

# NORME INTERNATIONALE

ISO  
3010

Première édition  
1988-07-01



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

## **Bases du calcul des constructions — Actions sismiques sur les structures**

*Bases for design of structures — Seismic actions on structures*

Numéro de référence  
ISO 3010 : 1988 (F)

## 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 en général 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. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

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 3010 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 98, *Bases du calcul des constructions*.

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.

# Bases du calcul des constructions — Actions sismiques sur les structures

## 0 Introduction

La présente Norme internationale a pour objet de présenter des méthodes fondamentales pour déterminer les actions sismiques sur les structures. Les actions sismiques décrites ici entrent tout à fait dans le champ d'application de l'ISO 2394.

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie des méthodes d'évaluation des actions sismiques permettant le dimensionnement de bâtiments, de tours, de cheminées et de structures semblables de sorte qu'ils résistent aux tremblements de terre. La plupart des principes s'appliquent également aux structures telles que les ponts, les barrages, les installations portuaires, les tunnels, les réservoirs de stockage de carburant, les usines chimiques, les centrales électriques conventionnelles, etc.

Les méthodes spécifiées dans la présente Norme internationale ne sont pas applicables aux centrales nucléaires, car elles sont traitées à part dans d'autres Normes internationales appropriées.

## 2 Référence

ISO 2394, *Principes généraux de la fiabilité des constructions*.

## 3 Éléments de base des projets de structures résistant aux séismes

L'idée principale qui inspire le dimensionnement de structures résistant aux séismes est, dans l'hypothèse d'un séisme, la suivante :

- a) prévenir le risque de dommages corporels;
- b) assurer la continuité des services vitaux;
- c) réduire au minimum les dégâts matériels.

Il est acquis qu'il n'est pas économiquement réalisable d'envisager une protection totale de la plupart des structures contre les séismes. La présente Norme internationale énonce les principes suivants.

a) La structure ne devrait pas s'écrouler ni mettre en danger des vies humaines lorsque des tremblements de terre sévères peuvent se produire sur le site (état-limite ultime).

b) La structure devrait résister à des tremblements de terre de moyenne importance qui ont quelque chance de se produire pendant la durée de service de la structure et ce, sans dommage structurel, les dégâts non structurels restant dans des limites acceptables (état-limite de service).

NOTE — Les séismes sévères et moyens évoqués ci-dessus peuvent correspondre respectivement aux actions sismiques accidentelles et variables définies en 5.1. Parallèlement au projet et à l'exécution de structures résistant aux séismes dont traite la présente Norme internationale, on devrait envisager des mesures préventives appropriées contre les sinistres secondaires tels que l'incendie, les fuites de substances dangereuses sur les sites industriels ou les réservoirs de stockage et contre les glissements de terrain de grande ampleur qui peuvent être déclenchés par le tremblement de terre.

## 4 Principes du dimensionnement de structures résistant aux séismes

**4.1** Pour offrir une meilleure résistance aux séismes, les structures doivent de préférence avoir des formes simples, tant en plan qu'en élévation.

NOTE — Quand on doit concevoir une structure de forme complexe, il convient de procéder à une analyse dynamique précise, afin d'étudier le comportement potentiel de cette structure.

**4.2** Les éléments structurels destinés à résister à des actions sismiques horizontales doivent être disposés de sorte que les effets de torsion soient les plus petits possible.

NOTE — Il n'est pas souhaitable de réaliser des projets ayant des formes irrégulières en plan et une répartition excentrique des charges, car elles engendrent des effets de torsion qu'il est difficile d'évaluer avec précision et qui peuvent amplifier la réponse dynamique de l'ouvrage.

**4.3** Le système de structure doit être tel qu'il puisse faire l'objet d'une analyse rationnelle. Lors du calcul de la réponse d'un bâtiment à un séisme, on devrait considérer non seulement le rôle des structures proprement dites mais aussi celui des murs, des planchers, des cloisons, des fenêtres, etc.

**4.4** La structure et ses éléments doivent présenter à la fois une résistance et une ductilité adéquates, eu égard aux actions sismiques pouvant leur être appliquées.

NOTE — La structure devrait présenter non seulement une résistance appropriée aux actions sismiques appliquées, mais encore une ductilité suffisante pour garantir une bonne absorption de l'énergie. On devrait attacher une attention particulière à la fragilité des éléments de la structure, par exemple au flambage, aux ruptures d'adhérence, au cisaillement et à la rupture des raccords et des éléments constitutifs de la structure. On devrait également considérer la détérioration de la force de rappel en cas de sollicitations alternantes. La capacité ultime de la structure peut être supérieure à celle que laissait prévoir l'analyse. On devrait considérer les conséquences d'une telle éventualité sur le comportement de la structure en cas de charges sismiques sévères. Les fondations notamment risquent d'être soumises à des sollicitations importantes.

**4.5** La déformation d'une structure soumise à des actions sismiques devrait être limitée et ne devrait engendrer ni des perturbations dans l'utilisation de la structure en cas de tremblements de terre moyens ni mettre en danger la vie de la population en cas de violentes secousses.

NOTE — On devrait contrôler deux types de déformations : le déplacement relatif entre les étages qui représente la déformation latérale sur la hauteur d'un étage et le déplacement total par rapport à la base. La déformation entre étages devrait être réduite pour limiter l'endommagement des éléments non structuraux tels que les surfaces vitrées, les murs-rideaux, les murs en plâtre et autres cloisons, en cas de séismes moyens et pour prévenir la rupture des éléments structuraux et la perte de stabilité de l'ouvrage lors de tremblements sévères. Le contrôle du déplacement total concerne la maîtrise des effets de la panique ou de l'inconfort lors de secousses moyennes ainsi que la suffisance de la séparation de deux structures adjacentes pour éviter des contacts néfastes lors de sévères secousses. Pour évaluer les déformations dues à de fortes secousses, il est généralement nécessaire de tenir compte de l'effet de second ordre provoqué par le moment supplémentaire dû à la déformation importante et à la charge totale supportée par la structure.

**4.6** Il convient d'évaluer les caractéristiques des sites de construction vis-à-vis d'actions sismiques et d'éviter les sites dont l'évaluation est trop incertaine ainsi que ceux pour lesquels les conséquences d'un tremblement de terre ne peuvent être intégrées dans le calcul de la structure.

Le choix d'un site de construction dans une région à activité sismique régulière devrait faire l'objet d'un examen approprié et reposer sur des critères de microdécoupage en zones (proximité de failles actives, profil du sol, comportement du sol sous forte sollicitation, possibilité de liquéfaction, topographie, et autres facteurs tels que les interactions entre eux).

## 5 Principes d'évaluation des actions sismiques

**5.1** Les actions sismiques doivent être considérées comme actions accidentielles ou actions variables.

Les structures doivent être calculées sur la base de valeurs représentatives des actions sismiques pour l'état-limite ultime. Les états-limites de service sont vérifiés soit indirectement, lorsque l'action est considérée comme accidentelle, soit directement, lorsqu'elle est considérée comme variable (voir 6.1).

Les valeurs représentatives devraient être fixées par les autorités nationales, et peuvent être déterminées en fonction de la sismicité locale et de la situation économique et sociale.

**5.2** L'analyse sismique des structures doit prendre en compte les propriétés dynamiques de la structure, soit par une analyse dynamique, soit par une analyse statique équivalente. Une analyse dynamique est vivement recommandée en présence de structures particulières telles que les tours et les structures présentant des irrégularités de géométrie, de répartition des masses ou de rigidité.

Les structures ordinaires peuvent être calculées selon la méthode statique équivalente, par une analyse élastique linéaire conventionnelle. Un comportement post-élastique approprié de la structure doit être assuré par un choix judicieux du système de structure et des dispositions assurant la ductilité. On doit utiliser des méthodes non linéaires pour contrôler la séquence des comportements non élastiques et la formation du mécanisme d'effondrement.

NOTE — S'il est essentiel que des installations de service, par exemple des équipements mécaniques et électriques ainsi que des tuyauteries, demeurent opérationnelles pendant et après un séisme sévère, la conception de ces installations doit de préférence s'appuyer sur une analyse dynamique, fondée sur la réponse de la structure aux tremblements de terre.

**5.3** Les actions sismiques de calcul doivent être déterminées après un examen des points suivants.

a) Sismicité de la région

La sismicité de la région où l'on doit réaliser la structure est généralement indiquée sur une carte de zonage sismique, qui peut résulter de l'histoire sismique ou de données sismotectoniques de la région ou de la combinaison de ces deux ensembles. On doit en outre déterminer l'intensité maximale vraisemblable d'un séisme dans la région dans un intervalle de temps donné, à partir des données locales de sismicité.

NOTE — Parallèlement aux données historiques de sismicité, une étude des failles telluriques de la région fournira des informations précieuses quant à l'estimation des tremblements de terre futurs.

De nombreux types de paramètres peuvent être utilisés pour caractériser l'intensité d'un tremblement de terre. On peut citer l'échelle d'intensité sismique, l'accélération et la vitesse de pointe du sol, l'accélération et la vitesse «effective» du sol qui sont liées à des spectres de réponse lissées, etc. Le choix du type de paramètre dépend principalement des données disponibles et du type de structure.

b) Qualité du sol

Il y a lieu de considérer les propriétés dynamiques des couches du sol qui supportent la structure. Il est généralement admis que le déplacement du sol sur un site donné pendant les séismes est caractérisé par une période dominante de vibration, qui est généralement plus brève sur sol ferme et plus longue sur sol meuble. On doit également prendre en compte l'amplification des secousses qui est imputable au sol.

NOTE — Les propriétés dynamiques des déplacements du sol telles que les périodes dominantes de vibration et la durée des mouvements sont des caractéristiques importantes en ce qui concerne l'effet destructeur des tremblements de terre. Il convient également de reconnaître que les structures construites sur terrain meuble sont souvent endommagées à cause d'affaissements irréguliers ou importants se produisant au cours des séismes. On devrait en outre considérer la liquéfaction du sol qui tend à se produire dans les sols meubles, saturés et sablonneux manquant de cohérence.

c) Propriétés dynamiques de la structure

Les propriétés dynamiques telles que les périodes et les modes de vibration ainsi que les propriétés d'amortissement doivent être prises en compte dans le cadre d'une analyse globale sol-structure. Les propriétés dynamiques dépendent de la forme de la structure, de la répartition des masses, des rigidités, des caractéristiques du sous-sol et du type de construction. Il convient également de tenir compte du comportement post-élastique des éléments de la structure. On doit prendre en compte une force sismique supérieure quand une structure présente des caractéristiques de ductilité réduite ou quand la défaillance d'un élément de la structure peut conduire à son effondrement total.

d) Importance de la structure en fonction de son utilisation

Un niveau supérieur de fiabilité s'impose dans les immeubles accueillant un grand nombre d'individus ou dans des structures essentielles pour la protection de la population pendant et après les tremblements de terre comme les hôpitaux, les centrales électriques, les centres de lutte contre l'incendie, les stations émettrices, les installations d'approvisionnement en eau, etc.

NOTE — Du point de vue de l'économie nationale et politique, il y a lieu d'augmenter le coefficient d'importance de la structure (voir 6.1) dans les zones urbaines à risque élevé et à forte concentration d'investissements en capitaux.

## 6 Évaluation des actions sismiques en analyse statique équivalente

**6.1** Dans le cadre de l'analyse sismique des structures selon la méthode utilisant des charges statiques équivalentes, on peut évaluer les actions sismiques accidentelles et variables de la façon suivante :

a) État-limite ultime

La force sismique latérale de calcul appliquée au *i*ème niveau d'une structure soumise à des actions sismiques accidentelles,  $F_{i,a}$ , peut être déterminée comme suit :

$$F_{i,a} = \alpha \beta \gamma_a \delta \varrho \phi_i G$$

où

$\alpha$  est le coefficient d'importance de la structure en fonction de son utilisation (voir chapitre A.1);

$\beta$  est le coefficient de zonage des risques sismiques que doit spécifier la réglementation nationale;

$\gamma_a$  est le coefficient de cisaillement normalisé applicable à l'action sismique accidentelle qui doit figurer dans la réglementation nationale;

$\delta$  est le coefficient de structure à préciser pour les différents systèmes de structures en fonction de leur ductilité (voir chapitre A.2);

$\varrho$  est le coefficient dynamique lié au spectre de réponse en fonction de l'état du sol (voir chapitre A.3) et des propriétés d'amortissement de la structure (voir chapitre A.8);

$\phi_i$  est le coefficient caractérisant la répartition des forces sismiques sur la hauteur de la structure;  $\phi_i$  remplit la condition  $\sum \phi_i = 1$  (voir chapitre A.4);

$G$  est la charge totale supportée par la structure.

b) État-limite de service

La force sismique latérale de calcul appliquée au *i*ème niveau d'une structure soumise à des actions sismiques variables,  $F_{i,v}$ , peut être déterminée de la façon suivante :

$$F_{i,v} = \alpha \beta \gamma_v \varrho \phi_i G$$

où  $\gamma_v$  est le coefficient de cisaillement normalisé applicable à une action sismique variable, que doit préciser la réglementation nationale.

NOTE — On peut omettre le facteur  $\alpha$  si un coefficient tel que  $\gamma_v$  spécifié dans l'ISO 2394 est adopté dans la procédure de vérification et permet de prendre en compte l'importance de la structure et les conséquences d'une défaillance, sans oublier la signification du type de défaillance.

Les valeurs de la charge totale supportée par la structure devraient être égales à la somme des charges permanentes totales et des charges d'exploitation probables. Dans certaines régions, on doit également tenir compte de la neige.

Selon que des actions sont accidentelles ou variables, les valeurs combinant des actions sismiques à d'autres actions peuvent être différentes. Pour les combinaisons d'actions, voir l'ISO 2394.

**6.2** On doit considérer les trois composantes de déplacement du sol et leur variation spatiale qui conduit à une sollicitation en torsion des structures (voir chapitre A.5).

NOTE — Le fait que les diverses composantes des actions sismiques n'atteignent pas toujours leurs amplitudes maximales en même temps peut être pris en compte.

La composante verticale du déplacement du sol est généralement moins intense que les composantes horizontales et se caractérise par des fréquences plus élevées. Toutefois, au voisinage de l'épicentre, l'accélération verticale de pointe peut être supérieure à l'accélération horizontale de pointe.

On peut généralement négliger le déplacement relatif entre différents points du sol. Cependant, dans le cas de structures de grandes portées ou occupant une grande surface au sol, il convient de considérer cette action.

**6.3** On doit généralement considérer les effets de torsion des actions sismiques, en attachant une attention particulière aux grandeurs suivantes : excentricité entre les centres de masse et de rigidité, amplification dynamique principalement due au couplage des vibrations en translation et en torsion, effets excentriques à d'autres étages, imprécision de l'excentricité calculée et composantes de rotation du sol sous le séisme. (Voir chapitre A.6.)

**NOTE** — Pour un certain nombre de formes structurelles, l'amplitude de la réponse de la structure aux vibrations en torsion peut être comparable ou supérieure à celle que produisent des vibrations de translation. Quand les structures présentent des formes très irrégulières, il est recommandé d'effectuer deux ou trois analyses dynamiques dimensionnelles et il est souhaitable de prendre en compte le comportement non linéaire des éléments de la structure.

**6.4** Il y a lieu d'envisager des actions sismiques plus importantes que celles données en 6.1 lors du calcul d'éléments de structures tels que les balustrades en porte-à-faux, les avant-toits, les ornements et les dépendances. Les murs-rideaux, les éléments de remplissage et les cloisons adjacentes aux issues ou face aux rues doivent en outre être dimensionnés en vue de la sécurité, sur la base de valeurs appropriées des actions sismiques.

**NOTE** — Dans le cas de balustrades, de murs-rideaux, etc., on devrait partir du principe que les actions sismiques se produisent suivant un axe perpendiculaire à leur plan. On devrait aussi prendre en compte les forces verticales pour dimensionner les attaches de ces dépendances.

## 7 Évaluation des actions sismiques en analyse dynamique

**7.1** Quand on effectue une analyse dynamique, il est important de considérer les points suivants.

- a) Constitution d'un modèle physique rendant compte des caractéristiques dynamiques de la structure réelle, comme les périodes naturelles et les modes de vibration, les caractéristiques d'amortissement et de force de rappel.
- b) Détermination des mouvements du sol pendant le séisme en fonction de la sismicité et des conditions géologiques locales.

**7.2** On peut répartir les analyses dynamiques classiques en deux types, comme suit :

- a) analyse spectrale de réponse;
- b) analyse de processus.

**7.3** En analyse spectrale de réponse, on obtient généralement la réponse dynamique maximale avec la méthode de superposition de la «racine carrée de la somme des carrés», et en considérant les modes vibratoires dominants (souvent les trois premiers modes) (voir chapitre A.7).

**NOTE** — On devrait attacher une attention au fait que la méthode de la racine carrée de la somme des carrés ne donne pas toujours des valeurs du côté de la sécurité, notamment pour deux modes naturels ou plus

dont les fréquences sont très proches. Ce cas est souvent observé dans les vibrations des bâtiments qui présentent des décrochements et en présence de vibrations en torsion (voir 6.3).

**7.4** L'analyse de processus peut nécessiter l'usage de plusieurs enregistrements d'activité sismique pour garantir une prise en compte adéquate du problème. On peut également recourir à des simulations de déplacement du sol. On devrait noter à cet égard que le mouvement sismique peut être considéré comme un processus stochastique. L'analyse de processus peut s'appliquer tant aux systèmes élastiques qu'aux systèmes comportant des déformations non élastiques.

**7.5** Quand une analyse dynamique prend en compte des tremblements de terre réels, on peut se reporter aux enregistrements suivants :

- a) forts tremblements de terre enregistrés sur le site ou à proximité;
- b) forts tremblements de terre enregistrés sur d'autres sites présentant des caractéristiques géologiques, topographiques et sismotectoniques semblables.

Il est généralement nécessaire de mettre ces enregistrements sismiques à l'échelle en fonction des caractéristiques particulières du site.

**7.6** Comme il est impossible de prévoir exactement les tremblements de terre susceptibles de se produire un jour sur un site donné, il peut être utile d'effectuer des analyses dynamiques sur la base de tremblements de terre simulés. Les accélérogrammes de synthèse doivent alors être fondés sur des méthodes probabilistes.

**7.7** Pour établir un modèle physique représentant les caractéristiques dynamiques de la structure réelle, il doit être fait référence à des exemples de modèles réalistes pour lesquels la validité de l'analyse dynamique a été établie. On doit alors examiner les points suivants :

- a) les effets de couplage entre la structure, ses fondations et le terrain;
- b) l'amortissement en présence de vibrations fondamentales et de modes supérieurs (voir chapitre A.8);
- c) la relation entre la force de rappel et la distorsion des éléments structuraux au cours des comportements élastique et post-élastique;
- d) le rôle d'éléments non structuraux sur la rigidité de la structure;
- e) les effets de torsion sur la réponse sismique.