
Norme internationale



2394

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

Principes généraux de la fiabilité des constructions

General principles on reliability for structures

Deuxième édition — 1986-10-15

CDU 624.042 : 351.785

Réf. n° : ISO 2394-1986 (F)

Descripteurs : génie civil, bâtiment, structure, fiabilité, sécurité, contrôle de qualité.

Prix basé sur 18 pages

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 2394 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 98, *Bases du calcul des constructions*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 2394-1973), dont elle constitue une révision.

L'attention des utilisateurs est attirée sur le fait que toutes les Normes internationales sont de temps en temps soumises à révision et que toute référence faite à une autre Norme internationale dans le présent document implique qu'il s'agit, sauf indication contraire, de la dernière édition.

Sommaire		Page
0	Introduction	1
1	Objet et domaine d'application	1
2	Exigences et conditions générales	1
3	Principes du calcul aux états-limites	3
4	Variables de base	5
5	Analyses, calculs et essais	6
6	Format de calcul	7
7	Contrôle de qualité	11
 Annexes		
A	Exemples d'actions permanentes, variables et accidentelles	14
B	Exemple de méthode probabiliste du premier ordre	15

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 2394:1986

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a02b7bc1-be3e-4dfc-ad08-ed5836383493/iso-2394-1986>

Principes généraux de la fiabilité des constructions

0 Introduction

La présente Norme internationale constitue une base commune d'établissement de règles de calcul concernant l'exécution et l'exploitation de toutes les constructions, quelles que soient la nature et la combinaison des matériaux utilisés (béton, acier, bois, briques, etc.). Toutefois, leur application à chaque type de matériau nécessite une adaptation particulière afin d'assurer un degré homogène de sécurité qui, autant que possible, soit en accord avec les objectifs des commissions chargées d'élaborer des codes pour chacun de ces matériaux.

NOTE — La présente Norme internationale a pour but de servir de base aux travaux des commissions ayant pour tâche de préparer des normes ou codes nationaux, en fonction des conditions techniques et économiques existant dans le pays considéré, de la nature et du type des constructions et des propriétés des matériaux au cours de leur durée de vie dans des conditions d'exploitation définies. Elle fournit une base commune aux autres Normes internationales concernant les structures porteuses.

Cependant, pour prendre en considération la possibilité d'un progrès continu des techniques et des pratiques en vigueur dans différents pays, et le désir de les faire évoluer, les normes ou codes nationaux peuvent être simplifiés ou plus détaillés par rapport à la présente Norme internationale.

Il est important de reconnaître que la sécurité sur le plan national, est représentée par un ensemble comprenant les modèles décrivant des actions, les règles de calcul, les coefficients de sécurité, la main-d'œuvre, les méthodes de contrôle de qualité et les exigences nationales dont les éléments sont interdépendants.

La modification d'un seul élément pris isolément peut nuire à la sécurité assurée par un bon équilibre de l'ensemble des éléments.

Dans l'effort d'harmonisation, il est essentiel que la modification d'un élément quelconque soit accompagnée d'une étude de sa répercussion sur l'ensemble dont dépend la sécurité.

1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les principes généraux permettant de vérifier la fiabilité des structures sujettes à des types d'actions¹⁾ connus ou prévisibles. La fiabilité considérée concerne le comportement de ladite structure pendant toute sa durée de vie escomptée.

Ces principes généraux s'appliquent aussi bien aux constructions complètes (bâtiments, ponts, constructions industrielles, etc.) qu'à leurs éléments constitutifs et aux fondations.

La présente Norme internationale est applicable tant au stade des études qu'aux étapes successives de la construction (c'est-à-dire la fabrication des éléments structuraux, le transport, la manutention et la mise en œuvre de ces éléments et travaux de chantier) et à l'exploitation de l'ouvrage pendant sa durée de vie escomptée.

La plupart de ces principes sont également applicables à une nouvelle étude des structures existantes à l'occasion de réparations ou d'une reconstruction partielle.

2 Exigences et conditions générales

2.1 Exigences fondamentales

Les constructions ou éléments de construction doivent être conçus et construits de manière à être aptes à l'utilisation prévue. Les structures doivent normalement être conçues de façon qu'elles ne subissent pas de dégât disproportionné à toute cause qui en serait l'origine, ce qui implique qu'elles aient un certain degré de robustesse. Elles doivent, en particulier, avec des degrés de fiabilité appropriés, répondre aux conditions suivantes :

- a) Elles doivent résister à toutes les actions qu'elles auront normalement à subir pendant leur exécution et leur utilisation prévue.
- b) À partir de leur achèvement, les structures doivent conserver un degré d'intégrité suffisant pour résister à des défaillances localisées et à certains événements accidentels spécifiés tels qu'explosions, incendie ou choc d'un véhicule.
- c) Les structures et éléments structuraux doivent se comporter convenablement en utilisation normale.

Ces exigences doivent être satisfaites pendant toutes les durées de vie escomptées des constructions.

NOTE — Ceci implique que la durabilité des constructions dans leur environnement normal de service, soit telle qu'une dégradation des propriétés des matériaux ne puisse conduire à une probabilité inacceptable de défaillance. Il s'ensuit que la durée de vie escomptée de toute la structure doit être obtenue moyennant un niveau acceptable d'entretien.

1) Le terme «charge» peut être utilisé à la place du terme «action». Voir la note en 4.1.

Une exigence additionnelle est que les solutions adoptées dans les études tiennent compte d'une utilisation économique des matériaux, de l'énergie, des ressources financières, de la main-d'œuvre, de l'espace et du temps.

NOTES

1 Le terme «défaillance» est utilisé dans le présent texte comme ayant une double signification : insuffisance de sécurité ou insuffisance d'aptitude au service.

2 Les deux premières exigences indiquées ci-dessus se rapportent à la sécurité des structures alors que la troisième est relative à leur aptitude au service.

3 Dans l'acception plus restreinte faisant seule l'objet de la présente Norme internationale, on peut se servir du terme «fiabilité», décrivant la probabilité que ni la sécurité ni l'aptitude au service ne seront en dessous des exigences pendant la durée de vie prévue de l'ouvrage considéré. Prise dans son sens général, la fiabilité d'une structure est son aptitude à répondre aux objectifs de sa conception pendant une durée spécifiée, dans les conditions d'environnement auxquelles elle est soumise.

La sécurité et l'aptitude au service pendant la durée de vie prévue de l'ouvrage ne sont pas simplement fonction des calculs de conception mais dépendent aussi du contrôle de qualité exercé en cours de fabrication, de la surveillance exercée sur le chantier et de la manière selon laquelle la structure est utilisée et maintenue.

Le choix des différents niveaux de fiabilité doit prendre en considération les conséquences possibles d'une défaillance en ce qui concerne les risques de blessures ou de pertes de vies humaines, le nombre de personnes pouvant être en danger en cas de défaillance, les pertes économiques possibles et le degré de perturbation pour la société qu'entraînerait une telle défaillance. On doit aussi tenir compte des dépenses et efforts que nécessiterait la réduction du risque de défaillance selon la cause de celle-ci.

NOTE — Ainsi, par exemple, les structures ou éléments structuraux pourraient être classés, selon les conséquences résultant d'une défaillance, comme suit :

- a) avec risque pour la vie humaine négligeable et conséquences économiques et sociales faibles ou négligeables;
- b) avec risque pour la vie humaine et/ou conséquences économiques et sociales considérables;
- c) avec risque pour la vie humaine élevé et/ou conséquences économiques et sociales très grandes.

Une telle classification des structures ou éléments structuraux pourrait donc correspondre à une classification des différents niveaux de fiabilité, ceux-ci nécessitant, à leur tour, des mesures plus ou moins importantes pour assurer la sécurité et, éventuellement, l'aptitude au service.

Les conséquences d'une défaillance sont, en général, fonction du mode de la défaillance, surtout lorsqu'il existe des risques de blessures ou de pertes de vies humaines. C'est pourquoi une structure susceptible de s'effondrer brusquement, sans le moindre signe avertisseur, doit être dimensionnée pour un plus haut degré de fiabilité qu'une structure ayant un mode de défaillance ductile (voir 3.2.3).

2.2 Conditions d'utilisation et d'environnement

La nature de l'utilisation de la structure et celle des conditions d'environnement doivent conduire à prévoir, au stade de la conception, toutes les situations pouvant découler de l'usage normal de la construction.

NOTE — Dans ces situations sont incluses par exemple, toutes les actions mises en jeu lors d'une utilisation normale spécifiée, combinées avec toutes les conditions prévisibles d'environnement se produisant en même temps que ces actions.

Les conséquences de l'utilisation et les conditions d'environnement sont à la base de la conception de la structure du point de vue des états-limites de service, et éventuellement des états-limites ultimes. Elles doivent donc être prises en compte, entre autres paramètres, pour définir les situations de projet (voir 3.2.2).

2.3 Dangers potentiels

Il est également nécessaire de tenir compte de circonstances périlleuses qui, à elles seules ou en combinaison avec des conditions normales, peuvent conduire à atteindre les états-limites de service ou éventuellement les états-limites ultimes.

Ces dangers peuvent être dus

- aux erreurs pouvant résulter de manque d'informations, d'omissions, de malentendus, etc.;
- aux sollicitations extrêmes dues à l'environnement (conditions climatiques, géotechniques, etc.).

Les mesures prises pour faire face à ces circonstances consisteront fondamentalement

- à éviter les effets des dangers sur la structure, soit en éliminant leur cause, soit en trouvant une méthode pour les pallier ou les contourner,
- à prendre en compte les dangers dans la conception (voir 3.2.3b);
- à accepter les risques de défaillance résultant de ces dangers mais en essayant d'en minimiser les conséquences (voir 3.2.3a).

Quand un danger spécifique doit être pris en considération, il convient de le prendre en compte pour définir une situation de projet (voir 3.2.2). La situation examinée doit être normalement dominée par une seule circonstance dangereuse qui s'additionnera aux conditions normales.

2.4 Considérations concernant les études d'une structure

Pour que les propriétés de la structure réalisée soient bien conformes aux hypothèses prises en compte au cours des études, un certain nombre de conditions doivent être remplies.

2.4.1 Choix initial du type de structure, des matériaux, de la méthode de dimensionnement et de la méthode de construction

Pour la sécurité, le type de structure doit être choisi de manière que les parties essentielles de celle-ci puissent conserver une intégrité suffisante pendant et après des accidents éventuels. Les matériaux, la méthode de dimensionnement et la méthode de construction peuvent aussi avoir une influence sur la sauvegarde de l'intégrité de la structure.

2.4.2 Responsabilités

Pour toute activité prévisible au cours de l'exécution, les responsabilités doivent être clairement définies et les domaines de compétence délimités de façon précise. Il est important que l'étendue des tâches et des devoirs incombant aux responsables soit parfaitement connue et comprise de ceux-ci. Ceci vaut également pour les transmissions d'informations et de documents.

NOTE — De nombreuses causes de défaillance de structures peuvent être attribuées à des situations où les responsabilités n'étaient pas clairement définies.

2.4.3 Mesures à prendre contre les erreurs humaines

Les conséquences d'erreurs humaines doivent être réduites autant que possible de façon raisonnable en prenant des mesures telles que :

- a) l'amélioration des conditions de réalisation au point que les survenances d'erreurs humaines disparaissent ou soient réduites au minimum. Ceci implique, par exemple, la sélection d'un personnel qualifié, de bonnes conditions de communication ainsi que des mesures préventives pour empêcher les erreurs humaines (telles qu'un système de contrôle adéquat) ;
- b) l'amélioration des méthodes de travail. Les postes de travail notamment et leurs zones doivent être aménagés convenablement. Ces conditions sont également nécessaires pour l'entretien et la réparation.

NOTE — L'expérience montre que les défaillances de structures sont souvent le résultat d'erreurs humaines produites par un choix impropre du type de structure ou d'un matériau ou par un projet ou une exécution incorrecte.

2.4.4 Contrôle de qualité

À tous les stades de la programmation, des études de la construction et de l'utilisation d'une construction doit être exercé un contrôle dont l'étendue doit dépendre à la fois des conséquences possibles d'une erreur et du coût de ce contrôle.

NOTE — De nombreux cas de défaillances de structures sont dus à des erreurs qui ont échappé à ceux qui devaient mener la construction à bien.

Le contrôle doit également inclure l'introduction, l'exécution et la supervision des mesures à prendre dans le cas où les résultats atteints ne seraient pas conformes à ceux qu'on voulait obtenir.

NOTE — La question du contrôle est traitée plus en détail au chapitre 7.

2.4.5 Entretien et réparations

Les constructions doivent être entretenues de manière à répondre à leur destination pendant toute leur durée de vie escomptée. Quand une structure est endommagée au point que son utilisation entraînerait un risque ou des coûts inacceptables, il y a lieu d'entreprendre des réparations.

NOTE — Dans des situations particulières, la démolition d'un ouvrage peut être une solution meilleure que la réparation.

Une détérioration peut être découverte à l'occasion d'inspections qui sont à faire à intervalles réguliers. Les efforts consacrés à l'entretien sont à définir en fonction de l'importance et du type de la construction, des conditions d'utilisation, des connaissances qu'on a sur la durabilité des matériaux, des conditions d'environnement, de la protection contre les actions extérieures et du coût des investigations.

Les éléments structuraux essentiels pour la stabilité de l'ouvrage doivent, autant que possible, être accessibles à l'inspection sans trop de complications.

3 Principes du calcul aux états-limites

3.1 États-limites

3.1.1 Les performances de la structure ou d'une partie de la structure doivent être définies par référence à un ensemble déterminé d'états-limites, au-delà desquels la structure ne satisfait plus aux exigences pour lesquelles elle a été conçue.

NOTE — Les états-limites peuvent être considérés comme une représentation discrète d'une fonction de pertes plus générale et souvent continue.

Les états-limites sont classés en deux catégories suivantes qui, à leur tour, peuvent être subdivisées :

- a) les états-limites ultimes qui sont ceux correspondant à la valeur maximale de la capacité portante (et concernant la sécurité) ;
- b) les états-limites de service qui sont rapportés à des critères relatifs à l'utilisation normale (et ont souvent un objet fonctionnel).

3.1.2 Les états-limites ultimes correspondent, par exemple, à

- une perte d'équilibre statique de la structure ou d'une partie de la structure, considérée comme un corps rigide (par exemple renversement),
- la rupture de sections critiques de la structure causée par un dépassement de la résistance à la rupture (elle-même réduite, dans certains cas, par des répétitions de charges) ou de la déformation ultime du matériau,
- une transformation de la structure en un mécanisme (effondrement),
- une instabilité de forme (flambement, etc.).

3.1.3 Les états-limites de service correspondent, par exemple,

- à des déformations affectant l'utilisation normale ou l'aspect d'éléments structuraux ou non structuraux,
- à des vibrations excessives génératrices d'inconfort ou préjudiciables à des éléments non structuraux ou à des équipements (particulièrement en cas de résonance),
- à un dommage local (pouvant être une fissuration) réduisant la durabilité de la structure ou affectant la tenue ou l'aspect d'éléments structuraux ou non structuraux.

3.1.4 Pour éviter d'atteindre les états-limites de service par le dimensionnement de la structure, il est souvent nécessaire de se référer à une ou plusieurs valeurs limites (C) définissant des valeurs acceptables des déformations, accélérations, largeurs de fissures, etc.

NOTE — Ces valeurs limites peuvent être obtenues par des méthodes statistiques, mais sont généralement incluses dans des codes leur donnant des valeurs déterministes.

3.2 Calculs

3.2.1 Règles générales

Tous les états-limites utiles aux calculs doivent être pris en considération dans le projet. Un modèle de calcul doit être établi pour chacun de ces états-limites et il doit contenir des variables appropriées pour tenir compte des incertitudes relatives aux actions, à la réponse de la structure dans son ensemble, au comportement des éléments individuels et des matériaux de la structure ainsi qu'aux caractéristiques de l'environnement. Des mesures appropriées doivent être prises pour éviter des erreurs dans l'interprétation du projet. Toutefois, le raffinement dans les études ne doit pas être poussé au-delà de ce qui est compatible avec la qualité vraisemblable de réalisation.

Le but des calculs ou des essais sur prototype est de limiter la probabilité qu'un état-limite puisse être atteint, en dessous d'une certaine valeur prescrite pour le type de structure considéré.

Pour vérifier la fiabilité du dimensionnement d'une structure, il est généralement recommandé de recourir à la méthode des coefficients partiels décrite au chapitre 6. Toutefois, pour certains problèmes de calcul, tels que, par exemple, l'analyse dynamique, une référence directe aux valeurs de calcul appropriées peut être plus convenable.

NOTE — Certains états-limites ne peuvent être vérifiés exclusivement par les calculs. Ceci s'applique, par exemple, aux états-limites déterminés par rapport aux agressions chimiques ou biologiques, ou bien pour prévenir une rupture fragile.

3.2.2 Situations de projet

Pour toute structure, il est généralement nécessaire d'envisager plusieurs situations de projet distinctes (voir 2.2). Pour chacune de ces situations de projet, il peut y avoir des différences dans la structure elle-même, des exigences de fiabilité différentes, des valeurs de calcul différentes, des conditions d'environnement

nement différentes, etc. Une vérification de la fiabilité doit être effectuée pour chaque situation de projet en tenant compte des différentes conséquences d'une défaillance.

Les situations de projet peuvent être classées comme suit :

- a) situations durables, ayant une durée de même ordre de grandeur que la durée de vie de la structure ;

NOTE — La structure d'un immeuble d'habitation, par exemple, est soumise aux charges résultant du poids des meubles et d'un nombre normal de personnes.

- b) situations transitoires ayant une plus courte durée mais une forte probabilité d'occurrence ;

NOTE — Une structure est, par exemple, soumise à des charges par suite d'un dépôt de matériaux au cours de sa construction ou d'une réparation.

- c) situations accidentelles (pendant ou après un accident) ayant normalement une courte durée et une faible probabilité d'occurrence.

NOTE — Les situations accidentelles découlent, par exemple, d'un incendie, d'une explosion, d'un choc ou d'un dégât localisé important.

3.2.3 Intégrité de la structure

En principe, toutes les parties d'une structure et une structure dans son ensemble, doivent être dimensionnées vis-à-vis des états-limites ultimes et des états-limites de service qu'il est utile de considérer. Cependant, dans des situations accidentelles, on admet généralement que seuls les principaux éléments porteurs doivent être dimensionnés en fonction des états limites ultimes.

NOTE — Ceci n'exclut pas le fait que la vérification des états-limites additionnels peut être exigée dans certaines situations accidentelles, par exemple isolation thermique et résistance au feu qui peuvent ne pas concerner seulement les principaux éléments porteurs.

Les principaux éléments porteurs doivent être dimensionnés pour que, dans des situations accidentelles correspondant à certains dangers potentiels, la probabilité de dommages disproportionnés par rapport à la cause initiale soit suffisamment faible (voir 2.3).

NOTE — Cette exigence peut être satisfaite en prenant par exemple les précautions suivantes :

- a) concevoir et dimensionner la structure de façon qu'en cas de défaillance d'un quelconque élément porteur, la structure dans son ensemble ou une partie importante de celle-ci ne s'effondre pas immédiatement de manière à permettre l'application des mesures urgentes nécessaires, par exemple l'évacuation de l'immeuble ;
- b) faire en sorte (par le dimensionnement ou par des mesures protectrices) qu'aucun élément porteur essentiel ne puisse être ruiné du fait d'un accident.

De plus, la structure doit avoir une résistance appropriée aux forces latérales. Par conséquent, lorsque les forces horizontales sont inconnues ou lorsque leurs valeurs sont trop petites pour assurer la robustesse de la structure, la structure doit pouvoir supporter une force horizontale dont la valeur doit correspondre à une proportion spécifiée des charges verticales totales.

4 Variables de base

4.1 Généralités

Le modèle de calcul exprimant chaque état-limite considéré doit contenir un ensemble spécifié de variables de base. En général, celles-ci correspondent à des quantités physiques mesurables. Les variables de base caractérisent normalement :

- des actions,¹⁾
- des propriétés des matériaux et des sols,
- des paramètres géométriques.

Les variables de base sont considérées comme des variables aléatoires.

Les variables de base sont souvent affectées par des conditions d'environnement. Cette influence doit être prise en compte par les codes spécifiques se rapportant à chaque matériau particulier et à chaque type de structure.

4.2 Actions

4.2.1 Définitions

Une action est

- un ensemble de forces concentrées ou réparties agissant sur la structure (actions directes), ou
- la cause de déformations imposées ou entravées dans la structure (actions indirectes).

Une action est considérée comme une action unique, s'il peut être admis qu'elle est stochastiquement indépendante, dans le temps et dans l'espace, de toute autre action agissant sur la structure.

NOTE — En réalité, les actions qui se présentent simultanément sont souvent stochastiquement dépendantes, dans une certaine mesure. Pour simplifier les calculs, les actions qui, quand elles sont présentes, dépendent étroitement les unes des autres et atteignent leurs valeurs maximales au même moment, peuvent être considérées globalement comme une action unique. Les actions dont l'interdépendance est faible (corrélation minimale) doivent être considérées comme indépendantes.

Dans le cas d'ambiguïté, les actions doivent être définies de façon qu'elles produisent l'effet le plus défavorable qui puisse être obtenu par l'application de leur combinaison appropriée.

Pour faciliter le calcul des sollicitations, il peut être convenable de regrouper plusieurs actions élémentaires analogues en une action composée ou de séparer certaines actions en une somme ou une différence de plusieurs actions composantes.

4.2.2 Classification des actions selon la variation de leur grandeur dans le temps

Selon leur variation dans le temps, les actions sont divisées comme suit :

- a) actions permanentes (G) qui sont susceptibles d'agir tout au long d'une situation de projet donnée et pour lesquelles la variation de grandeur au cours du temps est négligeable par rapport à la valeur moyenne, ou dont la grandeur varie toujours dans le même sens jusqu'à ce que les actions atteignent certaines valeurs limites ;
- b) actions variables (Q) qui ne sont pas susceptibles d'agir tout au long d'une situation de projet donnée ou dont les variations de grandeur au cours du temps ne sont pas monotones et ne sont pas négligeables par rapport à la valeur moyenne ;
- c) actions accidentelles (A ou F_a) dont la présence, avec une grandeur significative, est peu probable sur une structure donnée au cours de la période de temps étudiée et qui, dans la plupart des cas, sont de courte durée. Une action accidentelle peut entraîner, dans de nombreux cas, de sévères conséquences à moins que ne soient prises des mesures particulières.

NOTE — Des exemples d'actions permanentes, variables et accidentelles sont donnés à l'annexe A.

4.2.3 Classification des actions selon leur variation dans l'espace

Selon leur variation dans l'espace, les actions sont divisées en deux groupes comme suit :

- a) actions fixes, qui ont une distribution spatiale sur l'ensemble de la structure, telle que la grandeur et la direction de l'action sont déterminées sans ambiguïté pour l'ensemble de la structure si cette grandeur et cette direction sont déterminées en un point de la structure.
- b) actions libres, qui peuvent avoir une distribution spatiale quelconque sur la structure, à l'intérieur de certaines limites.

Les actions ne pouvant être classées dans l'un de ces deux groupes peuvent être considérées comme constituées d'une partie fixe et d'une partie libre.

Le traitement des actions libres nécessite la considération de différents cas de charge. Un cas de charge est déterminé en fixant la configuration de chacune des actions libres.

1) Le terme «charge» (qui prévaut dans certains pays) peut être utilisé comme ayant essentiellement la même signification que le terme «action». Il a été souvent employé dans le passé pour désigner uniquement les actions directes.

Le terme «action» a été introduit afin qu'il traduise également les effets dus aux déformations imposées.

NOTE — Dans certains cas, il est nécessaire de distinguer les actions fixes et les actions mobiles ou qui s'exercent de façon probabiliste en certains points ou sur certaines parties des structures. Dans de tels cas, et en l'absence d'étude plus détaillée, il est généralement admis de séparer de telles actions en différentes actions élémentaires : celles appliquées en des points ou sur des parties reconnues *a priori* comme les plus défavorables et celles appliquées aux autres parties.

4.2.4 Classification des actions selon la réponse de la structure

Selon la manière dont la structure répond à une action, les actions sont divisées comme suit :

- a) actions statiques, qui sont appliquées à la structure et ne peuvent produire que des effets statiques sans entraîner d'accélération significative de la structure ou de ses éléments ;
- b) actions dynamiques, qui entraînent des effets dynamiques, par exemple des accélérations significatives de la structure.

NOTE — La classification d'une action en une action dynamique ou statique dépend donc de la structure.

Dans un but de simplification, les actions dynamiques peuvent souvent être traitées comme des actions statiques, les effets dynamiques qui dépendent du comportement de la structure étant pris en compte par une augmentation appropriée de la grandeur des actions.

4.3 Propriétés des matériaux et des sols

Les valeurs relatives aux propriétés des matériaux, ainsi que leurs variations aléatoires, doivent être déduites soit d'essais spécifiques, soit de résultats d'essais antérieurs, soit encore des observations in situ et des autres sources d'information. Les propriétés rapportées à des éprouvettes soumises à des essais particuliers doivent être converties en utilisant des facteurs ou fonctions de conversion qui doivent tenir compte de l'effet d'échelle et de toute variation du temps et de la température. L'incertitude relative aux propriétés des matériaux ou du sol doit être évaluée en fonction de l'incertitude des résultats d'essais normalisés, et de celle des facteurs ou fonctions de conversion. On doit aussi tenir compte du niveau de qualification de la main-d'œuvre et du degré du contrôle exercé.

4.4 Paramètres géométriques

Les paramètres géométriques rendent compte de la forme, des dimensions, des sections et de l'agencement général de la structure et de ses éléments. Si des paramètres géométriques peuvent s'écarter des valeurs prescrites au point qu'il en résulte un effet significatif sur le comportement et la résistance de la structure, ces paramètres doivent être considérés comme des variables aléatoires. Les facteurs exprimant la variation possible de ces paramètres doivent être déterminés en fonction des limites de tolérance admissibles (voir 6.4).

NOTE — Dans la plupart des cas, toutefois, la variabilité aléatoire des paramètres géométriques peut être considérée comme faible par rapport à la variabilité des actions et des propriétés des matériaux. On peut donc admettre, dans ces cas-là, que les paramètres géométriques ne sont pas aléatoires et sont bien conformes à ce qui est spécifié dans le projet.

Certains exemples de paramètres géométriques aléatoires sont des courbures, inclinaisons ou excentrement non intentionnels, particulièrement pour des poteaux ou des murs.

5 Analyses, calculs et essais

5.1 Généralités

Dans la plupart des cas, les études consistent en

- une analyse structurale, c'est-à-dire le calcul des sollicitations (forces et moments) appliquées à des sections transversales, et
- une analyse des sections transversales, des joints, etc., c'est-à-dire le calcul de leur résistance et, plus généralement, de leur comportement.

Néanmoins, il est parfois impossible de faire la distinction ci-dessus, par exemple dans le cas où l'on étudie la stabilité d'une structure dans son ensemble.

L'analyse structurale peut être conduite au moyen de calculs, d'essais sur modèle (matériel ou abstrait) ou d'essais de prototypes. Une combinaison de ces méthodes est souvent utile. Dans le cas d'analyse par des essais, il est recommandé de les utiliser simultanément.

Il est important d'identifier la structure principale assurant une transmission sûre des forces aux fondations, et de déterminer les dispositions de la structure (y compris ses dispositions générales) qui ont une influence critique sur sa stabilité générale et sur son intégrité. Ces dispositions doivent être examinées de façon approfondie et vérifiées à tous les stades des études et de l'exécution.

5.2 Calculs

Les modèles de calcul et les hypothèses servant de base au calcul doivent exprimer la réponse de la structure vis-à-vis de l'état-limite considéré.

Pour faciliter le calcul, on peut généralement décrire une structure par un modèle comprenant des éléments à une dimension (poteaux, poutres, câbles et arcs), des éléments à deux dimensions (dalles et coques) et des éléments à trois dimensions.

Pour les états-limites de service, des analyses linéaires sont en général satisfaisantes. Il peut cependant arriver qu'on doive faire appel à des méthodes non linéaires.

Pour les états-limites ultimes, on peut appliquer des théories linéaires, non linéaires et celles de la plasticité selon la réponse des matériaux et de la structure à l'égard des actions.

Quand on traite des actions libres, il est nécessaire de définir, pour chaque action, un modèle spatial simplifié, puis d'utiliser ces modèles pour en déduire les différentes configurations des charges (cas de charge). En étudiant une structure donnée, on devra choisir la configuration qui est la plus défavorable. Toutefois, il sera parfois justifié, pour des raisons statistiques de ne pas prendre en considération certaines configurations des charges par trop improbables.

Si l'influence des conditions d'environnement sur le comportement des matériaux, des éléments de structure et de la structure, a un caractère systématique, cette influence pourra être directement intégrée dans l'analyse.

Des exemples d'une influence des conditions d'environnement pouvant être directement intégrés dans l'analyse sont, entre autres :

- l'influence des conditions d'humidité de l'environnement sur la résistance du bois ou sur les déformations de fluage et de retrait du béton,
- l'influence d'une haute température, au cours d'un incendie, sur les déformations et sur la limite d'élasticité de l'acier.

Les incertitudes relatives à un modèle de calcul peuvent être incluses dans le modèle lui-même par exemple en introduisant un ou plusieurs paramètres qui peuvent être traités comme variables de base supplémentaires ayant leurs propres valeurs moyennes et leurs propres variances. Les incertitudes peuvent résulter d'une comparaison entre les résultats prévus et ceux effectivement obtenus lors d'essais appropriés.

5.3 Essais sur modèles

Une structure ou une partie de celle-ci peut être calculée en fonction des résultats d'essais sur un modèle approprié, associés à une analyse du même modèle effectuée pour prédire le comportement de la structure réelle.

NOTE — Dans la plupart des cas, un essai sur modèle est utilisé pour l'analyse structurale afin de vérifier les calculs ou de se substituer à ceux-ci. On doit s'assurer que les résultats obtenus avec le modèle sont également valables pour une échelle à grandeur nature.

5.4 Essais sur prototypes

Une structure ou une partie de celle-ci peut être également dimensionnée sur la base des résultats d'essais de prototypes convenables pour le projet dont il s'agit.

NOTE — Un essai sur prototype est souvent utilisé pour s'épargner des calculs en vue de vérifier la résistance de petites unités ou de détails. Il est important que cet essai soit conduit, autant que possible, dans les mêmes conditions et en prenant les mêmes hypothèses que pour la structure réelle, notamment pour ce qui a trait à la résistance des matériaux constitutifs, aux dimensions, aux charges et aux conditions d'environnement. Quand on ne dispose que de peu de résultats d'essais sur prototype, on doit normalement tenir compte d'une incertitude statistique.

6 Format de calcul

6.1 Principes

La méthode des coefficients partiels sépare les influences des incertitudes et des variabilités découlant de différentes causes, en affectant des coefficients partiels aux variables de base.

Le présent chapitre indique les principes de la méthode. Toutefois, dans l'application pratique, de légères modifications sont parfois nécessaires ou préférables. (Voir 6.2.2 et 6.3.2.)

Pour procéder à une vérification, les valeurs attribuées aux variables de base sont appelées valeurs de calcul (ou de dimensionnement).

Les actions sont exprimées par leurs valeurs de calcul F_d (voir 6.2.2) selon l'équation

$$F_d = \gamma_f F_r$$

La résistance des matériaux est exprimée par sa valeur de calcul f_d (voir 6.3.2) selon l'équation

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

D'autres caractéristiques applicables sont prises en compte de façon similaire (ou parfois au moyen de marges).

Les paramètres géométriques sont exprimés par leurs valeurs de calcul a_d (voir 6.4.2) selon l'équation

$$a_d = a_k \pm \Delta a$$

Dans les équations ci-dessus

F_r désigne les valeurs représentatives des actions ;

f_k désigne les valeurs caractéristiques des propriétés des matériaux (par exemple la résistance) ;

a_k sont les valeurs caractéristiques des paramètres géométriques ;

γ_f désigne les coefficients partiels applicables aux actions et dont la valeur rend compte des incertitudes relatives aux actions (voir 6.2.2) ;

γ_m désigne les coefficients partiels applicables aux matériaux ; leurs valeurs tiennent compte des incertitudes relatives aux propriétés des matériaux (voir 6.3.2) ;

Δa désigne les grandeurs géométriques partielles additives ; leurs valeurs tiennent compte des incertitudes relatives aux paramètres géométriques (voir 6.4.2).

La condition pour qu'un état-limite ne soit pas dépassé peut être écrite sous la forme suivante :

$$\theta(F_d, f_d, a_d, C, \gamma_n, \gamma_d) \geq 0 \quad \dots (1)$$

où

C désigne les valeurs limites telles que celles décrites par exemple en 3.1 ;

γ_n désigne un coefficient prenant en compte l'importance de la structure et des conséquences d'une défaillance, y compris la nature de la défaillance. La valeur de γ_n peut être déterminée en fonction de la classe de sécurité (voir 2.1) de la structure ou partie de structure considérée ;