

normalisation française

XP ENV 1998-1-1

Décembre 2000

Indice de classement : P 06-031-1

ICS : 91.080.01 ; 91.120.25

Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes et document d'application nationale

Partie 1-1 : Règles générales — Actions sismiques et prescriptions générales pour les structures

- E : Eurocode 8 : Design provisions for earthquake resistance of structures and national application document — Part 1-1: General rules — Seismic actions and general requirements for structures
- D : Eurocode 8 : Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben und national Anwendungsdokumente — Teil 1-1: Grundlagen — Erdbebeneinwirkungen und allgemeine Anforderungen an Bauwerke

Norme expérimentale

publiée par AFNOR en décembre 2000.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à AFNOR avant le 1^{er} décembre 2002.

Correspondance

Le présent document reproduit intégralement la Prénorme européenne ENV 1998-1-1:1994 et intègre les adaptations françaises relatives à cette ENV.

À la date de publication du présent, il existe deux normes françaises NF P 06-013 et NF P 06-014 traitant du tout ou partie du même sujet. Ces deux normes restent, à la date de publication de la présente XP ENV 1998-1-1, d'application obligatoire par arrêté du 29 mai 1997.

Analyse

La présente partie 1-1 de l'XP ENV 1998 contient les prescriptions fondamentales et les critères de conformité à ces prescriptions, applicables aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil en zone sismique.

De plus, cette partie contient les règles permettant la représentation des actions sismiques et leur combinaison avec d'autres actions.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : génie civil, bâtiment, structure, construction résistant au séisme, conception antisismique, calcul.

Modifications

Corrections

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), Tour Europe 92049 Paris La Défense Cedex
Tél. : 01 42 91 55 55 — Tél. international : + 33 1 42 91 55 55



Membres de la commission de normalisation

Président : M PECKER

Secrétariat : M RUTMAN — BNTB

M	AMIR-MAZAHERI	PX — DAM CONSULTANTS
M	ARIBERT	CTICM — INSA RENNES
M	ASANCHEYEV	EXPERT
M	ASHTARI	CETEN APAVE
M	BALOCHE	CSTB
M	BETBEDER-MATIBET	EXPERT
M	BIGER	BUREAU VERITAS
M	BISCH	SECHAUD ET METZ
M	BRIN	BUREAU VERITAS
M	CAPRA	CAMPENON BERNARD SGE
M	CHEYREZY	BOUYGUES SA
M	COIN	EGF — BTP
M	COSTES	EXPERT
M	DAVIDOVICI	DYNAMIQUE CONCEPT
M	DE CHEFDEBIEN	CERIB
M	DOURY	CSTB
M	DURAND	UMGO
MME	FERNANDEZ	AFNOR
M	FOURE	CEBTP
M	GIANQUINTO	EXPERT
M	GUILLON	EEG SIMECSOL
M	JALIL	SOCOTEC
M	PECKER	GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE
M	REGETTIER	CTTB
M	SAINT-JEAN	SOCOTEC
M	SOLLOGOUB	CEA
M	SOULOUMIAC	EXPERT
M	THONIER	FNTF
M	WALTER	GEODYNAMIQUE ET STRUCTURE

Groupe de rédaction du DAN de la partie 1-1 de l'ENV 1998

Animateur : M BISCH

Experts du groupe de rédaction :

M	ASHTARI	CETEN-APAVE
M	BETBEDER-MATIBET	EXPERT
M	COIN	EDF — BTP
M	COSTES	EXPERT
M	GUILLON	EEG SIMECSOL
M	JALIL	SOCOTEC
M	LERAY	CGPC

Avant-propos national à l'ENV 1998-1-1 (Eurocode 8 : Partie 1-1)

AP.1 Introduction

La présente norme française expérimentale, dénommée EC8-DAN 1-1 reproduit intégralement l'ENV 1998-1-1 (en clair l'ENV 1998 — Partie 1-1, en abrégé l'EC8-1-1) que le Comité Européen de Normalisation (CEN) a approuvé le 17/12/1993 en tant que prénorme européenne.

Elle détaille en outre les adaptations nationales qui ont été apportées à l'Eurocode au titre du Document d'Application National (en abrégé DAN). Voir à ce sujet les développements de l'avant-propos du CEN relatifs aux «Documents d'Application Nationale (DAN)».

L'Eurocode assorti de son DAN (en abrégé l'EC-DAN) est une norme française expérimentale.

Pendant la période de validité de l'ENV et donc de la norme expérimentale française reprenant cette ENV, adjointe au DAN, la coexistence avec des normes nationales est autorisée.

C'est pourquoi la publication de la présente prénorme européenne n'induit pas le retrait des normes nationales.

P 06-013 «Règles de construction parasismique — Règles PS applicables aux bâtiments, dites Règles PS 92»

P 06-014 «Règles de construction parasismique — Construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés — Règles PS-MI 89 révisées 92»

Ces deux normes restent à la date de publication de la présente XP ENV 1998-1-1, d'application obligatoire par arrêté du 29 mai 1997.

AP.2 Présentation de l'EC8-DAN 1-1

AP.2.1 Les objectifs de l'EC8-DAN 1-1

- Produire, à la demande du CEN et pour les pays francophones, la version française in extenso de l'EC 8.
- Spécifier les adaptations nationales qui sont apportées à l'EC 8 et qui, pour une part, définissent les conditions techniques d'application de la norme pendant la phase d'expérimentation (ajustements éventuels des valeurs encadrées, normes et autres documents nationaux de référence) et, pour une autre part, préfigurent les améliorations techniques qu'AFNOR proposera d'introduire quand il sera question de convertir la prénorme européenne (ENV) en Norme européenne (EN) de plein droit.
- Définir les conditions dans lesquelles l'EC 8 doit être appliqué pour satisfaire les exigences de la réglementation nationale sur la prévention du risque sismique, conditions qui préfigurent les divergences nationales de type A qu'AFNOR pourrait demander d'introduire dans la future norme européenne.
- Mettre à la disposition des maîtres d'ouvrages, publics ou privés, un document normatif qui soit contractuelisable en application notamment de la Directive 93/37/CEE (ex 71/305/CEE) sur la coordination des procédures de marchés publics de travaux et aussi de la Directive 89/106/CEE relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres concernant les produits de construction.

AP.2.2 Les différentes lectures de l'EC8-DAN 1-1

Le présent document réunit trois textes en un seul document. Les règles de lecture ci-après permettent de discerner les différents textes :

- La norme française expérimentale comprend tout ce qui n'est pas grisé et notamment les parties encadrées du DAN.
- Le DAN est délimité par les zones encadrées, indexées «I», «A», «C» ou «**CR**».

La version française de l'EC 8 comprend tout ce qui n'est pas dans les zones encadrées et en particulier les zones grisées.

AP.2.3 Le statut prescriptif des adaptations nationales

Un statut prescriptif a été attribué à chacune des adaptations nationales (cf. tableau AP.1).

Tableau AP.1 — Statuts prescriptifs des adaptations nationales

Statut de l'adaptation	Convention de représentation du statut
— PRINCIPE	Caractères normaux. Le numéro de la clause à laquelle l'adaptation se rapporte est suivi par la lettre «P».
— RÈGLE D'APPLICATION	Caractères normaux
— COMMENTAIRE RÉGLEMENTAIRE	Petits caractères gras
— COMMENTAIRE	Petits caractères normaux

La portée d'une adaptation nationale vis-à-vis de la spécification européenne à laquelle elle se rapporte a été également codifiée (cf. Tableau AP.2).

Tableau AP.2 — Portée des adaptations nationales

Catégorie de l'adaptation	Codification de l'adaptation
— INVALIDATION	I avec grisé de la partie de la prescription de l'EC 8 invalidée
— AMENDEMENT	A
— COMMENTAIRE RÉGLEMENTAIRE	CR
— COMMENTAIRE	C

AP.3 Modalité d'application de la présente norme française expérimentale (EC8-DAN 1-1)

AP.3.1 Domaine d'application

Sauf spécifications particulières, le domaine d'application de l'EC8-DAN 1-1 couvre les structures des constructions nouvelles.

L'application de l'EC8-DAN 1-1 à la vérification d'un projet suppose l'application conjointe des Eurocodes de projet complétés par leur DAN :

- Eurocode 1 : ENV 1991
- Eurocode 2 : ENV 1992
- Eurocode 3 : ENV 1993
- Eurocode 4 : ENV 1994
- Eurocode 5 : ENV 1995
- Eurocode 6 : ENV 1996
- Eurocode 7 : ENV 1997
- Eurocode 9 : ENV 1999

et des autres parties de l'ENV 1998 également complétées par leur DAN.

AP.3.2 Modalités d'ordre réglementaire

L'EC8-DAN 1-1 est applicable aux constructions dites à «risque normal» tenues de satisfaire aux règles parasismiques (voir décret n° 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique).

Les conditions dans lesquelles l'EC8-DAN 1-1 doit être appliqué pour respecter les exigences de la réglementation nationale ont été détaillées en termes de commentaires réglementaires (voir AP.2.3). Le tableau AP.3 en fait l'inventaire.

Tableau AP.3 — Inventaire des commentaires à caractère réglementaire

Clauses de l'Eurocode dont l'application est assortie de conditions d'ordre réglementaire	Objet de la clause de l'Eurocode
1.1.1 (1) P	Ouvrages qui ne sont pas tenus d'être vérifiés au séisme
1.1.1 (2) P	Ouvrages à «risque spécial» qui se situent en dehors du champ d'application de l'ENV 1998
2.1 (2) P, (3) P et (4)	Classement des constructions et différenciation du niveau de l'action sismique en fonction du risque sismique
4.1 (1)	Zones de sismicité
4.1 (3)	Valeurs de l'accélération au niveau du sol
4.1 (4)	Ouvrages qui peuvent être justifiés par des règles simplifiées
4.1 (5)	Zones sismiques où la justification de la résistance aux séismes n'est pas exigée

AP.3.3 Modalités contractuelles

La présente norme française expérimentale n'est applicable, dans le cadre contractuel d'un marché public ou privé, que s'il y est fait explicitement référence :

— pour les marchés publics, dans le Cahier des Clauses Administratives Particulières :

- à l'article 2, où la liste des pièces générales rendues contractuelles doit mentionner la norme française expérimentale et en cas d'utilisation partielle de celle-ci, les clauses à appliquer,
- et à l'article 10, qui doit indiquer la dérogation correspondante faite au Cahier des Clauses Techniques Générales.

— pour les marchés privés, dans des documents particuliers du marché tels que définis dans la norme NF P 03-001, septembre 1991 (Cahier des Clauses Administratives Particulières, Cahier des Clauses Spéciales, Cahier des Clauses Particulières).

Par référence à la clause 2.1 «Conclusion du Marché» de la norme NF P 03-001, le maître d'œuvre, qui entend utiliser la présente norme expérimentale au lieu des normes homologuées, doit informer le maître d'ouvrage dans sa lettre d'engagement ou dans sa soumission.

AP.3.4 Les modalités de l'expérimentation

AP.3.4.1 Information d'AFNOR

L'ENV 1998-1-1 a été approuvée par le CEN le 17 décembre 1993.

Au terme d'une période expérimentale de trois ans, les pays membres du CEN auront à opter soit pour un ultime prolongement du statut de l'ENV 1998-1-1 pour une période d'au plus trois ans, soit pour le statut de norme européenne (EN).

Cette décision sera très certainement assortie d'une révision de la norme.

Dans cette perspective, les utilisateurs de la présente norme française expérimentale sont invités à faire connaître leurs observations, assorties si possible, de propositions d'amendements à AFNOR (Tour Europe — Cedex 7, 92049 Paris La Défense) qui transmettra au BNTB.

AP.3.4.2 Évolution des adaptations nationales

Il n'est pas exclu que l'expérimentation de l'EC8-DAN 1-1 mette en évidence certains problèmes relatifs à l'application du document et que la Commission de normalisation des règles de construction parasismiques, soit conduite à compléter le DAN en accord avec l'autorité publique.

AP.4 Liste des textes normatifs de référence

La correspondance entre les normes mentionnées à l'article «Codes de références», dans le corps de l'EC8-DAN 1-1 et les normes françaises identiques est la suivante :

ISO 8930	: P 06-007
EN 1090-1	: FD ENV 1090-1 (indice de classement : P 22-101-1)
EN 1025	: NF EN 1025 (indice de classement : A 35-501)
prEN 1337-1	: NF EN 1337-1 (indice de classement : T 47-820-1)

La correspondance entre les normes mentionnées à l'article «Codes de références», dans le corps de l'EC8-DAN 1-1 et les normes françaises de même domaine d'application mais non identiques est la suivante :

ISO 1000	: NF X 02-006 et X 02-004
----------	---------------------------

ICS : 91.120.20

Descripteurs : génie civil, bâtiment, structure, construction résistant au séisme, conception antisismique, calcul.

Version française

Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes — Partie 1-1 : Règles générales — Actions sismiques et prescriptions générales pour les structures

Eurocode 8 : Auslegung von Bauwerken
gegen Erdbeben — Teil 1-1: Grundlagen —
Erdbebeneinwirkungen und allgemeine
Anforderungen an Bauwerke

Eurocode 8 : Design provisions for earthquake
resistance of structures — Part 1-1: General rules —
Seismic actions and general requirements
for structures

La présente prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 17 décembre 1993 comme norme expérimentale pour application provisoire. La période de validité de cette ENV 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 l'ENV en norme européenne (EN).

Les membres du CEN sont tenus d'annoncer l'existence de cette ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Il est admis de maintenir (en parallèle avec l'ENV) des normes nationales en contradiction avec l'ENV en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Secrétariat Central : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos	3
1 Généralités	5
1.1 Domaine d'application	5
1.1.1 Domaine d'application de l'ENV 1998 (Eurocode 8)	5
1.1.2 Domaine d'application de la partie 1-1 de l'ENV 1998	5
1.1.3 Autres parties de l'ENV 1998	5
1.2 Différence entre Principes et Règles d'application	6
1.3 Hypothèses	6
1.4 Définitions	6
1.4.1 Termes communs à tous les Eurocodes	6
1.4.2 Autres termes utilisés dans la partie 1-1 de l'ENV 1998	7
1.5 Unités S.I.	8
1.6 Notations	8
1.6.1 Généralités	8
1.6.2 Autres notations utilisées dans la partie 1-1 de l'ENV 1998	8
1.7 Codes de référence	9
2 Prescriptions fondamentales et critères de conformité correspondants	9
2.1 Prescriptions fondamentales	9
2.2 Critères de conformité aux prescriptions fondamentales	10
2.2.1 Généralités	10
2.2.2 États limites ultimes	10
2.2.3 États limites de service	11
2.2.4 Dispositions particulières	11
3 Caractéristiques de sol	12
3.1 Généralités	12
3.2 Classification des sols de fondation	12
4 Action sismique	13
4.1 Zones de sismicité	13
4.2 Représentation de base de l'action sismique	14
4.2.1 Généralités	14
4.2.2 Spectre de réponse élastique	14
4.2.3 Déplacement maximal du sol	16
4.2.4 Spectre de calcul pour le calcul linéaire équivalent	17
4.3 Autres représentations de l'action sismique	18
4.3.1 Représentation par un spectre de puissance	18
4.3.2 Représentation temporelle	18
4.3.3 Modèle tridimensionnel	19
4.4 Combinaison de l'action sismique avec d'autres actions	20

Avant-propos

Objectifs des Eurocodes

- (1) Les «Eurocodes structuraux» constituent un ensemble de normes concernant la conception structurale et géotechnique des bâtiments et des ouvrages de génie civil.
- (2) Ils ne traitent de l'exécution et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire d'indiquer la qualité des produits de construction et le niveau de qualité de la mise en œuvre, nécessaires pour assurer la compatibilité avec les règles de conception.
- (3) Tant qu'un ensemble harmonisé de spécifications techniques des produits et de méthodes d'analyse des performances n'est pas disponible, un certain nombre d'Eurocodes structuraux traiteront de certains de ces aspects dans des annexes informatives.

Contexte du programme Eurocodes

- (4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) a entrepris d'établir un ensemble de règles techniques harmonisées concernant la conception des bâtiments et des ouvrages de génie civil, afin de proposer une solution de rechange aux différentes règles en vigueur dans les États membres et, finalement, de les remplacer. Ces règles techniques sont habituellement connues sous le nom de «Eurocodes structuraux».
- (5) En 1990, après consultation des différents États membres, la CCE a chargé le CEN d'assurer le développement, la publication et la mise à jour des Eurocodes et le secrétariat de l'AELE a accepté de soutenir le CEN dans son travail.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 est responsable de l'ensemble des Eurocodes structuraux.

Programme des Eurocodes

- (7) Les travaux concernant les Eurocodes structuraux suivants sont en cours, chacun étant en général constitué d'un certain nombre de Parties :

ENV 1991 Eurocode 1 :	Bases de calcul et actions sur les structures
ENV 1992 Eurocode 2 :	Calcul des structures en béton
ENV 1993 Eurocode 3 :	Calcul des structures en acier
ENV 1994 Eurocode 4 :	Calcul des structures mixtes acier-béton
ENV 1995 Eurocode 5 :	Calcul des structures en bois
ENV 1996 Eurocode 6 :	Calcul des structures en maçonnerie
ENV 1997 Eurocode 7 :	Calcul géotechnique
ENV 1998 Eurocode 8 :	Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes
ENV 1999 Eurocode 9 :	Calcul des structures en alliage d'aluminium
- (8) Des sous-comités distincts, chargés des divers Eurocodes énumérés ci-dessus, ont été institués par le CEN/TC 250.
- (9) La présente partie de l'ENV 1998 a été publiée sous le titre de prénorme européenne pour une durée de vie initiale de trois ans.
- (10) La présente prénorme européenne est destinée à une application expérimentale et à un recueil d'observations.
- (11) Dans deux ans environ, les membres du CEN seront invités à formaliser leurs observations en vue de les prendre en compte pour déterminer les actions futures à entreprendre.

(12) Entre temps, il convient d'envoyer les réactions et les observations concernant cette prénorme européenne au secrétariat du CEN/TC 250 à l'adresse suivante :

IPQ c/o LNEC
Avenida do Brasil 101
P — 1799 LISBOA Codex
PORTUGAL

ou à votre organisme national de normalisation.

Documents d'Application Nationale (DAN)

(13) Étant donné les responsabilités des autorités des États Membres en matière de sécurité, de santé, et d'autres aspects couverts par les exigences essentielles de la Directive des Produits de Construction (DPC), des valeurs indicatives ont été attribuées à certains éléments de sécurité, identifiées par le sigle []. Il incombe aux autorités de chaque État Membre d'attribuer des valeurs définitives à ces éléments de sécurité.

(14) Certaines des normes d'accompagnement harmonisées peuvent ne pas être disponibles lors de la publication de cette prénorme. C'est pourquoi il est prévu que le Document d'Application Nationale (DAN), donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité, faisant référence aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de cette prénorme européenne, soit publié par chaque pays membre ou par son organisme national de normalisation.

(15) Il est prévu que cette prénorme européenne soit utilisée conjointement avec le DAN valable dans le pays où l'ouvrage de bâtiment ou de génie civil est situé.

Problèmes spécifiques à cette prénorme européenne

(16) L'objet de L'ENV 1998 est défini au paragraphe 1.1.1 et l'objet de la présente partie de l'ENV 1998 est défini en 1.1.2. Les autres parties de l'ENV 1998 sont indiquées au paragraphe 1.1.3.

(17) Cette prénorme a été développée à partir de l'une des parties comprises dans le projet de mai 1988 de l'ENV 1998, publié par le CCE et soumis à l'enquête publique. Ce projet contenait également les parties 1-2 et 1-3 qui sont présentées actuellement comme des prénormes distinctes.

(18) Comme mentionné en 1.1.1, l'attention est attirée sur le fait que, pour le calcul des structures en zone sismique, les dispositions de l'ENV 1998 doivent être appliquées en complément à celles des autres Eurocodes.

(19) Lors de l'utilisation effective de cette prénorme, une attention particulière doit être accordée aux hypothèses de base indiquées en 1.3.

(20) La définition de l'action sismique est un des points fondamentaux de cette prénorme. Étant données les différences importantes en matière d'aléa sismique et de caractéristiques des sources sismogènes existant entre les États membres, l'action sismique est définie par un nombre suffisamment important de paramètres dont les valeurs numériques sont encadrées ; ainsi les autorités de chaque pays membre peuvent adapter l'action sismique à leur situation particulière. Néanmoins, l'utilisation d'un modèle de base commun pour représenter l'action sismique constitue un pas important franchi par cette prénorme en vue de l'harmonisation des Codes.

1 Généralités

1.1 Domaine d'application

1.1.1 Domaine d'application de l'ENV 1998 (Eurocode 8)

(1)P L'ENV 1998 s'applique à la conception, au dimensionnement et la mise en œuvre de bâtiments et d'ouvrages de génie civil, en zone sismique. Son but est d'assurer qu'en cas de séisme :

- les vies humaines sont protégées ;
- les dégâts sont limités ;
- les structures importantes pour la protection civile restent opérationnelles.

NOTE 1 La nature aléatoire des événements sismiques, et les moyens limités dont on peut disposer pour contrecarrer leurs effets, font que la réalisation de ces objectifs n'est possible que partiellement et ne peut être évaluée qu'en termes probabilistes.

NOTE 2 L'étendue de la protection probabiliste qui peut être assurée aux différentes catégories de bâtiments est un problème de répartition optimale des ressources et c'est pourquoi elle varie d'un pays à l'autre, en fonction de l'importance relative du risque sismique par rapport à d'autres risques, ainsi que des ressources économiques globales.

NOTE 3 Afin d'assurer la souplesse nécessaire à cet égard, l'ENV 1998 contient un ensemble de paramètres de sécurité dont la valeur est laissée à l'initiative des autorités nationales, afin qu'elles puissent ajuster le niveau de la protection à la valeur qu'elles considèrent comme optimale.

(1)P CR Aux termes du décret 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique, les ouvrages de classe A de la catégorie dite à «risque normal» et ceux situés en zone de sismicité 0 ne sont pas tenus d'être vérifiés au séisme.

(2)P Les structures spéciales comportant des risques accrus pour la population, comme les centrales nucléaires et les grands barrages, ne sont pas couvertes par l'ENV 1998.

(2)P CR Aux termes du décret 91-461 du 14 mai 1991, il s'agit des constructions relevant de la catégorie dite à «risque spécial».

(3)P L'ENV 1998 ne contient que les dispositions devant être respectées pour la conception des structures en zone sismique, en plus des dispositions contenues dans les autres Eurocodes. À cet égard, il complète les autres Eurocodes.

(4) L'ENV 1998 est divisée en plusieurs parties distinctes, voir 1.1.2 et 1.1.3.

1.1.2 Domaine d'application de la partie 1-1 de l'ENV 1998

(1) La partie 1-1 de l'ENV 1998 contient les prescriptions fondamentales et les critères de conformité à ces prescriptions, applicables aux bâtiments et aux ouvrages de génie civil en zone sismique.

(2) De plus, la partie 1-1 de l'ENV 1998 contient les règles permettant la représentation des actions sismiques et leur combinaison avec d'autres actions. Certains types de structures qui sont traitées dans les parties 2 à 5 nécessitent des règles complémentaires qui sont indiquées dans ces parties.

1.1.3 Autres parties de l'ENV 1998

(1)P En complément à la partie 1-1, l'ENV 1998 contient également :

- la partie 1-2 : Règles générales de conception relatives aux bâtiments ;
- la partie 1-3 : Règles spécifiques aux bâtiments, relatives aux différents matériaux et éléments structuraux ;
- la partie 1-4 : Dispositions pour le renforcement parasismique et la réparation des bâtiments existants ;
- la partie 2 : Dispositions spécifiques aux ponts ;
- la partie 3 : Dispositions spécifiques aux tours, mâts et cheminées ;
- la partie 4 : Dispositions spécifiques aux réservoirs, silos et réseaux de tuyauteries ;
- la partie 5 : Dispositions spécifiques aux fondations, ouvrages de soutènement et aux aspects géotechniques.

1.2 Différence entre Principes et Règles d'application

(1)P Selon la nature des différents paragraphes, une distinction est faite dans le présent Eurocode entre les principes et les règles d'application.

(2)P Les principes comprennent :

- des formulations d'ordre général et des définitions ne comportant pas de variante ;
- des prescriptions et des modèles analytiques pour lesquels aucune alternative n'est autorisée, sauf précision contraire.

(3)P Les règles d'application sont, en général, des règles reconnues qui respectent les principes et satisfont leurs prescriptions.

(4) Les principes sont précédés par la lettre P, qui suit le numéro du paragraphe. Les autres paragraphes (sans P) sont des règles d'application, comme par exemple le présent paragraphe.

(5) Il est admis d'utiliser des règles de conception qui diffèrent des règles d'application proposées dans l'ENV 1998, à condition que ces règles différentes soient en accord avec les principes correspondants, et qu'elles soient au moins équivalentes à ces règles d'application, en ce qui concerne la sécurité et l'aptitude au service obtenues pour les structures.

1.3 Hypothèses

(1)P Les hypothèses suivantes s'appliquent :

- les structures sont conçues et dimensionnées par un personnel ayant une qualification et une expérience appropriées ;
- un contrôle et un système de suivi de la qualité adéquats sont assurés pendant la réalisation de l'ouvrage, c'est à dire en bureau d'études, dans les usines et sur chantier ;
- la mise en œuvre est réalisée par un personnel ayant la qualification et l'expérience appropriées ;
- les matériaux et produits de construction sont utilisés comme prescrit dans les Eurocodes ou dans d'autres spécifications sur les matériaux et les produits ;
- la structure doit être entretenue de façon satisfaisante ;
- la structure doit être utilisée conformément aux hypothèses prises en compte lors de la conception et du dimensionnement.

(2) Dans cet Eurocode, les valeurs numériques indiquées entre crochets [] sont données à titre indicatif. Des valeurs différentes peuvent être adoptées par les Autorités Nationales.

1.4 Définitions

1.4.1 Termes communs à tous les Eurocodes

(1) Sauf en cas d'une définition particulière donnée ci-après, la terminologie de la Norme Internationale ISO 8930 s'applique.

(2) Les termes, dont la signification est donnée ci-dessous, sont communs à tous les Eurocodes :

- **Construction** : Tout ce qui est concerné par les résultats des opérations de construction. Ce terme couvre les bâtiments et les ouvrages de génie civil. Il se rapporte à la construction complète comprenant les éléments structuraux et non structuraux ainsi que les aspects géotechniques correspondants.
- **Type de bâtiment ou d'ouvrage de génie civil** : Type de l'ouvrage désignant sa destination, par exemple maison individuelle, mur de soutènement, bâtiment industriel, pont routier.
- **Type de construction** : Indique le matériau utilisé pour la structure principale, par exemple construction en béton armé, construction métallique, construction mixte acier-béton, construction en bois, construction en maçonnerie.

- **Procédé de construction** : Modalité d'exécution, par exemple : coulé en place, préfabriqué, par encorbellement.
- **Matériau de construction** : Un matériau utilisé dans la construction, par exemple béton armé, acier, bois, maçonnerie.
- **Structure** : Combinaison organisée d'éléments assemblés conçue afin d'assurer une rigidité appropriée.
- **Forme de la structure** : Type de structure, désignant la combinaison d'éléments structuraux tels que poutres, poteaux, arcs, pieux de fondation. Comme formes de structure, on peut citer, par exemple, les ossatures ou les ponts suspendus.
- **Système structural** : Les éléments porteurs d'un bâtiment ou d'un ouvrage de génie civil et la façon dont ils fonctionnent ensemble.
- **Modèle structural** : L'idéalisation du système structural utilisée pour l'analyse, la conception et le dimensionnement.
- **Mise en œuvre** : L'activité de construction d'un bâtiment ou d'un ouvrage de génie civil. Le terme recouvre les travaux sur chantier ; il peut signifier également la fabrication de composants ailleurs que sur chantier et leur montage ultérieur in situ.

1.4.2 Autres termes utilisés dans la partie 1-1 de l'ENV 1998

(1) Les termes suivants sont utilisés dans la partie 1-1, avec la signification suivante :

- **Coefficient de comportement** : Coefficient utilisé pour le dimensionnement d'une structure, qui réduit les forces obtenues par une analyse linéaire, afin de tenir compte de son comportement non linéaire. Ce coefficient est lié au matériau, au système structural et à la méthode de dimensionnement.
- **Méthode de dimensionnement en capacité** : Méthode de calcul dans laquelle certains éléments du système structural sont choisis, conçus et détaillés de manière appropriée pour assurer la dissipation d'énergie sous l'effet de déformations importantes, alors que tous les autres éléments structuraux sont suffisamment résistants pour que les dispositions choisies pour dissiper l'énergie soient effectivement réalisées.
- **Zones critiques** : Voir zones dissipatives.
- **Structure dissipative** : Structure considérée comme capable de dissiper l'énergie par un comportement hystérétique ductile.
- **Zones dissipatives** : Parties prédéfinies d'une structure dissipative où est localisée l'aptitude de la structure à dissiper l'énergie (appelées également régions critiques).
- **Unité dynamiquement indépendante** : Structure ou partie d'une structure soumise directement au mouvement du sol et dont la réponse n'est pas influencée par la réponse d'unités ou de structures adjacentes.
- **Coefficient d'importance** : Coefficient utilisé afin d'exprimer l'importance d'un bâtiment ou d'un ouvrage de génie civil.

(1)A Coefficient d'importance :

Coefficient qui traduit les conséquences que peut avoir une défaillance structurale.

(1)C Cette définition correspond exactement au critère détaillé en 2.1 (2) P pour déterminer le niveau de fiabilité des constructions exposées aux séismes.

- **Structure non dissipative** : Structure dimensionnée pour le cas de charge sismique sans tenir compte du comportement non linéaire du matériau.
- **Élément non structural** : Système ou composant architectural, mécanique ou électrique, qui, faute de résistance, ou à cause de la façon dont il est relié à la structure, n'est pas considéré comme élément structural dans le dimensionnement sismique.

1.5 Unités S.I.

(1)P Les unités S.I. doivent être utilisés conformément à l'ISO 1000.

(2) Les unités suivantes sont recommandées pour les calculs :

— forces et charges	: kN ; kN/m ; kN/m ²
— masse volumique	: kg/m ³
— poids volumique	: kN/m ³
— contraintes et résistances	: N/mm ² (= MN/m ² ou MPa)
— moments (fléchissants, etc.)	: kN.m
— accélération	: m/s ²

(2)A Les unités suivantes sont recommandées pour les calculs :

— masse	: t
— forces et charges	: kN ; kN/m ; kN/m ²
— masse volumique	: t/m ³
— poids volumique	: kN/m ³
— contraintes et résistances	: MPa
— moments (fléchissants, etc.)	: kN.m
— accélération	: m/s ²

1.6 Notations

1.6.1 Généralités

(1) Pour les notations relatives aux matériaux, ainsi que pour celles qui ne concernent pas particulièrement les situations sismiques, les dispositions des Eurocodes concernés sont appliquées.

(2) Les autres notations utilisées, qui ont un lien avec les actions sismiques, sont définies dans le texte lorsqu'elles apparaissent, afin de faciliter leur utilisation. Néanmoins, les notations que l'on rencontre le plus fréquemment dans la partie 1-1 sont énumérées et définies en 1.6.2.

1.6.2 Autres notations utilisées dans la partie 1-1 de l'ENV 1998

A_{Ed} valeur de calcul de l'action sismique pour la période de retour de référence ;

E_d valeur de calcul des effets de l'action ;

Q action variable ;

$S_e(T)$ ordonnée du spectre de réponse élastique à l'accélération du sol (dénommée également «spectre de réponse élastique») pour la période de retour de référence ;

$S_d(T)$ ordonnée du spectre de calcul pour la période de retour de référence ;

S paramètre caractéristique du type de sol ;

T période de vibration d'un système linéaire avec un seul degré de liberté ;

a_g accélération efficace du sol (dénommé également «accélération de calcul du sol») dans du rocher ou du sol dur, pour la période de retour de référence ;

d_g déplacement maximal du sol ;

g accélération de la pesanteur ;

q coefficient de comportement ;

- α rapport entre l'accélération de calcul du sol et l'accélération de la pesanteur ;
- γ_1 coefficient d'importance ;
- ψ_{2i} coefficient de combinaison pour la valeur quasipermanente d'une action variable i ;
- ψ_{Ei} coefficient de combinaison pour une action variable i , à considérer pour calculer les effets de l'action sismique de calcul.

A	A_k	valeur caractéristique de l'action sismique pour la période de retour de référence ;
	A_{Ed}	valeur de calcul de l'action sismique ;

1.7 Codes de référence

- (1)P Pour l'application de l'ENV 1998, on doit se reporter aux autres Eurocodes 1 à 7 et 9.
- (2) L'ENV 1998 comprend d'autres références normatives citées aux endroits appropriés dans le texte. Elles sont énumérées ci-dessous :
- ISO 1000, Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités.
 - ISO 8930, Principes généraux de fiabilité des constructions — Liste des termes équivalents.
 - EN 1090-1, Exécution des structures en acier — Règles générales et règles pour les bâtiments.
 - EN 10025, Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés — Conditions techniques de livraison.
 - prEN 1337-1, Appuis structuraux — Prescriptions générales.

2 Prescriptions fondamentales et critères de conformité correspondants

2.1 Prescriptions fondamentales

- (1)P En zone sismique, les structures doivent être conçues et exécutées de manière que les prescriptions suivantes soient respectées, chacune avec un degré de fiabilité adéquat :

— **Prescription de non-effondrement :**

La structure doit être conçue, dimensionnée et exécutée de manière à résister aux actions sismiques de calcul, définies à l'article 4, sans effondrement local ou général, conservant ainsi l'intégrité structurale et une capacité portante résiduelle après l'événement sismique ¹⁾.

(1)P A	L'intégrité structurale et la capacité portante résiduelle concernent la structure dans son ensemble. Il est admis cependant que certains des éléments de la structure ou de la construction ne respectent pas complètement les prescriptions ci-dessus.
--------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

— **Prescription de limitation des dommages :**

La structure doit être conçue et exécutée pour résister à des actions sismiques présentant une probabilité de se produire plus importante que les actions sismiques de calcul, sans qu'apparaissent des dommages et des limitations d'exploitation, dont le coût serait disproportionné par rapport à celui de la structure.

(1)P C	Il est admis que les prescriptions fondamentales permettent de respecter les objectifs du paragraphe 1.1.1 alinéa (1) P, les actions sismiques de calcul, telles que définies ci-après, étant considérées comme accidentelles.
--------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1) L'action sismique de calcul est choisie en général sur la base d'une période de retour donnée et ne doit pas nécessairement coïncider avec l'événement d'intensité maximale qui peut se produire sur un site donné. Il est admis que par un choix approprié de la période de retour et des méthodes de conception et dimensionnement, donc des éléments de sécurité qui leurs sont associés, la probabilité de ruine visée est respectée.

(2)P La fiabilité visée pour «la prescription de non-effondrement» et celle de «limitation des dégâts» est définie par les Autorités Nationales pour les différents types de bâtiments ou d'ouvrages de génie civil, en fonction des conséquences que peut avoir leur ruine. Les valeurs numériques incluses dans les dispositions relatives à la sécurité — données uniquement à titre indicatif dans l'ENV 1998 — doivent être compatibles avec la fiabilité visée.

(3)P Cette différenciation de la fiabilité est obtenue en classant les structures en diverses catégories d'importance. Un coefficient d'importance γ_1 est attribué à chaque catégorie. Autant que possible, ce coefficient devrait être établi pour correspondre à une valeur plus longue ou plus courte de la période de retour de l'événement sismique, considérée comme adéquate pour le dimensionnement de la catégorie spécifique de structures, eu égard à la valeur de référence (voir le paragraphe 4.1. alinéa 3).

(4) Les différents niveaux de fiabilité sont obtenus en modifiant à l'aide de ce coefficient d'importance les actions sismiques de référence ou, lorsqu'on utilise une analyse linéaire, l'effet correspondant des actions. Des indications détaillées concernant les classes et les coefficients d'importance associés sont données dans les parties concernées de l'ENV 1998.

(2)P, (3)P et (4) CR Le décret 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique range les bâtiments, équipements et installations nouveaux en deux catégories dites à «risque normal» et à «risque spécial» et ceux de la catégorie à «risque normal» en quatre classes notées A, B, C et D.

Les arrêtés se rapportant au décret 91-461 définissent, pour chaque nature de construction (bâtiments, ponts, etc.), les critères de classement d'une construction ainsi que la valeur de l'action sismique a_N à prendre en compte pour la justification du projet. Le coefficient d'importance γ_1 est inclus à la valeur a_N (voir 4.1 (3) CR).

2.2 Critères de conformité aux prescriptions fondamentales

2.2.1 Généralités

(1)P Afin de satisfaire à l'ensemble des prescriptions fondamentales exposées en 2.1, les états limites suivants doivent être vérifiés (voir 2.2.2 et 2.2.3) :

- **Les États limites ultimes**, ceux qui sont associés à l'effondrement ou à d'autres formes de défaillance de la structure et qui peuvent mettre en danger la sécurité des personnes.
- **Les États limites de service**, ceux qui sont associés à l'apparition de dommages, correspondant à des situations au-delà desquelles certaines prescriptions d'utilisation ne sont plus satisfaites.

(2)P Afin de limiter les incertitudes concernant le comportement des structures sous l'action sismique de calcul, et de favoriser un bon comportement sous l'effet d'actions sismiques plus sévères que l'action de référence, certaines dispositions spécifiques doivent être également appliquées (voir 2.2.4).

(3) Pour des catégories de structures bien définies, situées dans des zones de faible sismicité (voir 4.1), les prescriptions fondamentales peuvent être satisfaites par l'application de règles plus simples que celles indiquées dans les parties concernées de l'ENV 1998.

(3)C Dans ce cadre, la norme NF P 06-014 (Règles PS-MI 89 révisées 92) et le «Guide AFPS 92 pour la protection parasismique des ponts» peuvent être appliquées aux structures qu'ils concernent.

(4) Des règles spécifiques pour des «bâtiments simples en maçonnerie» sont indiquées dans la section 5.7 de la partie 1-3. Si ces règles sont respectées, les prescriptions fondamentales pour ce type de «bâtiments simples en maçonnerie» sont réputées satisfaites sans vérification analytique de la sécurité.

2.2.2 États limites ultimes

(1)P Il doit être vérifié que le système structural possède les propriétés de résistance et de ductilité spécifiées dans les parties concernées de l'ENV 1998.

(2) La résistance et la ductilité à conférer à la structure dépendent de la façon dont il est fait appel à son comportement non linéaire. En pratique, un tel arbitrage entre résistance et ductilité est caractérisé par les valeurs du coefficient de comportement q , données dans les parties concernées de l'ENV 1998. Dans le cas limite des structures non dissipatives, il n'est tenu compte pour la conception et le dimensionnement d'aucune dissipation d'énergie hystérétique, et le coefficient de comportement est pris égal à 1,0. Pour les structures dissipatives, le coefficient de comportement est pris supérieur à 1,0, tenant compte ainsi de la dissipation hystérétique d'énergie qui apparaît dans des zones spécifiquement dimensionnées, appelées zones dissipatives ou zones critiques.

(3)P Il y a lieu de vérifier que la structure, dans son ensemble, reste stable sous l'action sismique de calcul vis-à-vis du renversement et du glissement. Des règles spécifiques pour la vérification au renversement des structures sont indiquées dans les parties concernées de l'ENV 1998.

(4)P Il y a lieu de vérifier que les éléments de fondation ainsi que le sol de fondation sont capables de résister à l'effet des actions résultant de la réponse de la superstructure, sans provoquer des déformations permanentes notables. Lors de la détermination des réactions, il y a lieu de prendre en compte la résistance effective de l'élément de structure qui transmet les actions.

(5)P Dans le calcul, il faut prendre en compte l'influence éventuelle des effets du second ordre sur les valeurs de l'effet des actions.

(6)P Il y a lieu de vérifier que, sous l'effet de l'action sismique de calcul, le comportement des éléments non structuraux ne présente pas de risque pour les personnes et n'a pas d'effet défavorable sur la réponse des éléments structuraux.

(6)P C	Cette condition peut être considérée comme satisfaite par le respect de dispositions constructives appropriées, ainsi que par le respect des prescriptions de calcul précisées dans les parties concernées.
--------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2.3 États limites de service

(1)P Un degré approprié de fiabilité vis-à-vis de désordres inacceptables doit être assuré en respectant les limites des déformations ou d'autres limites définies dans les parties appropriées de l'ENV 1998.

(2)P Dans le cas de structures importantes pour la protection civile, il y a lieu de vérifier que le système structural possède une résistance et une raideur suffisantes pour maintenir le fonctionnement des services vitaux de ces installations, dans le cas d'un événement sismique associé à une période de retour appropriée.

(6)P C	Ces états limites et les combinaisons d'actions associées sont conventionnels, les actions sismiques s'y rapportant étant déduites de celles associées aux États Limites Ultimes. Ils ont pour objet de permettre les vérifications prescrites ci-après.
--------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2.4 Dispositions particulières

2.2.4.1 Conception et dimensionnement

(1) Les structures doivent de préférence avoir des formes régulières en plan et en élévation, voir par exemple article 2 de la partie 1-2. Si nécessaire, ceci peut être réalisé en divisant la structure par des joints en unités indépendantes du point de vue dynamique.

(2)P Afin d'assurer un comportement ductile d'ensemble, les ruptures fragiles ou la formation prématurée de mécanismes instables doivent être évitées. Dans ce but, il peut s'avérer nécessaire, comme indiqué dans les parties correspondantes de l'ENV 1998, de recourir à la méthode de dimensionnement en capacité. Celle-ci est utilisée pour hiérarchiser les résistances des divers composants structuraux, ce qui est nécessaire pour assurer la configuration des éléments dissipatifs telle qu'elle a été projetée et pour éviter les modes de rupture fragile.

(3)P Dans la mesure où la résistance sismique d'une structure dépend largement du comportement de ses zones critiques, la conception de détail de la structure dans son ensemble, et de ces zones ou éléments en particulier, doit être telle que, dans des conditions de sollicitations cycliques, la capacité de transmettre les efforts et de dissiper l'énergie soit maintenue. Dans ce but, le détail des liaisons entre éléments structuraux, ainsi que les zones où un comportement non linéaire est prévu, doivent faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception et du dimensionnement.

(4) Afin de limiter les conséquences de l'événement sismique, les Autorités Nationales peuvent imposer des restrictions sur la hauteur ou sur d'autres caractéristiques d'une structure en fonction de la sismicité locale, de la catégorie d'importance, des conditions du sol et des plans d'occupation des sols.

(5)P L'analyse doit être basée sur un modèle structural adéquat, lequel doit, si nécessaire, prendre en compte l'influence de la déformabilité du sol et des éléments non structuraux.

(6)P Il n'est pas permis de modifier la structure pendant la phase de construction ou pendant la durée de vie de l'ouvrage, sauf si des justifications et des vérifications appropriées sont apportées. Étant donnée la nature spécifique de la réponse sismique, cela s'applique même dans le cas de modifications augmentant la résistance structurale.

2.2.4.2 Fondations

(1)P La raideur des fondations doit être étudiée pour transmettre au terrain, aussi uniformément que possible, les actions dues à la superstructure.

(2) En général, un seul type de fondation doit être utilisé pour une même structure, sauf si cette dernière est constituée d'unités indépendantes du point de vue dynamique.

2.2.4.3 Plan assurance qualité

(1)P Les documents du projet doivent indiquer les dimensions, les détails et les caractéristiques des matériaux constitutifs des éléments structuraux. Ces documents doivent indiquer également les caractéristiques des dispositifs spéciaux utilisés s'il y en a, et les distances entre les éléments structuraux et non structuraux. Les dispositions nécessaires du contrôle de qualité doivent être également données.

(2)P Les éléments d'importance structurale particulière, nécessitant des vérifications spéciales durant la mise en œuvre doivent être identifiés sur les plans. Dans ces cas, les méthodes de vérification à utiliser doivent être également précisées.

(3) Dans les cas de forte sismicité et de structures d'importance particulière, des plans d'assurance qualité formels couvrant le dimensionnement, l'exécution et l'utilisation, doivent être utilisés, en complément des procédures de contrôle prescrites dans les autres Eurocodes.

3 Caractéristiques de sol

3.1 Généralités

(1)P Des investigations appropriées doivent être réalisées en vue de classer le sol conformément aux classes indiquées en 3.2.

(2) D'autres indications concernant l'investigation et la classification des sols sont données au paragraphe 4.2 de la partie 5.

(3)P Le site de construction et la nature du terrain de fondation doivent être exempts de risques de rupture du terrain, d'instabilité des pentes et de tassements permanents causés par liquéfaction ou densification en cas de séisme. La possibilité d'apparition de tels phénomènes doit être examinée conformément aux prescriptions de l'article 4 de la partie 5.

(4) Pour les structures à faible importance ($\gamma_1 \leq 1,0$) situées dans des zones de faible sismicité, les études de sol ne sont pas obligatoires. Dans le cas où elle ne sont pas effectuées, et faute d'informations plus précises, l'action sismique peut être déterminée en supposant des conditions de sol correspondant à la classe B de sol de fondation (voir 3.2).

(4)C Ceci ne dispense pas des études de sol éventuellement nécessaires pour la conception hors séisme de la structure

3.2 Classification des sols de fondation

(1)P L'influence des conditions locales de sol sur l'action sismique doit être prise en compte généralement en considérant les trois classes de sol de fondation A, B, C, décrites par les profils stratigraphiques suivants :

— Classe de sol A

- Rocher ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse des ondes de cisaillement v_s d'au moins 800 m/s, comportant une couche superficielle d'au plus 5 m de matériau moins résistant.
- Dépôts raides de sable, de gravier ou d'argile surconsolidée, d'au moins quelques dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur (et par des valeurs v_s d'au moins 400 m/s à 10 m de profondeur).

— Classe de sol B

- Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres, caractérisés par des valeurs de v_s d'au moins 200 m/s à 10 m de profondeur, augmentant à 350 m/s au moins à une profondeur de 50 m.

— Classe de sol C

- Dépôts de sol lâche, sans cohésion, avec ou sans couches cohérentes molles, caractérisés par des valeurs v_s inférieures à 200 m/s sur les premiers 20 m.
- Dépôts comprenant une majorité de sols cohérents de raideur faible à moyenne, caractérisés par des valeurs de v_s inférieures à 200 m/s sur les premiers 20 m.

(2) Des compléments ou des modifications peuvent être apportées à cette classification pour mieux rendre compte des conditions particulières du sol.

4 Action sismique

4.1 Zones de sismicité

(1)P Dans le cadre de l'ENV 1998, les territoires nationaux doivent être divisés par les Autorités Nationales en zones de sismicité, en fonction de l'aléa local. Par définition, à l'intérieur de chaque zone, l'aléa peut être supposé constant.

(1)P CR Le décret 91-461 du 14 mai 1991 relatif à la prévention du risque sismique introduit cinq zones de sismicité notées 0, Ia, Ib, II et III.

(2) Pour appliquer l'ENV 1998, l'aléa est pris en compte dans la plupart des cas par un seul paramètre, la valeur de l'accélération efficace a_g du sol dans du rocher ou du sol raide, dénommée dans ce qui suit «accélération de calcul au niveau du sol». Pour certains types de structures, des paramètres additionnels sont nécessaires. Ils sont indiqués dans les parties concernées de l'ENV 1998.

NOTE 1 Le concept «d'accélération efficace du sol» est une tentative pour compenser l'inadéquation de l'accélération maximale réelle (pic unique) à décrire le potentiel d'endommagement du mouvement du sol en termes d'accélération maximale ou de vitesse transmises aux structures.

NOTE 2 Il n'y a pas de définition unique de a_g reconnue, ni de technique associée permettant de déduire ce paramètre des caractéristiques du mouvement du sol ; en pratique, les méthodes varient en fonction de ces dernières. En général, a_g tend à coïncider avec le pic réel pour les événements sismiques de magnitude modérée à forte, et de distance épacentrale moyenne à longue ; ceux-ci sont caractérisés (dans le cas des sols raides) par un spectre de fréquence large et approximativement uniforme. En revanche, a_g sera plus ou moins réduit par rapport au pic réel pour des événements en champ proche et de faible magnitude.

(3) L'accélération de calcul au niveau du sol, choisie par l'Autorité Nationale pour chaque zone sismique, correspond à une période de retour de référence de [475] ans. A cette période de retour de référence est associé un coefficient d'importance γ_I égal à 1,0.

(3) CR L'accélération de calcul au niveau du sol introduite dans la réglementation nationale est notée a_N et est qualifiée de «nominale». Sa valeur résulte à la fois de l'importance de la structure et de la zone sismique (voir Nouveau zonage sismique de la France — Documentation Française). Dans l'état actuel des connaissances, on admet que, pour les bâtiments et les ponts de la classe B, l'accélération nominale a_N est reliée à l'accélération de calcul au niveau du sol a_g par la relation suivante :

$$a_g = 0,9 a_N$$

Les valeurs de a_N sont prescrites dans les arrêtés correspondants aux différentes natures de constructions (bâtiments, ponts, etc.)

Les valeurs des coefficients d'importance γ_I sont données dans les parties de la présente Prénorme correspondant aux différentes classes d'ouvrage.

(4) Les zones sismiques avec une accélération de calcul au niveau du sol a_g inférieure à $[0,10]$ g sont des régions de faible sismicité, pour lesquelles on peut utiliser des règles de conception sismique simplifiées pour certains types ou certaines catégories de structures.

(4) CR Dans les zones de sismicité Ia, Ib et II, définies dans le décret n° 91-461 du 14/05/91, les règles simplifiées et dispositions constructives de la norme NF P 06-014 sont applicables aux petits bâtiments qu'elle vise.

(5) P Dans les zones sismiques ayant une accélération de calcul au niveau du sol a_g inférieure à $0,04$ g il n'est pas nécessaire d'appliquer les prescriptions de l'ENV 1998.

(5) P CR Dans les zones de sismicité 0, définies dans le décret n° 91-461 du 14/05/91, il n'est pas nécessaire d'appliquer les prescriptions de L'ENV 1998.

4.2 Représentation de base de l'action sismique

4.2.1 Généralités

(1)P Dans le domaine d'application de l'ENV 1998, le mouvement dû au séisme à un certain point de la surface du sol, est représenté en général par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite «spectre de réponse élastique».

(2)P L'action sismique horizontale est décrite par deux composantes orthogonales considérées comme indépendantes et représentées par le même spectre de réponse.

(3) Sauf études particulières conduisant à des indications contraires, la composante verticale de l'action sismique peut être représentée par le spectre de réponse défini pour l'action sismique horizontale, mais en réduisant l'ordonnée comme suit :

— Pour des périodes de vibration T inférieures à 0,15 s, les ordonnées sont multipliées par le coefficient $0,70$.

— Pour des périodes T supérieures à 0,50 s, les ordonnées sont multipliées par le coefficient $0,50$.

— Pour des périodes de vibration T situées entre 0,15 s et 0,50 s, il y a lieu de procéder à une interpolation linéaire.

(3)I Quelle que soit la période T de vibration, les ordonnées sont multipliées par le coefficient 0,7.

(4) Plusieurs spectres peuvent être nécessaires pour représenter de manière appropriée l'aléa sismique dans une zone sismique. Ceci peut être nécessaire lorsque les séismes affectant cette zone sismique sont engendrés par des sources qui diffèrent sensiblement par leur distance, leur mécanisme au foyer, ou les formations géologiques traversées par les ondes, comme dans le cas des séismes superficiels ou de profondeur intermédiaire. Dans de telles circonstances, des valeurs différentes de a_g , ainsi que des formes différentes du spectre de réponse, devraient normalement être exigées pour chaque type de séisme.

(5) Pour des structures importantes situées dans des zones de forte sismicité, il est recommandé de prendre en compte les effets d'amplification topographique conformément à l'annexe A de la partie 5.

(6) D'autres représentations du mouvement sismique — comme par exemple le spectre de puissance ou la représentation chronologique — peuvent être utilisées (voir 4.3).

(7) La prise en compte de la variation du mouvement du sol dans l'espace ainsi que dans le temps peut être exigée pour certains types de structures (voir parties 2, 3, 4).

4.2.2 Spectre de réponse élastique

(1)P Le spectre de réponse élastique $S_e(T)$ pour la période de retour de référence est défini par les expressions suivantes (voir figure 4.1) :

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot \beta_0 - 1) \right] \quad \dots (4.1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \quad \dots (4.2)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_1} \quad \dots (4.3)$$

$$T_D \leq T: \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \beta_0 \left[\frac{T_C}{T_D} \right]^{k_1} \cdot \left[\frac{T_D}{T} \right]^{k_2} \quad \dots (4.4)$$

où :

- $S_e(T)$ ordonnée du spectre de réponse élastique,
- T période de vibration d'un système linéaire à un seul degré de liberté,
- a_g accélération de calcul au niveau du sol pour la période de retour de référence,
- β_0 facteur d'amplification de l'accélération spectrale pour un amortissement visqueux de 5 %,
- T_B, T_C limites du palier de l'accélération spectrale.
- T_D valeur définissant le début de la branche à déplacement spectral constant,
- k_1, k_2 exposants qui exercent une influence sur la forme du spectre pour une période de vibration supérieure à T_C et T_D respectivement,
- S paramètre du sol,
- η coefficient de correction de l'amortissement avec la valeur de référence $\eta = 1$ pour 5 % d'amortissement visqueux, voir paragraphe (6).

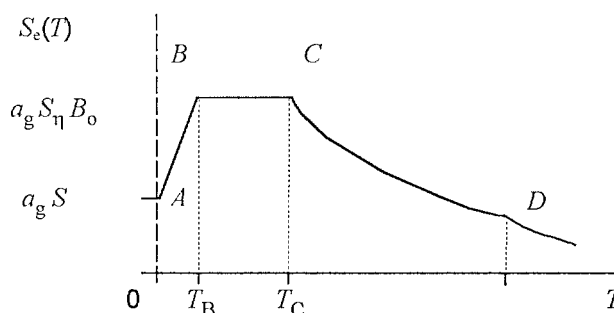


Figure 4.1 — Spectre de réponse élastique

(2) Pour les trois classes de sol de fondation A, B et C les valeurs des paramètres $\beta_0, T_B, T_C, T_D, k_1, k_2, S$ sont indiquées dans le Tableau 4.1.

Tableau 4.1 — Valeur des paramètres décrivant le spectre de réponse élastique ^{a)}

Classe de sol de fondation	S	β_0	k_1	k_2	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
A	[1,0]	[2,5]	[1,0]	[2,0]	[0,10]	[0,40]	[3,0]
B	[1,0]	[2,5]	[1,0]	[2,0]	[0,15]	[0,60]	[3,0]
C	[0,9]	[2,5]	[1,0]	[2,0]	[0,20]	[0,80]	[3,0]

a) Ces valeurs sont sélectionnées de manière que les ordonnées du spectre de réponse élastique présentent une probabilité uniforme d'être dépassées de 50 % pour toutes les périodes (spectre de risque uniforme).

(2)l Tableau 4.1 : Valeur des paramètres décrivant le spectre de réponse élastique

Classe de sol de fondation	S	β_0	k_1	k_2	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,10	0,40	3,00
B	0,9	2,5	1,0	2,0	0,15	0,60	4,00
C	0,8	2,5	1,0	2,0	0,20	0,80	4,50

(3) Lorsque le profil du sol de fondation contient une couche superficielle alluvionnaire d'épaisseur variant de 5 à 20 m, au-dessus d'un sol beaucoup plus dur de classe A, on peut utiliser, sauf si l'on dispose d'une étude particulière, la forme du spectre valable pour un terrain de fondation de la classe B, avec un paramètre du sol S majoré, égal à $\boxed{1,4}$.

(3)A Dans le cas d'une couche superficielle d'épaisseur variant de 5 m à quelques dizaines de mètres, présentant un contraste important de raideur avec un rocher de classe A sous-jacent, il y a lieu d'effectuer une étude particulière visant à majorer le spectre, au moins dans certaines gammes de fréquence. Dans le cas où la couche superficielle est d'épaisseur H et de caractéristiques mécaniques peu variables, on peut utiliser le spectre associé à un sol de fondation de la classe A, amplifié par le facteur λ défini par :

$$\lambda = 1 \quad \text{pour } T < 0,6 T_r$$

$$\lambda = 5 \frac{T}{T_r} - 2 \quad \text{pour } 0,6 T_r \leq T \leq 0,8 T_r$$

$$\lambda = 2 \quad \text{pour } 0,8 T_r \leq T \leq 1,6 T_r$$

$$\lambda = 6 - 2,5 \frac{T}{T_r} - 2 \quad \text{pour } 1,6 T_r \leq T \leq 2 T_r$$

$$\lambda = 1 \quad \text{pour } T \geq 2 T_r$$

$$\text{avec : } T_r = \frac{4H}{V_s}$$

où :
 V_s désigne la valeur moyenne de la vitesse des ondes de cisaillement dans la couche d'alluvions. Il n'est pas nécessaire que le spectre ainsi amplifié par λ prenne des valeurs supérieures à 3,5.

(4) Pour les sites ayant des conditions de sol qui ne concordent pas avec l'une des trois classes de sol de fondation A, B en C, des études particulières peuvent être nécessaires pour la définition des actions sismiques.

(5) Une attention particulière doit être accordée au cas d'un sol de classe C en argiles molles/vases ou d'un sol qui en comporte une couche d'au moins 10 m d'épaisseur, ayant un indice de plasticité élevé ($PI > 40$) et une teneur en eau importante. Ces sols sont caractérisés par des valeurs de v_s très faibles, un amortissement interne faible et un domaine anormalement étendu des comportements linéaires ; c'est pourquoi ils peuvent produire des amplifications anormales du mouvement sismique et des effets importants d'interaction sol-structure (voir section 6 de la partie 5). Dans ce cas une étude particulière doit être réalisée pour la définition des actions sismiques, en vue d'établir la dépendance du spectre de réponse vis-à-vis de l'épaisseur et de la valeur v_s de la couche d'argile molle/vase, ainsi que vis-à-vis du contraste de raideur qui existe entre cette couche et les sols situés en dessous.

(6) La valeur du coefficient de correction de l'amortissement η peut être déterminée par la relation :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0,7 \quad \dots (4.5)$$

où :
 ξ est la valeur du pourcentage d'amortissement visqueux de la structure, exprimée en pourcentage. Si pour des études particulières un pourcentage d'amortissement visqueux différent de 5 % est utilisé, cette valeur est indiquée dans les parties concernées de l'ENV 1998.

4.2.3 Déplacement maximal du sol

(1) Sauf dans le cas où des études particulières, basées sur les informations disponibles, conduiraient à une autre valeur, la valeur d_g du déplacement maximal du sol peut être estimée à l'aide de l'expression suivante :

$$d_g = [0,05] \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad \dots (4.6)$$

les valeurs de a_g , S , T_C , T_D étant celles définies en 4.2.2.

(1)A Dans l'expression (4.6), la valeur 0,05 du coefficient encadré est remplacée par 0,035.

4.2.4 Spectre de calcul pour le calcul linéaire équivalent

(1) La capacité des systèmes structuraux à résister à des actions sismiques dans le domaine non linéaire permet en général d'effectuer leur dimensionnement pour des forces plus faibles que celles correspondant à une réponse linéaire élastique.

(2) Afin d'éviter, pour le dimensionnement, un calcul structural non linéaire explicite, la capacité de dissipation d'énergie de la structure (obtenue principalement par le comportement ductile de ses éléments ou d'autres mécanismes) est prise en compte en réalisant un calcul linéaire équivalent. Cette dernière est basée sur un spectre de réponse réduit par rapport au spectre élastique, dénommé dans ce qui suit «spectre de calcul». Cette réduction est réalisée en introduisant le coefficient de comportement q . Par ailleurs, des exposants modifiés k_{d1} et k_{d2} sont en général utilisés.

(3) Le coefficient de comportement q est une approximation du rapport entre les forces sismiques que la structure subirait si sa réponse était complètement élastique avec un amortissement visqueux de 5 %, et les forces sismiques minimales qui peuvent être utilisées lors de la conception et du dimensionnement, avec un modèle linéaire conventionnel, en assurant encore une réponse satisfaisante de la structure. Les valeurs du coefficient de comportement q , incluant également l'influence d'amortissements visqueux différents de 5 %, sont indiquées, pour divers matériaux et systèmes structuraux, selon divers niveaux de ductilité, dans les parties concernées de l'ENV 1998.

(4)P Le spectre de calcul $S_d(T)$ pour la période de retour de référence, normalisé par l'accélération de la gravité g , est défini par les expressions ci-dessous :

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_d(T) = a \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{\beta_0}{T} - 1 \right) \right] \quad \dots (4.7)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_d(T) = a \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \quad \dots (4.8)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_{d1}} \\ \geq [0,20] \cdot a \end{cases} \quad \dots (4.9)$$

$$T_D \leq T : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a \cdot S \cdot \frac{\beta_0}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T_D} \right]^{k_{d1}} \left[\frac{T_D}{T} \right]^{k_{d2}} \\ \geq [0,20] \cdot a \end{cases} \quad \dots (4.10)$$

où :

$S_d(T)$ est l'ordonnée du spectre de calcul, qui est normalisé par g ;

a est le rapport entre l'accélération de calcul au niveau du sol a_g et l'accélération de la pesanteur ($a = a_g/g$),

q est le coefficient de comportement,

k_{d1}, k_{d2} sont des exposants qui influencent la forme du spectre de calcul pour une période de vibration supérieure à T_C et T_D respectivement.

(4)P A Dans les expressions (4.9) et (4.10), la condition $S_d(T) \geq [0,20] a$ est supprimée.

(4)P C Sauf ouvrages particuliers pour lesquels des limites inférieures de S_d (du type $[0,20] a$) peuvent être introduites, il n'est pas apparu nécessaire de maintenir systématiquement les valeurs planchers.

(5) Les valeurs des caractéristiques β_0 , T_B , T_C , T_D , S sont données par le Tableau 4.1.

Les valeurs de k_{d1} , k_{d2} sont données par le Tableau 4.2.

Tableau 4.2 — Valeurs de k_{d1} et k_{d2}

Classe de sol de fondation	k_{d1}	k_{d2}
A	[2/3]	[5/3]
B	[2/3]	[5/3]
C	[2/3]	[5/3]

(6)P Le spectre de calcul tel que défini plus haut ne donne pas une représentation suffisante pour la conception et le dimensionnement de structures sur appuis parasismiques ou munies de dispositifs de dissipation d'énergie.

4.3 Autres représentations de l'action sismique

4.3.1 Représentation par un spectre de puissance

(1)P Le mouvement sismique en un point donné de la surface du sol peut être représenté également comme un processus aléatoire, défini par un spectre de puissance — c'est-à-dire la fonction de densité spectrale de puissance du processus d'accélération — associé à une certaine durée, cohérents avec la magnitude et avec d'autres caractéristiques de l'événement sismique.

(2)P Le spectre de puissance doit être cohérent avec le spectre de réponse élastique utilisé pour la définition de base de l'action sismique conformément au 4.2.2.

(3) La cohérence est considérée comme étant acquise lorsque la valeur du fractile à 50 % de la distribution du maximum de la réponse d'un système à un degré de liberté, soumis à un processus aléatoire défini par le spectre de puissance, coïncide, pour les périodes entre 0,20 s et 3,5 s, avec les ordonnées du spectre de réponse élastique indiquées en 4.2.2, avec une tolérance de $[\pm 10 \ %]$.

(4)P Le mouvement sismique doit consister en trois processus aléatoires indépendants, agissant simultanément le long de deux axes horizontaux orthogonaux choisis arbitrairement x et y , et de l'axe vertical z , ce dernier processus étant réduit de manière appropriée, conformément au § 4.2.1 alinéa (3). Des simplifications sont possibles conformément aux parties concernées de l'ENV 1998.

4.3.2 Représentation temporelle

4.3.2.1 Généralités

(1)P Le mouvement sismique peut également être représenté par une accélération du sol fonction du temps, ou par des grandeurs associées (vitesse et déplacement).

(2)P Lorsqu'un modèle tridimensionnel est exigé, le mouvement sismique doit consister en trois accélérogrammes agissant simultanément. Le même accélérogramme ne peut être utilisé simultanément pour les deux directions horizontales. Des simplifications sont possibles conformément aux parties concernées de l'ENV 1998.

(3) En fonction de la nature de l'application et des informations disponibles, la description du mouvement sismique peut être basée sur l'utilisation d'accélérogrammes artificiels (voir 4.3.2.2) ou d'accélérogrammes enregistrés ou simulés (voir 4.3.2.3).

4.3.2.2 Accélérogrammes artificiels

(1)P Les accélérogrammes artificiels doivent être établis de manière à correspondre au spectre de réponse élastique donné en 4.2.2.

(2)P La durée des accélérogrammes doit être compatible avec la magnitude et les autres caractéristiques propres à l'événement sismique servant à la définition de a_g .

(3) Lorsqu'on ne dispose pas de données spécifiques, la durée minimale T_s de la partie stationnaire des accélérogrammes pour des zones épacentrales doit être corrélée aux valeurs de $\gamma_1 \cdot a$ ($= \gamma_1 \cdot a_g/g$) comme indiqué dans le Tableau 4.3.

Tableau 4.3 — Durée T_s de la partie stationnaire des accélérogrammes en fonction de $\eta_1 a$, pour les zones épacentrales

$\eta_1 \cdot a$	0,10	0,20	0,30	0,40
T_s	[10]s	[15]s	[20]s	[25]s

(4)P Le nombre d'accélérogrammes utilisé doit permettre de fournir une valeur statistiquement stable (moyenne et variance) des variables d'intérêt. L'amplitude et le contenu fréquentiel des accélérogrammes doivent être choisies de manière que soit obtenu un niveau de fiabilité global équivalent à celui obtenu par l'utilisation du spectre de réponse élastique de 4.2.2.

(5) Les prescriptions de l'alinéa (4) P sont considérées comme satisfaites si les règles suivantes sont respectées :

- a) Un minimum de [5] accélérogrammes est utilisé.
- b) La moyenne des valeurs de l'accélération spectrale à la période nulle (calculée à partir des accélérogrammes) n'est pas inférieure à la valeur de $a_g \cdot S$ pour le site en question.
- c) Dans le domaine des périodes de T_B à T_C du spectre de réponse élastique pour le site en question, la moyenne des valeurs des accélérogrammes spectrales obtenues à partir de tous les accélérogrammes (et calculées pour un nombre approprié de périodes) n'est pas inférieure à la valeur $a_g \cdot S \cdot \beta_0$ du spectre de réponse élastique.
- d) Aucune valeur du spectre moyen — calculée à partir de tous les accélérogrammes — ne se situe à plus de 10 % au-dessous de la valeur correspondante du spectre de réponse élastique.

4.3.2.3 Accélérogrammes enregistrés ou simulés

(1)P L'utilisation d'accélérogrammes enregistrés — ou d'accélérogrammes élaborés par une simulation physique des mécanismes à la source et de propagation des ondes — est autorisée, à condition que les échantillons utilisés, au nombre de [3] au moins, soient reconnus comme représentatifs des caractéristiques des sources sismogènes et des conditions de sol du site, et que leurs valeurs soient calées par rapport à la valeur de $a_g \cdot S$ pour la zone considérée.

(2)P Pour les analyses des amplifications des mouvements de sol et pour les vérifications de la stabilité dynamique des pentes, voir le paragraphe 2-2 de la partie 5.

4.3.3 Modèle tridimensionnel

(1)P Pour les structures ayant des caractéristiques telles qu'il n'est pas raisonnable d'admettre l'hypothèse de même excitation à tous les points d'appui, des modèles tridimensionnels de l'action sismique doivent être utilisés (voir 4.2.1 (7)).

(2)P Ces modèles tridimensionnels doivent être en concordance avec les spectres de réponse élastique utilisés pour la définition de base de l'action sismique, conformément au 4.2.2.

4.3 C La totalité du paragraphe 4.3 est invalidée et n'est pas remplacée. Les pratiques actuelles diffèrent selon les situations et les objectifs et sont donc difficilement normalisables. En conséquence, l'utilisation de ces autres représentations n'est pas couverte par la présente norme. Dans le présent DAN, le § 4.3 peut être considéré comme une annexe informative.

4.4 Combinaison de l'action sismique avec d'autres actions

(1)P La valeur de calcul E_d de l'effet des actions en situation sismique doit être déterminée en combinant les valeurs appropriées des actions comme suit : (voir partie 1 de l'ENV 1991).

$$\sum G_{kj} \text{ "+" } \gamma_1 A_{Ed} \text{ "+" } P_k \text{ "+" } \sum \psi_{2i} Q_{ki} \quad \dots (4.11)$$

où :

"+" signifie «être combiné avec» ;

Σ indique «l'effet combiné de» ;

G_{kj} est la valeur caractéristique de l'action permanente j ;

γ_1 est la coefficient d'importance, voir paragraphe 2.1 alinéa (3) ;

A_{Ed} est la valeur de calcul de l'action sismique pour la période de retour de référence (par exemple, spectre de calcul conforme au paragraphe 4.2.4)²⁾ ;

P_k est la valeur caractéristique de l'action de la précontrainte, après que toutes les pertes se soient produites ;

ψ_{2i} est la coefficient de combinaison pour les valeurs quasi-permanentes de l'action variable i ;

Q_{ki} est la valeur caractéristique de l'action variable i.

(1) P I Les expressions invalidées deviennent :

$$\sum G_{kj} \text{ "+" } \gamma_1 A_{ek} \text{ "+" } P_k \text{ "+" } \sum \psi_{2i} Q_{ki} \quad \dots (4.11a)$$

A_{ek} est la valeur caractéristique de l'action sismique pour la période de retour de référence

La valeur de calcul de l'action sismique est définie par :

$$A_{Ed} = \gamma_1 A_{ek} \quad \dots (4.11b)$$

(2)P Les effets de l'action sismique doivent être évalués prenant en compte la présence de toutes les charges gravitationnelles qui apparaissent dans la combinaison d'actions suivante :

$$\sum G_{kj} \text{ "+" } \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} \quad \dots (4.12)$$

avec :

ψ_{Ei} coefficient de combinaison pour les actions variables i.

(3) Les coefficients de combinaison ψ_{Ei} prennent en compte la probabilité que les charges $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ ne soient pas présentes sur la totalité de la structure lorsque survient un séisme. Ces coefficients prennent en compte également une participation réduite des masses dans le mouvement de la structure, due à un liaisonnement non totalement rigide entre elles.

(4) Les valeurs de ψ_{2i} sont indiquées dans la partie 1 de l'ENV 1991 et les valeurs de ψ_{Ei} sont indiquées dans les parties concernées de l'ENV 1998.

2) NdT Le texte original [design value] est traduit ici fidèlement ; l'expression (4.11) fait apparaître un coefficient γ_1 pondérateur de A_{Ed} alors qu'il aurait du être intégré dans A_{Ed} .