

Bewertung und Ertüchtigung von bestehenden Tragwerken

Assessment and retrofitting of existing structures

Evaluation et rénovation des structures existantes

En Suisse la présente CEN/TS est de la compétence de la commission d'accompagnement CEN/TC 250 «Eurocodes structuraux».

Numéro de référence
SNR CEN/TS 17440:2020 fr

Valable dès: 2020-12-01

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

Avant-propos national

Dans le cadre d'un accord entre les pays de l'Union Européenne (UE) et de l'Association Européenne de Libre Échange (AELE), la Suisse s'est engagée à réduire les entraves techniques commerciales par l'adoption des Normes Européennes (EN).

La Suisse n'a émis aucune réserve à cette CEN/TS et l'a incluse dans la collection des normes suisses comme SNR CEN/TS 17440:2020.

Les paramètres à déterminer au niveau national (NPD) doivent être déterminés pour chaque projet conformément aux spécifications de la norme SIA 269 «Bases pour la maintenance des structures porteuses».

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

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.

Évaluation et rénovation des structures existantes

Bewertung und Ertüchtigung von bestehenden
Tragwerken

Assessment and retrofitting of existing structures

La présente Spécification technique (CEN/TS) a été adoptée par le CEN le 3 mai 2020 pour application provisoire.

La période de validité de cette CEN/TS est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de la CEN/TS en Norme européenne.

Il est demandé aux membres du CEN d'annoncer l'existence de cette CEN/TS de la même façon que pour une EN et de rendre cette CEN/TS rapidement disponible. Il est admis de maintenir (en parallèle avec la CEN/TS) des normes nationales en contradiction avec la CEN/TS en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de la CEN/TS en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Macédoine du Nord, République de Serbie, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos européen	4
Introduction	5
1 Domaine d'application	7
1.1 Domaine d'application de la CEN/TS 17440.....	7
1.2 Hypothèses	7
2 Références normatives	8
3 Termes, définitions et symboles.....	8
3.1 Termes et définitions.....	8
3.2 Symboles	11
4 Principes d'évaluation.....	13
4.1 Gestion de la fiabilité	13
4.2 Méthodes d'évaluation	13
4.3 Situations à évaluer	14
4.4 Utilisation des informations disponibles	14
4.5 Actualisation des informations disponibles.....	14
4.6 Structures constituées de nouveaux éléments et d'éléments conservés.....	15
4.7 Évaluation des structures patrimoniales	15
5 Processus d'évaluation.....	15
5.1 Généralités.....	15
5.2 Lancement de l'évaluation.....	16
5.3 Définition du périmètre et des objectifs de l'évaluation	16
5.4 Élaboration de l'approche de l'évaluation	17
5.5 Établissement de l'état structural.....	18
5.6 Réalisation de l'évaluation	20
5.7 Rapport des résultats de l'évaluation.....	21
6 Évaluation par le calcul	21
6.1 Généralités.....	21
6.2 Évaluation des effets des actions.....	21
6.3 Évaluation des résistances.....	22
6.4 Vérifications.....	22
7 Variables de base et actualisation.....	23
7.1 Généralités.....	23
7.2 Données géométriques	24
7.3 Actions et influences environnementales	24
7.4 Propriétés des matériaux et des produits.....	28
8 Modélisation, actualisation et analyse des structures.....	30
8.1 Configuration structurale et conditions aux limites	30
8.2 Principes de l'analyse structurale.....	30
8.3 Choix de la méthode d'analyse structurale.....	31
8.4 Essais et surveillance.....	31
9 Vérifications.....	32

9.1	Généralités	32
9.2	Méthodes de vérification	32
9.3	Méthode des coefficients partiels	33
9.4	Méthode des valeurs d'évaluation.....	34
9.5	Méthode probabiliste	35
9.6	Méthode d'évaluation du risque.....	36
10	Évaluation basée sur les performances passées	36
11	Interventions.....	37
11.1	Élaboration des propositions d'interventions en fonction des résultats de l'évaluation	37
11.2	Interventions immédiates	38
Annexe A (informative) Organigramme des processus d'évaluation et des interventions		39
A.1	Utilisation de la présente annexe informative.....	39
A.2	Domaine et champ d'application	39
Annexe B (informative) Procédures d'actualisation.....		41
B.1	Utilisation de la présente annexe informative.....	41
B.2	Domaine et champ d'application	41
B.3	Actualisation des variables de base	41
B.4	Actualisation des probabilités de défaillance	44
Annexe C (informative) Fiabilité cible et coefficients partiels.....		46
C.1	Utilisation de la présente annexe informative.....	46
C.2	Domaine et champ d'application	46
C.3	Fiabilité cible.....	46
C.4	Coefficients partiels	47
Annexe D (informative) Évaluation des structures patrimoniales.....		50
D.1	Utilisation de la présente annexe informative.....	50
D.2	Domaine et champ d'application	50
D.3	Principes d'évaluation	50
D.4	Processus d'évaluation	51
D.5	Évaluation basée sur les performances passées	51
D.6	Modélisation et analyse des structures	52
D.7	Vérification	52
D.8	Interventions.....	53
Bibliographie.....		54

Avant-propos européen

Le présent document (CEN/TS 17440:2020) a été élaboré par le Comité technique CEN/TC 250 « Eurocodes structuraux », dont le secrétariat est tenu par BSI. Le CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes structuraux et s'est vu confier par le CEN la responsabilité des questions de calculs structural et géotechnique.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN ne saurait être tenu pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

Le présent document a été élaboré dans le cadre du Mandat M/515 donné au CEN par la Commission européenne et l'Association Européenne de libre-échange.

Le présent document a été rédigé de manière à être utilisé conjointement avec les normes pertinentes d'exécution, de matériaux, de produits et d'essais, et à identifier les exigences relatives à l'exécution, aux matériaux, aux produits et aux essais sur lesquelles il se fonde.

Le présent document reconnaît la responsabilité de chaque État membre et a préservé le droit de ceux-ci de déterminer, au niveau national, des valeurs relatives aux questions relevant de la réglementation en matière de sécurité par le biais d'Annexes Nationales.

La présentation du choix national dans les notes des paragraphes de la présente Spécification technique ne correspond pas partout aux recommandations d'usage que le CEN/TC 250 a établies pour les Eurocodes EN. La présentation du choix national sera conforme aux recommandations du TC dans les normes EN officielles.

Selon le Règlement Intérieur du CEN-CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus d'annoncer cette Spécification technique : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Macédoine du Nord, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse et Turquie.

Introduction

Généralités

Les Eurocodes comprennent des règles qui sont principalement destinées au calcul des nouvelles structures, néanmoins les principes de l'EN 1990 peuvent également être appliqués aux structures existantes, avec des dispositions additionnelles ou modifiées. La CEN/TS 17440 a pour but de fournir les dispositions additionnelles ou modifiées qui peuvent permettre d'appliquer l'EN 1990 à l'évaluation structurale de structures existantes.

Prolonger la durée de vie des structures existantes est un défi majeur pour les propriétaires de structures dans le monde entier. Investir dans l'évaluation précise de la résistance des structures peut avoir des effets bénéfiques substantiels sur le plan environnemental, économique et sociopolitique. Pour tirer pleinement parti de ces effets bénéfiques, il est souvent nécessaire, dans l'évaluation, d'aller au-delà des méthodes simples et conservatives généralement utilisées pour le calcul de nouvelles structures, afin de pouvoir évaluer plus précisément leur fiabilité.

Dans le calcul des nouvelles structures, il est généralement nécessaire d'utiliser des valeurs conservatives pour les variables de base, et il est courant que les modèles utilisés pour l'analyse structurale se placent du côté de la sécurité. Cependant, lors de l'évaluation d'une structure existante, il est possible d'obtenir des données actualisées concernant la structure, y compris sa géométrie, les propriétés de ses matériaux, les actions et les influences environnementales, ainsi que des mesures relatives à son comportement structural. L'utilisation de données actualisées pour l'évaluation, et la prise en compte d'autres modèles d'analyse structurale qui représentent avec plus de précision les états-limites évalués, peuvent présenter des avantages considérables. La CEN/TS 17440 comprend des dispositions relatives à l'utilisation de données actualisées et de modèles structuraux actualisés pour l'évaluation.

Les structures plus anciennes ont souvent été conçues et construites d'une manière qui ne serait pas conforme aux normes modernes de calcul des structures, de produits de construction ou d'exécution. Elles sont souvent susceptibles de présenter des détériorations ou des dommages. L'un des défis particuliers de l'évaluation est donc de savoir comment évaluer avec précision les structures en tenant compte des réelles dispositions constructives, propriétés des matériaux et tolérances d'exécution, et de l'état structural. La CEN/TS 17440 énonce des principes pour l'évaluation de la résistance structurale.

Souvent, une ancienne structure peut avoir besoin d'être modifiée, agrandie, réaménagée, renforcée ou rénovée d'une manière qui réutilise des éléments structuraux conservés en combinaison avec de nouveaux éléments structuraux. Dans de tels projets, il sera nécessaire d'évaluer les éléments conservés de la structure, sachant qu'ils pourraient ne pas être conformes à toutes les exigences du calcul d'un ouvrage neuf. La CEN/TS 17440 comprend des dispositions pour l'évaluation des éléments conservés, ainsi que pour l'évaluation des structures complètes.

Le présent document se fonde sur la recommandation du rapport scientifique et stratégique du Centre commun de recherche (JRC) sur l'évaluation et la rénovation des structures existantes. Avec l'accord du CEN/TC 250, le présent document peut devenir une nouvelle partie des Eurocodes.

Formes verbales utilisées dans la présente spécification technique

La forme verbale « doit » exprime une exigence à respecter strictement et à laquelle aucune dérogation n'est autorisée afin d'être conforme aux Eurocodes.

La forme verbale « il convient de » exprime un choix ou des dispositions fortement recommandés. Sous réserve de réglementation nationale et/ou de dispositions contractuelles applicables, des approches différentes pourraient être utilisées sur justification technique.

La forme verbale « il est permis de » exprime un ensemble de dispositions autorisées, conforme aux Eurocodes.

La forme verbale « peut » exprime une éventualité ou une aptitude ; elle est utilisée pour énoncer des faits et clarifier des concepts.

Annexe Nationale pour la CEN/TS 17440

Le présent document donne des valeurs avec des notes indiquant les points où des choix nationaux peuvent être faits. Par conséquent, un document national transposant la CEN/TS 17440 peut comporter une Annexe Nationale contenant tous les paramètres déterminés au niveau national à utiliser pour l'évaluation des bâtiments et des ouvrages de génie civil dans le pays concerné.

Un choix national est possible dans la CEN/TS 17440 aux paragraphes suivants :

4.1(1), 4.1(3), 4.4(2), 4.6(3), 5.3(1), 5.3(2), 5.3.(3), 6.1(2), 6.3(2), 7.1(5), 7.3.1(4), 7.3.8(1), 7.3.9(1), 7.3.9(2), 7.4.1.4(1), 9.2(1), 9.3(2), 9.3(3), 9.4(4), 9.4(5), 9.5(2), 10(1), D.3.1(1).

Un choix national est possible dans la CEN/TS 17440 en ce qui concerne l'usage des annexes informatives suivantes :

- Annexe A ;
- Annexe B ;
- Annexe C ;
- Annexe D.

1 Domaine d'application

1.1 Domaine d'application de la CEN/TS 17440

(1) Le présent document fournit des dispositions additionnelles ou modifiées par rapport à l'EN 1990 pour couvrir l'évaluation des structures existantes (voir l'EN 1990:2002, 1.1(4)), et des parties conservées des structures existantes qui sont modifiées, agrandies, renforcées ou rénovées.

NOTE 1 L'évaluation d'une structure existante diffère, à bien des égards, du calcul d'une nouvelle structure (voir l'Introduction).

NOTE 2 Il est possible que certains aspects de l'EN 1990 soient requis pour le calcul d'un ouvrage neuf mais ne soient pas applicables pour l'évaluation d'un ouvrage existant. La définition des aspects de l'EN 1990 qui ne sont pas applicables peut être incluse dans la définition des objectifs et de l'approche de l'évaluation (voir l'Article 5).

NOTE 3 Le présent document est basé sur les exigences générales et les principes de fiabilité structurale fournis dans les Eurocodes EN 1990 et EN 1991.

(2) Le présent document couvre pour une évaluation les principes généraux concernant les actions en complément de l'EN 1991.

NOTE Des dispositions complémentaires pour les actions sismiques dues aux séismes sont fournies dans l'EN 1998.

(3) Le présent document énonce les principes généraux pour l'évaluation de la résistance structurale des structures existantes.

NOTE Les modèles spécifiques utilisés pour évaluer la résistance ne sont pas fournis dans le présent document et dépendent des matériaux et des types de structure.

(4) Le présent document ne fournit pas de règles spécifiques pour le lancement d'une évaluation.

(5) Le présent document ne fournit pas de règles spécifiques sur la manière de réaliser les interventions pouvant être effectuées à la suite d'une évaluation.

(6) Le présent document ne couvre pas le calcul des nouveaux éléments qui seront intégrés dans une structure existante.

NOTE Pour le calcul des nouveaux éléments, voir l'EN 1990.

1.2 Hypothèses

(1) Les hypothèses générales de la CEN/TS 17440 sont les suivantes :

- l'évaluation de la structure est effectuée par un personnel suffisamment qualifié et expérimenté ;
- une surveillance et une maîtrise de la qualité adéquates sont assurées au cours du processus d'évaluation ;
- l'utilisation de la structure sera conforme aux hypothèses admises dans l'évaluation ;
- la maintenance de la structure sera conforme aux hypothèses admises dans l'évaluation.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

EN 1990:2002, *Eurocode — Bases de calcul des structures*.

EN 1991, *Eurocode 1 : Actions sur les structures*.

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'EN 1990 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes :

- IEC Electropedia : disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/> ;
- ISO Online browsing platform : disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>.

3.1.1

évaluation

ensemble d'activités réalisées afin de vérifier la fiabilité d'une structure existante

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.1 — modifiée]

3.1.2

situation à évaluer

conditions physiques qui pourraient être présentes pendant une période donnée, pour lesquelles l'évaluation vise à démontrer, avec une fiabilité suffisante, que les états-limites retenus ne sont pas dépassés

3.1.3

valeur d'évaluation

valeur d'une variable appliquée à l'analyse et à la vérification de la performance structurale d'une structure existante déterminée à partir d'une valeur caractéristique ou d'une autre valeur représentative combinée par des coefficients partiels et/ou des facteurs de conversion, ou aussi à partir de valeurs directement définies

3.1.4

dommage

changement défavorable dans l'état d'une structure qui peut avoir une incidence négative sur la performance structurale

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.2 — modifiée]

3.1.5**défaut**

défectuosité d'une structure résultant d'erreurs lors du calcul, de la réalisation, d'une intervention préalable ou d'un manque de maintenance

3.1.6**détérioration**

processus ayant une incidence négative sur la performance structurale, y compris la fiabilité, au fil du temps, par exemple dû à :

- des actions chimiques, physiques ou biologiques se produisant naturellement ;
- des actions répétées telles que celles provoquant une fatigue ;
- l'usure due à l'utilisation

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.3 — modifiée]

3.1.7**modèle de détérioration**

modèle mathématique qui décrit la performance structurale en fonction du temps, en tenant compte de la détérioration

3.1.8**structure existante**

structure qui existe physiquement (matériellement), y compris ses fondations et son sol

3.1.9**structure patrimoniale**

structure ou élément structural existant qui a été reconnu par les autorités compétentes pour sa valeur architecturale ou historique

Note 1 à l'article : Les structures patrimoniales peuvent comprendre toutes sortes de bâtiments, de ponts et d'ouvrages de génie civil, y compris leurs fondations.

3.1.10**inspection**

examen non destructif d'une structure et/ou de ses éléments réalisé sur place dans le but d'établir l'état actuel de la structure et d'actualiser l'information, le cas échéant

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.5 — modifiée]

3.1.11**investigation**

collecte et évaluation d'informations par l'inspection, la recherche documentaire, des mesures, des essais de matériaux, des essais de charge et d'autres essais

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.6 — modifiée]

3.1.12**essai de charge**

essai d'une structure ou d'une partie d'une structure par chargement pour évaluer son comportement ou ses propriétés, pour prédire ou déterminer sa capacité portante

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.7 — modifiée]

3.1.13

propriétés des matériaux

caractéristiques mécaniques, physiques ou chimiques des matériaux de construction

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.9 — modifiée]

3.1.14

essai de matériau

essai d'un matériau de construction pour évaluer ou prédire ses propriétés mécaniques, physiques ou chimiques

3.1.15

surveillance

observation ou mesure fréquente ou continue de l'état structural ou des actions

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.10 — modifiée]

3.1.16

période de référence

période choisie qui sert de base pour la détermination des valeurs des actions variables, des propriétés des matériaux en fonction du temps et de la fiabilité pertinente

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.11 — modifiée]

3.1.17

réhabilitation

intervention structurale (réparation, modernisation) visant à se conformer à la performance structurale requise

3.1.18

fiabilité

capacité d'une structure ou d'un élément structural à satisfaire aux exigences spécifiées au cours de sa durée d'utilisation résiduelle

[SOURCE : EN 1990:2002 — modifiée]

3.1.19

durée d'utilisation résiduelle

période pendant laquelle il est prévu/attendu qu'une structure existante fonctionne avec une maintenance planifiée

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.13 — modifiée]

3.1.20

performance structurale

mesure qualitative ou quantitative du comportement structural dans les circonstances prévues en termes de sécurité, d'aptitude au service, de durabilité ou de robustesse

3.1.21

niveau cible de fiabilité

valeur de la fiabilité qu'il est spécifié d'atteindre dans l'évaluation, indiquant qu'une structure est en mesure de satisfaire aux exigences spécifiées au cours de la durée d'utilisation résiduelle

3.1.22

actualisation

processus d'enrichissement des connaissances existantes par de nouvelles informations pour les besoins de l'évaluation

3.1.23**modernisation**

modifications apportées à une structure existante afin d'améliorer sa performance structurale

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.18]

3.1.24**dossier d'exploitation et de maintenance**

dossier contenant la ou les utilisations prévues pendant la durée d'utilisation résiduelle d'une structure existante et énumérant les conditions d'exploitation de la structure, y compris les exigences de maintenance, ainsi que les exigences de performance correspondantes

[SOURCE : ISO 13822:2010, 3.19 — modifiée]

3.2 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles suivants s'appliquent.

3.2.1 Lettres latines majuscules

E_a	valeur d'évaluation de l'effet des actions
$G_{k,j}$	valeur caractéristique d'une action permanente
P_{ft}	probabilité cible de défaillance pour une période de référence donnée
P_k	valeur caractéristique d'une action de précontrainte
$Q_{k,1}$	valeur caractéristique de l'action variable dominante
$Q_{k,i}$	valeur caractéristique des actions variables d'accompagnement
R_a	valeur d'évaluation de la résistance
V	coefficient de variation
$X_{k,i}$	valeurs caractéristiques des propriétés des matériaux ou des produits

3.2.2 Lettres latines minuscules

a_a	valeurs d'évaluation des données géométriques
k	période d'indépendance
n	période de référence
x_i	variable de base i
x_{ki}	valeur caractéristique de la variable de base x_i
x_{ai}	valeur d'évaluation de la variable de base x_i

3.2.3 Lettres grecques majuscules

ϕ	fonction de répartition de la loi normale
ϕ^{-1}	fonction de répartition inverse de la loi normale

3.2.4 Lettres grecques minuscules

α_E	coefficient de sensibilité pour l'effet de charge
α_R	coefficient de sensibilité pour la résistance
β_t	indice cible de fiabilité
γ_{ai}	coefficient partiel de la variable x_i
$\gamma_{g,j}$	coefficient partiel pour actions permanentes, tenant compte des écarts défavorables des valeurs des actions par rapport aux valeurs représentatives
$\gamma_{G,j}$	coefficient partiel pour actions permanentes, égal à $\gamma_{Sa}\gamma_{g,j}$
$\gamma_{m,i}$	coefficients partiels pour tenir compte de la possibilité d'écart défavorable de la propriété d'un matériau ou d'un produit par rapport à sa valeur caractéristique et de la partie aléatoire du facteur de conversion η
$\gamma_{M,i}$	coefficients partiels pour les propriétés des matériaux ou des produits, égaux à $\gamma_{Ra}\gamma_{m,i}$
γ_p	coefficient partiel pour actions de précontrainte, tenant compte des écarts défavorables des valeurs des actions par rapport aux valeurs représentatives
γ_P	coefficient partiel pour actions de précontrainte, égal à $\gamma_{Sa}\gamma_p$
$\gamma_{q,1}$	coefficient partiel pour l'action variable dominante, tenant compte des écarts défavorables des valeurs des actions par rapport aux valeurs représentatives
$\gamma_{q,i}$	coefficient partiel pour actions variables d'accompagnement, tenant compte des écarts défavorables des valeurs des actions par rapport aux valeurs représentatives
$\gamma_{Q,1}$	coefficient partiel pour l'action variable dominante, égal à $\gamma_{Sa}\gamma_{q,1}$
$\gamma_{Q,i}$	coefficient partiel pour actions variables d'accompagnement, égal à $\gamma_{Sa}\gamma_{q,i}$
γ_{Ra}	coefficient partiel d'évaluation (correspondant à γ_{Rd} pour le calcul des ouvrages neufs) qui couvre l'incertitude du modèle de résistance, et les écarts géométriques si ces derniers ne sont pas modélisés de manière explicite
γ_{Sa}	coefficient partiel d'évaluation (correspondant à γ_{Sd} pour le calcul des ouvrages neufs) tenant compte d'incertitudes dans la modélisation des effets des actions ou, dans certains cas, dans la modélisation des actions
η_i	valeurs moyennes des facteurs de conversion, tenant compte des effets de volume et d'échelle, des effets de l'humidité et de la température et d'autres paramètres s'il y a lieu, qui peuvent dans certains cas être incorporées dans $\gamma_{M,i}$ ou incluses dans $X_{k,i}$
μ_{X_i}	moyenne de la variable de base x_i
σ_{X_i}	écart-type de la variable de base x_i
$\psi_{0,i}$	coefficients de combinaison pour l'évaluation, associés aux actions variables d'accompagnement

4 Principes d'évaluation

4.1 Gestion de la fiabilité

(1) Lors de l'évaluation d'une structure existante, il doit être vérifié si le niveau de fiabilité de la structure est adéquat.

NOTE 1 Pour l'évaluation des structures existantes, la valeur cible de l'indice de fiabilité β_t pour une période de référence, peut être fixée par l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Lors de l'évaluation d'une structure existante, la fiabilité cible n'est pas nécessairement la même que pour le calcul d'une nouvelle structure.

NOTE 3 Des informations complémentaires concernant les niveaux cibles de fiabilité sont données à l'Annexe C.

(2) Différents niveaux de fiabilité peuvent être adoptés pour l'évaluation de la sécurité structurale et de l'aptitude au service.

(3) Lors de l'évaluation d'une structure existante, il convient d'identifier les risques associés à un endommagement de la structure disproportionné par rapport à la cause initiale, par des événements tels qu'une explosion, un choc, les conséquences d'erreurs humaines ou d'autres événements imprévus.

NOTE L'Annexe Nationale applicable dans un pays peut définir les exigences d'un pays relatives à l'identification et à la maîtrise des risques associés à l'endommagement de la structure dans une mesure disproportionnée par rapport à la cause initiale.

4.2 Méthodes d'évaluation

(1) La méthode d'évaluation d'une structure existante aux états-limites pertinents doit être :

- une évaluation par le calcul ; ou
- une évaluation basée sur les performances passées.

NOTE 1 Pour une évaluation par le calcul, voir l'Article 6.

NOTE 2 Pour une évaluation basée sur les performances passées, voir l'Article 10.

NOTE 3 Le recours aux essais et à la surveillance peut faire partie de l'évaluation selon l'une ou l'autre des méthodes d'évaluation (voir 7.4, 8.4 et Annexe B).

(2) Il convient que la méthode d'évaluation aux états-limites pertinents soit convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

4.3 Situations à évaluer

(1) Les situations à évaluer pertinentes pour la structure et son évaluation doivent couvrir les conditions critiques et les dangers qui sont raisonnablement prévisibles pour la durée d'utilisation résiduelle de la structure.

(2) Les situations à évaluer doivent être classées de la manière suivante :

- situation durable à évaluer (qui se réfère à l'évaluation de la structure selon les conditions normales d'utilisation pour la durée d'utilisation résiduelle) ;
- situation transitoire à évaluer (qui se réfère à des conditions temporaires, par exemple au cours d'interventions ou de modifications sur la structure) ;
- situation accidentelle à évaluer (qui se réfère à des actions accidentelles telles qu'un choc, une explosion, un incendie).

4.4 Utilisation des informations disponibles

(1) Il convient que les informations disponibles provenant du calcul et de la réalisation d'origine, des inspections effectuées au cours de la durée d'utilisation passée, et de l'étude de l'état existant et autres investigations structurales, soient prises en considération pour l'évaluation d'une structure existante.

NOTE 1 Concernant l'étude de l'état existant et les autres investigations structurales, voir 5.5.

NOTE 2 Concernant la détermination des variables de base à partir des informations disponibles, voir l'Article 7.

NOTE 3 Les points particuliers à prendre en compte pour vérifier l'exhaustivité et l'exactitude des informations disponibles peuvent inclure : toute intervention antérieure ; les signes d'événements environnementaux, sismiques ou d'autres événements extrêmes notables dans le passé ; les changements dans l'état du sol ; et l'influence des mécanismes de détérioration.

(2) Les documents nationaux pertinents qui étaient applicables lors de la conception de la structure peuvent être utilisés pour renseigner les valeurs de certaines variables de base de l'évaluation (telles que les propriétés des matériaux ou des produits, les valeurs de précontrainte initiales, les pertes de précontrainte, etc.).

NOTE La liste des documents nationaux pertinents peut être définie par l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

4.5 Actualisation des informations disponibles

(1) Les valeurs des variables de base peuvent être actualisées conformément à l'Article 7.

NOTE L'actualisation des variables de base peut permettre d'améliorer les résultats de l'évaluation en éliminant des hypothèses conservatives.

(2) Le modèle d'analyse structurale peut être actualisé conformément à l'Article 8.

4.6 Structures constituées de nouveaux éléments et d'éléments conservés

(1) Pour les projets dans lesquels de nouveaux éléments structuraux doivent être combinés avec des parties conservées d'une structure existante, il convient que le calcul des nouveaux éléments structuraux soit effectué conformément à l'EN 1990, l'EN 1991 et aux Eurocodes pertinents relatifs aux matériaux.

(2) Pour les projets dans lesquels de nouveaux éléments structuraux doivent être combinés avec des parties conservées d'une structure existante, l'évaluation des éléments conservés doit se faire conformément au présent document.

NOTE 1 La détermination des éléments conservés à évaluer est couverte en 5.3.

NOTE 2 L'évaluation peut considérer les étapes intermédiaires de la construction comme des situations transitoires à évaluer ainsi que la situation durable à évaluer de la structure achevée (voir 4.3).

(3) Il convient que l'approche de la vérification d'une structure entière comprenant des éléments nouveaux et des éléments conservés, y compris la coordination entre le calcul des nouveaux éléments et l'évaluation des éléments conservés, le niveau cible de fiabilité, la durée d'utilisation prévue au projet, les exigences de durabilité et la philosophie de calcul des interfaces, soit telle que spécifiée par l'autorité compétente ou, à défaut, convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE Les exigences minimales relatives à la vérification d'une structure entière comprenant des éléments nouveaux et des éléments conservés peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

4.7 Évaluation des structures patrimoniales

(1) Lors de l'évaluation des structures patrimoniales à portée culturelle et des structures existantes qui revêtent une importance sociétale, il convient que la performance structurale et la valeur patrimoniale soient toutes deux prises en compte dans l'évaluation et les décisions impliquant de possibles interventions structurales.

NOTE Des recommandations pour l'évaluation des structures patrimoniales sont fournies à l'Annexe D.

5 Processus d'évaluation

5.1 Généralités

(1) Il convient de procéder à l'évaluation d'une structure en suivant un processus par étapes avec des niveaux de détail et de précision croissants, comme spécifié par l'autorité compétente ou, à défaut, comme convenu pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE 1 En règle générale, le processus d'évaluation peut comprendre : le lancement de l'évaluation (voir 5.2) ; la définition du périmètre et des objectifs de l'évaluation (voir 5.3) ; l'élaboration de l'approche de l'évaluation (voir 5.4) ; l'établissement de l'état structural (voir 5.5), la réalisation de l'évaluation (voir 5.6) et la fourniture d'un rapport des résultats de l'évaluation (voir 5.7).

NOTE 2 Le processus d'évaluation est illustré à l'Annexe A.

NOTE 3 Le processus présenté à l'Article 5 peut être appliqué à la fois à l'évaluation d'une structure spécifique et à l'évaluation d'un ensemble de structures.

(2) Lorsque, à une étape quelconque du processus d'évaluation, la structure semble se trouver dans une situation présentant un niveau de risque qui pourrait nécessiter une intervention immédiate pour rétablir la sécurité, l'autorité compétente ou les parties concernées doivent en être informées afin que les mesures d'atténuation pertinentes (voir Article 11) puissent être mises en œuvre immédiatement.

5.2 Lancement de l'évaluation

(1) Il convient que les décisions relatives au lancement des évaluations structurales soient telles que spécifiées par l'autorité compétente ou, à défaut, convenues pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE L'évaluation des structures existantes peut être initiée dans diverses circonstances telles que :

- un changement prévu d'utilisation ou une prolongation de la durée d'utilisation prévue au projet ;
- des changements apportés au système structural (par exemple, rénovation, modifications, agrandissement de la structure) ;
- un changement de charges ;
- une évaluation programmée dans le cadre d'un programme de gestion d'actifs ;
- une détérioration structurale due à des actions s'inscrivant dans le temps (par exemple corrosion, fatigue) ;
- des dommages structuraux causés par des événements accidentels, des événements sismiques, des surcharges ; ou induits par d'autres changements de conditions (par exemple, des tassements) ;
- des défauts résultant d'erreurs précédemment non détectées lors du calcul ou de la construction.

5.3 Définition du périmètre et des objectifs de l'évaluation

(1) Il convient que l'étendue de la structure à évaluer soit celle convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE Les exigences minimales relatives à l'étendue des structures à évaluer peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(2) Il convient que soient établies et consignées les conditions et les exigences relatives à l'utilisation de la structure et à son comportement pendant la durée d'utilisation résiduelle, y compris les informations suivantes :

- l'utilisation prévue ;
- la durée d'utilisation résiduelle ;
- les objectifs de performance concernant la sécurité structurale, l'aptitude au service, la durabilité ou la robustesse si nécessaire ;
- les conditions d'exploitation ;
- les exigences d'inspection et de maintenance.

NOTE 1 Les exigences minimales relatives à l'utilisation des structures et à leur comportement pendant la durée d'utilisation résiduelle peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Le dossier d'exploitation et de maintenance peut être utilisé pour consigner les conditions et les exigences relatives à l'utilisation de la structure.

NOTE 3 Les conditions d'exploitation peuvent inclure : la vitesse maximale du vent en service, la protection contre les influences environnementales, etc.

NOTE 4 Les exigences d'inspection et de maintenance peuvent inclure : la surveillance, l'application de revêtements de protection, etc.

(3) Il convient que les conditions et les exigences relatives à l'utilisation d'une structure existante et à son comportement soient transformées en objectifs d'évaluation et consignées, y compris les informations suivantes :

- les actions à inclure dans l'évaluation ;
- les situations à évaluer à prendre en considération pour la structure, y compris celles qui sont liées à d'éventuels changements dans l'état structural ou les actions ;
- les exigences relatives aux états-limites à évaluer (par exemple, les exigences concernant la sécurité structurale, l'aptitude au service, la durabilité ou la robustesse) et les méthodes d'évaluation pour les états-limites pertinents ;
- les risques acceptés sans aucune contre-mesure (par exemple, des risques relativement faibles) ;
- les dispositions de calcul de l'EN 1990 qui peuvent ne pas être respectées pour l'évaluation, le cas échéant ;
- le format de description du résultat de l'évaluation.

NOTE 1 Les exigences minimales relatives aux objectifs d'évaluation peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Les critères permettant de déterminer la nécessité d'évaluer l'aptitude au service peuvent être définis dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 3 L'évaluation des états-limites de service par le calcul peut fournir des informations utiles pour un projet spécifique, par exemple : (i) lors de l'évaluation d'un changement d'utilisation ; (ii) lors de l'examen de problèmes d'aptitude au service existants ; (iii) lorsque l'évaluation de la sécurité structurale repose sur le respect de critères particuliers d'aptitude au service.

NOTE 4 Concernant les situations à évaluer, voir 4.3.

NOTE 5 Concernant les méthodes d'évaluation, voir 4.2.

(4) Il convient que les objectifs de l'évaluation d'une structure existante intègrent toutes les exigences spécifiées par l'autorité compétente ou, à défaut, convenues pour un projet spécifique par les parties concernées.

5.4 Élaboration de l'approche de l'évaluation

(1) L'approche générale à suivre pour l'évaluation doit être élaborée et consignée, notamment :

- la méthode d'évaluation (voir 4.2) ;
- l'approche adoptée pour évaluer les effets de l'état structural et de la détérioration (voir 5.4(2)) ;
- les hypothèses et les données à utiliser dans l'évaluation ;
- la méthode d'analyse structurale (voir 8.3) ;
- l'approche adoptée pour évaluer les effets du processus de construction et des modifications ultérieures de la structure, le cas échéant.

NOTE Un processus itératif peut être utilisé pour élaborer et consigner l'approche de l'évaluation, par exemple lorsque l'approche est élaborée pour une évaluation détaillée après une évaluation préliminaire (voir 5.6.2).

(2) Il convient que l'approche générale pour intégrer les effets de l'état structural et de la détérioration dans l'évaluation soit convenue pour un projet spécifique avec les parties concernées.

NOTE 1 Les approches permettant d'évaluer les effets de l'état structural peuvent comprendre :

- l'évaluation de la structure dans son état actuel ;
- l'évaluation de la structure dans son état actuel et dans son état futur anticipé pour sa durée d'utilisation résiduelle.

NOTE 2 L'approche adoptée pour évaluer les effets de l'état peut dépendre de la stratégie de gestion de la structure et du risque de détérioration future.

5.5 Établissement de l'état structural

5.5.1 Généralités

(1) L'état réel de la structure, y compris les mécanismes de détérioration continue et les défauts existants, doit être établi en tenant compte de toutes les informations disponibles, y compris l'expérience antérieure de structures comparables.

NOTE Voir 4.4 pour l'utilisation des informations disponibles et 4.5 pour l'actualisation des informations disponibles.

5.5.2 Étude de l'état existant

(1) Une étude de l'état existant de la structure doit être réalisée pour actualiser les connaissances sur son état, ses principales dimensions et ses conditions aux limites en ce qui concerne les aspects importants pour le comportement structural et la fiabilité.

NOTE 1 Le but d'une étude de l'état existant est généralement d'actualiser les connaissances sur l'état de la structure ainsi que de vérifier l'exactitude des informations contenues dans le dossier des ouvrages exécutés. Cela concerne principalement les éléments structuraux qui influencent de manière décisive le comportement du système.

NOTE 2 Des inspections visuelles sont généralement effectuées pour vérifier l'exhaustivité et l'exactitude des informations disponibles, et elles peuvent être complétées par des inspections quantitatives, des mesures et des essais ainsi que des inspections détaillées pour mieux caractériser la performance structurale.

(2) Dans les structures sensibles à la fatigue, il convient d'examiner les détails critiques vis-à-vis de la fatigue.

5.5.3 Autres investigations structurales

(1) Au besoin, il convient que l'étude de l'état existant soit suivie d'autres investigations structurales (c'est-à-dire d'autres inspections, mesures et essais) afin d'actualiser les variables de base de l'évaluation ou de vérifier et d'améliorer les hypothèses de l'analyse structurale.

NOTE Voir l'Article 7 pour l'actualisation des variables de base de l'évaluation et 8.4 pour les essais et la surveillance dans le cadre de l'analyse structurale.

5.5.4 Planification

(1) Il convient que l'étude de l'état existant et les autres investigations structurales à effectuer soient spécifiées en tenant compte du type de structure, des informations disponibles et des informations requises.

(2) Il convient que les objectifs de toute étude de l'état existant et autre investigation structurale soient clairement définis.

(3) Les techniques d'acquisition des données doivent posséder une résolution et une précision suffisantes pour fournir des données utiles à l'évaluation.

5.5.5 Mise en œuvre

(1) Il convient que l'étude de l'état existant et les autres investigations structurales soient effectuées conformément aux plans existants et aux normes pertinentes.

(2) Il convient d'éviter les modes opératoires et les méthodes susceptibles de compromettre la fiabilité structurale.

5.5.6 Évaluation

(1) Il convient que la méthode d'évaluation des résultats de l'étude de l'état existant et des autres investigations structurales soit telle que spécifiée par les autorités compétentes ou convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE Des effets structuraux ou non structuraux (par exemple, l'influence des variations de température sur l'instrumentation, la contribution des éléments secondaires aux mécanismes de report de charge) peuvent affecter les résultats des mesures ou des essais.

(2) Lorsque les résultats d'investigations structurales portant sur un élément ou une partie d'une structure sont appliqués à d'autres éléments ou parties similaires de la structure, il convient que les méthodes soient telles que spécifiées par les autorités compétentes ou convenues pour un projet spécifique par les parties concernées.

(3) Il convient d'évaluer les résultats de l'étude de l'état existant et des autres investigations structurales sur la base de méthodes statistiques, lorsque cela est pertinent.

(4) Il convient de combiner les données obtenues sur le site avec les informations préalables correspondantes pour actualiser les propriétés et les estimations de la fiabilité.

NOTE Des informations sur les procédures d'actualisation des variables de base sont données à l'Article 7 et l'Annexe B.

(5) Il convient que les observations et les résultats d'une étude de l'état existant ou d'autres investigations structurales soient utilisés par la suite pour :

- obtenir des informations sur les actions et les influences liées à l'exposition de la structure (voir 8.3) ;
- actualiser les informations requises pour la modélisation et l'analyse structurales (voir Article 8) ;
- vérifier la validité des situations à évaluer définies pour l'évaluation (voir 4.3) ;
- recommander des interventions pertinentes (voir Article 11).

5.6 Réalisation de l'évaluation

5.6.1 Évaluation préliminaire

(1) Une évaluation préliminaire doit être réalisée, sauf dans des cas particuliers où il est convenu avec les parties concernées de procéder directement à une évaluation détaillée d'une structure spécifique.

(2) Il convient que les objectifs et l'approche de l'évaluation préliminaire soient convenus pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE 1 L'objet d'une évaluation préliminaire peut être d'utiliser des méthodes conservatives pour démontrer efficacement l'adéquation de la structure ou d'une partie de celle-ci, ou de déterminer le périmètre, les objectifs et l'approche d'une évaluation détaillée ultérieure.

NOTE 2 Une évaluation préliminaire peut comprendre :

- l'étude de la documentation pertinente ;
- l'évaluation des résultats de l'étude de l'état existant ;
- une analyse structurale et des vérifications préliminaires ;
- des recommandations sur les interventions immédiates (voir 11.2) ;
- d'autres recommandations telles que des interventions futures potentielles ou la nécessité d'une évaluation détaillée.

5.6.2 Évaluation détaillée

(1) Il convient de procéder à une évaluation détaillée après l'évaluation préliminaire lorsque cette dernière n'a pas démontré l'adéquation recherchée et lorsque cela a été convenu avec les parties concernées pour une structure spécifique.

(2) Lorsqu'une évaluation détaillée est effectuée, il convient que les objectifs et l'approche soient convenus pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE 1 En général, l'évaluation détaillée est effectuée pour affiner les résultats de l'évaluation préliminaire ou pour recueillir davantage d'informations si nécessaire. Son périmètre et son étendue peuvent dépendre des résultats de l'évaluation préliminaire.

NOTE 2 Une évaluation détaillée peut comprendre :

- une recherche et une revue documentaires détaillées ;
- d'autres investigations structurales afin d'actualiser les informations concernant le système structural, sa géométrie, les actions et les influences, y compris les éventuels mécanismes d'endommagement et de détérioration, les propriétés des matériaux, l'état du sol, etc. ;
- une analyse structurale et des vérifications, y compris la comparaison avec les données de surveillance, si elles sont disponibles ;
- des recommandations sur les interventions immédiates (voir 11.2) ;
- d'autres recommandations telles que la nécessité d'étapes d'évaluation supplémentaires, des interventions futures possibles, l'utilisation future de la structure.

5.6.3 Contrôle de la vraisemblance

(1) Il convient que les conclusions de l'évaluation soient vérifiées par un contrôle de la vraisemblance lorsqu'il existe des incohérences significatives entre les résultats de l'évaluation et le comportement réel de la structure.

5.7 Rapport des résultats de l'évaluation

(1) Les résultats de l'évaluation doivent être documentés et consignés dans un rapport.

NOTE La documentation des résultats de l'évaluation comprend généralement les informations suivantes :

- périmètre de l'évaluation ;
- description de la structure ;
- base de l'évaluation ;
- investigations réalisées ;
- analyse, vérifications et interprétation des résultats ;
- conclusions et recommandations ;
- revue des options d'intervention (voir Article 11).

(2) Il convient que le rapport d'évaluation indique clairement si des interventions sont nécessaires, par exemple lorsque la fiabilité évaluée est insuffisante.

6 Évaluation par le calcul

6.1 Généralités

(1) Lorsqu'une évaluation par le calcul est effectuée, les effets des actions d'évaluation et les résistances d'évaluation doivent être calculés pour les états-limites et les situations à évaluer.

NOTE Concernant la définition du périmètre et des objectifs de l'évaluation, voir 5.3.

(2) Les règles relatives aux combinaisons d'actions doivent être cohérentes avec les situations à évaluer pertinentes pour la structure et son évaluation.

NOTE 1 Les règles relatives aux combinaisons d'actions pour les situations à évaluer peuvent être fournies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Les règles relatives aux combinaisons d'actions pour les situations à évaluer peuvent être différentes de celles utilisées pour les situations de projet.

NOTE 3 Les règles relatives aux combinaisons d'actions pour la situation transitoire à évaluer sont souvent spécifiques à un projet.

6.2 Évaluation des effets des actions

(1) Lorsqu'une évaluation est fondée sur des calculs, les effets des actions d'évaluation doivent être déterminés à partir des éléments suivants :

- les variables de base conformément à l'Article 7 ;
- une modélisation et une analyse structurales conformes à l'Article 8 ;
- les règles relatives à la méthode de vérification choisie conformément à l'Article 9.

6.3 Évaluation des résistances

(1) Lorsqu'une évaluation est fondée sur des calculs, la résistance d'évaluation doit être déterminée à partir des éléments suivants :

- les variables de base conformément à l'Article 7 ;
- une modélisation et une analyse structurales conformes à l'Article 8 ;
- les règles relatives à la méthode de vérification choisie conformément à l'Article 9 ;
- des modèles de calcul compatibles avec les propriétés des matériaux, les dispositions constructives, les tolérances d'exécution et l'état structural de la structure existante.

NOTE Les structures qui ont été conçues et construites selon d'anciennes normes peuvent avoir des propriétés des matériaux, des dispositions constructives et des tolérances d'exécution qui ne sont pas conformes aux normes modernes. Certains modèles de calcul utilisés pour concevoir la résistance structurale de nouveaux éléments peuvent implicitement ou explicitement reposer sur le respect de ces propriétés.

(2) Les Eurocodes axés sur les matériaux peuvent être utilisés pour évaluer la résistance structurale des structures en bon état dont les propriétés des matériaux, les dispositions constructives et les tolérances d'exécution satisfont aux exigences des Eurocodes respectifs et des normes de produits et d'exécution associées.

NOTE 1 L'approche de l'évaluation de la résistance structurale des :

- structures qui n'entrent pas dans le domaine d'application des Eurocodes ;
- structures qui ne satisfont pas aux exigences des Eurocodes respectifs axés sur les matériaux (et des normes de produits et d'exécution associées) en ce qui concerne les propriétés des matériaux, les dispositions constructives et les tolérances d'exécution ;
- structures présentant des signes de détérioration ;
- peut être fournie dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Les structures qui ne sont pas conformes aux normes de calcul ne sont pas nécessairement dangereuses. L'utilisation de modèles d'évaluation qui tiennent explicitement compte des déficiences peut être particulièrement utile pour évaluer avec précision la résistance des structures existantes.

(3) La résistance structurale doit être évaluée sur une base compatible avec :

- l'approche adoptée pour les effets des actions d'évaluation correspondantes ; et
- la fiabilité cible.

6.4 Vérifications

(1) L'évaluation par le calcul doit comprendre des vérifications d'évaluation conformément à l'Article 9.

7 Variables de base et actualisation

7.1 Généralités

(1) Les variables de base nécessaires à une évaluation doivent inclure :

- les données géométriques ;
- les actions et les influences environnementales ;
- les propriétés des matériaux et des produits.

(2) Les valeurs des variables de base peuvent, dans un premier temps, être fondées sur les informations préalables disponibles tirées des sources suivantes :

- les documents du dossier des ouvrages exécutés ;
- les codes et les normes en vigueur au moment de la construction ;
- les données des fabricants et la littérature sur les produits.

(3) Il convient que les valeurs des variables de base tiennent compte de l'état observé de la structure et des autres informations obtenues lors de l'étude de l'état existant.

NOTE Les effets de l'état peuvent être pris en compte dans les valeurs des variables de base telles que l'épaisseur des éléments ou les propriétés des matériaux ; dans la modélisation de l'analyse structurale (voir Article 8) ; et dans les modèles de résistance structurale (voir 6.3).

(4) Les valeurs et les distributions des variables de base peuvent être actualisées par rapport aux informations préalables sur la base des données spécifiques au site obtenues à partir :

- d'échantillons de valeurs mesurées pour les variables de base de la structure ;
- des mesures de la performance de la structure.

NOTE Une procédure d'actualisation est décrite à l'Annexe B.

(5) Les valeurs caractéristiques des variables de base spécifiques à la structure peuvent être basées sur :

- les données d'échantillonnage spécifiques à la structure ; ou
- les données d'échantillonnage spécifiques à la structure combinées à des paramètres statistiques connus décrivant la distribution et/ou la variabilité des variables de base déterminées à partir d'une population de structures comparables.

NOTE 1 L'EN 1990:2002, Annexe D contient les méthodes de détermination des valeurs caractéristiques des variables de base.

NOTE 2 Les méthodes de détermination des valeurs caractéristiques des variables de base spécifiques à la structure peuvent être incluses dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(6) Lorsque les données sont obtenues à partir de la structure par échantillonnage, il convient que la méthodologie d'acquisition des données soit élaborée sur la base suivante :

- investigation des variables qui sont importantes pour l'évaluation ;
- échantillonnage à des endroits représentatifs pour les éléments évalués ;
- une taille d'échantillon qui fournit une base statistiquement significative et représentative pour l'actualisation des paramètres ;
- des méthodes d'échantillonnage qui peuvent être appliquées en toute sécurité ;
- réparation de la structure suite à l'enlèvement éventuel des matériaux à échantillonner ;
- des modalités d'essai qui fournissent des données représentatives pour l'évaluation.

(7) Il convient que les valeurs des variables de base soient cohérentes avec la période de référence de l'évaluation.

7.2 Données géométriques

(1) La géométrie de la structure et de ses éléments peut être fondée sur les informations disponibles dans les documents d'exécution, les dimensions essentielles étant vérifiées par des mesures.

NOTE Voir aussi 5.5.2 concernant l'étude de l'état existant.

(2) En cas de doute sur la validité des données géométriques contenues dans les documents d'exécution ou en l'absence d'informations, il convient que la géométrie soit établie par une investigation et une étude complémentaires.

7.3 Actions et influences environnementales

7.3.1 Poids propre des structures et actions permanentes dues au poids des matériaux non structuraux

(1) Le poids propre des structures et les actions permanentes dues au poids des matériaux non structuraux doivent être basés sur les données géométriques et les masses volumiques des matériaux.

(2) Les masses volumiques des matériaux peuvent être fondées sur l'examen des informations préalables.

NOTE Les masses volumiques typiques sont fournies dans l'EN 1991-1-1.

(3) Le poids propre des structures et les actions permanentes dues au poids des matériaux non structuraux peuvent être actualisés en fonction des données recueillies par le biais d'essais et d'études.

(4) Lorsqu'il est anticipé que les actions permanentes sont susceptibles d'augmenter pendant la durée d'utilisation résiduelle (par exemple, l'action permanente due au poids du revêtement des ponts), il convient que les augmentations prévues soient prises en compte dans les valeurs d'évaluation pertinentes des actions.

NOTE L'approche à adopter peut être fournie dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

7.3.2 Déformations imposées

(1) Lorsque les résultats de l'évaluation sont sensibles aux déformations imposées, il convient que l'ampleur des déformations soit modélisée ou établie par une étude.

(2) Lorsque la capacité de déformation de la structure et de ses éléments est suffisante pour que des déformations se produisent sans perte de résistance structurale, les effets des déformations imposées peuvent être omis à l'ELU.

NOTE Les règles relatives à l'évaluation de la capacité de déformation sont données dans les Eurocodes axés sur les matériaux.

7.3.3 Précontrainte

(1) Il convient d'évaluer les forces de précontrainte en fonction de la précontrainte initiale et de toutes les pertes de précontrainte qui sont prévisibles en raison de l'âge de la structure.

(2) Il convient que la précontrainte initiale soit déterminée à partir des informations préalables disponibles (telles que les données des fabricants et les documents d'exécution).

NOTE Voir aussi 4.4 concernant l'utilisation des informations disponibles.

(3) Il convient d'évaluer les pertes de précontrainte dans le béton précontraint sur la base des modèles de l'EN 1992 et des informations préalables (telles que les données des fabricants et les documents d'exécution).

(4) Lorsque des données provenant d'investigations et d'essais sont disponibles, les valeurs actualisées des forces de précontrainte peuvent être estimées, en tenant compte de l'incertitude des méthodes utilisées.

7.3.4 Charges imposées sur les bâtiments

(1) Les charges imposées sur les bâtiments peuvent être évaluées à l'aide de l'EN 1991-1-1.

(2) Les valeurs actualisées des charges imposées sur les bâtiments peuvent être évaluées sur la base de l'utilisation réelle et de l'utilisation prévue pendant la durée d'utilisation résiduelle, comme spécifié par l'autorité compétente ou, à défaut, comme convenu pour un projet spécifique par les parties concernées.

(3) Lorsqu'il existe des restrictions d'exploitation qui limitent la charge imposée pendant la durée d'utilisation résiduelle, les valeurs des charges peuvent être évaluées en fonction des restrictions d'exploitation convenues par les parties concernées pour un projet spécifique.

NOTE Le dossier d'exploitation et de maintenance peut être utilisé pour établir les limites de chargement et d'utilisation.

7.3.5 Charges exercées par la neige

(1) Il convient que les charges exercées par la neige soient évaluées à l'aide de l'EN 1991-1-3.

(2) Lorsque des mesures efficaces sont en place pour limiter les charges exercées par la neige pendant la durée d'utilisation résiduelle, les valeurs des charges peuvent être évaluées en fonction des limites effectives si les parties concernées en conviennent pour un projet spécifique.

NOTE Le dossier d'exploitation et de maintenance peut faire état des mesures adoptées pour s'assurer que les hypothèses se vérifient concernant la réduction des charges exercées par la neige sur les toits.

(3) Lorsqu'il existe des données spécifiques au site couvrant une période suffisamment longue pour permettre d'estimer la distribution de probabilité des charges exercées par la neige sur la durée d'utilisation résiduelle, les valeurs des charges exercées par la neige peuvent être actualisées sur la base d'une analyse statistique si les parties concernées en conviennent pour un projet spécifique.

NOTE L'actualisation des charges exercées par la neige peut inclure l'actualisation des charges exercées par la neige au sol et/ou l'actualisation des coefficients de forme, d'exposition et thermiques des charges exercées par la neige sur les toits.

7.3.6 Actions du vent

(1) Il convient que les actions du vent soient évaluées à l'aide de l'EN 1991-1-4.

(2) Lorsqu'il existe des données spécifiques au site couvrant une période suffisamment longue pour permettre d'estimer la distribution de probabilité de la vitesse du vent sur la durée d'utilisation résiduelle, les valeurs de la vitesse du vent peuvent être actualisées sur la base d'une analyse statistique si les parties concernées en conviennent pour un projet spécifique.

(3) Des mesures ou une modélisation locales peuvent être utilisées pour actualiser les effets de l'orographie, de la rugosité du terrain et du caractère directionnel du vent.

NOTE Voir aussi l'EN 1991-1-4.

(4) Les coefficients de pression et de force caractérisant les charges exercées par le vent sur une structure ou un élément structural peuvent être actualisés au moyen :

- d'essais en soufflerie ;
- d'essais en soufflerie combinés à la dynamique des fluides assistée par ordinateur.

NOTE Voir aussi l'EN 1991-1-4.

7.3.7 Actions thermiques

(1) Il convient que les actions thermiques soient évaluées à l'aide de l'EN 1991-1-5.

(2) Lorsqu'il existe des données spécifiques au site couvrant une période suffisamment longue pour permettre d'estimer la distribution de probabilité des actions thermiques sur la durée d'utilisation résiduelle, les valeurs des actions thermiques peuvent être actualisées sur la base d'une analyse statistique si les parties concernées en conviennent pour un projet spécifique.

(3) Lorsque la capacité de déformation de la structure et de ses éléments est suffisante pour que des déformations thermiques se produisent, les effets des actions thermiques peuvent être omis à l'ELU.

NOTE Les règles relatives à l'évaluation de la capacité de déformation sont données dans les Eurocodes axés sur les matériaux.

7.3.8 Actions accidentelles

(1) Lorsque l'évaluation comprend des situations accidentelles à évaluer, il convient que les actions accidentelles soient évaluées à l'aide de l'EN 1991-1-7.

NOTE 1 Les exigences relatives à l'évaluation des actions accidentelles peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Voir 5.3 concernant la définition du périmètre et des objectifs de l'évaluation.

(2) Les parties concernées peuvent convenir des actions accidentelles à évaluer pour un projet spécifique en se fondant sur :

- les mesures de prévention ou d'atténuation ;
- la probabilité d'occurrence de l'action ;
- les conséquences d'une défaillance structurale due à l'action ;
- le risque acceptable.

7.3.9 Charges de trafic sur les ponts

(1) Il convient que les charges de trafic sur les ponts soient évaluées à l'aide de l'EN 1991-2.

NOTE D'autres modèles de charges de trafic peuvent être définis pour l'évaluation par l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(2) Lorsqu'il existe des restrictions d'exploitation qui limitent les charges de trafic pendant la durée d'utilisation résiduelle, les valeurs des charges peuvent être évaluées en fonction des restrictions d'exploitation, en tenant compte de la surcharge possible de véhicules et du trafic prévu dans le futur.

NOTE 1 Des modèles de charges exercées par un trafic restreint et des coefficients de surcharge peuvent être inclus dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Le dossier d'exploitation et de maintenance peut être utilisé pour établir les limites de chargement et d'utilisation.

(3) Lorsqu'il existe suffisamment de données spécifiques au site, les charges à évaluer exercées par le trafic peuvent être actualisées sur la base d'une analyse statistique des données spécifiques au site.

(4) Il convient que les modèles de charges exercées par le trafic ferroviaire spécifiques à un site soient tels que spécifiés par les autorités compétentes ou convenus pour un projet spécifique par les parties concernées, y compris les caractéristiques du trafic ferroviaire et l'effet de la qualité de la voie sur le chargement.

NOTE Les caractéristiques du trafic ferroviaire, dont dépendent les modèles de charges destinés à l'évaluation, peuvent être établies dans le dossier d'exploitation et de maintenance.

7.3.10 Actions géotechniques

(1) Lorsque les structures affectées par les actions géotechniques sont évaluées par le calcul, il convient que les actions géotechniques soient évaluées à l'aide de l'EN 1997.

(2) Il convient d'évaluer les actions géotechniques, y compris, le cas échéant, les effets des changements dans l'état du sol depuis la construction.

(3) Il convient d'évaluer les actions géotechniques, y compris, le cas échéant, les changements prévisibles dans l'état du sol pendant la durée d'utilisation résiduelle.

NOTE Les changements prévisibles dans l'état du sol peuvent être associés à la modification prévue d'une structure, à un changement d'utilisation ou à des changements hydrologiques.

7.3.11 Influences environnementales

(1) Les influences environnementales de nature physique, chimique ou biologique qui induisent des mécanismes de détérioration affectant les propriétés des matériaux ou la performance d'une structure existante doivent être prises en compte, le cas échéant.

(2) Il convient d'évaluer, le cas échéant, les changements prévus dans les influences environnementales.

NOTE Des changements dans les influences environnementales peuvent parfois être anticipés sur les parties conservées d'une structure existante dans le cadre d'un plan de modification.

7.4 Propriétés des matériaux et des produits

7.4.1 Matériaux de construction

7.4.1.1 Généralités

(1) L'évaluation d'une structure existante doit s'appuyer sur des propriétés de matériaux ou de produits réalistes pour la structure réelle, en tenant compte de la détérioration ou des dommages.

NOTE 1 En général, les propriétés des matériaux ou des produits peuvent être obtenues et actualisées au moyen :

- de l'analyse des spécifications du marché et du dossier d'exécution ;
- des résultats de l'étude de l'état existant ;
- de l'identification du produit et du contrôle non destructif des matériaux ;
- d'essais destructifs des matériaux.

NOTE 2 Le périmètre requis des investigations relatives aux matériaux dépend, entre autres paramètres, de l'étape de l'évaluation, du mécanisme de défaillance prévisible, de l'influence des propriétés des matériaux sur la capacité portante, ou du degré de conformité avec les critères de performance structurale.

NOTE 3 Les dommages peuvent résulter d'actions qui se sont produites au cours de la durée d'utilisation passée (par exemple incendie, explosion, etc.).

7.4.1.2 Valeurs des propriétés des matériaux ou des produits

(1) Il convient que les propriétés des matériaux ou des produits soient représentées par :

- une valeur caractéristique inférieure lorsque la propriété est favorable ;
- une valeur caractéristique supérieure lorsque la propriété est défavorable ;
- une valeur moyenne pour les paramètres relatifs à la déformation (sauf pour les vérifications de stabilité) ;
- une fonction de distribution de probabilité lorsque des méthodes probabilistes sont utilisées.

7.4.1.3 Détermination des propriétés des matériaux ou des produits

(1) Les propriétés des matériaux ou des produits peuvent être fondées de manière conservative sur les propriétés spécifiées dans la conception d'origine, sauf s'il y a des raisons de croire que la structure n'a pas été construite conformément aux spécifications du marché, ou si elle présente des signes de dégradation.

NOTE Les propriétés basées sur les informations disponibles de la conception d'origine sont souvent utilisées au stade de l'évaluation préliminaire. Les spécifications des codes précédents peuvent également être utiles à titre d'information. Voir aussi 4.4.

(2) Les propriétés des matériaux ou des produits peuvent être déterminées à partir des documents de construction (par exemple, résultats d'essais) si les données disponibles sont statistiquement représentatives et s'il n'y a pas de signe de dégradation.

(3) Les propriétés des matériaux ou des produits peuvent être déterminées à partir d'essais sur la structure réelle.

7.4.1.4 Essai des propriétés des matériaux et des produits

(1) Lorsque des essais sont réalisés, il convient de prévoir de produire des données qui concernent directement les exigences de performance structurale à vérifier, en tenant compte de l'état de la structure et des influences environnementales.

NOTE 1 Voir aussi 5.5 concernant l'établissement de l'état structural et 8.4 concernant l'essai et la surveillance des structures.

NOTE 2 Les exigences relatives aux méthodes d'échantillonnage et d'essai et aux normes à utiliser peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(2) Lorsque des échantillons sont soumis à essai, les propriétés des matériaux de la structure peuvent être déterminées statistiquement en combinant les résultats obtenus avec les informations préalables correspondantes, si elles sont disponibles.

NOTE Une procédure d'actualisation est décrite à l'Annexe B.

(3) Lorsque des facteurs de conversion sont nécessaires, il convient d'utiliser des estimations conservatives, à moins que des informations statistiques appropriées ne soient disponibles pour actualiser les valeurs numériques.

7.4.2 Propriétés géotechniques

(1) Lorsque les actions géotechniques ou les résistances sont évaluées par le calcul, il convient que l'évaluation s'appuie sur des propriétés géotechniques réalistes pour la structure réelle.

NOTE 1 Les propriétés géotechniques peuvent être obtenues et actualisées au moyen :

- de l'analyse des spécifications du marché et du dossier d'exécution ;
- d'observations et de mesures ;
- d'une analyse inverse ;
- d'investigations géotechniques.

NOTE 2 La représentation des propriétés géotechniques réelles dépend de la méthode utilisée pour vérifier la conformité aux objectifs de performance.

(2) Il convient de tenir compte, le cas échéant, des changements dans l'état du sous-sol au cours de la durée d'utilisation passée et des changements prévisibles pendant la durée d'utilisation résiduelle.

(3) Les propriétés géotechniques peuvent être déterminées à partir des spécifications du marché et des documents d'exécution, sauf si des indices indiquent que les propriétés géotechniques ne sont pas conformes au dossier de conception ou d'exécution.

NOTE Les propriétés basées sur les informations disponibles de la conception et de la construction d'origine sont souvent utilisées au stade de l'évaluation préliminaire ou, de manière générale, si aucune influence du sous-sol sur le comportement structural n'est observée et si aucun changement d'utilisation n'est envisagé.

(4) Les propriétés géotechniques peuvent être déterminées à partir d'investigations géotechniques conformément à l'EN 1997-1.

NOTE Les investigations géotechniques peuvent fournir des informations utiles dans diverses circonstances, notamment lorsqu'il n'existe pas de données géotechniques, lorsque des indices indiquent que les données de calcul ou d'exécution ne sont pas fiables, lorsque la structure présente des signes de dommages causés par le sous-sol, et en cas de changement d'utilisation.

8 Modélisation, actualisation et analyse des structures

8.1 Configuration structurale et conditions aux limites

(1) Il convient de déterminer les informations relatives au système structural (c'est-à-dire la configuration de la structure, la disposition des différents éléments et les dimensions hors tout) à partir des documents d'exécution et des données obtenues lors des inspections.

(2) Il convient d'actualiser les informations sur le système structural lorsque :

- les documents disponibles ne contiennent pas les informations correspondantes ;
- il existe des doutes quant à la validité des informations disponibles ;
- des interventions ont eu lieu après la construction d'origine et n'ont pas été documentées.

NOTE Concernant l'actualisation du système structural, voir l'Annexe B.

(3) Il convient de confirmer, le cas échéant, les hypothèses concernant les conditions aux limites statiques et cinématiques, y compris celles relatives aux conditions d'appui, aux liaisons fixes, à la liberté de mouvement dans les joints, aux mécanismes de report de charge, y compris l'interaction sol-structure.

8.2 Principes de l'analyse structurale

(1) L'analyse structurale dans le cadre de l'évaluation doit être effectuée conformément aux principes de base énoncés dans l'EN 1990, en tenant compte des valeurs des paramètres pertinents pour la structure réelle.

(2) Il convient de tenir compte, le cas échéant, des modifications prévues du comportement structural au cours de la durée d'utilisation résiduelle.

8.3 Choix de la méthode d'analyse structurale

(1) La méthode d'analyse structurale appliquée à une structure existante doit être choisie de manière à fournir les données requises pour l'évaluation, en tenant compte du type de structure, des matériaux, des actions et autres informations pertinentes, y compris concernant la détérioration et les dommages.

NOTE Les modèles structuraux pour l'évaluation des structures existantes peuvent être progressivement améliorés ou complétés par des détails plus sophistiqués.

(2) La redistribution plastique peut être prise en compte pour l'évaluation à l'état-limite ultime s'il peut être démontré que la structure présente une ductilité suffisante pour les déformations requises.

NOTE D'autres exigences figurent dans les parties respectives des Eurocodes relatifs aux matériaux.

8.4 Essais et surveillance

8.4.1 Combinaison d'essais et/ou de surveillance avec l'analyse structurale

(1) L'essai et la surveillance des structures existantes peuvent permettre de vérifier et d'améliorer les hypothèses de l'analyse structurale.

NOTE L'essai des structures peut être utile lorsqu'il n'est pas possible d'établir tous les paramètres pertinents des variables de base par des mesures et des essais.

(2) Il convient de comparer la mesure des propriétés statiques ou dynamiques aux prévisions des modèles d'analyse structurale, sur la base de l'état réel de la structure existante. Lorsqu'un écart important par rapport à la prévision est observé, il convient d'en rechercher les causes et de les expliquer, en procédant à des essais supplémentaires si nécessaire.

NOTE Des écarts importants par rapport aux prévisions au cours d'un essai peuvent, dans certains cas, indiquer que l'essai n'est pas sûr et qu'il est nécessaire de l'arrêter.

(3) Lors de la planification et de l'évaluation des essais de charge, il convient de tenir compte du fait que le comportement structural et les conditions aux limites peuvent être différents au niveau de l'essai de charge et à l'état-limite ultime, respectivement.

NOTE L'Annexe B inclut une procédure d'actualisation basée sur des essais structuraux.

8.4.2 Objectifs des essais

(1) Il convient que les essais visant à déterminer les propriétés statiques et dynamiques des structures aient des objectifs clairs, et une planification minutieuse est requise.

NOTE Des essais statiques ou dynamiques du comportement structural peuvent être utiles lorsque :

- les informations disponibles sur la structure et son comportement sont insuffisantes ;
- il existe des doutes quant à la fiabilité structurale et la vérification par le calcul n'est pas possible ou est plutôt incertaine ;
- les modèles structuraux doivent être étalonnés ;
- des inspections spéciales sont requises (par exemple pour vérifier le comportement élastique de la structure).

(2) Il convient que les essais soient effectués de manière à éviter d'endommager la structure si son utilisation future est envisagée.

(3) Il convient de tenir compte de l'influence d'une éventuelle répartition des charges (par exemple, des éléments adjacents peuvent être impliqués dans des mécanismes de résistance alors qu'un seul élément est soumis à une charge, ou peuvent avoir une incidence sur les propriétés dynamiques de la structure).

(4) Il convient de prévoir l'accessibilité de la structure pour permettre une inspection visuelle avant, pendant et après l'essai.

(5) Il convient de tenir compte, le cas échéant, des influences telles que celles dues à des déformations permanentes (induites par exemple par des surcharges, des actions accidentelles, des tassements ou des changements dans les conditions géotechniques, survenus au cours de la durée d'utilisation passée), de la durée et l'historique des charges, de l'amplitude de la réponse dynamique, des effets environnementaux ou autres effets non structuraux.

(6) Il convient de tenir compte de l'influence des variations de température sur l'instrumentation.

9 Vérifications

9.1 Généralités

(1) Pour l'évaluation d'une structure existante, il doit être vérifié qu'aucun état-limite pertinent n'est dépassé dans toute situation d'évaluation applicable.

(2) Dans des cas spécifiques, la vérification peut reposer sur une performance passée satisfaisante (voir Article 10).

9.2 Méthodes de vérification

(1) L'évaluation d'une structure doit se faire au moyen d'une ou de plusieurs des méthodes de vérification suivantes :

- méthode des coefficients partiels ;
- méthode des valeurs d'évaluation ;
- méthode probabiliste ;
- méthode d'évaluation du risque.

NOTE Des restrictions relatives à l'utilisation des méthodes de vérification pour l'évaluation d'une structure existante peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(2) Il convient de procéder à l'évaluation des structures existantes en utilisant dans un premier temps la méthode des coefficients partiels.

NOTE Après l'utilisation des méthodes de coefficients partiels, les méthodes de valeurs d'évaluation, les méthodes probabilistes et la méthode d'évaluation des risques peuvent être utilisées pour :

- contrebalancer le caractère conservatif des méthodes de coefficients partiels ;
- les cas de défaillances structurales ayant des conséquences graves ;
- les cas de manque de robustesse ;
- évaluer l'efficacité des stratégies de surveillance et de maintenance ;
- prendre des décisions fondamentales concernant tout un ensemble de structures.

9.3 Méthode des coefficients partiels

(1) Lorsque la méthode des coefficients partiels est utilisée, l'inégalité donnée par la Formule (9.1) doit se vérifier :

$$E_a \leq R_a \quad (9.1)$$

où

E_a est la valeur d'évaluation de l'effet des actions ;

R_a est la valeur d'évaluation de la résistance correspondante.

NOTE E_a et R_a peuvent être exprimées en fonction des valeurs d'évaluation des variables de base x_{ai} (y compris les coefficients partiels, les coefficients de combinaison et les facteurs de conversion pertinents) conformément aux Formules (9.2a) et (9.2b).

$$E_a = E\{x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}, \dots, x_{ai}\} \quad (9.2a)$$

$$R_a = R\{x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}, \dots, x_{ai}\} \quad (9.2b)$$

(2) Il convient de déterminer la valeur d'évaluation de l'effet des actions E_a de la même manière que pour la valeur de calcul d'origine des effets des actions E_d en utilisant l'EN 1990, mais en substituant les valeurs de tous les paramètres de calcul d'origine (y compris les variables de base, les coefficients partiels et les coefficients ψ) par les valeurs correspondantes pour l'évaluation.

NOTE 1 Les valeurs de tous les coefficients partiels pour les actions et des coefficients ψ pour l'évaluation peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays, celles-ci étant différentes des valeurs correspondantes données dans l'EN 1990 et l'EN 1991 pour les calculs d'origine.

NOTE 2 L'Annexe C inclut une procédure pour déterminer les coefficients partiels.

NOTE 3 Les variables de base de l'évaluation sont définies à l'Article 7.

NOTE 4 Comme exemple de l'application de 9.2(2) à l'ELU pour les situations durables et transitoires à évaluer, E_a peut être déterminée en utilisant le format général de la Formule (9.3a) ou de la Formule (9.3b), avec toutes les variables de base, les coefficients partiels et les coefficients ψ pris comme valeurs utilisées pour l'évaluation.

$$E_a = \gamma_{Sa} E \left\{ \gamma_{g,j} G_{k,j}; \gamma_p P; \gamma_{q,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (9.3a)$$

$$E_a = E \left\{ \gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\} \quad (9.3b)$$

(3) Il convient de déterminer la valeur d'évaluation de la résistance R_a de la même manière que pour la valeur de calcul d'origine des effets des actions R_d en utilisant l'EN 1990, mais en substituant les valeurs de tous les paramètres de calcul d'origine (y compris les variables de base, les coefficients partiels pour les matériaux et les facteurs de conversion) par les valeurs correspondantes pour l'évaluation.

NOTE 1 Les valeurs de tous les coefficients partiels pour les matériaux et des facteurs de conversion pour l'évaluation peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays, celles-ci étant différentes des valeurs données dans les parties pertinentes des Eurocodes relatifs aux matériaux.

NOTE 2 L'Annexe C inclut une procédure pour déterminer les coefficients partiels pour un indice cible de fiabilité.

NOTE 3 Les variables de base de l'évaluation sont définies à l'Article 7.

NOTE 4 Comme exemple de l'application de 9.3(3) à l'ELU, R_a peut être déterminée en utilisant le format général de la Formule (9.4a) ou de la Formule (9.4b), avec toutes les variables de base, les coefficients partiels pour les matériaux et les facteurs de conversion pris comme valeurs utilisées pour l'évaluation :

$$R_a = \frac{1}{\gamma_{Ra}} R \left\{ \frac{\eta_i X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_a \right\} \quad (9.4a)$$

$$R_a = R \left\{ \frac{\eta_i X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; a_a \right\} \quad (9.4b)$$

9.4 Méthode des valeurs d'évaluation

(1) Lors de l'application de la méthode des valeurs d'évaluation, la fiabilité d'une structure doit être vérifiée en respectant l'inégalité de la Formule (9.1) mais en utilisant les valeurs d'évaluation de toutes les variables de base directement déterminées sur la base de principes probabilistes, sans recourir à des coefficients partiels.

NOTE Voir aussi l'EN 1990, C.7 concernant l'approche pour une calibration des valeurs de calcul, l'EN 1990, D.5 pour la détermination des valeurs de calcul et l'EN 1990, D.7 pour la détermination statistique d'une propriété individuelle.

(2) Il convient que l'application de la méthode des valeurs d'évaluation soit telle que spécifiée par l'autorité compétente ou, à défaut, convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

(3) Conformément aux principes de l'EN 1990, il doit être vérifié si, dans toutes les situations pertinentes à évaluer, aucun état-limite n'est dépassé, c'est-à-dire si les marges de fiabilité $g(x_{ai})$ sont positives dans les Formules (9.5a) et (9.5b) :

$$g(x_{ai}) = g(x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}, \dots, x_{ai}) > 0 \quad (9.5a)$$

$$\Phi_{xi}(x_{ai}) = \Phi(-\alpha_i \beta_t) \quad (9.5b)$$

où

x_{ai} désigne les valeurs d'évaluation des actions ou des propriétés des matériaux ;

Φ est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite ;

Φ_{xi} est la distribution réelle de la variable x_i ;

β_t est l'indice cible de fiabilité ;

α_i sont les valeurs des coefficients de sensibilité FORM pour les variables x_i .

NOTE Les distributions réelles Φ_{xi} des variables x_i basées sur les informations préalables, les résultats d'essais ou la combinaison des deux (voir Annexe B) tiennent compte de la durée d'utilisation résiduelle (ou période de référence) et des incertitudes de modélisation.

(4) Des coefficients de combinaison et des facteurs de conversion supplémentaires doivent être appliqués conformément aux règles de combinaison de charges et aux principes des états-limites énoncés dans l'EN 1990.

NOTE Les coefficients de combinaison pour l'évaluation peuvent être définis par l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(5) Dans le cas particulier où la marge de fiabilité peut être exprimée comme la différence entre la résistance d'évaluation et l'effet de charge d'évaluation, $g(x_{ai}) = R_a - E_a$, les Formules (9.5a) et (9.5b) sont réduites à la forme simple présentée par les Formules (9.6a), (9.6b) et (9.6c) :

$$E_a \leq R_a \quad (9.6a)$$

$$\Phi_R(R_a) = \Phi(-\alpha_R \beta_t) \quad (9.6b)$$

$$\Phi_E(E_a) = \Phi(-\alpha_E \beta_t) \quad (9.6c)$$

où

α_R est la valeur du coefficient de sensibilité FORM pour la variable cumulée R ;

α_E est la valeur du coefficient de sensibilité FORM pour la variable cumulée E .

NOTE 1 Les valeurs des coefficients α_R et α_E dépendent des incertitudes relatives des variables de base.

NOTE 2 Les valeurs des coefficients α_R et α_E peuvent être définies dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays. Si aucune autre valeur n'est indiquée, les valeurs recommandées dans l'EN 1990:2002 peuvent être utilisées.

9.5 Méthode probabiliste

(1) Il convient que l'application de la méthode probabiliste soit telle que spécifiée par l'autorité compétente ou, à défaut, convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

(2) Lorsque la méthode probabiliste est utilisée, la fiabilité d'une structure doit être vérifiée en termes de probabilité de défaillance P_f conformément à la condition de la Formule (9.7).

$$P_f = P\{g(x_i) < 0\} < P_{ft} \quad (9.7)$$

où

P_{ft} est la probabilité cible de défaillance pour une période de référence donnée.

NOTE 1 La probabilité cible de défaillance P_{ft} peut être définie dans l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 La méthode probabiliste peut être appliquée conformément aux principes et recommandations de l'ISO 2394 et des ouvrages du JCSS *Probabilistic Model Code* et *Probabilistic Assessment of Existing Structures*.

9.6 Méthode d'évaluation du risque

(1) Il convient que l'application de la méthode d'évaluation du risque soit telle que spécifiée par l'autorité compétente ou, à défaut, convenue pour un projet spécifique par les parties concernées.

(2) Lorsque la méthode d'évaluation du risque est utilisée, la fiabilité d'une structure existante dont la défaillance aurait des conséquences économiques et sociétales importantes doit être vérifiée en tenant compte du risque prévisible *ER*.

(3) Il convient d'évaluer le risque prévisible *ER* sur la base de critères spécifiés par l'autorité compétente ou, à défaut, convenus pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE Les méthodes probabilistes peuvent être appliquées conformément aux principes et recommandations de l'ISO 2394, de l'ISO 13824 et de l'ouvrage du JCSS *Risk Assessment in Engineering*.

10 Évaluation basée sur les performances passées

(1) Dans des cas spécifiques, l'évaluation des structures ou parties de structures peut être réalisée en se basant sur les performances passées dans les conditions spécifiées par l'autorité compétente ou, à défaut, convenues pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE 1 L'évaluation basée sur les performances passées peut être autorisée par l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

NOTE 2 Voir aussi B.4.3 pour l'estimation de la probabilité de défaillance d'une structure sur la base des performances passées.

(2) Lors de l'évaluation de structures ou de parties de structures sur la base des performances passées, il convient que les critères de vérification des états-limites ultimes et des états-limites de service soient tels que spécifiés par l'autorité compétente ou, à défaut, convenus pour un projet spécifique par les parties concernées.

(3) Lors de l'évaluation de structures ou de parties de structures sur la base des performances passées, une investigation structurale détaillée doit être menée en ce qui concerne les états-limites considérés/évalués.

(4) Lorsqu'une évaluation basée sur les performances passées est effectuée pour l'état-limite ultime, il convient que toutes les conditions suivantes soient remplies :

- une inspection minutieuse ne révèle aucun signe important de dommage, de péril ou de détérioration ;
- le système structural est examiné, y compris des investigations des modes de défaillance et des détails les plus critiques ;
- la structure a montré des performances satisfaisantes pendant une période suffisamment longue au cours de laquelle des actions extrêmes et des effets environnementaux défavorables correspondant aux situations à évaluer se sont très probablement produits ;
- aucune détérioration prévue (compte tenu de l'état actuel et de la maintenance planifiée) ne devrait avoir d'incidence sur la sécurité ;
- aucun changement n'a été apporté depuis suffisamment longtemps pour augmenter de façon significative les actions sur la structure ou avoir une incidence sur sa durabilité, et aucun changement n'est prévu ;
- le risque (probabilité et conséquence) associé aux défaillances locales peut être considéré comme acceptable.

(5) Lorsqu'une évaluation basée sur les performances passées est effectuée pour l'état-limite de service, il convient que toutes les conditions suivantes soient remplies :

- une inspection minutieuse ne révèle aucun signe important de dommage, de péril, de détérioration, de déplacement ou autres problèmes d'aptitude au service ;
- la structure a montré des performances satisfaisantes pendant une période suffisamment longue pour que des dommages, périls, détériorations, déplacements ou vibrations se manifestent ;
- aucun changement qui aurait une incidence importante sur l'aptitude au service (par exemple, une augmentation importante des actions, y compris environnementales) ne sera apporté à la structure ou à son utilisation ;
- aucune détérioration prévue (compte tenu de l'état actuel et de la maintenance planifiée) ne devrait avoir d'incidence importante sur les performances en matière de durabilité ou d'aptitude au service.

11 Interventions

11.1 Élaboration des propositions d'interventions en fonction des résultats de l'évaluation

(1) Lorsque des propositions d'interventions sont élaborées, il convient de s'appuyer sur les résultats de l'évaluation pour élaborer les options, afin d'atteindre un niveau adéquat de fiabilité ou de risque.

NOTE 1 Les interventions possibles et leurs coûts estimés peuvent être indiqués dans le dossier d'exploitation et de maintenance.

NOTE 2 L'évaluation des structures existantes peut donner lieu à deux types d'interventions possibles : les interventions de travaux et les interventions pendant l'exploitation (voir Figure 11.1).

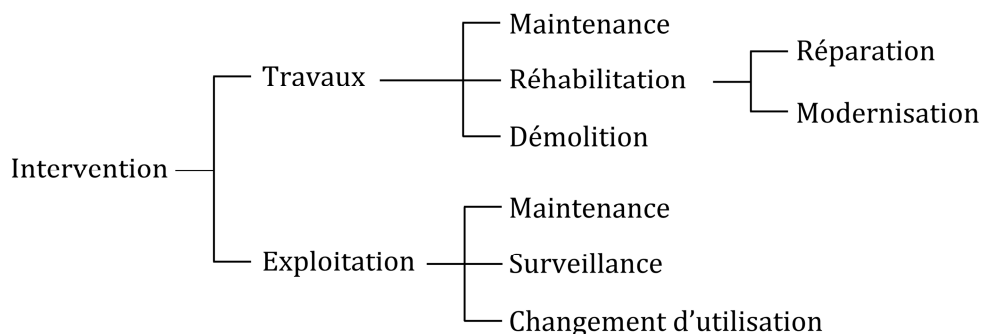


Figure 11.1 — Types d'interventions possibles

NOTE 3 Les propositions d'interventions peuvent combiner différents types d'interventions.

NOTE 4 La réhabilitation (c'est-à-dire la modernisation et la réparation) peut permettre :

- le renforcement d'éléments structuraux spécifiques ou de la structure dans son ensemble ;
- l'amélioration de certains aspects de la performance en matière d'aptitude au service d'éléments structuraux spécifiques ou de la structure dans son ensemble ;
- des réparations pour compenser les effets de la détérioration actuelle ou prévue de la structure ;

- la mise en place de mesures préventives pour éviter ou réduire le plus possible la détérioration future de la structure ;
- l'amélioration de la robustesse.

NOTE 5 Certains éléments de la structure peuvent avoir une durée de vie plus courte que l'ensemble de la structure, par exemple : joints, paliers, garde-corps, revêtements, bardages, etc.

NOTE 6 La surveillance structurale peut fournir des informations sur la performance structurale, les charges exercées sur la structure et leurs variations dans le temps dans les cas suivants :

- en l'absence d'interventions de travaux ;
- pendant les interventions de travaux et d'exploitation ;
- après les interventions de travaux et d'exploitation.

(2) Lorsqu'une surveillance est adoptée, il convient de comparer les valeurs mesurées (surveillées) aux valeurs seuils.

(3) Il convient que les valeurs seuils et les interventions à effectuer en cas de dépassement soient convenues pour un projet spécifique par les parties concernées.

NOTE Le dossier d'exploitation et de maintenance peut être utilisé pour consigner les mesures à prendre en cas de dépassement des seuils.

11.2 Interventions immédiates

(1) Si, au cours du processus d'évaluation, la structure semble se trouver dans une situation présentant un niveau de risque qui pourrait nécessiter une intervention immédiate pour rétablir la sécurité (voir 5.1(2)), il convient que les mesures pour atténuer le risque identifié soient répertoriées et convenues avec les parties concernées.

(2) Lorsque des interventions immédiates sont effectuées, il convient de ne pas exclure d'autres interventions si nécessaire.

Annexe A (informative)

Organigramme des processus d'évaluation et des interventions

A.1 Utilisation de la présente annexe informative

(1) La présente annexe informative fournit des informations complémentaires à celles fournies en 5.1 sur un processus d'évaluation type.

NOTE Le choix national concernant l'application de la présente annexe informative est précisé dans l'Annexe Nationale. Si l'Annexe Nationale ne contient aucune information sur l'application de la présente annexe informative, elle peut être utilisée.

A.2 Domaine et champ d'application

(1) La présente annexe informative donne un aperçu du processus d'évaluation illustré à la Figure A.1.

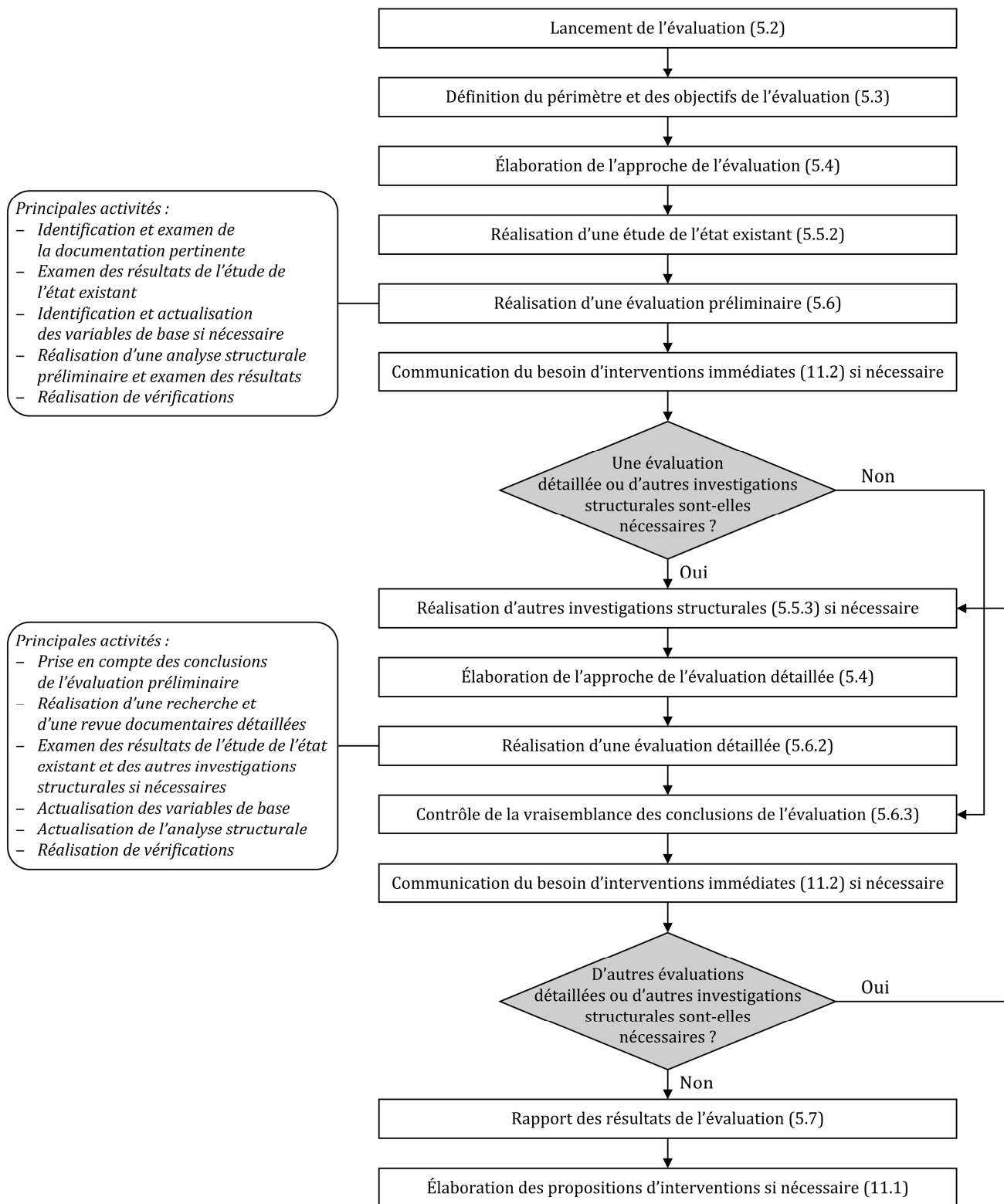


Figure A.1 — Processus d'évaluation type

Annexe B (informative)

Procédures d'actualisation

B.1 Utilisation de la présente annexe informative

(1) La présente annexe informative fournit des recommandations complémentaires à celles données en 4.5 sur les procédures d'actualisation des informations disponibles.

NOTE Le choix national concernant l'application de la présente annexe informative est précisé dans l'Annexe Nationale. Si l'Annexe Nationale ne contient aucune information sur l'application de la présente annexe informative, elle peut être utilisée.

B.2 Domaine et champ d'application

(1) La présente annexe informative décrit les procédures pour :

- l'actualisation des distributions de probabilité, des valeurs moyennes, des valeurs caractéristiques ou des valeurs d'évaluation des variables de base (B3) ;
- l'actualisation de la probabilité de défaillance structurale à partir d'informations provenant d'essais de charge ou concernant les performances passées (B4).

(2) Lorsque de nouvelles informations sont disponibles, il convient que toutes les données pertinentes soient évaluées et actualisées, le cas échéant, en tenant compte des informations préalables incertaines.

NOTE 1 Cette procédure est appelée l'actualisation des informations.

NOTE 2 L'acquisition de nouvelles données sur une structure existante au moyen d'autres investigations structurales (c'est-à-dire inspections, mesures ou essais) vise à compléter les informations préalables disponibles, qui peuvent souvent être vagues, en ce qui concerne différents aspects tels que l'état structural, le comportement, les actions et influences, etc.

B.3 Actualisation des variables de base

B.3.1 Informations préalables

(1) Lors de l'actualisation de la fonction de distribution de probabilité d'une variable de base X , ses paramètres de distribution (moyenne, écart-type, coefficient d'asymétrie, limite inférieure, etc.) peuvent être considérés comme des variables aléatoires. Il convient que les fonctions de distribution préalables pour les paramètres inconnus de la variable étudiée reflètent toutes les informations préalables disponibles.

NOTE À partir de ces distributions préalables et des données statistiques issues des observations, il est possible de déterminer les distributions postérieures.

(2) Il convient de caractériser les informations préalables sur l'écart-type σ par les paramètres s' (écart-type préalable) et ν' (nombre préalable de degrés de liberté pour s'). Lorsque ν' est important, la valeur attendue E et le coefficient de variation V de l'écart-type σ peuvent être exprimés respectivement par la Formule (B.1) et la Formule (B.2) :

$$E(\sigma) = s' \quad (\text{B.1})$$

$$V(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\nu'}} \quad (\text{B.2})$$

NOTE 1 Les informations préalables peuvent être interprétées comme le résultat de séries d'essais préalables hypothétiques pour la moyenne et l'écart-type, respectivement. Dans ce cas, les informations sur l'écart-type sont données par :

- s' valeur hypothétique de l'échantillon ;
- ν' nombre hypothétique de degrés de liberté pour s' .

NOTE 2 Le paramètre préalable s' représente la meilleure estimation de l'écart-type. En choisissant ν' , il est possible d'exprimer l'incertitude relative à ces estimations.

(3) Il convient de caractériser les informations préalables sur la valeur moyenne μ par les paramètres m' (moyenne préalable), n' (nombre antérieur d'observations) et s' . Lorsque n' est élevé, la valeur attendue E et le coefficient de variation V de la valeur moyenne μ peuvent être exprimés respectivement par la Formule (B.3) et la Formule (B.4) :

$$E(\mu) = m' \quad (\text{B.3})$$

$$V(\mu) = \frac{s'}{m' \sqrt{n'}} \quad (\text{B.4})$$

NOTE 1 Par rapport à l'écart-type, deux paramètres supplémentaires sont requis pour les informations sur la valeur moyenne :

- m' moyenne hypothétique de l'échantillon ;
- n' nombre hypothétique d'observations pour m' .

NOTE 2 Le paramètre préalable m' représente les meilleures estimations de la valeur moyenne. En choisissant n' , il est possible d'exprimer l'incertitude relative à ces estimations. Le paramètre préalable hypothétique n' peut être choisi indépendamment de ν' (en général, $\nu' \neq n' - 1$).

(4) Il convient de ne choisir des estimations bien connues des paramètres préalables (c'est-à-dire les valeurs basses pour les coefficients de variation de la valeur moyenne et de l'écart-type, respectivement) que si elles sont justifiées.

B.3.2 Distribution normale postérieure

(1) En combinant les informations préalables caractérisées par les Formules (B.1) à (B.4) et les nouvelles données constituées par n observations avec la moyenne de l'échantillon m et l'écart-type de l'échantillon s , la distribution normale postérieure pour la valeur moyenne inconnue et l'écart-type d'une variable peut être obtenue par les règles d'actualisation suivantes :

$$n'' = n' + n \quad (\text{B.5})$$

$$\nu'' = \nu' + \nu + \delta(n') \quad (\text{B.6})$$

$$n''m'' = n'm' + nm \quad (\text{B.7})$$

$$\nu''(s'')^2 + n''(m'')^2 = \nu'(s')^2 + n'(m')^2 + \nu s^2 + nm^2 \quad (\text{B.8})$$

où

m', m, m'' désignent respectivement la valeur moyenne préalable, la valeur moyenne de l'échantillon et la valeur moyenne postérieure ;

s', s, s'' désignent respectivement l'écart-type préalable, l'écart-type de l'échantillon et l'écart-type postérieur ;

n', n, n'' désignent respectivement le nombre d'observations préalable, le nombre d'observations de l'échantillon et le nombre d'observations postérieures ;

ν', ν, ν'' désignent respectivement le nombre de degrés de liberté préalable, le nombre de degrés de liberté de l'échantillon et le nombre de degrés de liberté postérieur ;

$\delta(n') = 0$ pour $n' = 0$

$\delta(n') = 1$ pour $n' > 0$

$$\nu = n - 1$$

B.3.3 Valeurs d'évaluation

(1) Les paramètres de distribution postérieurs (c'est-à-dire actualisés) des variables peuvent être utilisés pour déterminer les valeurs d'évaluation actualisées correspondantes.

NOTE 1 En général, les hypothèses suivantes sont appropriées pour la plupart des applications :

- une distribution gaussienne pour les effets des actions permanentes ;
- une distribution de valeurs extrêmes pour représenter une valeur maximale à l'intérieur d'un temps de référence choisi (par exemple, effets dus à des actions variables ou accidentelles) ;
- pour les dimensions et les propriétés des matériaux, une distribution gaussienne ou une distribution log-normale.

NOTE 2 Dans le cas des dimensions et des propriétés des matériaux, la distribution log-normale peut être utilisée pour éviter la possibilité trompeuse de valeurs négatives associées à une distribution gaussienne.

(2) Il convient de choisir avec prudence les fonctions de distribution de probabilité, en tenant compte des biais et de l'asymétrie possibles.

NOTE Les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement peuvent fournir des informations utiles pour déterminer le modèle théorique approprié (fonction de distribution de probabilité). Si la distribution réelle présente un caractère multimodal, le choix d'une seule distribution peut entraîner des erreurs considérables.

(3) Les valeurs d'évaluation des variables aléatoires distribuées selon les lois normale, log-normale ou de Gumbel peuvent être déterminées conformément à l'EN 1990, en tenant compte des valeurs moyennes et des écarts-types actualisés des variables correspondantes, ainsi que des coefficients de sensibilité α et des indices cibles de fiabilité β_t appropriés.

NOTE La valeur cible β_t spécifie les exigences de fiabilité. Les informations sur l'établissement de valeurs numériques pour l'indice cible de fiabilité figurent à l'Annexe C.

(4) Il convient de déterminer les valeurs numériques du coefficient de sensibilité α au moyen d'une analyse de la fiabilité.

NOTE Les valeurs types sont fournies dans l'EN 1990.

B.3.4 Valeurs caractéristiques

(1) En remplacement de la détermination des valeurs d'évaluation conformément à B.3.3, les distributions postérieures des variables X peuvent être utilisées pour déterminer les valeurs caractéristiques actualisées correspondantes à partir desquelles les valeurs d'évaluation peuvent être obtenues en appliquant les coefficients partiels appropriés.

(2) Les valeurs caractéristiques actualisées des variables aléatoires distribuées selon les lois normale, log-normale ou de Gumbel peuvent être déterminées conformément à l'EN 1990, en tenant compte des valeurs moyennes actualisées et des écarts-types des variables correspondantes et en tenant compte des fractiles de distribution appropriés.

B.4 Actualisation des probabilités de défaillance

B.4.1 Actualisation directe

(1) L'actualisation directe de la probabilité de défaillance structurale à l'aide de nouvelles données peut être formellement effectuée en utilisant la relation de base de la théorie des probabilités dans la Formule (B.9) :

$$P(F|I) = \frac{P(F \cap I)}{P(I)} \quad (\text{B.9})$$

où

F désigne une défaillance structurale locale ou globale ;

I désigne les informations d'inspection ;

$\cap$ indique l'intersection de deux événements ;

$|$ indique « conditionnel à ».

NOTE Le dénominateur $P(I)$ dans la Formule (B.9) est une constante de normalisation, qui découle du fait que les probabilités conditionnelles de défaillance $P(F|I)$ et de non-défaillance $P(S|I)$, compte tenu des informations d'inspection I , sont complémentaires (voir Formule (B.10)) :

$$P(F|I) + P(S|I) = 1 \quad (\text{B.10})$$

où

S indique l'absence de défaillance ou la survie.

B.4.2 Essais de charge

(1) Pour actualiser la probabilité de défaillance d'une structure en fonction d'une charge connue, un essai de charge peut être effectué.

NOTE 1 L'observation qu'une structure ou un élément structural a survécu à un essai de charge indique que sa résistance minimale au moment de l'essai est supérieure à l'effet de charge appliqué.

NOTE 2 La survie à un essai de charge ne révèle pas la résistance réelle de la structure ou de l'élément soumis à essai, et ne fournit pas non plus de mesure directe de la fiabilité structurale.

(2) En ce qui concerne l'actualisation de la probabilité de défaillance d'une structure en fonction d'une charge connue, la fonction de répartition d'origine de la résistance structurale, utilisée à cette fin, peut être tronquée au niveau de l'effet de charge connu.

B.4.3 Performances passées satisfaisantes

(1) Pour l'estimation de la probabilité de défaillance d'une structure en fonction d'une performance passée satisfaisante pendant T années, la fonction de distribution de la résistance structurale peut être actualisée en tenant compte de la répartition de l'effet de charge maximal sur la même période de T ans.

NOTE La performance satisfaisante d'une structure pendant T années de service indique qu'en l'absence de détérioration significative, sa résistance minimale est supérieure à l'effet de charge maximal appliqué pendant cette période de temps.

Annexe C (informative)

Fiabilité cible et coefficients partiels

C.1 Utilisation de la présente annexe informative

(1) La présente annexe informative fournit des recommandations complémentaires au paragraphe 4.1 pour la gestion de la fiabilité et à l'Article 10 pour les vérifications dans le cadre de l'évaluation.

NOTE Le choix national concernant l'application de la présente annexe informative est précisé dans l'Annexe Nationale. Si l'Annexe Nationale ne contient aucune information sur l'application de la présente annexe informative, elle peut être utilisée.

C.2 Domaine et champ d'application

(1) La présente annexe informative contient des recommandations relatives à la fiabilité cible des structures existantes et à la détermination des coefficients partiels.

C.3 Fiabilité cible

C.3.1 Généralités

(1) Il convient que la fiabilité cible d'une structure existante tienne compte des facteurs pertinents, y compris :

- la cause et/ou le moyen possibles d'atteindre un état-limite ;
- les conséquences possibles d'une défaillance en termes de risque pour la vie, de blessures, de pertes économiques potentielles ;
- l'aversion du public vis-à-vis des défaillances ;
- les dépenses et les procédures nécessaires pour réduire le risque de défaillance.

(2) Lors de l'évaluation de la fiabilité structurale, il convient de tenir compte des influences environnementales, de la durabilité et des aspects liés au patrimoine culturel.

(3) La fiabilité cible d'une structure existante peut être spécifiée par l'une ou l'autre des méthodes suivantes ou par les deux :

- par la classification de la structure dans son ensemble ;
- par la classification de ses éléments.

C.3.2 Indice de fiabilité

(1) Il convient de définir les exigences en matière de fiabilité structurale au moyen de la valeur cible de l'indice de fiabilité β_t par rapport à une période de référence.

NOTE 1 La fiabilité cible des structures existantes peut être inférieure à celle des nouvelles structures, car les coûts relatifs des mesures de sécurité visant à accroître la fiabilité d'une structure existante sont supérieurs à ceux d'une nouvelle structure.

NOTE 2 L'évaluation des structures existantes peut se fonder sur des périodes de référence différentes de celles des nouvelles structures. Ces périodes peuvent être plus courtes que la durée d'utilisation résiduelle prévue.

C.4 Coefficients partiels

C.4.1 Généralités

(1) Il convient de spécifier les coefficients partiels γ_{ai} pour les actions et les variables de résistance en tenant compte de la distribution statistique appropriée de la variable de base x_i , du coefficient de sensibilité α , du niveau cible de fiabilité β_t spécifié pour les structures existantes et des incertitudes statistiques et de modélisation conformément aux principes énoncés dans l'EN 1990.

(2) Pour les calculs non linéaires, il convient d'utiliser la valeur d'évaluation ou une combinaison des valeurs des propriétés des matériaux dans toutes les sections/éléments et il convient que des coefficients partiels soient définis pour les incertitudes de modélisation associées à une modélisation non linéaire.

NOTE Les coefficients partiels d'incertitude de modélisation pour les calculs non linéaires peuvent être différents de ceux utilisés pour les calculs linéaires. Les valeurs dépendent également du système structural considéré (poutre, armature, plaque, coque, etc.), des matériaux constitutifs, du mode de défaillance critique et de la méthode d'analyse utilisée.

C.4.2 Procédure de base

(1) La procédure de base suivante pour calculer les coefficients partiels γ_{ai} des variables de base x_i peut être utilisée en présumant que leurs valeurs caractéristiques x_{ki} et les valeurs d'évaluation x_{ai} sont spécifiées par des distributions statistiques appropriées de x_i ou sans autres incertitudes.

(2) Il convient de tenir compte des effets supplémentaires des incertitudes liées à la modélisation, aux statistiques, à la conversion et à la géométrie, en tenant compte de l'état spécifique d'une structure existante particulière en appliquant les procédures générales fournies dans l'EN 1990 (les valeurs indiquées ci-dessous peuvent être multipliées par l'incertitude de modélisation et les facteurs de conversion).

(3) En présumant que les valeurs caractéristiques x_{ki} et les valeurs d'évaluation x_{ai} des variables de base x_i sont données, les coefficients partiels peuvent être déterminés comme suit :

— pour les variables de résistance, à l'aide de la Formule (C.2) :

$$\gamma_{ai} = \frac{x_{ki}}{x_{ai}} \quad (\text{C.2})$$

— pour les variables d'actions, à l'aide de la Formule (C.3) :

$$\gamma_{ai} = \frac{x_{ai}}{x_{ki}} \quad (\text{C.3})$$

(4) Le coefficient partiel γ_{ai} pour une variable de résistance x_i peut être estimé à l'aide de la Formule (C.2). Si la valeur caractéristique x_{ki} est considérée comme le fractile inférieur de 5 % de x_i , la valeur caractéristique x_{ki} et la valeur d'évaluation x_{ai} sont données par la Formule (C.4a) et la Formule (C.4b) pour un indice de fiabilité donné β_t , en présumant une distribution log-normale de x_i

avec un coefficient de variation $V = \frac{\sigma_{xi}}{\mu_{xi}}$.

$$x_{ki} = \mu_{xi} e^{\left[-0,5 \ln(1+V^2) - 1,65 \sqrt{\ln(1+V^2)} \right]} \quad (\text{C.4a})$$

$$x_{ai} = \mu_{xi} e^{\left[-0,5 \ln(1+V^2) - \alpha_R \beta_t \sqrt{\ln(1+V^2)} \right]} \quad (\text{C.4b})$$

NOTE La Figure C.1 montre la variation du coefficient partiel de résistance γ_{ai} en fonction de l'indice de fiabilité β_t pour un coefficient de sensibilité de la résistance $\alpha_R = 0,8$, pour les coefficients de variation sélectionnés $V = \frac{\sigma_{xi}}{\mu_{xi}}$.

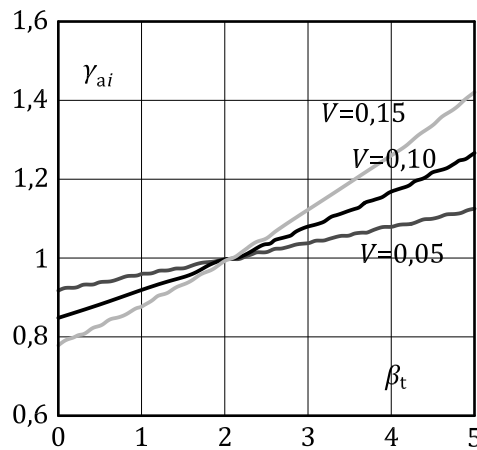


Figure C.1 — Variation du coefficient partiel de résistance γ_{ai} en fonction de l'indice de fiabilité β_t pour les coefficients de variation sélectionnés $V = 0,05$; $0,10$ et $0,15$

(5) Le coefficient partiel γ_{ai} pour une action permanente x_i peut être estimé à l'aide de la Formule (C.3). Si la valeur caractéristique x_{ki} est la moyenne μ_{xi} de la variable x_i et que son écart-type est σ_{xi} , la valeur caractéristique x_{ki} et la valeur d'évaluation x_{ai} sont données par les Formules (C.5a) et (C.5b) pour un indice de fiabilité donné β_t , en presumant une distribution normale de x_i :

$$x_{ki} = \mu_{xi} \quad (\text{C.5a})$$

$$x_{ai} = \mu_{xi} - \alpha_E \beta_t \sigma_{xi} \quad (\text{C.5b})$$

NOTE La Figure C.2 montre la variation du coefficient partiel γ_{ai} pour actions permanentes en fonction de l'indice de fiabilité β_t , avec un coefficient de sensibilité des actions $\alpha_E = 0,7$, pour les coefficients de variation sélectionnés V , suivant la Formule (C.3).

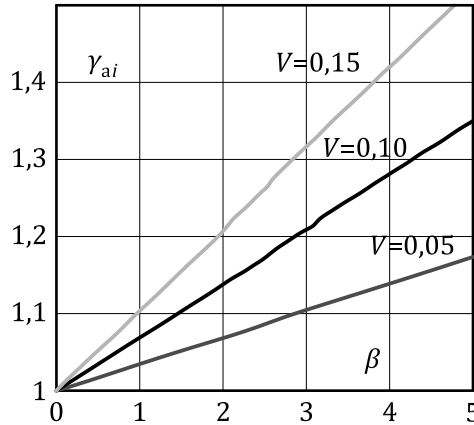


Figure C.2 — Variation du coefficient partiel γ_{ai} pour charge permanente en fonction de l'indice de fiabilité β_t pour les coefficients de variation sélectionnés $V = 0,05$; $0,10$ et $0,15$

(6) Le coefficient partiel γ_{ai} pour une action variable x_i peut être estimé à l'aide de la Formule (C.3). Si la valeur caractéristique est définie comme le fractile supérieur de 2 % de x_i , la valeur caractéristique x_{ki} et la valeur d'évaluation x_{ai} sont données par la Formule (C.6a) et la Formule (C.6b) pour un indice de fiabilité donné β_t , en présumant une distribution de Gumbel :

$$x_{ki} \cong \mu_{xi} - (0,45 + 0,78 \ln(-\ln(0,98))) \sigma_{xi} \quad (C.6a)$$

$$x_{ai} \cong \mu_{xi} - (0,45 + 0,78 \ln(-\ln(\Phi^{-1}(\alpha_E \beta_t)))) \sigma_{xi} \quad (C.6b)$$

où

μ_{xi} et σ_{xi} désignent la moyenne et l'écart-type de la variable x_i ;

Φ^{-1} désigne la fonction de répartition inverse de la loi normale.

NOTE La Figure C.3 montre la variation du coefficient partiel γ_{ai} pour actions variables en fonction de l'indice de fiabilité β_t , avec un coefficient de sensibilité des actions $\alpha_E = 0,7$, pour les coefficients de variation sélectionnés V , suivant la Formule (C.3).

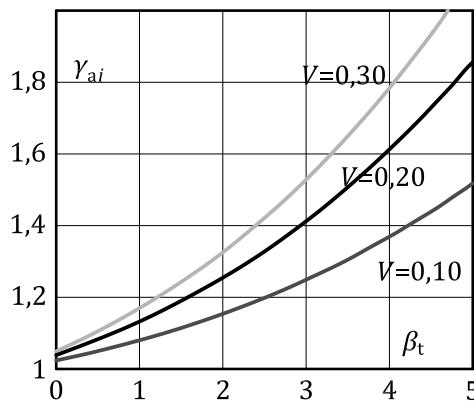


Figure C.3 — Variation du coefficient partiel γ_{ai} pour charge variable en fonction de l'indice de fiabilité β_t pour les coefficients de variation sélectionnés $V = 0,10$; $0,20$ et $0,30$

Annexe D (informative)

Évaluation des structures patrimoniales

D.1 Utilisation de la présente annexe informative

(1) La présente annexe informative fournit des recommandations complémentaires à celles données à l'Article 10 pour l'évaluation des structures patrimoniales à portée culturelle et des structures existantes qui revêtent une importance sociétale.

NOTE Le choix national concernant l'application de la présente annexe informative est précisé dans l'Annexe Nationale. Si l'Annexe Nationale ne contient aucune information sur l'application de la présente annexe informative, elle peut être utilisée.

D.2 Domaine et champ d'application

(1) La présente annexe informative s'applique à l'évaluation des structures patrimoniales.

NOTE Les règles détaillées pour l'évaluation des structures patrimoniales sont fournies dans l'ISO 13822, Annexe I.

D.3 Principes d'évaluation

D.3.1 Gestion de la fiabilité

(1) Il convient que le niveau de fiabilité dans le cadre de la vérification des structures patrimoniales concilie les considérations de sécurité et d'aptitude au service avec la protection de la valeur patrimoniale.

NOTE L'indice cible de fiabilité d'une structure patrimoniale peut être défini par l'Annexe Nationale applicable dans un pays.

(2) Lorsqu'un niveau de fiabilité inférieur à celui qui est implicite dans les codes de calcul pour ouvrages neufs est fixé pour protéger la valeur patrimoniale de la structure, il convient de prendre des mesures en parallèle telles que la limitation de son utilisation ou la création d'un autre itinéraire d'évacuation pour limiter les conséquences d'une défaillance sur les personnes ou les biens culturels.

D.3.2 Préservation des matériaux d'origine et du concept structurel

(1) La valeur patrimoniale d'une structure historique réside dans l'authenticité et l'intégrité des éléments qui la caractérisent, y compris les éléments architecturaux et les peintures. Pour préserver l'authenticité et l'intégrité, il convient, dans la mesure du possible, de préserver la structure en conservant ses matériaux d'origine et son concept structurel.

D.4 Processus d'évaluation

D.4.1 Généralités

(1) Le processus d'évaluation présenté à l'Article 5 peut être utilisé pour l'évaluation des structures patrimoniales en tenant compte des aspects culturels et sociétaux.

(2) Lorsque des éléments caractéristiques sont en danger immédiat, l'autorité compétente ou les parties concernées doivent en être informées afin que les mesures d'atténuation pertinentes puissent être mises en œuvre immédiatement.

(3) Il convient que les interventions provisoires nécessaires pour assurer la stabilité de la structure ne portent pas atteinte à son caractère patrimonial.

D.4.2 Établissement de l'état structural

(1) Il convient d'envisager une surveillance au moyen de dispositifs en tant que mesure permettant de détecter d'éventuels problèmes actifs nécessitant une action immédiate.

NOTE La surveillance pendant l'évaluation préliminaire peut contribuer à la planification de la surveillance ultérieure, pendant l'évaluation détaillée.

(2) Il convient de limiter au minimum les échantillons prélevés pour l'essai des matériaux et, d'une manière générale, de les limiter aux parties de la structure qui ont le moins de valeur patrimoniale.

(3) Il convient de recourir de préférence à des contrôles non destructifs (CND) ou des essais destructifs mineurs.

(4) Il convient que les essais destructifs causant un dommage important aux éléments caractéristiques soient dûment justifiés.

D.4.3 Réalisation de l'évaluation

D.4.3.1 Évaluation préliminaire

(1) Il convient que l'évaluation préliminaire soit effectuée dans le cadre d'une équipe d'experts pluridisciplinaire et tienne compte, dans la mesure du possible, des documents disponibles sur le patrimoine.

D.4.3.2 Évaluation détaillée

(1) Lors de l'évaluation détaillée, il convient d'identifier les aspects de l'histoire ou des propriétés de la structure qui ne peuvent être décrits de manière adéquate au stade préliminaire.

D.5 Évaluation basée sur les performances passées

(1) Pour les structures patrimoniales, il est permis de réaliser une évaluation basée sur les performances passées malgré l'existence de dommages stabilisés.

(2) Il convient d'utiliser la surveillance pour s'assurer du caractère stabilisé des dommages.

D.6 Modélisation et analyse des structures

D.6.1 Modèles de structures patrimoniales

(1) Dans l'idéal, il convient que les modèles de structures patrimoniales satisfassent aux exigences de représentation précise des actions, de géométrie et des propriétés des matériaux, tout en tenant compte des altérations et détériorations, y compris celles causées à la fois par les phénomènes naturels et les interventions humaines.

(2) Il convient d'effectuer un contrôle de la vraisemblance dans le cadre des activités aboutissant à la validation des modèles. Il convient que l'explication des divergences permette d'améliorer les modèles.

(3) Il convient, le cas échéant, d'envisager plus d'un modèle structural.

(4) Lorsque les modèles ne démontrent pas une fiabilité suffisante de la structure, il convient de procéder à des essais supplémentaires des matériaux et des propriétés structurales ou à une surveillance, en intégrant les résultats dans une analyse structurale révisée.

D.6.2 Analyse structurale dans le cadre de l'évaluation

(1) Il convient que l'analyse structurale des structures patrimoniales tienne compte des incertitudes résultant des éléments suivants :

- données incomplètes ;
- dommages et déformations ;
- connaissance limitée des anciens systèmes structuraux ;
- variabilité des propriétés des matériaux.

(2) Il convient que l'analyse structurale des structures patrimoniales explique les effets des actions passées sur la structure et les effets des altérations antérieures.

(3) Outre les états-limites ultimes et les états-limites de service couramment utilisés, il convient d'envisager des états-limites de service spécifiques pour préserver la valeur patrimoniale de la structure, comme les peintures artistiques et les matériaux.

(4) Lorsque la détérioration des structures patrimoniales est prise en considération, il convient de tenir compte des processus de détérioration qui s'inscrivent dans le temps à long terme, et de l'évolution des conditions environnementales.

D.7 Vérification

(1) Il convient d'évaluer la fiabilité d'une structure patrimoniale pour sa durée d'utilisation résiduelle en envisageant une éventuelle protection de la valeur patrimoniale.

D.8 Interventions

(1) Il convient que l'évaluation structurale des structures patrimoniales évite les interventions structurales inutiles qui entraînent une perte ou une altération majeure d'éléments caractéristiques du patrimoine et, en fin de compte, une perte d'authenticité et de portée historique de la ressource culturelle.

NOTE Une intervention d'ampleur excessive peut ajouter des coûts inutiles et compromettre la viabilité d'un projet de conservation et, au final, mettre en péril l'existence d'une ressource culturelle.

(2) Il convient de limiter l'intervention au niveau minimum répondant aux exigences structurales afin de garantir le moins d'atteinte possible à la valeur patrimoniale.

(3) Il convient que les scénarios d'intervention respectent la valeur patrimoniale. La valeur patrimoniale impose normalement de sévères restrictions quant aux interventions possibles et, par conséquent, il convient d'évaluer plus d'un scénario.

(4) Il convient que les matériaux utilisés pour les interventions soient compatibles avec les matériaux d'origine en termes de caractéristiques mécaniques, chimiques et autres, et qu'ils conservent ces caractéristiques sur le long terme. Il convient qu'ils n'aient pas d'effets nocifs, par exemple en provoquant une corrosion ou une décomposition.

(5) Il convient que l'intervention soit le résultat d'un plan intégré visant à répondre aux exigences architecturales, structurales et fonctionnelles.

(6) Il convient d'éviter, dans la mesure du possible, d'enlever ou d'altérer tout matériau historique ou élément architectural distinctif.

Bibliographie

- [1] EN 1992, *Eurocode 2 : Calcul des structures en béton*
- [2] EN 1993, *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier*
- [3] EN 1994, *Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton*
- [4] EN 1995, *Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois*
- [5] EN 1996, *Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie*
- [6] EN 1997, *Eurocode 7 : Calcul géotechnique*
- [7] EN 1998, *Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes*
- [8] EN 1999, *Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium*
- [9] ISO 2394, *Principes généraux de la fiabilité des constructions*
- [10] ISO 12491, *Méthodes statistiques de contrôle de la qualité des matériaux et éléments de construction*
- [11] ISO 13822, *Bases du calcul des constructions — Évaluation des constructions existantes*
- [12] ISO 13823, *Principes généraux du calcul des constructions pour la durabilité*
- [13] ISO 13824, *Bases du calcul des constructions — Principes généraux sur l'évaluation du risque pour les systèmes comprenant des structures*
- [14] Joint Committee on Structural Safety (JCSS), *Probabilistic Assessment of Existing Structures*
- [15] Joint Committee on Structural Safety (JCSS), *Probabilistic Model Code*
- [16] Joint Committee on Structural Safety (JCSS), *Risk Assessment in Engineering: Principles, System Representation & Risk Criteria*