

Remplace, conjointement avec la norme SIA 269/1, la directive SIA 462, édition 1994

Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken
Basi per il mantenimento di strutture portanti
Existing structures – Bases

Bases pour la maintenance des structures porteuses

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 Etapes de procédure de l'examen	24
0.1 Délimitation	5	B Exigences relatives à la sécurité	
0.2 Références	5	structurale	25
0.3 Dérogations	5	C Valeurs d'examen	26
1 Terminologie	6	Adoption et validité	28
1.1 Termes techniques	6		
1.2 Notations	8		
2 Principes	10		
2.1 Généralités	10		
2.2 Surveillance et entretien	10		
2.3 Examen	10		
3 Exigences	12		
3.1 Utilisation	12		
3.2 Sécurité structurale	12		
3.3 Aptitude au service	12		
3.4 Proportionnalité des interventions de maintenance	12		
4 Actualisation	13		
4.1 Généralités	13		
4.2 Actualisation des actions	13		
4.3 Actualisation des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation .	13		
4.4 Actualisation des modèles de la structure porteuse et des données géométriques	13		
4.5 Actualisation des résistances ultimes et de la capacité de déformation	14		
5 Analyse structurale et vérifications ..	15		
5.1 Généralités	15		
5.2 Vérifications déterministes	15		
5.3 Vérifications probabilistes	16		
5.4 Vérification de la proportionnalité des interventions de maintenance relatives à la sécurité	16		
6 Examen	18		
6.1 Procédure	18		
6.2 Relevé de l'état	19		
6.3 Evaluation de l'état	20		
6.4 Recommandation d'intervention	21		
7 Interventions de maintenance	22		
7.1 Généralités	22		
7.2 Remise en état et modification	22		
7.3 Surveillance et entretien	23		
7.4 Mesures urgentes de sécurité	23		
7.5 Mesures de sécurité supplémentaires ..	23		

AVANT-PROPOS

La norme SIA 269 décrit les principes et procédures destinés à la maintenance des structures porteuses existantes et s'adresse aux professionnels de la maintenance des ouvrages. Toutefois les chapitres relatifs à l'examen et à l'étude d'intervention concernent également les propriétaires d'ouvrages.

La norme SIA 269 fait partie intégrante des normes SIA relatives aux structures porteuses. Elle est fondée sur les principes de la norme SIA 469 *Conservation des ouvrages* et complète la norme SIA 260 dans le domaine de la maintenance des structures porteuses existantes.

La norme SIA 269 est la norme de référence traitant de la maintenance des structures porteuses. Pour les actions et les différents modes de construction, elle est complétée par les normes suivantes :

- Norme SIA 269/1 Maintenance des structures porteuses – Actions
- Norme SIA 269/2 Maintenance des structures porteuses – Structures en béton
- 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*.

Les normes SIA 269/1 à 269/8 font également partie intégrante des normes SIA relatives aux structures porteuses et complètent les normes SIA 261 à 267.

La norme SIA 269 remplace, conjointement avec la norme SIA 269/1, la directive SIA 462 (1994) *Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants*.

L'utilisation de la norme SIA 269 implique une connaissance approfondie des normes SIA 260 et 469. Les notions déjà définies dans ces deux normes, en particulier celles relatives à la maintenance, n'ont pas été reprises au chapitre de la terminologie.

La norme SIA 269 introduit les notions d'« actualisation », « degré de conformité », « concept d'intervention », « projet d'intervention » et « proportionnalité des interventions de maintenance ». En ce qui concerne l'examen, il s'y ajoute les notions de « situation d'examen » et « valeur d'examen » (en référence aux termes correspondants utilisés pour l'élaboration des projets de structures porteuses). La notion de « défaut » est prise dans le sens général de son usage linguistique. Il en découle que le « défaut » est caractérisé par l'absence d'une propriété technique ou physique, hors toute interprétation juridique. La présence d'un défaut n'implique donc pas qu'il faille automatiquement rechercher une responsabilité. En conséquence, la notion de « défaut » ne se rapporte plus exclusivement à l'état d'un ouvrage lors de la réception.

Certains aspects des structures porteuses existantes sont traités selon une procédure fondée sur le risque. En conséquence la norme SIA 269 définit également les termes d'« efficacité des interventions » et « coûts de sécurité ». La norme SIA 269 introduit des lignes directrices pour l'utilisation des méthodes relevant de la théorie de la fiabilité, nécessitant en conséquence la définition de ses notions de base au chapitre de la terminologie. La mise en pratique de ces lignes directrices dans la détermination du niveau de sécurité exige une connaissance approfondie du sujet lors de la vérification de la sécurité structurale et de l'évaluation de la proportionnalité des interventions de maintenance.

La Direction du projet reconnaît l'importance du collège d'experts au sens où cette notion a été introduite pour la première fois dans la directive SIA 462. Toutefois, pour respecter le principe de la séparation entre les dispositions techniques et l'attribution des responsabilités aux divers prestataires de services, le sujet du collège d'experts n'a pas été traité explicitement dans la norme SIA 269.

Direction du projet Maintenance des structures porteuses

0 DOMAINE D'APPLICATION

0.1 Délimitation

- 0.1.1 La norme SIA 269 fixe les principes de la maintenance des structures porteuses considérées comme partie intégrante d'ouvrages existants en tenant compte de leur valeur de maintenance.
- 0.1.2 La norme SIA 269 est valable pour tous les types de structures porteuses existantes, selon leur mode de construction, par analogie avec la norme 260.
- 0.1.3 La norme SIA 269 règle les mesures et activités relatives à la maintenance des structures porteuses existantes et définit les termes techniques qui s'y rapportent. Dans le domaine de la maintenance des structures porteuses, elle complète les dispositions des normes SIA 469 et SIA 260.
- 0.1.4 La présente norme s'applique conjointement avec les normes SIA 269/1 à 269/8. Les utilisations non prévues dans le domaine d'application de ces normes seront traitées par analogie avec les principes de la norme SIA 269.
- 0.1.5 Lors de modifications, les nouveaux éléments de structure seront en règle générale traités conformément aux normes SIA 260 à 267 et les éléments existants selon la norme SIA 269 ainsi que les normes SIA 269/1 à 269/8. On peut déroger à cette règle en rapport avec la détermination des actions variables si d'autres délimitations sont indiquées sur la base de considérations spécifiques.
- 0.1.6 La norme SIA 269 n'est pas applicable à l'étude et au dimensionnement de nouvelles structures porteuses.

0.2 Références

- 0.2.1 Cette norme renvoie également au cahier technique mentionné ci-après, dont les dispositions s'appliquent en tout ou partie dans le sens du renvoi:
 - Cahier technique SIA 2017 *Valeur de conservation des ouvrages*.
- 0.2.2 Les normes et directives 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 des normes SIA 260 et SIA 469, la présente norme utilise les termes techniques généraux définis ci-après. D'autres termes techniques spécifiques seront définis dans les normes SIA 269/1 à 269/8.

Actualisation

Aktualisierung

attualizzazione

updating

Processus consistant à compléter les données existantes par de nouvelles informations.

Concept d'intervention

Massnahmenkonzept

concetto dell'intervento

concept of intervention

Concept d'exécution des interventions de maintenance pour une durée et une localisation définies, élaboré sur la base d'une étude de variantes de maintenance.

Coûts de sécurité

Sicherheitskosten

costi per garantire la sicurezza

safety costs

Coûts relatifs à la sécurité générés par les interventions de maintenance et amortis annuellement sur la durée d'utilisation restante.

Coûts directs

Direkte Kosten

costi diretti

direct costs

Coûts générés dans les limites du système choisi.

Degré de conformité

Erfüllungsgrad

grado di conformità

degree of compliance

Expression fondée sur des valeurs d'examen et exprimant sous forme numérique dans quelle mesure une structure porteuse existante satisfait aux exigences requises pour la sécurité structurale.

Durée d'utilisation restante

Restnutzungsdauer

durata d'utilizzo rimanente

remaining service life

Durée prévue pendant laquelle un ouvrage existant sera encore utilisé selon la convention d'utilisation.

Efficacité des interventions

Massnahmeneffizienz

efficienza degli interventi

efficiency of interventions

Efficacité des interventions de maintenance relatives à la sécurité, exprimée en tant que quotient de la réduction du risque par les coûts de sécurité.

Facteur de sensibilité

Sensitivitätsfaktor

fattore di sensitività

sensitivity factor

Mesure de l'influence relative des paramètres de base sur la condition d'état-limite.

Indice de fiabilité

Zuverlässigkeitsindex

indice di affidabilità

reliability index

Mesure du taux de défaillance, formulée par l'inverse de sa distribution normale standard.

Intervention de maintenance

Erhaltungsmassnahme

intervento di conservazione

maintenance intervention

Intervention liée à l'exploitation ou à la construction en vue de limiter les risques générés par un ouvrage et de garantir son maintien en bon état ainsi que ses valeurs matérielles et culturelles.

Projet d'intervention

Massnahmenprojekt

progetto di intervento

design of remedial intervention

Mise en œuvre du concept d'intervention comprenant l'étude des interventions de maintenance.

Proportionnalité des interventions de maintenance
Verhältnismässigkeit von Erhaltungsmassnahmen
proporzionalità degli interventi di conservazione
proportionality of maintenance interventions

Renforcement
Verstärkung
rinforzo
reinforcement

Risque
Risiko
rischio
risk

Situation d'examen
Überprüfungssituation
situazione di esame
examination situation

Structure porteuse existante
Bestehendes Tragwerk
struttura portante esistente
existing structure

Taux de défaillance
Versagensrate
tasso di rottura
failure rate

Valeur d'examen
Überprüfungswert
valore di esame
examination value

Valeur de maintenance
Erhaltungswert
valore di mantenimento
maintenance value

Vérification déterministe
Deterministischer Nachweis
verifica deterministica
deterministic verification

Vérification probabiliste
Probabilistischer Nachweis
verifica probabilistica
probabilistic verification

Confrontation entre le coût des interventions de maintenance et le bénéfice escompté, en vue d'un engagement efficace des moyens.

Intervention destinée à améliorer la résistance ultime et l'aptitude au service d'une structure porteuse ou d'un élément de construction.

Produit résultant de la probabilité d'occurrence d'un dommage pendant un laps de temps donné multipliée par ses conséquences potentielles quantifiées sur les personnes, les biens et l'environnement.

Données physiques et conditions inhérentes à la durée d'utilisation restante d'une structure porteuse existante, pour lesquelles on vérifiera que les états-limites déterminants ne sont pas dépassés.

Structure porteuse d'un ouvrage exécuté et réceptionné.

Probabilité rapportée à une unité de temps (1 année, en règle générale) qu'une structure porteuse ou l'un de ses éléments accuse une défaillance ou qu'une de ses limites de service soit dépassée.

Valeur utilisée dans une vérification concernant une structure porteuse existante et déterminée soit à partir d'une valeur caractéristique ou d'une valeur représentative, soit en relation avec des facteurs partiels et des facteurs de conversion ou encore, le cas échéant, fixée directement.

Valeur matérielle et immatérielle d'un ouvrage, selon le cahier technique SIA 2017.

Vérification selon le concept des facteurs partiels.

Vérification tenant explicitement compte de la fonction probabiliste de distribution des paramètres de base.

1.2 Notations

1.2.1 Majuscules latines

$A_{d,act}$	valeur d'examen d'une action accidentelle
C_{acc}	constante quantifiant l'acceptabilité du risque
$C_{d,act}$	limite de service actualisée
C_F	coûts directs générés par une défaillance
C_W	coût de la remise en état d'une structure porteuse
E	effet d'une action
$E_{d,act}$	valeur d'examen de l'effet d'une action
$E_{d,dst,act}$	valeur d'examen de l'effet d'une action déstabilisante
$E_{d,stb,act}$	valeur d'examen de l'effet d'une action stabilisante
$E_{m,act}$	valeur probable actualisée de l'effet d'une action
EF_M	efficacité des interventions
$G(\dots)$	fonction des états-limites
$G_{k,act}$	valeur caractéristique actualisée d'une action permanente
N_F	valeur probable du nombre de morts lors d'une défaillance de la structure
$P\{\dots\}$	probabilité
P_{acc}	probabilité de conséquence mortelle pour une personne
$P_{k,act}$	valeur caractéristique actualisée d'une action de précontrainte
$Q_{k1,act}$	valeur caractéristique actualisée de l'action (variable) prépondérante
R	résistance ultime
$R_{d,act}$	valeur d'examen de la résistance ultime
$R_{m,act}$	valeur probable actualisée de la résistance ultime
SC_M	coûts de sécurité des interventions de maintenance
$X_{d,act}$	valeur d'examen d'une propriété du matériau de construction ou du sol de fondation
X_i	paramètre de base
$X_{k,act}$	valeur caractéristique actualisée d'une propriété du matériau de construction ou du sol de fondation

1.2.2 Minuscules latines

a_0	constante de la fonction des états-limites
ad,act	valeur d'examen d'une donnée géométrique
n	degré de conformité
t	temps

1.2.3 Lettres grecques

α_E	facteur de sensibilité pour l'effet d'une action
α_R	facteur de sensibilité pour la résistance ultime
β	indice de fiabilité

β_0	valeur cible de l'indice de fiabilité
$\gamma_{G,act}$	facteur de charge actualisé pour une action permanente
$\gamma_{G,inf,act}$	facteur de charge actualisé pour des actions permanentes (examen avec des valeurs d'examen inférieures)
$\gamma_{G,sup,act}$	facteur de charge actualisé pour des actions permanentes (examen avec des valeurs d'examen supérieures)
$\gamma_{M,act}$	facteur de résistance actualisé
γ_P	facteur de charge pour une action due à la précontrainte
γ_{Q1}	facteur de charge actualisé pour l'action (variable) prépondérante
δ_E	paramètre de la distribution log-normale pour l'effet d'une action
δ_R	paramètre de la distribution log-normale pour la résistance ultime
η	facteur de conversion (relatif aux propriétés des matériaux de construction)
$\nu_{E,act}$	coefficient de variation actualisé pour l'effet d'une action
$\nu_{R,act}$	coefficient de variation actualisé pour la résistance ultime
ρ	coefficient exprimant les conséquences d'une défaillance de la structure porteuse
ψ_0	coefficient de réduction pour la valeur rare d'une action variable
$\psi_{0i} Q_{ki,act}$	valeur rare de l'action variable concomitante i actualisée
ψ_1	coefficient de réduction pour la valeur fréquente d'une action variable
ψ_2	coefficient de réduction pour la valeur quasi permanente d'une action variable
$\psi_{2i} Q_{ki,act}$	valeur quasi permanente actualisée de l'action variable i combinée à une action accidentelle, respectivement à la valeur fréquente de l'action (variable) prépondérante
ΔR_M	réduction du risque, générée par les interventions de maintenance
$\Phi(\dots)$	fonction de la distribution normale standard

2 PRINCIPES

2.1 Généralités

- 2.1.1 La maintenance des structures porteuses existantes doit tenir compte des exigences et des besoins actuels, en particulier lorsqu'ils concernent la sécurité de l'individu et de la société. Elle doit être mise en œuvre d'une manière économique, ménageant l'environnement et supportable du point de vue culturel et social.
- 2.1.2 La maintenance d'une structure porteuse existante pour sa durée d'utilisation restante visera les objectifs suivants, qui complètent ou précisent la norme SIA 469 :
- répondre aux exigences d'utilisation
 - satisfaire aux prescriptions légales
 - garantir la sécurité structurale et l'aptitude au service
 - conserver la valeur de maintenance
 - exploiter le potentiel de l'ouvrage.
- 2.1.3 L'ampleur et l'objet des activités de la maintenance seront adaptés à l'importance de la structure porteuse, aux situations de risque et à la complexité du problème posé.
- 2.1.4 Lorsque d'importantes interventions de maintenance sont prévues sur un ouvrage, on déterminera sa valeur de maintenance. Celle-ci peut être appréciée selon les indications du cahier technique SIA 2017.

2.2 Surveillance et entretien

- 2.2.1 La surveillance et l'entretien seront exécutés selon la norme SIA 469 sur tous les types de structures porteuses, en tenant compte des changements de conditions et des connaissances nouvelles.
- 2.2.2 La surveillance a pour but de vérifier les prévisions relatives au comportement de la structure porteuse et de détecter aussi tôt que possible un comportement imprévu de celle-ci ou l'apparition de mécanismes de détérioration et de situations de risque.
- 2.2.3 L'entretien comprend les activités planifiées dans le plan d'entretien ainsi que la réparation de petites détériorations. Ces activités ont un caractère essentiellement préventif.
- 2.2.4 Lors du constat de dommages, de défauts, d'un comportement inattendu de la structure porteuse ou d'une atteinte significative à la résistance ultime ou à la sécurité d'exploitation, on ordonnera un examen. Le cas échéant, il faudra aussi mettre en œuvre des mesures urgentes de sécurité.

2.3 Examen

- 2.3.1 L'examen d'une structure porteuse a pour but de vérifier sa sécurité structurale et son aptitude au service du point de vue de l'utilisation restante convenue, et permettre, si nécessaire, de proposer des interventions de maintenance.
- 2.3.2 La convention d'utilisation sera examinée sous l'angle de sa validité. Le cas échéant elle sera adaptée, ou établie si elle est manquante.
- 2.3.3 La base du projet sera actualisée, ou établie si elle est manquante, selon les normes SIA 269/1 à 269/8.
- 2.3.4 L'examen sera fondé sur l'actualisation des actions, des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation, du modèle de la structure, des données géométriques ainsi que de la résistance ultime et de la capacité de déformation. Lors de l'actualisation, on tiendra compte de l'ensemble des informations disponibles et on prêter une attention particulière à l'influence des mécanismes de détérioration.

- 2.3.5 En règle générale, les vérifications seront effectuées par la méthode déterministe selon les principes de la norme SIA 260.
- 2.3.6 On peut recourir aux vérifications selon la méthode probabiliste :
- lorsque le niveau des connaissances relatives à la structure porteuse et à son état est particulièrement élevé ou particulièrement bas
 - dans le cas où la défaillance d'une structure porteuse aurait des conséquences considérables
 - lorsqu'il faut évaluer l'efficacité des stratégies mises en place pour la surveillance et l'entretien
 - pour la prise de décisions fondamentales concernant l'ensemble des éléments d'une structure porteuse.

3 EXIGENCES

3.1 Utilisation

La durée d'utilisation restante d'une structure porteuse et de ses éléments ainsi que les états d'utilisation qui les concernent doivent être spécifiés lors de l'examen ou de la planification des interventions de maintenance.

3.2 Sécurité structurale

- 3.2.1 La sécurité structurale est considérée comme suffisante si le calcul montre que le niveau de sécurité structurale requis est respecté, ou si la possibilité d'une défaillance de la structure porteuse est maintenue sous contrôle par des mesures de sécurité supplémentaires ou des mesures urgentes de sécurité.
- 3.2.2 La vérification déterministe de la sécurité structurale est considérée comme satisfaisante lorsque les conditions du chiffre 5.2.1 sont remplies.
- 3.2.3 La vérification probabiliste est considérée comme satisfaisante lorsque les conditions de l'annexe B sont remplies.
- 3.2.4 Les exigences requises par la théorie de la fiabilité en matière de sécurité structurale figurent dans l'annexe B.

3.3 Aptitude au service

- 3.3.1 Si l'utilisation de la structure porteuse existante n'a pas changé, on vérifiera en règle générale son aptitude au service à l'aide des résultats du relevé de l'état. L'expérience des utilisateurs devrait y être intégrée.
- 3.3.2 Si cette utilisation a changé, on vérifiera l'aptitude au service à l'aide des résultats du relevé de l'état ainsi qu'avec les actions et limites de service actualisées.
- 3.3.3 La vérification déterministe de l'aptitude au service est considérée comme satisfaisante lorsque la condition du chiffre 5.2.2 est remplie.

3.4 Proportionnalité des interventions de maintenance

- 3.4.1 La proportionnalité des interventions de maintenance est déterminée en confrontant le coût des interventions (coûts directs et indirects nécessaires pour satisfaire aux exigences requises) au bénéfice escompté (réduction des risques, gain en valeur de maintenance et en fiabilité), rapportés à la durée d'utilisation restante.
- 3.4.2 En règle générale, la proportionnalité des interventions de maintenance est évaluée de manière empirique. Pour les interventions de maintenance relatives à la sécurité on pourra appuyer l'évaluation sur une vérification selon le chiffre 5.4.
- 3.4.3 Lorsque des interventions de maintenance relatives à la sécurité sont disproportionnées, il faut soit réexaminer l'étude d'intervention, soit adapter la convention d'utilisation aux nouvelles conditions. En cas de situation d'examen accidentelle, on pourra admettre une situation non satisfaisante, même si les conditions du chiffre 5.2 ne sont pas remplies; le risque individuel sera toutefois limité conformément au chiffre B.4.
- 3.4.4 Lorsque des interventions de maintenance relatives à la sécurité sont proportionnées, elles doivent être mises en œuvre.

4 ACTUALISATION

4.1 Généralités

- 4.1.1 En principe on actualisera les actions, les propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation, le modèle de la structure, les données géométriques, les résistances ultimes et la capacité de déformation.
- 4.1.2 L'actualisation tiendra compte entre autres des points suivants :
- événements survenus pendant la construction et l'utilisation
 - connaissances acquises lors des observations et des mesures effectuées pendant la durée d'utilisation écoulée
 - interventions effectuées
 - résultats des relevés de l'état
 - états d'utilisation convenus pour la durée d'utilisation restante
 - expérience acquise avec le comportement de structures porteuses comparables soumises à une utilisation semblable.
- 4.1.3 Les valeurs actualisées seront consignées dans la base du projet.

4.2 Actualisation des actions

- 4.2.1 En règle générale, les valeurs caractéristiques actualisées des actions seront spécifiées selon la norme SIA 269/1.
- 4.2.2 Lorsque, par des séries de mesures ou par d'autres informations, on dispose de distributions des valeurs concernant les paramètres des actions variables, on pourra procéder à l'actualisation pour autant que :
- la valeur caractéristique de l'action variable $Q_{k,act}$ soit calculée d'une manière correspondant au fractile dépendant de la période de retour ou que
 - la valeur d'examen de l'effet d'une action $E_{d,act}$ soit calculée selon la méthode figurant dans l'annexe C.

4.3 Actualisation des propriétés des matériaux de construction et du sol de fondation

- 4.3.1 L'identification des matériaux de construction et du sol de fondation sera déterminée par l'étude du dossier de l'ouvrage et lors du relevé de l'état. La propriété $X_{k,act}$ d'un matériau ou du sol de fondation sera actualisée selon les prescriptions des normes SIA 269/2 à 269/8.
- 4.3.2 Des indications relatives à l'actualisation des facteurs de conversion η et aux facteurs de résistance actualisés $\gamma_{M,act}$ figurent dans les normes SIA 269/2 à 269/8.

4.4 Actualisation des modèles de la structure porteuse et des données géométriques

- 4.4.1 Le modèle choisi devra reproduire un comportement de la structure porteuse proche de la réalité, et fournir des prévisions pertinentes sur son comportement dans les situations d'examen considérées.
- 4.4.2 L'actualisation de données géométriques $a_{d,act}$ sera fondée sur la mesure des dimensions, des détériorations et des défauts effectuée dans le cadre du relevé de l'état. Les contradictions avec le dossier de l'ouvrage seront clarifiées.

4.5 Actualisation des résistances ultimes et de la capacité de déformation

- 4.5.1 L'actualisation de la résistance ultime et de la capacité de déformation sera fondée sur les principes contenus dans les normes SIA 262 à 267, SIA 266/2 ainsi que SIA 269/2 à 269/8. On tiendra compte du fait que les actions et la capacité de déformation de la structure porteuse peuvent s'influencer réciproquement.
- 4.5.2 L'influence des détériorations et des défauts sur la résistance ultime et sur la capacité de déformation sera quantifiée et prise en compte comme donnée géométrique actualisée ou comme propriété actualisée des matériaux de construction ou du sol de fondation.
- 4.5.3 Lorsque, par des mesures ou d'autres observations, on dispose de distributions statistiques des valeurs concernant les paramètres servant à la détermination de la résistance ultime ou de la capacité de déformation, on pourra procéder à l'actualisation pour autant que :
- la valeur caractéristique de la propriété d'un matériau de construction ou du sol de fondation $X_{k,act}$ soit calculée selon les normes SIA 269/2 à 269/8 ou que
 - la valeur d'examen de la résistance ultime $R_{d,act}$ soit calculée selon la méthode figurant dans l'annexe C.

5 ANALYSE STRUCTURALE ET VÉRIFICATIONS

5.1 Généralités

- 5.1.1 L'analyse de la structure porteuse et les vérifications seront effectuées par analogie avec les principes énoncés dans la norme SIA 260. Les paramètres correspondants seront pris en compte par leurs valeurs actualisées.
- 5.1.2 Les types de défaillance de la structure porteuse sur lesquels se fondent les vérifications doivent être évalués. On évaluera en particulier si un signe avertisseur de la défaillance survient avant que la résistance ultime ne soit atteinte.

5.2 Vérifications déterministes

5.2.1 Vérification de la sécurité structurale

- 5.2.1.1 Pour la durée d'utilisation restante considérée et les états-limites de type 1, la sécurité structurale est vérifiée lorsque le critère suivant relatif au degré de conformité n est rempli:

$$n = \frac{E_{d,stab,act}}{E_{d,dst,act}} \geq 1 \quad (1)$$

- 5.2.1.2 Pour la durée d'utilisation restante considérée et les états-limites des types 2 à 4, la sécurité structurale est vérifiée lorsque le critère suivant relatif au degré de conformité n est rempli:

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}} \geq 1 \quad (2)$$

- 5.2.1.3 La valeur d'examen de la résistance ultime sera déterminée à l'aide des caractéristiques actualisées des sections et des matériaux, conformément aux indications des normes SIA 269/2 à 269/8:

$$R_{d,act} = \frac{R\{X_{d,act}, a_{d,act}\}}{\gamma_{R,act}} \quad (3)$$

On pourra généralement remplacer l'équation (3) par la relation suivante:

$$R_{d,act} = \frac{\eta R_{k,act}}{\gamma_{M,act}} \quad (4)$$

- 5.2.1.4 Dans les situations d'examen durables et transitoires, on déterminera les valeurs d'examen pour l'effet d'une action selon la relation suivante :

$$E_{d,act} = E(\gamma_{G,act} G_{k,act}, \gamma_P P_{k,act}, \gamma_{Q1} Q_{k1,act}, \psi_{0i} Q_{ki,act}, X_{d,act}, a_{d,act}) \quad (5)$$

- 5.2.1.5 On pourra actualiser le facteur de charge pour une action permanente $\gamma_{G,act}$ selon les indications du tableau 1, pour autant que l'actualisation des actions permanentes soit effectuée selon la norme SIA 269/1.

Tableau 1: Facteurs de charge actualisés pour la vérification de la sécurité structurale

Actions	Facteur de charge	Etat-limite		
		Type 1	Type 2	Type 3
Actions permanentes (surcharges de terre comprises)				
– avec effet défavorable	$\gamma_{G,sup,act}$	1,05 ¹⁾	1,20 ¹⁾	1,00
– avec effet favorable	$\gamma_{G,inf,act}$	0,95 ¹⁾	0,90 ¹⁾	1,00
¹⁾ $G_{k,act}$ doit être multiplié par $\gamma_{G,sup,act}$ ou par $\gamma_{G,inf,act}$ selon que l'effet global est défavorable ou favorable.				

5.2.1.6 Pour les actions variables et les actions du sol de fondation, on utilisera les facteurs de charge figurant dans la norme SIA 260.

5.2.1.7 On utilisera les coefficients de réduction ψ_0 , ψ_1 et ψ_2 figurant dans la norme SIA 260.

5.2.1.8 Pour les situations d'examen accidentelles, on déterminera les valeurs d'examen de l'effet d'une action selon la relation suivante:

$$E_{d,act} = E(G_{k,act}, P_{k,act}, A_{d,act}, \psi_{2i} Q_{ki,act}, X_{d,act}, a_{d,act}) \quad (6)$$

5.2.1.9 Pour les états-limites de type 4, on vérifiera la sécurité à la fatigue au moyen d'une des méthodes suivantes:

- vérification à l'aide de la limite de fatigue en appliquant des actions dues à la fatigue figurant dans la norme SIA 269/1
- vérification à l'aide de la résistance à la fatigue comme pour les nouvelles structures porteuses, en utilisant les facteurs partiels de correction des charges de fatigue figurant dans la norme SIA 269/1
- vérification par un calcul de cumul des dommages
- vérification par la méthode du concept de la contrainte au point chaud.

Lors de la vérification, on distinguera entre les actions dues à la fatigue apparues pendant la durée d'utilisation écoulée et celles à venir pendant la durée d'utilisation restante.

5.2.2 Vérification de l'aptitude au service

Pour la situation d'examen considérée, l'aptitude au service est vérifiée lorsque le critère suivant est rempli:

$$E_{d,act} \leq C_{d,act} \quad (7)$$

Dans cette relation, $E_{d,act}$ désigne la valeur d'examen de l'effet de l'action due aux cas de charge pris en compte dans la situation d'examen considérée, et $C_{d,act}$ la limite de service actualisée correspondante.

5.3 Vérifications probabilistes

Si l'on dispose de distributions actualisées des paramètres de base, on pourra vérifier la sécurité structurale à l'aide des méthodes de la théorie de la fiabilité.

5.4 Vérification de la proportionnalité des interventions de maintenance relatives à la sécurité

5.4.1 La proportionnalité des interventions de maintenance relatives à la sécurité sera évaluée sur la base de leur efficacité et en tenant compte des aspects suivants:

- exigences requises en matière de sécurité des individus et de la société
- disponibilité d'un ouvrage ou d'une installation
- étendue des dommages pour les personnes, les biens et l'environnement
- préservation de la valeur culturelle.

5.4.2 L'efficacité des interventions de maintenance sera évaluée à l'aide du coefficient EF_M :

$$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M} \quad (8)$$

ΔR_M désigne la réduction du risque générée par les interventions de maintenance (exprimée sous forme de valeur monétaire annuelle avec escompte et appliquée à la durée d'utilisation restante) et SC_M les coûts de sécurité pouvant être imputés à la protection effective de la structure porteuse (exprimés sous forme de valeur monétaire annuelle avec escompte et appliqués à la durée d'utilisation restante). L'escompte pourra être calculé sur la base d'un taux annuel de 2%.

- 5.4.3 Une intervention de maintenance relative à la sécurité est considérée comme proportionnée lorsque $EF_M \geq 1,0$. Une intervention de maintenance relative à la sécurité est généralement considérée comme disproportionnée lorsque $EF_M < 1,0$; la prise en compte des aspects mentionnés au chiffre 5.4.1 peut toutefois conduire à une appréciation différente.
- 5.4.4 Lors de l'estimation de la réduction du risque, on pourra admettre un montant de 3 à 10 millions de francs suisses comme coût de sauvetage d'une vie humaine. Lorsque la réduction du risque ne se fonde que sur le sauvetage de vies humaines, une intervention de maintenance relative à la sécurité est considérée comme proportionnée lorsque $EF_M \geq 1,0$.

6 EXAMEN

6.1 Procédure

6.1.1 Généralités

- 6.1.1.1 L'examen s'effectue par étapes progressivement approfondies. Il comporte un examen général et, le cas échéant, un ou plusieurs examens détaillés. Le niveau d'approfondissement dépend de la qualité et du degré d'importance des informations à disposition concernant la structure porteuse.
- 6.1.1.2 Les résultats de l'examen doivent supporter un contrôle de plausibilité et correspondre aux observations effectuées sur l'état et le comportement de la structure porteuse.
- 6.1.1.3 Les résultats de l'examen doivent être consignés dans un rapport.

6.1.2 Motifs

- 6.1.2.1 Il y a motif à procéder à l'examen d'une structure porteuse existante lorsque celle-ci est soumise à un changement d'utilisation, à un changement des exigences d'utilisation ou à une modification.
- 6.1.2.2 En complément au chiffre 6.1.2.1, il y a également motif à procéder à un examen dans les cas suivants:
 - observation de détériorations ou de défauts significatifs sur la structure porteuse
 - déplacements ou déformations significatifs de la structure porteuse ou du sol de fondation
 - actions accidentelles ou imprévues subies par la structure porteuse
 - manque total ou partiel de surveillance, impossibilité de surveiller
 - évaluation de l'état de la structure porteuse mise en doute par la surveillance
 - opportunité avérée d'une investigation sur la fiabilité de la structure porteuse
 - acquisition de connaissances nouvelles sur les actions ou sur les propriétés de la structure porteuse.

6.1.3 Examen général

- 6.1.3.1 L'examen général porte sur l'ensemble de la structure porteuse y compris tous les éléments de construction dont la défaillance représenterait un danger pour les personnes, les biens et l'environnement.
- 6.1.3.2 L'étendue de l'examen général et la délimitation des éléments de construction à examiner seront déterminés de façon spécifique pour chaque ouvrage.
- 6.1.3.3 En règle générale, l'examen général s'effectue par étapes, selon la procédure figurant dans l'annexe A.

6.1.4 Examen détaillé

- 6.1.4.1 On effectuera un examen détaillé lorsque la vérification de la conformité aux exigences requises ne peut pas être démontrée par l'examen général et que les coûts ainsi occasionnés sont justifiés par le bénéfice attendu.
- 6.1.4.2 En règle générale, l'examen détaillé se limitera à des éléments choisis de la structure et pourra s'effectuer par étapes de plus en plus approfondies (cf. annexe A).

6.2 Relevé de l'état

6.2.1 Généralités

- 6.2.1.1 Le relevé de l'état représente la base nécessaire à l'évaluation de l'état et à la recommandation d'intervention. Il est fondé sur la convention d'utilisation ainsi que sur la base du projet et tient compte des rapports d'inspection et d'examen, ainsi que des observations recueillies auprès des utilisateurs.
- 6.2.1.2 Le relevé de l'état a pour but :
- d'obtenir des renseignements sur les situations de risque, des informations sur les actions et des indications sur l'exposition de la structure porteuse
 - de reconnaître l'état de la structure avec ses détériorations et ses défauts éventuels et fournir des informations utiles à l'évaluation de l'état.
- 6.2.1.3 Chaque relevé de l'état doit être accompagné d'une évaluation de la fiabilité et de la plausibilité des résultats.
- 6.2.1.4 La tâche primordiale du relevé de l'état consiste à collecter les informations concernant :
- la structure porteuse et son comportement
 - les situations de risque, les états d'utilisation, les actions et leurs effets
 - l'état des éléments de structure, en particulier ceux qui sont exposés à des influences marquées de l'environnement
 - les procédés et les matériaux de construction, leurs propriétés lors du relevé et leur évolution probable.
- 6.2.1.5 La préparation du relevé de l'état d'une structure porteuse comprendra généralement :
- le but et la justification des informations recherchées
 - le programme d'investigations avec l'indication des éventuelles restrictions d'utilisation durant le relevé
 - l'indication et la justification des méthodes d'investigation
 - les types d'essais sur la structure et en laboratoire, et les résultats attendus
 - des indications sur la représentativité des investigations et des résultats attendus
 - des indications sur le rétablissement de l'état initial après le prélèvement d'échantillons ou l'exécution de sondages.

6.2.2 Investigations

- 6.2.2.1 En règle générale, les investigations concernant la structure porteuse englobent :
- le système structural
 - les dimensions déterminantes des éléments de la structure, leurs dispositions constructives et la concordance avec le dossier de l'ouvrage
 - les matériaux de construction et leurs propriétés
 - les éléments de l'équipement nécessaires au bon comportement de la structure.
- 6.2.2.2 On déterminera les conditions de bords statiques et cinématiques comme les encastremements, les conditions d'appui et la mobilité des joints en vue de définir le modèle de la structure. On étudiera en particulier l'interaction entre la structure et le sol de fondation, la stabilité de l'ensemble et celle des éléments de structure considérés isolément.
- 6.2.2.3 Les investigations porteront sur tous les éléments de construction influant sur le comportement de la structure porteuse.
- 6.2.2.4 Dans les structures porteuses soumises à la fatigue, on étudiera les dispositions constructives dans le but d'identifier les détails constructifs sensibles à la fatigue et on déterminera les résistances à la fatigue selon les normes SIA 269/2 à 269/5.

6.2.3 Etude du comportement d'une structure porteuse sur la base d'essais

- 6.2.3.1 On peut être amené à étudier le comportement d'une structure sur la base d'essais statiques et dynamiques dans les cas suivants :
- manque de connaissances et d'informations relatives à la structure et à son comportement
 - vérification d'un comportement élastique de la structure

- calibrage d'un modèle de structure porteuse destiné à l'analyse structurale
- contrôle avant une élévation de la charge utile, pour autant qu'aucune vérification par le calcul ne soit possible
- dans le cadre d'une inspection spéciale.

6.2.3.2 Lors d'essais de charge, on cherchera à appréhender le comportement de la structure porteuse et des éléments qui la constituent et à déterminer si, sous des charges définies, les déformations de l'ouvrage sont réversibles et qu'il n'apparaît pas de fissuration, d'oscillations, ou de déplacements excessifs.

6.2.3.3 On interprétera les résultats des essais de charge à l'aide de modèles de la structure. A cet égard, on accordera une attention particulière aux influences qui, lors de l'essai, ne se prêtent pas à la modélisation, ou seulement de manière insuffisante.

6.3 Evaluation de l'état

6.3.1 Généralités

6.3.1.1 L'évaluation de l'état apprécie l'état d'ensemble de la structure porteuse ou d'éléments isolés et porte sur la sécurité structurale, l'aptitude au service ainsi que la durabilité. Elle fournit une estimation sur l'évolution future de l'état.

6.3.1.2 On appréciera aussi la structure porteuse sous l'angle de sa robustesse. Cette démarche implique d'étudier les conséquences des détériorations dues aux actions accidentelles ou aux influences de l'environnement sur la sécurité structurale et la stabilité. Cette étude se fera au moyen des situations de risque et des scénarios de défaillance correspondants.

6.3.1.3 Dans les scénarios de défaillance, on distinguera entre les processus induits par des charges, par des forces ou par des déplacements imposés, qui se traduisent par des déformations d'ampleurs différentes et peuvent servir d'avertissement avant que la résistance ultime ne soit atteinte. On étudiera la possibilité de détecter à temps les signes avertisseurs d'une défaillance.

6.3.1.4 Les structures ou éléments de structure porteuse qui ne sont pas directement visibles ou examinables seront évalués de manière indirecte.

6.3.1.5 Si l'on ne peut pas procéder à l'évaluation de l'état avec une fiabilité suffisante, on pourra effectuer l'étude d'intervention en appliquant par analogie la méthode observationnelle selon les normes SIA 260 et 267.

6.3.1.6 L'évaluation de l'état sera autant que possible fondée sur une analyse quantitative ou, à défaut, sur une analyse empirique.

6.3.2 Analyse quantitative

6.3.2.1 L'analyse quantitative de la sécurité structurale et de l'aptitude au service doit déterminer si les vérifications correspondantes sont concluantes. L'analyse indiquera le degré de conformité de la sécurité structurale.

6.3.2.2 On pourra étudier les incertitudes du modèle et la représentativité des valeurs d'examen par une analyse de sensibilité.

6.3.2.3 Lorsqu'une vérification de la sécurité structurale n'est pas concluante, il faut évaluer le choix du modèle de la structure et l'influence des paramètres déterminants sur le résultat de la vérification. On cherchera à déterminer si le mécanisme de défaillance déterminant est accompagné de signes avertisseurs avant d'atteindre la résistance ultime. On évaluera également si un examen détaillé supplémentaire pourrait fournir de nouvelles informations.

6.3.2.4 Lorsqu'une vérification de l'état-limite de type 4 n'est pas concluante, on évaluera si un examen détaillé supplémentaire pourrait fournir de nouvelles informations. Celui-ci devra porter sur un ou plusieurs des points suivants:

- une détermination plus précise des actions passées et à venir dues à la fatigue et prenant en compte la durée d'utilisation restante

- une analyse structurale ou des essais de charge plus fins en vue de déterminer plus précisément la grandeur des contraintes provoquant la fatigue
- une détermination plus précise de la résistance à la fatigue, le cas échéant à l'aide d'essais
- l'application des méthodes de la théorie de la fiabilité afin de déterminer la probabilité de défaillance.

6.3.3 Analyse empirique

- 6.3.3.1 On procédera à une analyse empirique notamment lorsque la vérification de la sécurité structurale selon les chiffres 5.2.1 ou 5.3 se révèle impossible ou insuffisamment fiable.
- 6.3.3.2 Dans une analyse empirique, on pourra présumer que la sécurité structurale est suffisante si l'ensemble des conditions suivantes est satisfait :
- aucune détérioration ni aucun défaut réduisant la résistance n'ont été observés sur la structure
 - la structure a fait preuve d'un comportement satisfaisant sur une durée de service suffisamment longue
 - des constatations analogues ont été effectuées sur le comportement de structures comparables
 - aucun changement d'utilisation n'est prévu pour la durée d'utilisation restante
 - une défaillance de la structure et les conséquences qu'elle entraînerait peuvent être classés dans les risques acceptables.
- 6.3.3.3 Lorsque la sécurité structurale est présumée suffisante sur la base d'une analyse empirique, on prendra des mesures de sécurité supplémentaires selon le chiffre 7.5.

6.3.4 Prévision sur l'évolution de l'état

- 6.3.4.1 La prévision sur l'évolution de l'état doit contenir des indications sur l'évolution prévisionnelle de l'état de la structure porteuse ainsi que sur sa sécurité structurale et son aptitude au service.
- 6.3.4.2 Dans l'énoncé de la prévision sur l'évolution de l'état, on tiendra compte de la modification prévisible des actions, des résistances ultimes et du comportement de la structure en accordant une attention particulière aux mécanismes de détérioration possibles.
- 6.3.4.3 Les indications qualitatives concernant l'évolution de l'état seront fondées sur le relevé de l'état et sur l'expérience acquise avec des structures comparables.
- 6.3.4.4 Les indications quantitatives concernant l'évolution de l'état seront fondées sur la modélisation des actions dépendant du temps, des mécanismes de détérioration, et des autres processus liés au temps.
- 6.3.4.5 La prévision sur l'évolution de l'état sera comparée à la durée d'utilisation restante spécifiée dans la convention d'utilisation.

6.4 Recommandation d'intervention

- 6.4.1 La recommandation d'intervention constitue la base pour la décision de principe du propriétaire de l'ouvrage concernant la marche à suivre.
- 6.4.2 La recommandation d'intervention peut comprendre les options suivantes :
- acceptation de l'état existant
 - correction immédiate de l'état existant par des mesures urgentes de sécurité
 - instauration de mesures de sécurité supplémentaires
 - exécution d'un examen détaillé supplémentaire
 - modification de la surveillance et de l'entretien
 - interventions en vue d'une remise en état, d'une rénovation et/ou de modifications
 - remplacement de l'ensemble de la structure ou d'éléments isolés
 - mise hors service
 - déconstruction.
- 6.4.3 Si la vérification de l'état-limite de type 4 ne peut pas être concluante, on prendra en premier lieu des mesures de sécurité supplémentaires. Dans le cas seulement où celles-ci se révéleraient insuffisantes, il sera nécessaire de procéder à des modifications de la structure porteuse.

7 INTERVENTIONS DE MAINTENANCE

7.1 Généralités

- 7.1.1 L'étude d'intervention s'appuie sur la décision de principe du propriétaire de l'ouvrage concernant l'utilisation prévue de la structure et la marche à suivre.
- 7.1.2 Les interventions de maintenance liées à l'exploitation ou à la construction seront définies dans le cadre de l'étude d'intervention et planifiées pour la durée d'utilisation restante.
- 7.1.3 On tiendra compte de l'interaction entre la structure porteuse existante ou l'un de ses éléments et d'autres éléments de construction existants, des ouvrages voisins ou le sol de fondation.
- 7.1.4 On mettra en évidence l'influence d'une intervention de maintenance sur l'intégration, la configuration et la valeur culturelle de l'ouvrage, ainsi que sur la conservation des matériaux originaux dans le cas des monuments historiques.
- 7.1.5 On exposera le mode de fonctionnement et l'efficacité attendue des interventions de maintenance devant assurer la durabilité pendant la durée d'utilisation restante.
- 7.1.6 Suite à la mise en œuvre des interventions de maintenance, il faut confirmer la convention d'utilisation, actualiser la base du projet et mettre en application les instructions d'utilisation.
- 7.1.7 Après l'exécution des interventions de maintenance, on suivra leur impact avec attention. Les contrôles requis à cet effet seront consignés dans le plan de surveillance.

7.2 Remise en état et modification

7.2.1 Généralités

- 7.2.1.1 La remise en état d'une structure porteuse est constituée par des interventions résultant généralement de la combinaison des objectifs suivants :
 - supprimer les causes de la détérioration
 - ralentir ou faire cesser les mécanismes de détérioration
 - réparer les détériorations et éliminer les défauts
 - protéger la structure porteuse ou certains de ses éléments.
- 7.2.1.2 Lors de l'élaboration d'un projet de remise en état, on accordera une attention particulière aux risques d'exécution et aux valeurs indicatives indispensables à leur maîtrise.
- 7.2.1.3 Lors de l'évaluation de la proportionnalité des interventions de maintenance, on prêter une attention particulière à l'influence sur la valeur culturelle.

7.2.2 Concept d'intervention

- 7.2.2.1 L'ampleur et le contenu du concept d'intervention correspondent à l'étape de l'avant-projet dans l'étude d'un projet de construction.
- 7.2.2.2 Le concept d'intervention sera choisi sur la base d'une optimisation entre plusieurs variantes de maintenance.
- 7.2.2.3 Les bases nécessaires à l'établissement des variantes de maintenance sont les résultats de l'examen, les objectifs de la gestion de l'ouvrage, l'utilisation présente et future, la durée d'utilisation restante, la valeur de maintenance ainsi que la réglementation en vigueur.
- 7.2.2.4 Le concept d'intervention doit être consigné dans un rapport documenté.

7.2.3 **Projet d'intervention**

- 7.2.3.1 L'ampleur et le contenu du projet d'intervention correspondent à l'étape du projet dans l'étude d'un projet de construction.
- 7.2.3.2 Le projet d'intervention spécifiera l'assurance de la qualité, constituée des exigences de qualité, des méthodes d'essai et des critères de réception. Il mentionnera aussi les conséquences du non-respect des exigences de qualité.
- 7.2.3.3 Le projet d'intervention doit être consigné dans un rapport documenté.

7.3 **Surveillance et entretien**

- 7.3.1 La surveillance et l'entretien seront effectués conformément au plan de surveillance et au plan d'entretien actualisés.
- 7.3.2 Lorsque d'importantes détériorations doivent être laissées en l'état, la structure porteuse sera soumise à une surveillance renforcée à titre de mesure de sécurité supplémentaire.

7.4 **Mesures urgentes de sécurité**

- 7.4.1 Lorsque la sécurité structurale ou la sécurité d'exploitation n'est manifestement plus assurée, on prendra des mesures urgentes de sécurité pour la protection des personnes, des biens et de l'environnement.
- 7.4.2 Les mesures urgentes de sécurité à prendre en considération sont les suivantes :
 - restrictions d'utilisation
 - mesures urgentes liées à la construction, par exemple le soutènement ou l'étaiyage de la structure
 - renforcement de la surveillance
 - mise hors service et fermeture de l'ouvrage
 - alarme des personnes en danger
 - évacuation des personnes et des biens menacés.
- 7.4.3 Les mesures urgentes de sécurité ne doivent ni entraver ni porter préjudice à l'exécution des mesures ultérieures.

7.5 **Mesures de sécurité supplémentaires**

- 7.5.1 Les mesures de sécurité supplémentaires doivent être spécifiées en fonction des critères suivants :
 - importance de l'ouvrage et potentiel de dommages
 - type de défaillance de la structure porteuse (avec/sans signes avertisseurs)
 - possibilités de surveillance du comportement de la structure
 - possibilités de contrôle de l'utilisation
 - prise en considération du rapport coûts-risques
 - possibilités de limiter les dommages.
- 7.5.2 Les mesures de sécurité supplémentaires à prendre en considération sont les suivantes :
 - restrictions d'utilisation et limitation de la durée d'utilisation restante
 - limitation des charges utiles (le cas échéant par des mesures constructives)
 - surveillance du comportement de la structure porteuse (contrôle par mesures, inspections intermédiaires)
 - surveillance permanente ou périodique de l'utilisation
 - installation de dispositifs automatiques d'alarme et de sécurité
 - préparation de mesures d'urgence
 - élaboration des mesures à prendre en cas d'alarme
 - établissement de plans d'évacuation.

ANNEXE A ÉTAPES DE PROCÉDURE DE L'EXAMEN

Examen général

chiffre 6.1.3

Bases

Etude du dossier de l'ouvrage	
Actualisation de la convention d'utilisation chi. 3 et 4	
Actualisation de la base du projet	chi. 3 et 4

Relevé de l'état

chiffre 6.2

- contrôles visuels
- investigations simples, généralement non destructives

Analyse structurale et vérifications

chiffre 5

Vérifications déterministes sommaires chiffre 5.2

- évaluation du concept de la structure porteuse
- mécanismes et type de défaillance possible de la structure porteurs
- identification des zones déterminantes de la structure porteuse

Evaluation de l'état

chiffre 6.3

- quantitative
- empirique
- prévision sur l'évolution de l'état

Recommandation d'intervention

chiffre 6.4

- examen détaillé
- surveillance et entretien
- mesures urgentes de sécurité
- mesures de sécurité supplémentaires
- remise en état, modification, remplacement
- etc.

Examen détaillé

chiffre 6.1.4

Bases

Résultats de l'examen général	
Etude complémentaire du dossier de l'ouvrage	
Actualisation de la convention d'utilisation chi. 3 et 4	
Actualisation de la base du projet	chi. 3 et 4

Relevé de l'état

chiffre 6.2

- investigations approfondies d'éléments de construction déterminants
- investigations au moyen d'instruments de mesure
- essais en laboratoire

Analyse structurale et vérifications

chiffre 5

Vérifications déterministes chiffre 5.2

Vérifications probabilistes chiffre 5.3

- en règle générale, seulement pour les éléments déterminants d'une structure porteuse
- analyse structurale affinée
- investigation approfondie sur les actions et leurs effets

Evaluation de l'état

chiffre 6.3

- quantitative
- empirique
- prévision sur l'évolution de l'état

Recommandation d'intervention

chiffre 6.4

- examens détaillés additionnels
- surveillance et entretien
- mesures urgentes de sécurité
- mesures de sécurité supplémentaires
- remise en état, modification, remplacement
- etc.

ANNEXE B EXIGENCES RELATIVES À LA SÉCURITÉ STRUCTURALE

B.1 L'exigence relative à la sécurité structurale est spécifiée à l'aide de la valeur cible de l'indice de fiabilité ou par le risque individuel.

B.2 La valeur cible de l'indice de fiabilité β_0 dépend des conséquences d'une défaillance de la structure porteuse. Ces conséquences seront estimées à l'aide du coefficient ρ .

$$\rho = \frac{C_F}{C_W} \quad (9)$$

C_F désigne l'ensemble des coûts directs générés par la défaillance, C_W le coût de la remise en état de la structure porteuse après la défaillance.

Si la défaillance a des conséquences $\rho > 10$ et qu'elle génère des coûts importants, le niveau d'exigences requis pour la sécurité structurale sera déterminé par une analyse des risques.

B.3 La valeur cible de l'indice de fiabilité β_0 figure au tableau 2.

Tableau 2: Valeur cible de l'indice de fiabilité β_0 pour une période de référence de 1 an

Efficacité des interventions EF_M selon le chiffre 5.4	Conséquences d'une défaillance de la structure porteuse selon (9)		
	faibles $\rho < 2$	modérées $2 < \rho < 5$	importantes $5 < \rho < 10$
faible: $EF_M < 0,5$	3,1	3,3	3,7
moyenne: $0,5 \leq EF_M \leq 2,0$	3,7	4,2	4,4
grande: $EF_M > 2,0$	4,2	4,4	4,7

Si l'efficacité des interventions de maintenance relatives à la sécurité ne peut pas être déterminée lors de la phase d'examen, on admettra $EF_M = 1$.

B.4 Le risque individuel acceptable est de 10^{-5} par an.

ANNEXE C VALEURS D'EXAMEN

C.1 Lorsqu'on dispose de distributions probabilistes actualisées des paramètres de base (effets des actions et résistances ultimes), on pourra déterminer les valeurs d'examen à l'aide de la méthode semi-probabiliste ci-dessous. A cet effet, on utilisera généralement les hypothèses suivantes :

- distribution normale pour l'effet des actions permanentes
- distribution de Gumbel pour l'effet des actions variables ou accidentelles
- distribution normale ou log-normale pour les paramètres de la résistance ultime
- distribution normale pour les rigidités.

C.2 Dans les cas à distribution normale, on pourra déterminer à l'aide des relations ci-dessous la valeur d'examen pour l'effet des actions permanentes (E), pour les paramètres de la résistance ultime (R) et pour la rigidité :

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act}) \quad (10)$$

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act}) \quad (11)$$

$E_{m,act}$ et $R_{m,act}$ sont des valeurs probables actualisées, $v_{E,act}$ et $v_{R,act}$ des coefficients de variation actualisés et α_E et α_R des facteurs de sensibilité.

β_0 est la valeur cible de l'indice de fiabilité figurant dans le tableau 2.

C.3 Dans les cas à distribution log-normale, on pourra déterminer à l'aide des relations ci-dessous la valeur d'examen pour l'effet des actions variables (E) et pour les paramètres de la résistance ultime (R) :

$$E_{d,act} = E_{m,act} e^{(\alpha_E \beta_0 \delta_E - 0,5 \delta_E^2)} \quad (12)$$

$$R_{d,act} = R_{m,act} e^{(\alpha_R \beta_0 \delta_R - 0,5 \delta_R^2)} \quad (13)$$

avec :

$$\delta_E^2 = \ln (v_{E,act}^2 + 1) \quad (14)$$

$$\delta_R^2 = \ln (v_{R,act}^2 + 1) \quad (15)$$

$E_{m,act}$ et $R_{m,act}$ sont des valeurs probables actualisées, $v_{E,act}$ et $v_{R,act}$ des coefficients de variation actualisés, α_E et α_R des facteurs de sensibilité et δ_E et δ_R des paramètres de la distribution log-normale.

C.4 On pourra déterminer à l'aide de la relation ci-dessous la valeur d'examen pour l'effet des actions variables (E) à distribution de Gumbel :

$$E_{d,act} = E_{m,act} [1 - v_{E,act} (0,45 + 0,78 \ln \{-\ln [\Phi(\alpha_E \beta_0)]\})] \quad (16)$$

C.5 Si les facteurs de sensibilité ne sont pas actualisés à l'aide d'analyses FORM (First Order Reliability Method), on pourra effectuer un calcul simplifié avec les facteurs suivants :

- $\alpha_E = 0,7$ pour les effets des actions prépondérantes
- $\alpha_E = 0,3$ pour les effets des actions concomitantes
- $\alpha_R = -0,8$ pour les résistances ultimes d'importance déterminante lors de la vérification de la sécurité structurale
- $\alpha_R = -0,3$ pour les résistances ultimes d'importance secondaire lors de la vérification de la sécurité structurale.

Abréviations des organisations représentées dans la Commission SIA 260

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

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

Commission SIA 260 « Bases pour l'étude et la maintenance des structures porteuses »

Président	Eugen Brühwiler, prof. dr ing. dipl. EPF, Lausanne	EPFL
Membres	Michael Havbro Faber-Nielsen, prof. dr ing. dipl., Zurich	ETH Zürich
	Andreas Isler, ing. dipl. EPF, Effretikon	Bureau d'études
	Thomas P. Lang, ing. dipl. EPF, Berne	OFT
	Paul Lüchinger, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études
	Jean-Christophe Putallaz, ing. dipl. EPF, Sion	Administration
	Willi Schuler, ing. dipl. EPF, Berne	OFROU
	Philipp Rietmann, ing. dipl. EPF, Zurich	Bureau d'études
	René Steiger, dr ing. dipl. EPF, Dübendorf	Empa
	Philipp Stoffel, dr ing. dipl. EPF, Zurich	Consultant
	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 le 23 novembre 2010.

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

Elle remplace, conjointement avec la norme SIA 269/1 *Maintenance des structures porteuses – Actions*, la directive SIA 462 *Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants*, édition 1994.

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.