- Lors des inspections intermédiaires, on établira le développement de la fissuration déterminante à la surface du béton par des relevés. La mesure des ouvertures et des distances entre fissures peut permettre d'évaluer les contraintes de fatigue dans l'armature.
 - L'évolution de la fissuration due à la fatigue et l'intervalle entre les inspections intermédiaires seront estimés de façon analogue à la procédure figurant dans la norme SIA 269/3.

5 RELEVÉ DE L'ÉTAT

5.1 Généralités

- 5.1.1 D'une manière générale, on fera la distinction entre les détériorations propres au béton et les détériorations causées par la corrosion de l'armature passive et de précontrainte.
- 5.1.2 On relèvera et documentera les pénétrations et ruissellements d'eau incontrôlés, contenant éventuellement des substances nocives, de même que les grandes différences d'humidité.
- 5.1.3 Les conditions climatiques et d'exploitation pendant la durée d'utilisation écoulée seront documentées en vue de l'évaluation des résultats du relevé de l'état.

5.2 Méthodes d'investigations

- 5.2.1 On effectuera les prélèvements d'échantillons et les sondages destinés au relevé et à l'évaluation des détériorations et des mécanismes de détériorations sur la base de l'examen visuel et du résultat des investigations non destructives (voir tab. 3), ainsi qu'en tenant compte des diverses actions et conditions d'exposition.
- 5.2.2 La détermination des valeurs caractéristiques mécaniques destinées à l'analyse structurale peut également nécessiter des prélèvements d'échantillons et des sondages. Afin de restreindre autant que possible les atteintes à l'ouvrage, les différents objectifs seront coordonnés.

Tableau 3: Examen visuel et méthodes d'investigation non destructives

Examen visuel	Méthodes d'investigation non destructives	
Relevé et documentation de	Méthodes simples par sondages	Méthodes complexes pour analyses étendues
<ul style="list-style-type: none"> – ruissellements d'eau, grandes différences d'humidité – surfaces détériorées, altérations de la teinte, efflorescences – fissures (non étanches) – fissures dues à la corrosion et éclatements, barres d'armature non recouvertes – déformations, déplacements, tassements – etc. 	<ul style="list-style-type: none"> – auscultation – scléromètre – détermination de l'enrobage de l'armature – détermination de l'ouverture des fissures – etc. 	<ul style="list-style-type: none"> – mesure du potentiel – mesure de la perméabilité et de l'humidité – ultrasons, géoradar, impact-écho – thermographie – etc.

- 5.2.3 L'étalonnage, l'évaluation et l'interprétation correcte des résultats des investigations non destructives requièrent en règle générale le prélèvement d'échantillons ainsi que des essais de laboratoire, et/ou l'exécution de sondages. Les propriétés suivantes seront, par exemple, déterminées de façon représentative et ciblée :
- profils des chlorures et/ou des profondeurs de carbonatation
 - caractéristiques mécaniques
 - degré de corrosion et enrobage de l'armature.
- 5.2.4 En matière de durabilité, les propriétés importantes du béton ou les mécanismes de détérioration en cours ne peuvent être déterminés qu'en laboratoire :
- porosité, résistance aux chlorures, absorption capillaire
 - résistance au gel, au sel de déverglaçage, aux sulfates et à la réaction alcali-granulat
 - analyses microscopiques sur lames minces
 - profils des substances nocives.

On analysera également les échantillons des substances agressives éventuellement prélevés.

5.2.5 Les sondages et les carottages seront exécutés dans les règles de l'art et soigneusement refermés. En règle générale, on documentera les points suivants :

- situation et grandeur du sondage/du carottage, report sur un plan de situation
- épaisseur des couches de sol
- disposition de la construction (épaisseur des couches de revêtement, étanchéité, etc.)
- position et disposition de l'armature passive et de l'armature de précontrainte
- enrobage et diamètre de l'armature passive et de l'armature de précontrainte
- configuration des nervures de l'armature
- degré de corrosion de l'armature passive et de l'armature de précontrainte
- éventuellement état et intégrité de l'injection des unités de précontrainte.

5.2.6 La détermination du degré de corrosion sera effectuée selon le tableau 4. La présence de corrosion locale ou sur une zone étendue (cuvettes, corrosion par piquûre) sera consignée. Dans le cas où l'on ouvre la gaine métallique des unités de précontrainte, le degré de corrosion sera également déterminé à l'intérieur de la gaine. Pour l'évaluation du degré de corrosion de l'armature de précontrainte, on convoquera éventuellement un spécialiste.

Tableau 4 : Détermination du degré de corrosion

Degré de corrosion (KG)	Description en cas de corrosion due à la carbonatation du béton	Description en cas de corrosion due à la pénétration des chlorures	Description relative aux gaines métalliques des unités de précontrainte
0	inaltéré	inaltéré	inaltéré
1	quelques points de rouille superficiels	quelques points et taches de rouille superficiels	quelques points et taches de rouille superficiels
2	taches de rouille, petites érosions locales du matériau	nombreuses taches de rouille, petites érosions locales du matériau	nombreuses taches de rouille, perforation locale possible
3	complètement rouillé avec petite érosion du matériau (au maximum, destruction des nervures par la corrosion)	début de corrosion par piquûre, diminution de la section $\leq 5\%$	perforé
4	complètement rouillé avec des cuvettes évidentes, indication de la perte de section ¹⁾	corrosion par piquûre avec diminution évidente de la section ¹⁾	complètement corrodé
¹⁾ indication de la perte de section en % de la section initiale.			

5.2.7 En règle générale, le levé des fissures comporte le relevé et la documentation des points suivants :

- position et tracé des fissures
- longueur et ouverture des fissures
- type de fissure (traversante ou non, etc.)
- humidité, ruissellements, efflorescences et souillures, altérations de la teinte
- déplacement relatif des fissures.

En général, seuls des essais de laboratoires effectués sur des carottes permettent de déterminer de façon fiable la profondeur et la cause des fissures. Il est néanmoins possible de procéder, pendant le relevé de l'état, à une évaluation préliminaire.

5.2.8 Pour l'évaluation des fissures dues à la RAG dans les zones affectées par différents degrés de détérioration, on déterminera l'indice d'ouverture des fissures (*RI*) ainsi que l'évolution de l'ouverture des fissures durant la période écoulée et la vitesse d'expansion. La détermination de l'indice d'ouverture des fissures sera effectué selon les indications de l'annexe C.

5.2.9 Lorsque aucune donnée provenant de mesures sur une longue période n'est disponible, on pourra déterminer l'évolution de l'ouverture des fissures durant la période écoulée et la vitesse d'expansion selon le chiffre 5.2.8, sur la base des valeurs de l'ouverture des fissures resp. de l'indice d'ouverture des fissures mesurées au stade actuel, et l'âge correspondant de l'ouvrage.

6 ÉVALUATION DE L'ÉTAT

6.1 Généralités

- 6.1.1 L'évaluation de l'état comprend des indications sur :
- les mécanismes de détérioration en cours
 - l'ampleur des détériorations (ouvrage entier ou élément de construction, limitées à des zones, sporadiques, isolées, etc.)
 - l'intensité et la profondeur des détériorations (uniquement en surface, détérioration affectant la section entière, altération des propriétés mécaniques et/ou d'autres propriétés, etc.)
 - le stade de l'évolution des détériorations (stade initial, stade final, etc.)
- 6.1.2 L'importance des détériorations constatées et du degré de détérioration actuel ainsi que de leur évolution passée et probable pour l'ouvrage ou l'élément de construction seront évalués en fonction de leur impact sur la sécurité structurale, sur l'aptitude au service et sur la durabilité.
- 6.1.3 Les fissures traversantes permettent la circulation de l'eau dès une ouverture d'environ 0,1 mm. Elles présentent donc un risque élevé en matière de durabilité.
- 6.1.4 Dans les structures porteuses à comportement ductile, les déformations et les grandes ouvertures de fissures dans la zone tendue peuvent annoncer des défauts et des détériorations avancées de l'armature, en particulier de l'armature de précontrainte. Les structures à comportement fragile ne présentent pas ces signes annonciateurs.
- 6.1.5 Il y a défaillance fragile lorsque les mécanismes de rupture se manifestent par une défaillance du béton comprimé. Le cas échéant, ce type de défaillance sera clairement mentionné dans l'évaluation de l'état.

6.2 Détérioration due à la réaction alcali-granulat

- 6.2.1 En présence de réseaux de fissures, on utilisera l'indice d'ouverture des fissures RI [mm/m] selon le chiffre 5.2.8 et l'annexe C pour évaluer le degré de détérioration :
- $RI \leq 1$: détérioration mineure
 - $1 < RI < 3$: détérioration moyenne
 - $RI \geq 3$: détérioration majeure.
- 6.2.2 En l'absence de réseaux de fissures, l'évaluation du degré de détérioration sera fondée sur la mesure de fissures isolées.
- 6.2.3 On déterminera si les fissures présentes ont été causées exclusivement par la RAG et si d'autres mécanismes de détérioration peuvent être exclus (par ex. le gel, la corrosion, etc.). On visera à mesurer uniquement des fissures, dont toute cause autre que la RAG peut être exclue.
- 6.2.4 L'évolution passée de la détérioration sera évaluée comme suit :
- RAG lente :
évolution de l'ouverture des fissures $< 0,05$ mm/a ou vitesse d'expansion $< 0,10$ mm/m/a
 - RAG rapide :
évolution de l'ouverture des fissures $\geq 0,10$ mm/a ou vitesse d'expansion $\geq 0,20$ mm/m/a.
- Les structures précontraintes nécessitent généralement des clarifications supplémentaires pour évaluer l'évolution de leur détérioration.
- 6.2.5 L'évaluation dans le cadre d'un examen détaillé ne peut s'effectuer que de manière spécifique. Elle comprendra par exemple :
- une estimation du potentiel de détérioration encore présent
 - une estimation des effets du potentiel de détérioration encore présent sur le comportement porteur, sur les déformations imposées, etc.
 - des indications sur la sécurité structurale actuelle.
- 6.2.6 En règle générale, on peut admettre que la RAG n'évolue pas de façon significative dans les éléments de construction dont l'humidité relative de la section de béton entière est inférieure à 80%.

6.3 Détérioration due à la corrosion de l'armature passive

- 6.3.1 La teneur en chlorures critique avant remise en état est la teneur en chlorures au niveau de l'armature qui, dans les conditions existantes d'exposition et d'humidité, n'a pas encore causé de corrosion par piquûre visible (degré de corrosion KG 0 ou KG 1).
- 6.3.2 La teneur en chlorures critique après remise en état est la teneur en chlorures au niveau de l'armature qui, dans les conditions futures d'exposition et d'humidité et pendant la durée d'utilisation restante, ne causera ni pertes intolérables dans la section ni fissures et éclatements intolérables.
- 6.3.3 Le risque de corrosion est évalué sur la base de la teneur totale en chlorures au niveau de l'armature. Pour un acier d'armature normal et une humidité relative du béton de 80% au maximum dans la zone de l'armature, on aura :
- teneur en chlorures < 0,4% (en masse) du dosage en ciment: très faible risque de corrosion
 - teneur en chlorures 0,4 jusqu'à 1,0 % (en masse) du dosage en ciment: corrosion possible
 - teneur en chlorures > 1,5% (en masse) du dosage en ciment: risque de corrosion élevé.
- 6.3.4 Lorsque l'humidité du béton est plus élevée, ou que la valeur du pH du béton est abaissée par la carbonatation, ou alors en présence d'autres substances nocives, par ex. des sulfates etc., la valeur de la teneur en chlorures critique au niveau de l'armature devra être réduite. Au contraire si les conditions régnaient sont plus sèches, cette valeur pourra être augmentée. Les aciers fortement alliés et inoxydables admettent des valeurs de la teneur en chlorures critique nettement plus élevées.
- 6.3.5 Pour les aciers de précontrainte disposant d'une bonne protection contre la corrosion, c'est-à-dire des unités de précontrainte complètement injectées avec coulis d'injection intact, on admettra les mêmes valeurs indicatives que pour l'acier d'armature normal. Si le coulis d'injection manque complètement ou par endroits ou s'il est de qualité insuffisante, de très petites quantités de chlorures combinées à une humidité élevée peuvent déjà causer d'importantes détériorations. Pour l'évaluation des détériorations de l'armature de précontrainte dues à la corrosion, on recourra si nécessaire à un spécialiste.
- 6.3.6 Pour l'évaluation des profondeurs de carbonatation et des enrobages de l'armature existants, on tiendra compte de la différence entre la valeur du pH qui provoque la corrosion et celle qui fait virer la phénolphthaleïne.
- 6.3.7 Pour les éléments de construction dont l'humidité relative maximale du béton dans la zone de l'armature est de 80%, la perte de matériau annuelle est généralement faible. Pour l'évaluation, on distinguera entre les attaques ponctuelles et les attaques surfaciques.

6.4 Prévision sur l'évolution de l'état

- 6.4.1 L'humidité du béton a une influence déterminante sur la vitesse des mécanismes de détérioration. Il est donc nécessaire de toujours fonder les prévisions sur l'évolution de l'état sur une estimation qualitative des changements des conditions d'humidité dans le béton, en considérant aussi les fissures éventuelles, les cycles humidité/sécheresse, etc.
- 6.4.2 Les changements d'ampleur, de profondeur ou d'intensité des détériorations et éventuellement des mécanismes de détérioration doivent être évalués sur la base du stade atteint dans l'évolution de la détérioration et des actions futures prévisibles, en particulier les conditions d'humidité.
- 6.4.3 Une prévision quantitative de l'évolution de l'état n'est en général pas possible. De façon qualitative, on pourra toutefois différencier entre des évolutions lentes ou rapides, avec accélération ou ralentissement des processus.
- 6.4.4 On accordera une attention particulière aux évolutions de l'état qui pourraient entraîner la défaillance de l'ouvrage ou de l'élément de construction sans aucun signe annonciateur ou juste après quelques signes mineurs.

7 INTERVENTIONS DE MAINTENANCE

7.1 Généralités

- 7.1.1 Les interventions relatives à la résistance sont essentiellement traitées au chiffre 7.3.
- 7.1.2 Lors de la détermination des mesures destinées à assurer la durabilité, on étudiera en priorité la suppression des causes des détériorations. En règle générale, il est nécessaire de diminuer la pénétration d'eau. On ralentit de la sorte le processus de corrosion de l'acier dans le béton ainsi que les mécanismes de détérioration du béton et la pénétration de substances nocives (les chlorures, par exemple).
- 7.1.3 La durabilité des structures porteuses en béton armé et précontraint dont l'armature est insuffisamment protégée et en voie de corrosion, peut être améliorée par la mise en œuvre des principes suivants :
- action sur le processus anodique
 - action sur le processus cathodique
 - diminution de l'humidité de l'élément de construction resp. de la conductibilité électrolytique.
- 7.1.4 En règle générale, les détériorations dues à la RAG ne peuvent être ralenties que par une réduction de l'humidité dans le béton.
- 7.1.5 Il est indispensable de prendre en considération les effets des interventions sur l'humidité des éléments voisins (par ex. remise en état ou renouvellement d'évacuations d'eau et d'étanchéités, de joints de dilatation, d'articulations, de joints de chaussée, etc.)
- 7.1.6 Le choix des interventions de maintenance doit également tenir compte de l'exposition des éléments de construction. En plus des classes d'exposition figurant dans la norme SIA 262, il faut aussi tenir compte du microclimat.

7.2 Principes et méthodes

- 7.2.1 Les principes de la remise en état et les méthodes de remises en état correspondantes seront choisies sur la base des objectifs des interventions selon la norme SN EN 1504-9 (tableaux 5 et 6 ci-après).
- 7.2.2 Les principes et les méthodes peuvent aussi être utilisés de manière combinée. Il est toutefois recommandé de n'appliquer qu'un nombre restreint de principes et de méthodes sur des ouvrages ou des éléments de construction isolés. On vérifiera au préalable la compatibilité des méthodes et des principes.
- 7.2.3 Certaines méthodes peuvent être mises en œuvre selon différents principes. Les exigences relatives aux produits et aux systèmes de remise en état différeront en fonction du principe choisi et du but de la mise en œuvre.
- 7.2.4 D'autres méthodes sont admises, s'il est démontré qu'elles sont compatibles avec les principes et si leur adéquation est suffisamment vérifiée.

Tableau 5: Principes et méthodes correspondantes pour la protection et la remise en état des structures porteuses dont le béton a subi des détériorations (selon la norme SN EN 1504-9)

Principes de remise en état lors de détériorations du béton		Méthodes correspondantes	Normes pour l'élab. du projet et exigences requ. pour les produits
1 Protection contre la pénétration de substances (Protection against ingress [IP]) Empêcher la pénétration des substances qui favorisent la corrosion (par ex. eau, autres liquides, vapeur, gaz, substances chimiques) et des formes de vies biologiques.		1.1 Imprégnation hydrophobe	SN EN 1504-2 et -10
		1.2 Imprégnation	SN EN 1504-2 et -10
		1.3 Revêtement	SN EN 1504-2 et -10
		1.4 Colmatage local des fissures ¹⁾	SN EN 1504-10, annexe
		1.5 Colmatage/injection des fissures	SN EN 1504-5 et -10
		1.6 Transformation des fissures en joints ¹⁾	SIA 262, SN EN 1504-10
		1.7 Applic. de plaques de revêtement ^{1),2)}	SIA 179 et SIA 233
		1.8 Application de membranes ¹⁾	SIA 270
2 Régularisation du bilan hydrique du béton (Moisture control [MC]) Régler et maintenir l'humidité du béton à l'intérieur des limites fixées.		2.1 Imprégnation hydrophobe	SN EN 1504-2 et -10
		2.2 Imprégnation	SN EN 1504-2 et -10
		2.3 Revêtement	SN EN 1504-2 et -10
		2.4 Applic. de plaques de revêtement ^{1),2)}	SIA 179 et SIA 233
		2.5 Traitement électrochimique ¹⁾	–
3 Remplacement du béton (Concrete restoration [CR]) Rétablir la géométrie et la fonction prévue d'une structure porteuse en béton. Rétablir les propriétés d'une structure porteuse en béton en remplaçant partiellement le béton détérioré par du nouveau béton.		3.1 Application manuelle de mortier	SN EN 1504-3 et -10
		3.2 Augmentation de section par ajout de béton ou de mortier coffré	SIA 262, SN EN 1504-3 et -10, SN EN 206, SN EN 13670
		3.3 Béton ou mortier projeté	SN EN 14487-1 et -2, SN EN 1504-3 et -10
		3.4 Remplacement d'éléments de construction	SIA 262, SN EN 206, SN EN 13670
4 Renforcement (Structural strengthening [SS]) Augmenter ou rétablir la résistance d'un élément de construction en béton.		4.1 Ajout ou remplacement d'armature incorporée ou extérieure	SIA 262, SN EN 1504-10, SN EN 13670
		4.2 Ajout d'armature, ancrée dans des rainures ou des percements	SIA 262, SN EN 1504-6 et -10
		4.3 Renforcement par des lamelles (acier ou fibres)	SIA 166, SN EN 1504-4 et -10
		4.4 Augmentation de section par ajout de béton ou de mortier coffré	SIA 262 et 179, SN EN 1504-3, -4 et -10
		4.5 Injection des fissures, des cavités et des interstices	SN EN 1504-5 et -10
		4.6 Colmatage des fissures, des cavités et des interstices	SN EN 1504-5 et -10
		4.7 Précontrainte extérieure ¹⁾	SIA 262
5 Résistance aux agents physiques (Increasing physical resistance [PR]) Augmenter la résistance contre les attaques physiques ou mécaniques.		5.1 Revêtement	SN EN 1504-2 et -10
		5.2 Imprégnation	SN EN 1504-2 et -10
		5.3 Revêtement lié (enduit)	SN EN 1504-3 et -10, SN EN 14487-1 et -2, SIA 252

6	Résistance contre les substances chimiques (Resistance to chemicals [RC]) Augmenter la résistance de la surface du béton contre les détériorations dues aux substances chimiques.	6.1 Revêtement	SN EN 1504-2 et -10
		6.2 Imprégnation	SN EN 1504-2 et -10
		6.3 Revêtement lié (enduit)	SN EN 1504-3 et -10, SN EN 14487-1 et -2, SIA 252
1) Pour ces méthodes, il est admis d'utiliser des produits et des systèmes qui ne font pas partie de la série de normes SN EN 1504.			
2) SN EN 1504-9: Montage de plaques de revêtement.			

Tableau 6: Principes et méthodes correspondantes pour la protection et la remise en état des structures porteuses en béton lors de détériorations dues à la corrosion de l'armature (selon la norme SN EN 1504-9)

Principes de remise en état lors de détér. dues à la corrosion de l'armat.		Méthodes correspondantes	Normes pour l'élab. du projet et exigences requ. pour les produits
7	Maintien ou reconstitution de la passivité (Preserving or restoring passivity [RP]) Créer des conditions chimiques telles que la surface de l'armature maintient ou reprend son état de passivité.	7.1 Augmentation de l'enrobage de l'armature par ajout d'une couche de mortier ou de béton hydraulique	SN EN 1504-3 et -10, SN EN 206-1, SN EN 14487-1 et -2, SIA 262 et 179
		7.2 Remplacement du béton contaminé ou carbonaté	SN EN 1504-3 et -10, SN EN 206-1, SN EN 14487-1 et -2
		7.3 Réalcalinisation électrochimique du béton carbonaté ¹⁾	CEN/TS 14038-1
		7.4 Réalcalinisation du béton carbonaté par diffusion	(SN EN 1504-10, cette méthode n'est pas recommandée.)
		7.5 Extraction électrochim. des chlorures ¹⁾	CEN/TS 14038-2
8	Augmentation de la résistance électrique (Increasing resistivity [IR]) Augmentation de la résistance électrique du béton.	8.1 Imprégnation hydrophobe	SN EN 1504-2 et -10
		8.2 Imprégnation	SN EN 1504-2 et -10
		8.3 Revêtement	SN EN 1504-2 et -10
9	Contrôle des zones cathodiques (Cathodic control [CC]) Créer des conditions telles que les zones cathodiques potentielles ne puissent pas donner lieu à des réactions anodiques.	9.1 Limitation de la teneur en oxygène (dans la zone cathodique) par saturation ou par revêtement	(SN EN 1504-10, cette méthode n'est pas recommandée.)
10	Protection cathodique (Cathodic protection [CP])	10.1 Application d'un potentiel électrique ¹⁾	SN EN 12696, SN EN 1504-10
11	Contrôle des zones anodiques (Control of anodic areas [CA]) Créer des conditions telles que les zones anodiques soient empêchées de participer à la réaction de corrosion.	11.1 Peinture de l'armature par des revêtements contenant des pigments actifs	SN EN 1504-7 et 10
		11.2 Peinture de l'armature par des revêtements-barrières	SN EN 1504-7 et 10
		11.3 Application d'inhibiteurs de la corrosion dans ou sur le béton ¹⁾	(SN EN 1504-10, annexe)
¹⁾ Pour ces méthodes il est admis d'utiliser des produits et des systèmes qui ne font pas partie de la série de normes SN EN 1504			

7.3 Renforcement

7.3.1 Généralités

- 7.3.1.1 Les renforcements ont pour but d'améliorer la résistance ultime ou l'aptitude au service d'une section, d'un élément de construction ou d'une structure porteuse.
- 7.3.1.2 Dans des cas spéciaux (séisme, déformations imposées), une réduction de la résistance ultime ou de la rigidité peut se révéler justifiée.
- 7.3.1.3 Le concept général du renforcement sera élaboré à partir des exigences d'utilisation actualisées, avant d'effectuer le dimensionnement.
- 7.3.1.4 Le concept du renforcement
- prend en compte la disposition choisie des éléments de construction porteurs ainsi que leur mode d'interaction
 - décrit les dimensions les plus importantes, les propriétés des matériaux et les détails constructifs
 - prend en considération les mesures constructives de sécurité et de protection contre le feu en fonction des situations de risque
 - prend position par rapport au procédé de construction prévu.
- 7.3.1.5 Si le mode de fonctionnement du renforcement est essentiellement basé sur l'adhérence, la situation de risque « défaillance du renforcement » doit être traitée comme situation de projet accidentelle.

7.3.2 Renforcement des sections en béton

- 7.3.2.1 Le renforcement d'une section en béton peut être réalisé par :
- la mise en place d'une couche supplémentaire de béton
 - l'ajout d'une armature supplémentaire
 - la mise en place d'une armature passive dans une couche de béton supplémentaire
 - la réalisation d'une structure mixte (par ex. dalle mixte acier-béton ou bois-béton).
- Dans tous les cas il en résultera une section mixte. Cette section sera dimensionnée et vérifiée sur la base des principes de la construction mixte.
- 7.3.2.2 Une liaison destinée à transmettre des efforts à long terme entre la section existante et l'armature ou l'élément supplémentaire devra être garantie par des mesures constructives et un dimensionnement adéquat.
- 7.3.2.3 Si l'on admet une résistance d'adhérence entre le nouveau et l'ancien béton, on tiendra compte des contraintes internes engendrées par la différence des comportements de déformation entre chaque matériau, et on les comparera à la contrainte de cisaillement selon la norme SIA 262.
- L'effort normal nécessaire à la mobilisation du frottement peut être généré à l'aide d'une charge extérieure permanente, de précontrainte ou par l'activation de la résistance à la traction des connecteurs.
- 7.3.2.4 Si la résistance d'adhérence n'est pas suffisante pour assurer la vérification de la sécurité structurale selon le chiffre 7.3.2.3, les efforts tranchants pourront être repris par des engravures ou par l'action de goujons.
- 7.3.2.5 La préparation de la surface du béton existant et la mise en place du nouveau béton ou mortier seront exécutées selon les indications des chiffres 7.4.2 et 7.4.3.
- 7.3.2.6 Les exigences requises pour les produits de collage figurent dans la norme SN EN 1504-4. Les exigences requises pour l'ancrage des barres d'armature passive figurent dans la norme SN EN 1504-6.
- 7.3.2.7 L'ancrage des goujons dans le béton de la structure porteuse existante sera dimensionné selon la recommandation SIA 179 ou sur la base des données du fabricant, confirmées par des essais.

7.3.3 Armature collée

- 7.3.3.1 En général, les armatures collées travaillent de manière passive. Activer leur participation à la résistance de la section nécessite une déformation d'ensemble du système et/ou une précontrainte des armatures collées.

- 7.3.3.2 Si les armatures collées sont précontraintes, on appliquera par analogie les dispositions du chiffre 7.3.4.
- 7.3.3.3 Les armatures collées seront étudiées et exécutées selon les dispositions de la prénorme SIA 166. Les exigences requises pour les produits de collage figurent dans la norme SN EN 1504-4.

7.3.4 Unités de précontrainte extérieures

- 7.3.4.1 La mise en place d'unités de précontrainte extérieure est une intervention active qui agit favorablement sur l'état de contrainte, sur les déformations et sur la fermeture des fissures.
- 7.3.4.2 L'état de contrainte dans la structure porteuse avant et après la mise en place de la précontrainte extérieure sera vérifié et évalué. Les zones d'introduction des forces seront étudiées de manière approfondie.
- 7.3.4.3 Si la force de précontrainte doit agir sur une section mixte constituée de nouveau béton et de béton existant, on établira un programme de construction et de mise en précontrainte adéquat pour s'assurer qu'une partie de la précontrainte est reprise par le nouveau béton.
- 7.3.4.4 Les unités de précontrainte extérieure doivent satisfaire aux exigences de la norme SIA 262. Le cas échéant, on établira des exigences complémentaires concernant les gaines, la protection des têtes d'ancrage, l'ajustage ultérieur de la force de précontrainte, la surveillance des unités de précontrainte ainsi que la possibilité de les remplacer.

7.4 Méthodes

7.4.1 Généralités

- 7.4.1.1 L'efficacité et le domaine d'application des méthodes de remise en état dépendent en général du degré de détérioration du béton existant et/ou de l'armature, de l'exposition et de l'utilisation future.
- 7.4.1.2 Les méthodes présentées dans la norme SN EN 1504-9 peuvent être combinées en différentes interventions liées à la construction. Les paragraphes suivants donnent des indications pour leur élaboration, et l'annexe B propose des interventions liées à la construction en fonction des différents défauts et détériorations.
- 7.4.1.3 Il est indispensable de préparer le support de manière appropriée afin d'assurer une liaison durable entre matériaux différents. Il faut avant tout garantir :
- l'élimination de toute substance étrangère par nettoyage de la surface
 - une humidité adéquate et une rugosité suffisante du support en fonction de l'intervention choisie
 - l'enlèvement des parties pas ou peu adhérentes
 - l'enlèvement des produits de la corrosion sur l'armature.
- 7.4.1.4 Les exigences relatives au type et à l'étendue de la préparation du support, à l'application de produits et de systèmes ainsi que l'assurance de la qualité sont définies et réglées par la norme SN EN 1504-10 et dans l'annexe nationale correspondante.
- 7.4.1.5 Dans tous les cas, des exigences spécifiques relatives à la préparation du support, à l'application, aux conditions météorologiques avant, pendant et après l'application, ainsi qu'à la cure seront définies et mises en œuvre pour chaque produit.
- 7.4.1.6 On s'assurera de la compatibilité entre le matériau existant et le nouveau par le choix adéquat des systèmes et des produits. On accordera une attention particulière au comportement de déformation propre à chaque matériau (module d'élasticité, dilatation thermique, fluage, retrait).
- 7.4.1.7 La durabilité de la liaison entre l'ancien et le nouveau béton ou mortier est essentiellement assurée par la préparation du support et une cure conformes aux règles de l'art. En règle générale, les exigences relatives à la cure dépasseront en type et en durée celles que définit la norme SIA 262.

7.4.2 Elimination et remplacement du béton

- 7.4.2.1 Lorsqu'un béton a été détérioré en surface ou localement par des actions mécaniques, physiques, chimiques ou biologiques ou qu'il a été fortement contaminé par les chlorures, il doit être éliminé et l'élément de construction auquel il appartient sera reprofilé.
- 7.4.2.2 Cette méthode poursuit les buts suivants :
- mise en place d'un béton d'enrobage et exécution d'une surface de béton de haute qualité, particulièrement du point de vue de l'étanchéité
 - rétablissement d'un milieu favorisant la passivité de l'armature.
- 7.4.2.3 Le remplacement du béton convient :
- lors d'une détérioration locale avancée, caractérisée à titre d'exemple par des éclatements et des fissures
 - lors de teneurs en chlorures élevées jusqu'à de grandes profondeurs
 - lorsque la profondeur de carbonatation est nettement supérieure à l'enrobage de l'armature et que les conditions sont favorables à une progression de la corrosion sont remplies.
- 7.4.2.4 En présence d'une armature corrodée, l'étendue et la profondeur de béton à éliminer ainsi que le choix du procédé de remplacement seront déterminés en tenant compte des critères suivants :
- conditions d'humidité après la remise en état et influence de ces conditions sur la vitesse de corrosion
 - teneur critique en chlorures avant et après la remise en état
 - diffusion des chlorures dans l'ancien et le nouveau béton (importance du dépôt de chlorures restants dans le béton)
 - teneur en chlorures et profondeur de carbonatation à l'extérieur des zones remises en état (formation possible de nouveaux macro-éléments)
 - prévision de carbonatation et de contamination par les chlorures pendant la durée d'utilisation restante
 - position de l'interface entre l'ancien et le nouveau béton, en deçà ou au-delà de l'armature.
- 7.4.2.5 En règle générale, l'élimination d'une couche de béton implique un affaiblissement de la structure porteuse. Dès lors, la redistribution des forces, le fluage et le retrait ainsi que les différences de température soumettent généralement la structure existante à une charge permanente supplémentaire dont il faudra tenir compte lors de l'élaboration du projet.
- 7.4.2.6 Les facteurs déterminants qui influent sur les propriétés d'adhérence entre l'ancien et le nouveau béton sont la rugosité du support et le diamètre maximal du granulats du nouveau béton. On obtiendra de bonnes propriétés d'adhérence en préparant le support par hydrodémolition de façon à obtenir une profondeur moyenne de rugosité R_m égale à $\frac{1}{4}$ du diamètre maximal du granulats dans le cas du béton, ou au diamètre maximal du granulats dans le cas du mortier.
- 7.4.2.7 Les spécifications des exigences requises figurent dans les normes suivantes : SN EN 206-1 pour le béton, SN EN 1504-3 pour le mortier, SN EN 14889-1 pour les fibres d'acier à incorporer au béton et SN EN 14889-2 pour les fibres de polymère. Si l'on utilise du béton projeté, on tiendra compte, en plus, de la norme SN EN 14487-1 et, pour l'exécution, de la norme SN EN 14487-2.
- 7.4.2.8 Lorsque l'enrobage de l'armature est insuffisant, un revêtement de l'armature peut se révéler opportun. Les exigences posées au revêtement resp. au système de protection contre la corrosion sont définies dans la norme SN EN 1504-7.
- 7.4.2.9 En cas d'exposition forte et répétée ou d'un trop faible enrobage général de l'armature, la combinaison d'un revêtement avec un système de protection de surface peut se révéler adéquate.

7.4.3 Ajout de béton ou de mortier

- 7.4.3.1 L'ajout de béton ou de mortier sous forme de revêtement ou de parement constitue un apport de nouvelles couches liées au ciment, dont l'effet protecteur prédomine par rapport à l'effet de renforcement et de rigidification.
- 7.4.3.2 Cette méthode poursuit les buts suivants :
- augmentation de l'enrobage de l'armature
 - mise en œuvre d'un béton ou d'un mortier d'enrobage dont la surface a une durabilité suffisante
 - protection du béton existant contre les actions nocives dues à l'environnement.
- 7.4.3.3 Dans le cas d'ajout de béton ou de mortier sur des surfaces importantes, on accordera une attention particulière aux conditions locales et aux conséquences de l'accroissement des actions permanentes.

- 7.4.3.4 Toutes les mesures seront prises en vue d'assurer un compactage du béton et une adhérence au support irréprochables. En complément aux indications du chiffre 7.4.2, on veillera à :
- maintenir une épaisseur minimale de 80 mm (avec armature) ou 50 mm (sans armature) de béton lors de la mise en place d'un nouveau parement. Le diamètre maximal du granulat ne sera pas supérieur au $\frac{1}{3}$ de l'épaisseur minimale de la couche.
 - réserver généralement le recours aux mortiers de matières synthétiques pour de petits travaux de remise en état dans des zones de faible épaisseur. On tiendra compte des propriétés de ces mortiers, très différentes de celles du béton (module d'élasticité, dilatation thermique, diffusion, alcalinité).
 - procéder à des essais de convenance si l'on requiert des propriétés particulières du mortier ou du béton (par ex. étanchéité, résistance au gel et aux sels de déverglaçage ou résistance chimique).
- 7.4.3.5 Les spécifications des exigences requises pour les bétons, les mortiers et les bétons projetés seront déterminées selon le chiffre 7.4.2.7.

7.4.4 Remplissage et injection des fissures

- 7.4.4.1 Le remplissage et l'injection des fissures ont pour but de faire cesser les pénétrations d'eau et de substances nocives dans le béton en vue d'améliorer la durabilité, ou alors de rétablir la transmission des forces en vue d'améliorer le comportement porteur.
- 7.4.4.2 Avant d'injecter ou de remplir des fissures, on recherchera les informations suivantes :
- étendue, évolution et cause des fissures, cavités et interstices
 - ouverture moyenne et minimale des fissures (critère d'aptitude à l'injection)
 - modifications attendues de l'ouverture des fissures dues aux charges, à la température, au retrait et aux autres déformations imposées
 - résistance à la traction du béton
 - humidité régnant dans les fissures.
- 7.4.4.3 Le remplissage des fissures, des cavités et des interstices du béton est catégorisé en fonction de son but principal, selon les critères énoncés ci-après (norme SN EN 1504-5, annexe A) :
- remplissage permettant la transmission d'efforts (catégorie F))
 - remplissage ductile (catégorie D)
 - remplissage expansif (catégorie S).
- On définira les exigences requises pour les produits de remplissage des fissures en fonction de leur but principal.
- 7.4.4.4 Les spécifications des exigences requises pour les produits et systèmes de remplissage des fissures seront déterminées selon la norme SN EN 1504-5.

7.4.5 Systèmes de protection de surface

- 7.4.5.1 Lorsque des surfaces en béton sont fréquemment soumises à de fortes sollicitations par les conditions régionales, on pourra améliorer leur durabilité par l'application d'un système de protection de surface.
- 7.4.5.2 Cette méthode poursuit les buts suivants :
- faire cesser les pénétrations d'eau et de substances nocives dans le béton
 - augmenter la résistance de la surface aux actions mécaniques, physiques et chimiques
 - réduire l'humidité du béton et augmenter par là sa résistance électrique spécifique.
- 7.4.5.3 Avant d'appliquer un système de protection de surface, on tiendra compte de l'influence des autres sources éventuelles de pénétration d'eau et de substance nocives. Dans le cas des systèmes de protection de surface étanches à l'eau ou à la vapeur, on prendra en considération l'augmentation du taux d'humidité du béton due à la pénétration capillaire ou à de l'eau sous pression, par exemple. Les conséquences liées à cette augmentation seront estimées et évaluées. On éclaircira de même si un éventuel changement d'apparence est du domaine de l'acceptable.
- 7.4.5.4 Les systèmes de protection de surface sont répertoriés comme suit :
- imprégnations hydrophobes
 - imprégnations

- enduits
- étanchéités
- revêtements liés, par ex. revêtements adhérents, chapes, etc.
- parements non liés, par ex. façades ventilées.

- 7.4.5.5 Le comportement des systèmes de protection de surface en matière d'adhérence et de déformation sera déterminé en fonction de la nature du support (par ex. pontage des fissures, module d'élasticité). On étudiera avec attention les différences de propriétés en matière de diffusion entre le support et le système de protection de surface. Le cas échéant, on accordera une attention particulière aux exigences requises en matière d'étanchéité et de diffusion de vapeur, qui peuvent se révéler antagonistes.
- 7.4.5.6 La mise en œuvre d'un système de protection de surface ne permet de réduire l'humidité du béton au point de faire cesser la corrosion de l'armature que dans des cas exceptionnels.
- 7.4.5.7 Sont considérées comme étanchéités au sens de la présente norme :
- les étanchéités rigides sans ciment, par ex. l'asphalte coulé (MA)
 - les étanchéités flexibles avec lés d'étanchéité, par ex. les lés d'étanchéité en bitume polymère (LBP), en matière synthétique (KDB) et les lés d'étanchéité géosynthétiques avec bentonite (TDB), ainsi que les résines synthétiques liquides.
- 7.4.5.8 L'étude et la mise en œuvre des étanchéités seront effectuées conformément aux dispositions de la pré-norme SIA 270 et des normes auxquelles elle renvoie.
- 7.4.5.9 Les désignations des différents systèmes de protection de surface sont définies dans l'annexe nationale de la norme SN EN 1504-2. Les spécifications des exigences requises en matière d'imprégnations (hydrophobes) et d'étanchéités figurent dans la norme SN EN 1504-2.
- 7.4.5.10 L'étude et la mise en œuvre des revêtements liés au support seront effectuées conformément aux dispositions de la norme spécifique au matériau correspondante, les chapes au ciment selon la norme SIA 252. Pour le béton, les exigences figurent dans la norme SN EN 206-1, pour le mortier dans la norme SN EN 1504-3 et pour les produits de collage, dans la norme SN EN 1504-4.
- 7.4.5.11 L'étude et la mise en œuvre des parements non liés seront effectuées conformément aux dispositions de la norme SIA 233.
- 7.4.6 **Inhibiteurs**
- 7.4.6.1 En règle générale, les produits inhibiteurs sont appliqués sur la surface minérale. Selon les produits, ils peuvent être aussi ajoutés au béton ou au mortier de remise en état. Les substances actives pénètrent ensuite dans le béton ou le mortier et parviennent à la surface des armatures par diffusion et/ou capillarité.
- 7.4.6.2 L'effet des inhibiteurs influence la partie anodique et/ou cathodique de la réaction de corrosion et favorise ainsi la formation d'une couche de protection autour de l'acier d'armature. Si le produit inhibiteur atteint, avec la bonne concentration, le niveau de l'armature à travers le béton ou le mortier, la teneur en chlorures critique peut s'élever et, par conséquent, retarder le début de la corrosion et/ou réduire la vitesse de corrosion.
- 7.4.6.3 Les inhibiteurs sont utilisés lorsque les détériorations ne sont pas trop avancées, et généralement lorsque l'enrobage de l'armature est plutôt faible, que le béton est plutôt poreux, ou encore à titre préventif.
- 7.4.6.4 En règle générale, on effectuera des essais de convenance pour assurer l'adéquation de la méthode à une utilisation spécifique. Pour l'assurance de la qualité, on définira, avant la mise en œuvre, les méthodes d'essais et les critères d'acceptation fondés sur les résultats des essais de convenance.
- 7.4.6.5 Pour vérifier la présence et la concentration adéquate des substances actives à la profondeur des barres d'armature, on analysera généralement des carottes ou de la poudre de forage prélevés sur l'objet.
- 7.4.6.6 L'efficacité propre des inhibiteurs ne peut être vérifiée que par des mesures du courant électrique de corrosion, exécutées avant et après l'application des inhibiteurs, de préférence sur des barres d'armature isolées ou dans des forages instrumentés. Exécutées dans des conditions bien définies, les mesures de potentiel peuvent avoir valeur de vérification indirecte.

7.4.7 Méthodes électrochimiques

- 7.4.7.1 En imposant une tension continue, les méthodes électrochimiques créent un courant électrique entre l'anode (par ex. un treillis de titane) imprégnée d'un électrolyte et placée à la surface du béton, et la cathode (armature). Il est nécessaire d'avoir des connaissances approfondies de ce procédé pour le planifier et le mettre en œuvre, afin de ne pas causer de dommages à l'armature ou au béton lors de son utilisation.
- 7.4.7.2 En fonction du but visé, de la durée de l'intervention et de la densité de courant, on distinguera entre les méthodes suivantes :
- protection cathodique contre la corrosion (KKS, intervention permanente)
 - extraction électrochimique des chlorures (ECE, intervention temporaire)
 - réalcalinisation électrochimique (ER, intervention temporaire).
- 7.4.7.3 Les effets principaux sont les suivants :
- augmentation de la valeur du pH du béton près de la cathode (armature) permettant la repassivation de l'armature (réalcalinisation)
 - migration des ions chargés négativement (par ex. Cl^-) de l'armature (cathode) en direction de l'anode (réduction des chlorures), et migration des ions chargés positivement (par ex. potassium et sodium) de la surface en direction de l'armature
 - déplacement du potentiel de l'armature (cathode) vers des potentiels négatifs (protection cathodique contre la corrosion).
- 7.4.7.4 Les méthodes électrochimiques sont principalement mises en œuvre lors de la remise en état de structures dont l'armature est moyennement ou peu corrodée et comme mesure préventive. La totalité des armatures doit être connectée électriquement et le béton doit posséder une conductivité spécifique suffisante.
- 7.4.7.5 En raison du danger de fragilisation de l'acier de précontrainte, la réalcalinisation et l'extraction des chlorures par la méthode électrochimique ne peuvent être utilisées sur des structures précontraintes que si la densité du courant cathodique à la surface de l'acier de précontrainte est maintenue à un niveau sans danger et que la formation d'hydrogène y est totalement exclue.
- 7.4.7.6 En règle générale, on effectuera des essais de convenance pour spécifier les paramètres d'exécution. Les paramètres ainsi définis seront surveillés de manière continue pendant l'exécution.
- 7.4.7.7 Les dispositifs nécessaires pour la protection cathodique sont à étudier, à mettre en œuvre et à exploiter selon la norme SN EN 12696. CEN/TS 14038 donne des indications pour l'étude et la mise en œuvre des réalcalinisations et des extractions électrochimiques.

7.5 Exigences relatives aux produits et aux systèmes

- 7.5.1 Les exigences minimales requises pour les produits et les systèmes sont définies en fonction de l'utilisation prévue dans la norme SN EN 1504 (parties 2 à 7).
- 7.5.2 Les caractéristiques des performances à vérifier sur l'ouvrage et les exigences correspondantes sont à définir de manière spécifique pour chaque objet.
- 7.5.3 Des essais de convenance sont souvent nécessaires pour les interventions de remise en état. Ils permettent en effet de définir les principes, les méthodes, les procédures de mise en œuvre, les systèmes et les produits adéquats, ainsi que des données précises pour les appels d'offres. Les surfaces de test exécutées pendant les essais de convenance peuvent aussi servir de référence pour l'exécution. Les essais initiaux doivent être planifiés, préparés, exécutés et évalués de façon systématique.

7.6 Assurance de la qualité

7.6.1 Généralités

- 7.6.1.1 L'assurance de la qualité assure la conformité des produits et des systèmes utilisés à la présente norme ainsi qu'aux exigences particulières requises par l'objet.
- 7.6.1.2 Les exigences techniques requises pour l'assurance de la qualité en matière de mise en œuvre des interventions de remise en état sont spécifiées dans la norme SN EN 1504-10.
- 7.6.1.3 Afin que l'entrepreneur puisse offrir des systèmes, des produits et des méthodes adéquats, les documents de soumission décriront les motifs et les objectifs des interventions de maintenance ainsi que les conditions correspondantes, soit en particulier :
- les mécanismes de détérioration, qui ont causé l'état actuel
 - l'étendue de la détérioration
 - les objectifs de l'intervention de maintenance, surtout par rapport à la durabilité
 - le type des interventions prévues
 - les conditions à respecter pendant l'exécution des travaux (utilisation de l'ouvrage existant, dispositions provisoires possibles, évacuation et traitement des déchets de chantier, etc.).

7.6.2 Assurance de la qualité et contrôle de l'efficacité

- 7.6.2.1 On distingue les types d'essais suivants :
- les essais initiaux
 - les essais de convenance
 - les essais de qualité.
- 7.6.2.2 Les essais initiaux sont définis dans les normes SN EN 1504, parties 2 à 7. Lorsqu'on utilise des produits qui ne sont pas mentionnés dans les normes SN EN 1504, parties 2 à 7, toutes les exigences de performance ainsi que les essais correspondants seront définis sur la base des conditions spécifiques de l'ouvrage. Les conditions indispensables à une production conforme aux exigences seront assurées par des contrôles de production réguliers. Dans des cas exceptionnels, il est admis de remplacer les essais initiaux par des résultats fondés sur une longue expérience et bien documentés.
- 7.6.2.3 Pour les produits de remise en état, confectionnés selon la norme SN EN 1504, parties 2 à 7, une vérification de la conformité est nécessaire.
- 7.6.2.4 Les essais de convenance seront planifiés, exécutés, évalués et documentés de façon systématique dans les conditions spécifiques d'utilisation, avec les objectifs suivants :
- déterminer les paramètres de référence pour l'exécution
 - définir des exigences réalisables pour l'ouvrage ou l'élément de construction remis en état (par ex. qualité des nouvelles surfaces en béton, aspect, résistance à atteindre, profondeur de pénétration, etc.)
 - réaliser des surfaces de test comme référence pour le contrôle de la qualité de l'exécution.
- 7.6.2.5 Les données acquises par les essais de convenance seront utilisées dans l'élaboration du projet et dans le plan de contrôle.
- 7.6.2.6 Les essais de qualité seront spécifiés dans le plan de contrôle. La série de normes SN EN 1504 donne des indications sur le type et la fréquence des essais les plus importants. En fonction des résultats obtenus et de l'état de l'ouvrage, le plan de contrôle sera révisé périodiquement et, au besoin, adapté.
- 7.6.2.7 L'efficacité et la durabilité des interventions de maintenance peuvent être surveillées pendant la durée d'utilisation restante au moyen d'essais, de mensurations et de mesures de surveillance. Ces contrôles d'efficacité doivent être consignés dans le plan de surveillance. Des contrôles d'éléments de construction ou d'ouvrages peuvent se rapporter aux éléments suivants :
- bon fonctionnement des systèmes de protection des surfaces, drainages, canalisations, etc.
 - changements des conditions d'humidité et de température, de la teneur en chlorures ainsi que de la profondeur de carbonatation
 - courants et potentiels de corrosion
 - comportement des fissures et nouvelles fissures
 - déformations, allongements et vibrations.

ANNEXE A PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Tableau 7: Résistance à la compression et limite de contrainte de cisaillement du béton en fonction de la norme ou directive utilisée

Norme Directive SIA	Classe de résistance à la compression	Teneur en ciment [kg/m ³]	Valeurs caractéris- tiques (fractile 5%) f_{ck} [N/mm ²]	Valeurs d'examen	
				f_{cd} [N/mm ²]	τ_{cd} [N/mm ²]
262 ¹⁾ (2003)	... C30/37 30,0 20,0 1,10 ...
162 (1989)	B20/10 B25/15 B30/20 B35/25 B40/30 B45/35 B50/40 B55/45		9,6 13,6 17,6 21,6 25,6 29,6 33,6 37,6	6,4 9,1 11,7 14,4 17,1 19,7 21,6 23,3	0,63 0,74 0,84 0,93 1,01 1,09 1,16 1,23
162/34 (1976) et 162 (1968)	BN non armé BN non armé BN non armé BH non armé BN armé BH armé BS armé	150 200 ≥250 ≥250 300 ≥300 ≥300	6,4 9,6 12,8 19,2 12,8 19,2 24,0	4,3 6,4 8,5 12,8 8,5 12,8 16,0	0,51 0,62 0,72 0,88 0,72 0,88 0,98
162 (1956) et 115 (1935)	Béton normal B.N. Béton de haute qualité B.H.	150 200 250 300 350 250 ²⁾ 300 350	3,4 5,3 7,7 10,6 13,4 12,0 16,3 20,7	2,2 3,5 5,1 7,0 9,0 8,0 10,9 13,8	0,37 0,46 0,55 0,65 0,73 0,69 0,81 0,91
¹⁾ Mentionnée uniquement à titre comparatif					
²⁾ Seulement dans la norme SIA 115 (1935)					

Tableau 8: Propriétés mécaniques de l'acier d'armature passive en fonction de la norme utilisée

Norme SIA	Nuance d'acier <i>Produit</i>	Classe de ductilité	Valeurs moyennes		Valeurs caractéristiques (fractile 5%)			Valeurs d'examen	
			f_{sm} [N/mm ²]	f_{tm} [N/mm ²]	f_{sk} [N/mm ²]	f_{tk} [N/mm ²]	ϵ_{uk} [N/mm ²]	f_{sd} [N/mm ²]	ϵ_{ud} [‰]
262 ¹⁾ (2003)	B500A	A	545	600	500	525	25	435	20
	B500B	B	550	710	500	540	50	435	45
	B450C	C			450–550	520–610 635–745	75	≥390	65
	<i>Topar-S 500C</i>	C	535	640	500	675	75	435	65
162 (1989)	S 235	B			235	360		205	
	S 500 a	B	550	710	500	600	50	435	45
	S 500 b	A	550		500	550		435	
	S 500 c	B	550	630	500	580	50	435	45
	S 500 d	A	545	600	500	550	25	435	20
	S 550	A	610	640	550	580		480	
162 (1968)	I	B	330		235	360		205	
	III a	B	550	580	450	550	50	390	
	<i>Box-Ultra</i>	C		730					
	<i>topar</i>	C		630					
	III b	A	550	580 - 630	450	470		390	
	IV	A			530	560		460	
162 (1956)	I	B			235	355		205	
	II a	B	440–530	530	345	410		300	
	<i>Acier Caron</i>	C	440–530	680					
	II b	B	440	610	345	510		300	
112 (1935)	Acier normal	B	300–330		240	360–450			
	Acier de haute qualité	B	400–480	500	350	520–620			
	<i>Acier 52</i>	B		590					
¹⁾ Mentionnée uniquement à titre comparatif									

Tableau 9: Propriétés mécaniques de l'acier de précontrainte en fonction de la norme utilisée

Norme SIA	Type d'unité de précontrainte	Valeurs moyennes			Valeurs caractéristiques (fractile 5%)			Valeurs d'examen	
		$f_{p0,1m}$ [N/mm ²]	$f_{p0,2m}$ [N/mm ²]	f_{pm} [N/mm ²]	$f_{p0,1k}$ [N/mm ²]	$f_{p0,2k}$ [N/mm ²]	f_{pk} [N/mm ²]	f_{pd} [N/mm ²]	ϵ_{ud} [‰]
262 ¹⁾ (2003)	Y1860				1600		1860	1390	
	Y1770				1520		1770	1320	
	Y1670				1440		1670	1250	
	Y1570				1300		1570	1130	20
	Y1230				1080		1230	940	
	Y1100				900		1100	780	
	Y1030				830		1030	720	
162 (1989)					1670			1450	
					1640			1430	
					1590			1380	
					1500			1300	
					1410			1230	
					1000			870	
					830			720	
162 (1968)							1400		
							1300		
							1000		
162 (1956)									

¹⁾ Mentionnée uniquement à titre comparatif

ANNEXE B INTERVENTIONS LIÉES À LA CONSTRUCTION

Tableau 10: Classement des méthodes selon SN EN 1504-9 par rapport aux mesures constructives du chapitre 7

Chiffre de la norme SIA 269/2	Mesures constructives		Méthodes selon tableaux 5 et 6 resp. norme SN EN 1504-9
7.3.2	Renforcement	Augmentation de section par ajout de béton ou de mortier	4.4
7.3.3 et 7.3.4		Ajout ou remplacement d'armature incorporée ou extérieure, ajout d'armature, ancrée dans des rainures ou des percements, renforcement par des lamelles (acier ou fibres), précontrainte extérieure	4.1, 4.2, 4.3, 4.7
7.4.2	Elimination et remplacement du béton	Application manuelle de mortier, augmentation de section par ajout de béton ou de mortier coffré, béton ou mortier projeté	3.1, 3.2, 3.3, 7.2
		Revêtement de l'armature	11.1, 11.2
7.4.3	Application de béton ou de mortier		5.3, 6.3, 7.1, (7.4)
7.4.4	Traitement de fissures	Colmatage local des fissures et transformation des fissures en joints	1.4, 1.6
		Remplissage et injection des fissures et des cavités	1.5, 4.5, 4.6
7.4.5	Systèmes de protection des surfaces	Imprégnation hydrophobe	1.1, 2.1, 8.1
		Imprégnation	1.2, 2.2, 5.2, 6.2, 8.2
		Revêtement	1.3, 2.3, 5.1, 6.1, 8.3, (9.1)
		Etanchéités	1.8
		Parement lié (enduits)	5.3, 6.3
		Parement non lié	1.7, 2.4
7.4.6	Inhibiteurs		11.3
7.4.7	Méthodes électrochimiques	Traitement électrochimique du béton	2.5
		Protection cathodique contre la corrosion	10.1
		Extraction électrochimique des chlorures	7.5
		Réalcalinisation électrochimique	7.3

ANNEXE C DÉTERMINATION DE L'INDICE D'OUVERTURE DES FISSURES

L'indice d'ouverture des fissures RI est déterminé à partir de l'ouverture cumulée des fissures w_i , calculée à l'aide de la relation (12) sur 1 mètre carré de surface fissurée le long des quatre segments de mesure O–A, O–B, O–C et A–B, selon la figure 4.

$$RI = \frac{1}{4} \sum_{n=1}^4 w_i \quad \text{avec} \quad w_i = \frac{\sum w_n}{l_i} \quad (12)$$

avec:

w_n ouverture mesurée de toutes les fissures touchées par l'un des segments de mesure en mm

l_i longueur du segment de mesure considéré en m

w_i ouverture cumulée des fissures en mm/m

Figure 4: Disposition des quatre segments de mesure pour la détermination de l'indice d'ouverture des fissures RI



Abréviations des organisations représentées dans la Commission SIA 262

Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zürich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
OFROU	Office Fédéral des Routes

Direction du projet
Maintenance des structures porteuses

Paul Lüchinger, dr ing. dipl. EPF, Zurich (présidence)
 Eugen Brühwiler, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne
 Thomas P. Lang, ing. dipl. EPF, Berne
 Thomas Vogel, prof. ing. dipl. EPF, Zurich

Groupe de travail SIA 269/2
Maintenance des structures porteuses –
Structures en béton

Luc Tausch, dr ing. dipl. EPF, Zurich (présidence)
 Ruedi Gall, ing. dipl. HES, Coire
 Albin Kenel, prof. dr ing. dipl. EPF, Rapperswil-Jona
 Heidi Ungricht, dr ing. dipl. EPF, Coire
 Daia Zwicky, prof. dr ing. dipl. EPF, Fribourg

Commission SIA 262 « Construction en béton »

Président	Thomas Vogel, prof. ing. dipl. EPF, Zurich	ETH Zürich
Membres	Manuel Alvarez, dr ing. dipl. EPF, Berne	OFROU
	Daniel Buschor, ing. dipl. EPF, Berthoud	Bureau d'études
	Aldo Chitvanni, ing. dipl. EPF, Coire	Bureau d'études
	Christoph Czaderski, ing. dipl. EPF, Dübendorf	Empa
	Nicola Guidotti, ing. dipl. EPF, Bellinzona	Administration
	Ernst Honegger, ing. dipl. EPF, Wildegg	Industrie
	Bernard Houriet, dr ing. dipl. EPF, Tramelan	Bureau d'études
	Fritz Hunkeler, dr ing. dipl. EPF, Wildegg	Technologie des matériaux
	Albin Kenel, prof. dr ing. dipl. EPF, Rapperswil-Jona	Haute école spécialisée
	Martin Knecht, Cornaux	Industrie
	Peter Lunk, dr ing. dipl., Würenlingen	Industrie
	Konrad Moser, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études
	Aurelio Muttoni, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne	EPFL/Bureau d'études
	Erdjan Opan, ing. dipl. EPF, Neuchâtel	Bureau d'études/Direction des travaux
	Luc Tausch, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études

Adoption et validité

La Commission centrale des normes et règlements de la SIA a adopté la présente norme SIA 269/2 le 23 novembre 2010.

Elle est valable à partir du 1^{er} janvier 2011.

Elle remplace la recommandation SIA 162/5 *Conservation des structures en béton*, édition 1997, et annexe A du cahier technique SIA 2018 *Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants*, édition 2004.

Copyright © 2011 by SIA Zurich

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