

Eurocode 2 : Calcul des structures en béton  
et Document d'Application Nationale

## Partie 1-4 : Règles générales — Béton de granulats légers à structure fermée

E : Eurocode 2 : Design of concrete structures — Part 1-4 : General rules —  
Lightweight aggregate concrete with closed structure

D : Eurocode 2 : Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken —  
Teil 1-4 : Allgemeine Regeln — Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge

### *Norme expérimentale*

publiée par l'AFNOR en mai 1997.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être  
adressées à l'AFNOR avant le 31 décembre 1997.

### *Correspondance*

Le présent document reproduit intégralement la prénorme européenne  
ENV 1992-1-4:1994.

### *Analyse*

Le présent document constitue un complément à l'ENV 1992-1-1 pour la  
conception et le calcul des éléments et structures en béton de granulats légers  
à structure fermée. Il définit les méthodes de calcul, les valeurs de calcul des  
propriétés des matériaux, les exigences de résistance, d'aptitude au service et  
de durabilité des ouvrages. Il contient des règles relatives au dimensionnement  
et au calcul des sections et propose un ensemble de dispositions constructives.

### *Descripteurs*

**Thésaurus International Technique** : structure en béton, béton, granulats,  
conception, calcul, propriété mécanique, résistance des matériaux, dimension,  
section, règle de construction, contrôle de qualité, durabilité, conditions d'exé-  
cution.

### *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 R. LACROIX

Secrétariat : M BUI — SETRA

M	ACKER	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	BAR	BUREAU DE NORMALISATION SOLS ET ROUTES
M	BOIS	INSPECTION GENERALE OUVRAGES D'ART
M	BOLVIN	EDF — SEPTEN
M	BOUCHON	SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
M	BOUSQUET	SNCF
M	BOUTIN	SOCOTEC — REPRESENTANT LE COPREC
M	CALGARO	SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
M	CHARDIN	SYNDICAT DES PROCEDES INDUSTRIALISES DE PRECONTRAINT
M	CHAUSSIN	LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	COIN	SAE
M	CORTADE	BORIE — SAE
M	DARDARE	CENTRE D'ETUDES ET DE RECHERCHES DE L'INDUSTRIE DU BETON MANUFACTURE
M	DARPAS	INGENIEUR GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	DUBOIS	MINISTERE DE LA DEFENSE
MME	FERNANDEZ	AFNOR
M	FOURE	CENTRE EXPERIMENTAL DE RECHERCHES ET D'ETUDES DU BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS
M	HAROUIMI	CHAMBRE DES INGENIEURS CONSEIL DE FRANCE
M	JALIL	SOCOTEC
M	LACROIX	PROFESSEUR HONORAIRE A L'ENPC
M	LEBLANC	SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
M	LERAY	CONSEIL GENERAL DES PONTS ET CHAUSSEES
M	MATHEZ	CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
M	MATHIEU	INSPECTION GENERALE OUVRAGES D'ART
M	PERCHAT	FEDERATION NATIONALE DU BATIMENT
M	POINEAU	SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
M	SCHMOL	SNBATI
M	THONIER	FEDERATION NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS
M	XERCAVINS	PX. CONSULTANTS

## *Avant-propos national*

***Liaison avec l'ENV 1992-1-1 : Eurocode 2: Calcul des structures en béton. Partie 1-1 Règles générales et règles pour les bâtiments***

*La présente norme expérimentale P 18-714, qui reprend la prénorme européenne ENV 1992-1-4, est un complément à la norme expérimentale P 18-711 reprenant la prénorme ENV 1992-1-1.*

*L'avant-propos national de cette dernière s'applique au présent document et précise la correspondance entre les normes européennes citées en référence et les normes françaises.*

## ***Document d'Application Nationale***

*Après examen de la présente Prénorme par la commission française de suivi de l'Eurocode 2, il a été décidé qu'aucune adaptation nationale n'était nécessaire. Par conséquent le présent document ne contient pas de partie appelée «Document d'Application Nationale».*

ICS : 91.040.00 ; 91.100.30

Descripteurs : bâtiments, ouvrages en béton, calcul, codes applicables au bâtiment, règles de calcul.

### **Version française**

#### **Eurocode 2 : Calcul des structures en béton — Partie 1-4 : Règles générales — Béton de granulats légers à structure fermée**

Eurocode 2 : Planung von Stahlbeton- und  
Spannbetontragwerken — Teil 1-4 : Allgemeine  
Regeln — Leichtbeton mit geschlossenem Gefüge

Eurocode 2 : Design of concrete structures —  
Part 1-4 : General rules — Lightweight aggregate  
concrete with closed structure

La présente prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 1993-06-25 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, 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
<b>Avant-propos</b> .....	4
<b>Section 1 Introduction</b> .....	7
1.1 Domaine d'application .....	7
1.1.2 Domaine d'application de la Partie 1-4 de l'Eurocode 2 .....	7
1.4 Définitions .....	7
1.4.2 Termes spéciaux employés dans la Partie 1-4 de l'Eurocode 2 .....	7
1.7 Symboles spéciaux employés dans la Partie 1-4 de l'Eurocode 2 .....	7
1.7.2 Symboles majuscules latins .....	7
1.7.4 Symboles grecs .....	7
1.7.5 Indices .....	7
<b>Section 2 Bases de calcul</b> .....	8
2.5 Analyse .....	8
2.5.5 Détermination des effets de la déformation différée du béton .....	8
2.5.5.1 Généralités .....	8
<b>Section 3 Propriétés des matériaux</b> .....	8
3.1 Béton .....	8
3.1.0 Notations .....	8
3.1.2 Béton de granulats légers .....	8
3.1.2.1 Définitions .....	8
3.1.2.3 Résistance à la traction .....	9
3.1.2.4 Classes de résistance du béton de granulats légers .....	9
3.1.2.5 Caractères de déformation .....	10
<b>Section 4 Dimensionnement et calcul des sections</b> .....	11
4.1 Exigences de durabilité .....	11
4.1.3 Projet .....	11
4.1.3.3 Enrobage .....	11
4.2 Données du projet .....	11
4.2.1 Béton de granulats légers .....	11
4.2.1.2 Propriétés physiques .....	11
4.2.1.3 Propriétés mécaniques .....	11
4.2.3 Béton précontraint .....	14
4.2.3.5 Calcul des éléments en béton précontraint .....	14
4.3 États-limites ultimes .....	14
4.3.2 Sollicitations d'effort tranchant .....	14
4.3.2.3 Éléments ne nécessitant pas d'armatures d'effort tranchant ( $V_{sd} \leq V_{Rd1}$ ) .....	14
4.3.4 Poinçonnement .....	14
4.3.4.5 Effort tranchant résistant .....	14
4.3.5 États-limites ultimes atteints par déformation structurale (flambement) .....	14
4.3.5.2 Procédures de calcul .....	14
4.4 États-limites de service .....	15
4.4.2 États-limites de fissuration .....	15
4.4.2.2 Sections minimales d'armatures .....	15
4.4.3 États-limites de déformation .....	15
4.4.3.2 Cas de dispense de la vérification .....	15
<b>Section 5 Dispositions constructives</b> .....	16
5.0 Notations .....	16
5.1 Généralités .....	16
5.2 Acier pour béton armé .....	16
5.2.1 Dispositions générales .....	16
5.2.1.2 Courbures admissibles .....	16

## Sommaire (fin)

	Page
5.2.2 Adhérence .....	16
5.2.2.2 Contrainte ultime d'adhérence .....	16
5.2.2.3 Longueur d'ancrage de référence .....	16
5.2.3 Ancrage .....	17
5.2.3.2 Modes d'ancrage .....	17
5.2.3.4 Longueur d'ancrage requise .....	17
5.2.6 Règles complémentaires pour les barres à haute adhérence d'un diamètre supérieur à  32  mm .....	17
5.2.6.0 Généralités .....	17
5.2.6.2 Adhérence .....	17
5.2.7 Groupements de barres à haute adhérence .....	17
5.2.7.1 Généralités .....	17
<b>Section 6 Exécution des travaux .....</b>	<b>17</b>
<b>Section 7 Contrôle de la qualité .....</b>	<b>17</b>
<b>Annexe 1 Dispositions complémentaires relatives à la détermination des effets des déformations différées du béton .....</b>	<b>18</b>
<b>Annexe 2 Analyse non linéaire .....</b>	<b>18</b>
<b>Annexe 3 Compléments d'information sur les états-limites ultimes provoqués par les déformations structurales .....</b>	<b>18</b>
<b>Annexe 4 Vérification des flèches par le calcul .....</b>	<b>18</b>

## Avant-propos

### Objectifs des Eurocodes

- (1) Les Eurocodes Structuraux regroupent un ensemble de normes pour le calcul des structures et fondations des ouvrages de bâtiment et de génie civil.
- (2) Ils ne traitent de l'exécution et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire de préciser la qualité des produits de construction et le niveau de réalisation à satisfaire pour être conforme aux hypothèses adoptées dans les règles de calcul.
- (3) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées concernant les produits ainsi que les méthodes de contrôle de leurs performances soient disponibles, un certain nombre d'Eurocodes Structuraux traitent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

### Historique du programme Eurocodes

- (4) La Commission des Communautés Européennes (CCE) a initié le travail d'élaboration d'un ensemble de règles techniques harmonisées pour le calcul des ouvrages de bâtiment et de génie civil, règles destinées, au début, à être utilisées en alternative aux différents règlements en vigueur dans les divers États Membres et à les remplacer ultérieurement. Ces règles techniques sont connues sous le nom d'«Eurocodes Structuraux».
- (5) En 1990, après consultation de ses États Membres, la CCE a transféré au CEN la charge de poursuivre le travail d'élaboration, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes Structuraux, et le secrétariat de l'AELE a accepté d'aider le CEN dans cette tâche.
- (6) Le Comité Technique CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes Structuraux.

### Programme Eurocodes

- (7) Le travail est en cours sur les différents Eurocodes Structuraux, chacun étant généralement constitué de plusieurs Parties :

EN 1991	Eurocode 1	Bases de calcul et actions sur les structures
EN 1992	Eurocode 2	Calcul des structures en béton
EN 1993	Eurocode 3	Calcul des structures en acier
EN 1994	Eurocode 4	Conception et dimensionnement des structures mixtes acier béton
EN 1995	Eurocode 5	Calcul des structures en bois
EN 1996	Eurocode 6	Calcul des structures en maçonneries
EN 1997	Eurocode 7	Calcul géotechnique
EN 1998	Eurocode 8	Conception et dimensionnement des structures pour la résistance au séisme
EN 1999	Eurocode 9	Calcul des structures en alliage d'aluminium
- (8) Des sous-comités séparés ont été formés par le CEN/TC 250 pour les divers Eurocodes énoncés ci-dessus.
- (9) La présente partie 1-4 de l'Eurocode 2 est publiée comme Prénorme Européenne (ENV) pendant une durée de trois ans.
- (10) Cette Prénorme est destinée à être appliquée, à titre expérimental, ainsi que pour l'émission de commentaires.
- (11) Au terme d'une durée approximative de deux ans, les Membres du CEN seront invités à formuler des commentaires officiels qui seront pris en compte dans la détermination de l'action future.

- (12) En attendant, réactions et commentaires sur cette Prénorme devront être adressés au Secrétariat du sous-comité CEN/TC 250/SC 2 à l'adresse suivante :

Deutsches Institut für Normung e.v (DIN)  
Burggrafenstraße 6  
Postfach 11 07  
D — 10 787 BERLIN  
Allemagne

Tél : (49) 30 26 01 25 01  
Fax : (49) 30 26 01 12 31

ou à votre organisme national de normalisation.

#### **Document d'Application Nationale (DAN)**

- (13) Étant donné les responsabilités des autorités des États Membres en matière de sécurité, santé et autres points couverts par les exigences essentielles de la Directive des Produits de Construction (DPC), des valeurs indicatives ont été attribuées à certains éléments de sécurité dans l'ENV qui sont identifiées par [\_\_\_] (valeurs encadrées). 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 ne seront pas disponibles au moment de la publication de cette Prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un 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 la Prénorme soit publié par chaque État Membre ou son organisme de normalisation.
- (15) Il est prévu que cette Prénorme soit utilisée conjointement avec le DAN valable dans le pays où le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil sont situés.

#### **Points spécifiques à cette Prénorme**

- (16) Le domaine d'application de l'Eurocode 2 est défini en 1.1.1 de l'ENV 1992-1-1 et celui de cette Partie de l'Eurocode 2 est défini en 1.1.2. Les Parties complémentaires de l'Eurocode 2 qui sont prévues sont indiquées en 1.1.3 de l'ENV 1992-1-1 ; elles comprendront des techniques ou applications additionnelles, en complément et en supplément à cette Partie.
- (17) En utilisant cette Prénorme, on s'attachera particulièrement aux hypothèses et conditions soulignées en 1.3.
- (18) Les sept chapitres de cette Prénorme sont complétés par quatre annexes qui ont le même statut normatif que les chapitres auxquels elles se rapportent. Ces annexes ont été constituées, par souci de clarté, en détachant de la partie principale du texte, certains Principes/Règles d'Application parmi les plus détaillés et qui ne sont utilisés que dans des cas particuliers.
- (19) Comme cela est indiqué en (14) du présent avant-propos, référence doit être faite au Document d'Application Nationale qui donnera les détails des normes d'accompagnement compatibles à utiliser. Pour cette partie de l'Eurocode 2, une attention particulière doit être portée à la Prénorme approuvée ENV 206 (Béton — Performances, production, mise en œuvre et critères de conformité) ainsi qu'aux exigences de durabilité données en 4.1 de la présente Prénorme.
- (20) Les dispositions de cette Prénorme sont basées en grande partie sur l'édition 1978 du Code Modèle CEB et autres documents CEB et FIP plus récents.
- (21) En développant cette Prénorme, des documents explicatifs ont été préparés et donnent des commentaires et justifications sur certaines dispositions de cette Prénorme.

En ce qui concerne l'ENV 1992-1-4, les alinéas complémentaires suivants sont applicables :

- (22) La présente Partie 1-4 de l'Eurocode 2 complète l'ENV 1992-1-1 pour ce qui concerne les aspects particuliers du béton de granulats légers à structure fermée.
- (23) La présentation et l'organisation de cette Partie 1-4 correspondent à celles de l'ENV 1992-1-1. Toutefois, la Partie 1-4 contient des Principes et des Règles d'Application propres aux ouvrages réalisés avec du béton de granulats légers à structure fermée.
- (24) En cas d'omission d'un paragraphe particulier de l'ENV 1992-1-1 dans le présent ENV 1992-1-4, ce paragraphe de l'ENV 1992-1-1 est applicable en tant que de besoin.

Dans la présente partie, certains Principes et Règles d'Application de l'ENV 1992-1-1 sont modifiés ou remplacés ; dans ce dernier cas, ils annulent les précédents.

Lorsqu'un Principe ou Règle d'Application de l'ENV 1992-1-1 est modifié ou remplacé, le nouveau numéro s'identifie par l'adjonction du nombre 100 au numéro initial. Lorsqu'un nouveau Principe ou Règle d'Application est introduit, il s'identifie par le numéro immédiatement suivant le dernier numéro de l'ENV 1992-1-1, additionné du nombre 100.

Tout sujet non traité par l'ENV 1992-1-1 est introduit dans la présente Partie par un nouveau paragraphe. Le numéro du paragraphe correspondant suit la numérotation logique de l'ENV 1992-1-1.

- (25) La numérotation des équations, des figures, des annotations de bas de page et des tableaux de cette Partie suit les mêmes principes que la numérotation des paragraphes définie en (24) ci-dessus.

## Section 1 Introduction

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit :

### 1.1 Domaine d'application

#### 1.1.2 Domaine d'application de la Partie 1-4 de l'Eurocode 2

Complément à la suite du Principe (5) :

- P(106) La Partie 1-4 de l'Eurocode 2 fournit une base commune de calcul pour les ouvrages de bâtiment et de génie civil en béton armé et précontraint, constitués de béton de granulats légers à structure fermée suivant la définition de l'ENV 206.
- Pour les ouvrages en béton non armé constitués de béton de granulats légers à structure fermée, la Partie 1-6 de l'ENV 1992 et la présente Partie 1-4 doivent être appliquées simultanément.
- P(107) D'une façon générale, tous les articles de l'ENV 1992-1-1 sont applicables, sauf s'ils sont remplacés par les articles spéciaux de la présente Partie 1-4.
- P(108) La présente Partie 1-4 concerne tous les bétons à structure fermée constitués de granulats minéraux légers, naturels ou artificiels, sauf si des expériences probantes permettent d'affirmer que d'autres dispositions que celles indiquées peuvent être adoptées en toute sécurité.
- (109) *La présente Partie 1-4 ne s'applique pas au béton cellulaire, durci en autoclave ou non, ni au béton de granulats légers à structure ouverte.*

### 1.4 Définitions

#### 1.4.2 Termes spéciaux employés dans la Partie 1-4 de l'Eurocode 2

Complément à la suite du Principe (2) :

- P(103) Béton de granulats légers : béton à structure fermée <sup>1)</sup> d'une masse volumique inférieure ou égale à 2 000 kg/m<sup>3</sup> après étuvage, constitué entièrement ou pour partie d'une proportion de granulats légers naturels ou artificiels d'une masse volumique élémentaire inférieure à 2 000 kg/m<sup>3</sup>.

### 1.7 Symboles spéciaux employés dans la Partie 1-4 de l'Eurocode 2

#### 1.7.2 Symboles majuscules latins

Complément :

LC Les classes de résistance du béton de granulats légers sont précédées du symbole LC.

#### 1.7.4 Symboles grecs

Complément :

$\eta_E, \eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$  Coefficients ou facteurs de conversion.

#### 1.7.5 Indices

Complément :

lc Les propriétés du matériau «béton de granulats légers» sont annoncées par l'indice lc.

---

1) Selon l'ENV 206, 5.2, tout béton fabriqué et compacté de manière à éviter la rétention d'une quantité notable d'air inclus autre que l'air entraîné.

## Section 2 Bases de calcul

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit :

### 2.5 Analyse

#### 2.5.5 Détermination des effets de la déformation différée du béton

##### 2.5.5.1 Généralités

La Règle d'Application (13) est remplacée par :

(113) *L'annexe 1 de la Partie 1-1 de l'ENV 1992 ne s'applique pas au cas du béton de granulats légers à structure fermée.*

Complément à la suite de la Règle d'Application (13) :

(114) *Lorsque l'influence de la déformation différée du béton est jugée suffisamment importante pour que sa détermination nécessite un calcul spécifique, il convient de se reporter aux textes appropriés tout en se conformant aux alinéas P(1), P(2) et (5) de l'ENV 1992-1-1. Pour que ces calculs conduisent à un résultat précis, il est important de connaître les conditions d'environnement de l'ouvrage ainsi que la composition et les propriétés de ses constituants.*

## Section 3 Propriétés des matériaux

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit :

### 3.1 Béton

#### 3.1.0 Notations (se reporter également à 1.7)

Complément :

- $\eta_E$  Facteur de conversion nécessaire au calcul du module d'élasticité ;
- $\eta_1$  Coefficient utilisé pour la détermination de la résistance à la traction ;
- $\eta_2$  Rapport des modules d'élasticité du béton de granulats légers à structure fermée et du béton de granulats normaux ;
- $\rho$  Masse volumique sèche du béton de granulats légers étuvé, en kilogrammes par mètre cube.

#### 3.1.2 Béton de granulats légers

##### 3.1.2.1 Définitions

Les Principes (1) et (2) sont remplacés par :

P(101) La masse volumique du béton de granulats légers se définit comme la valeur de la masse par unité de volume après étuvage (à 105 °C).

P(102) La masse volumique doit être déterminée conformément à l'ENV 206.

Complément à la suite du Principe P(2) :

(103) *L'ENV 206, en 7.3.2, classe le béton de granulats légers suivant sa masse volumique (voir lignes 1 et 2 du tableau 3.105 ci-dessous). En complément, le tableau 3.105 indique les masses volumiques correspondantes du béton non armé et du béton armé d'un pourcentage normal d'armatures ; ces valeurs peuvent être utilisées lors de la détermination du poids propre ou des autres charges permanentes.*

(104) *L'incidence des armatures sur la masse volumique peut également être déterminée par le calcul.*

**Tableau 3.105 : Béton de granulats légers —  
Classes de densité et masses volumiques de calcul correspondantes d'après l'ENV 206**

Classe de densité		1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Masse volumique après étuvage $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )		901 — 1 000	1 001 — 1 200	1 201 — 1 400	1 401 — 1 600	1 601 — 1 800	1 801 — 2 000
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Béton non armé	1 050	1 250	1 450	1 650	1 850	2 050
	Béton armé	1 150	1 350	1 550	1 750	1 950	2 150

### 3.1.2.3 Résistance à la traction

Complément à la suite de la Règle d'Application (4) :

(105) *En l'absence de données plus précises, une valeur estimée de la résistance à la traction peut être obtenue en multipliant les valeurs de  $f_{ct}$  déduites des équations (3.2) à (3.4), ou relevées dans le tableau 3.1 (3.1.2.4 de l'ENV 1992-1-1), par le coefficient :*

$$g_1 = 0,40 + 0,60 \alpha / 2\ 200 \quad (3.106)$$

$g_1$  désignant la limite supérieure de la masse volumique après étuvage, donnée par la ligne 2 du tableau 3.105 (en kilogrammes par mètre cube).

### 3.1.2.4 Classes de résistance du béton de granulats légers

Le Principe (1) et les Règles d'Application (2) et (3) sont remplacés par :

P(101) Il convient d'élaborer le projet sur la base de la classe de résistance du béton correspondant à la valeur spécifiée de la résistance caractéristique à la compression.

Les classes de résistance du béton de granulats légers sont identiques à celles du béton de granulats normaux.

(102) *La résistance à la compression du béton est classifiée suivant les classes de résistance du béton qui se réfèrent à la résistance sur cylindre,  $f_{ck}$  ou à la résistance sur cube,  $f_{ck,cube}$ , conformément à 7.3.1.1 et 11.3.5 de l'ENV 206.*

Les classes de résistance du béton de granulats légers sont précédées du symbole LC.

(103) *Pour les besoins du calcul, le tableau 3.106 indique les résistances caractéristiques à la compression correspondant aux différentes classes de résistance du béton.*

**Tableau 3.106 : Classes de résistance et résistances caractéristiques à la compression  $f_{lck}$   
du béton de granulats légers (en newtons par millimètre carré)**

Résistance	LC 12/15	LC 16/20	LC 20/25	LC 25/30	LC 30/37	LC 35/45	LC 40/50	LC 45/55	LC 50/60
$f_{lck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50

Complément à la suite de la Règle d'Application (3) :

(104) *Les bétons des classes de résistance LC12/15 ou moins, ainsi que ceux des classes supérieures à LC50/60 ne peuvent être utilisés que sur justifications particulières. Pour le béton précontraint, il convient de ne pas employer les classes inférieures à LC30/37 pour la prétension et il convient de ne pas employer celles inférieures à LC25/30 pour la post-tension.*

### 3.1.2.5 Caractères de déformation

#### 3.1.2.5.2 Module d'élasticité

Complément à la suite de la Règle d'Application (4) :

(105) *On peut obtenir une estimation des valeurs moyennes du module sécant  $E_{Icm}$  du béton de granulats légers en multipliant les valeurs du tableau 3.2 ou celles correspondant à l'équation (3.5) (ENV 1992-1-1) par le coefficient :*

$$g_E = (g/2\ 200)^2 \quad (3.107)$$

où :

$g$  est la limite supérieure de la masse volumique après étuvage, ligne 2 du tableau 3.105 (en kilogrammes par mètre cube).

*Les valeurs ainsi obtenues sont approximatives. Lorsque des données précises sont exigées, comme par exemple dans le cas où il est très important de connaître les flèches, il convient d'effectuer des essais pour déterminer les valeurs de  $E_{Icm}$  conformément à l'ISO 6784. Dans les autres cas, l'expérience d'un granulat particulier, complétée par des résultats d'essais généraux, fournit souvent une valeur fiable de  $E_{Icm}$  ; cependant, en présence de granulats inconnus, il est conseillé de prendre en compte une fourchette de valeurs.*

#### 3.1.2.5.4 Coefficient de dilatation thermique

Le Principe (1) est remplacé par :

(101) *Le coefficient de dilatation thermique dépend principalement du type de granulats utilisés ; il varie considérablement suivant leur nature.*

Complément à la suite du Principe (1) :

(102) *Pour les besoins du calcul, lorsque la dilatation thermique n'a pas d'importance majeure, ce coefficient peut être pris égal à  $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Cependant, sa valeur réelle peut être notablement supérieure.*

(103) *Lors du calcul, il est loisible de négliger la différence entre le coefficient de dilatation thermique de l'acier et celui du béton de granulats légers.*

#### 3.1.2.5.5 Fluage et retrait

Complément à la suite de la Règle d'Application (5) :

(106) *En l'absence de résultats d'essais, les tableaux 3.3 et 3.4 (3.1.2.5.5, Partie 1-1 de l'ENV 1992) peuvent être considérés comme une base de calcul, en tenant compte des amendements suivants :*

*Les valeurs finales du coefficient de fluage  $\phi(\infty, t_0)$  peuvent être réduites dans le rapport :*

$$g_2 = E_{Icm}/E_{cm} \quad (3.108)$$

*Il convient de multiplier les valeurs des déformations par fluage ainsi obtenues et celles du retrait brut par les facteurs respectifs  $g_3$  et  $g_4$  donnés par le tableau 3.107 ci-dessous.*

(107) *L'annexe 1 de l'ENV 1992-1-1 ne s'applique pas (voir 2.5.5.1(113) de la présente Partie 1-4).*

**Tableau 3.107 : Facteurs pour l'évaluation des coefficients de fluage et des valeurs du retrait pour le béton de granulats légers**

Classe de résistance du béton	Facteurs relatifs au :	
	Fluage $\eta_3$	Retrait $\eta_4$
LC 12/15, LC 16/20	1,3	1,5
LC 20/25 à LC 50/60	1,0	1,2

## Section 4 Dimensionnement et calcul des sections

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit :

### 4.1 Exigences de durabilité

#### 4.1.3 Projet

##### 4.1.3.3 Enrobage

Le Principe (3) est remplacé par :

P(103) La protection des armatures contre la corrosion est assurée par la présence constante d'un environnement alcalin, obtenu par une épaisseur appropriée de béton de bonne qualité, convenablement curé. L'épaisseur d'enrobage requise dépend à la fois des conditions d'exposition et de la qualité du béton.

La qualité de l'enrobage du béton de granulats légers est plus vulnérable à une mauvaise mise en œuvre que dans le cas du béton de granulats normaux et, pour cette raison, une attention particulière est nécessaire pour s'assurer de l'obtention du niveau de qualité de mise en œuvre requis.

### 4.2 Données du projet

#### 4.2.1 Béton de granulats légers

##### 4.2.1.2 Propriétés physiques

Ce paragraphe est remplacé par :

a) Masse volumique

Voir tableau 3.105, 3.1.2.1 de la présente Partie 1-4.

b) Coefficient de Poisson

Le 3.1.2.5.3 de la Partie 1-1 de l'ENV 1992 est applicable.

c) Coefficient de dilatation thermique

Le 3.1.2.5.4 de la présente Partie 1-4 est applicable.

##### 4.2.1.3 Propriétés mécaniques

###### 4.2.1.3.1 Résistance

Les Règles d'Application (1) et (2) sont remplacées par :

(101) *Les valeurs caractéristiques de la résistance à la compression pour des bétons de classe de résistance définie sont données par le tableau 3.106 ci-dessus (voir 3.1.2.4 de la présente Partie 1-4).*

(102) *Pour chaque classe de résistance du béton, trois valeurs de résistance à la traction du béton doivent être distinguées. Les valeurs appropriées seront appliquées, en fonction du problème considéré. Elles s'obtiennent par application de 3.1.2.3(105) de la présente Partie 1-4.*

###### 4.2.1.3.2 Module d'élasticité

La Règle d'Application (1) est remplacée par :

(101) *Le 3.1.2.5.2 de la présente Partie 1-4 est applicable.*

4.2.1.3.3 Diagrammes contraintes-déformations

Les Règles d'Application (3) à (12) sont remplacées par :

a) Diagrammes de calcul

(103) Dans le cas d'analyse non linéaire ou plastique (voir l'annexe 2 de l'ENV 1992-1-1) ou pour le calcul des effets du second ordre (voir annexe 3 de la Partie 1-1), les diagrammes contraintes-déformations correspondant à des charges de courte durée d'application, tels que représentés schématiquement par la figure 4.101, pourront être utilisés. Ils sont caractérisés par le module d'élasticité  $E_{Ic,nom}$ , la résistance à la compression du béton  $f_{Ic}$  et la déformation  $\epsilon_{Ic1}$  sous contrainte maximale  $f_{Ic}$  (la contrainte de compression  $\epsilon_{Ic}$  et la déformation  $\epsilon_{Ic}$  sont toutes deux de signe négatif).

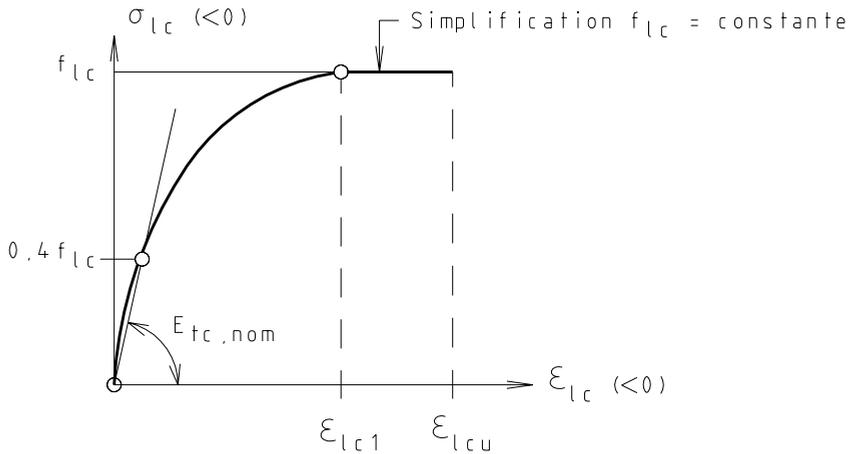


Figure 4.101 : Diagramme schématique de calcul contraintes-déformations du béton de granulats légers pour l'analyse structurale

(104) Pour les valeurs respectives du module d'élasticité  $E_{Ic,nom}$  et de la résistance à la compression  $f_{Ic}$ , on peut appliquer :

- soit les valeurs moyennes de  $E_{Icm}$  (voir 3.1.2.5.2) et de  $f_{Icm}$  [voir équation (4.103)] ;
- soit les valeurs de calcul, respectivement données par :

$$E_{Icd} = E_{Icm}/c_c \text{ et } f_{Icd} = f_{Ick}/c_c \tag{4.101}$$

en fonction des clauses respectives de 2.5.3 et 4.3.5 de l'ENV 1992-1-1.  $c_c$  est le coefficient de sécurité partiel du béton (voir 2.3.3.2 et A.3.1 de l'annexe 3, Partie 1-1).

(105) La relation  $(x_{Ic}, \epsilon_{Ic})$  donnée par la figure 4.101 pour une charge de courte durée peut être exprimée par l'équation suivante :

$$\frac{x_{Ic}}{f_{Ic}} = \frac{k_g - g^2}{1 + (k - 2)g} \tag{4.102}$$

dans laquelle :

$g = \epsilon_{Ic}/\epsilon_{Ic1}$  ( $\epsilon_{Ic}$  et  $\epsilon_{Ic1}$  tous deux  $< 0$ )

$\epsilon_{Ic1} = - 0,0022$  (déformation sous contrainte de compression maximale  $f_{Ic}$ )

$k = (1,1 \times E_{Ic,nom}) \times \epsilon_{Ic1}/f_{Ic}$  ( $f_{Ic}$  pris égal à  $- f_{Ic}$ )

$E_{Ic,nom}$  désigne soit la valeur moyenne  $E_{Icm}$  du module longitudinal de déformation, soit la valeur de calcul correspondante  $E_{Icd}$  [voir (104) ci-dessus].

L'équation (4.102) est applicable pour  $k \geq 1,0$  et  $0 \leq g \leq 1$ .

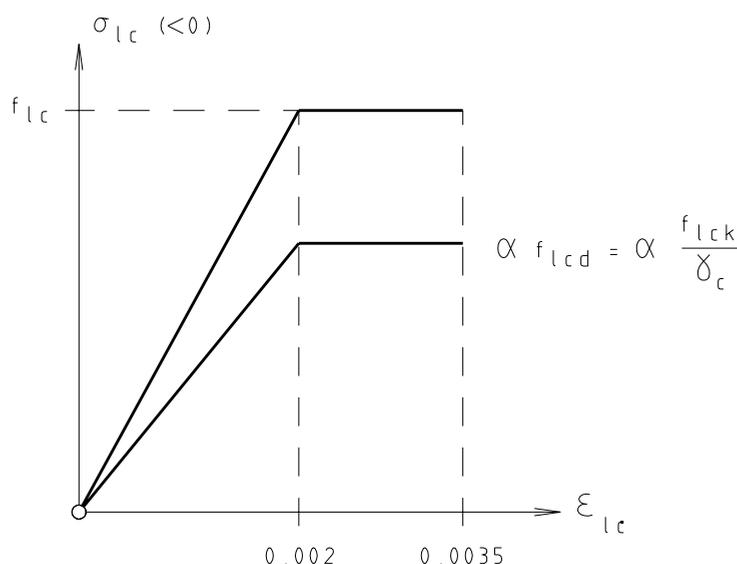
On peut admettre la valeur moyenne de la résistance à la compression du béton suivante :

$$f_{Icm} = f_{Ick} + |\underline{g}| \text{ (en newtons par millimètre carré)} \tag{4.103}$$

- (106) À titre de simplification, on peut ne pas tenir compte de la déformation du béton  $\epsilon_c$  au-delà de  $\epsilon_{c1}$  (par exemple,  $\epsilon_{cu} = \epsilon_{c1}$ ).
- (107) Dans le cas contraire, on peut adopter une valeur constante  $\alpha_{lc} = f_{lc}$  dans la zone  $\epsilon_{c1} \geq \epsilon_c \geq \epsilon_{cu}$  dans ce cas, il convient de supposer  $\epsilon_{cu} = -0,0035$ .
- (108) D'autres diagrammes contraintes-déformations schématisés peuvent être utilisés, bilinéaires par exemple. En prenant  $k = 1,0$  dans l'équation (4.102) et par application du paragraphe (107) ci-dessus, le diagramme de la figure 4.101 tend à devenir bilinéaire pour  $\epsilon_{c1} = -0,0022$  et  $\epsilon_{cu} = -0,0035$ . Ce diagramme bilinéaire peut être utilisé pour  $k \leq 1,0$ .

**b) Calcul des sections transversales : diagramme des contraintes**

- (109) Le diagramme contraintes-déformations schématisé de type parabole-rectangle, représenté par la figure 4.2 de l'ENV 1992-1-1, peut être utilisé.
- (110) Cependant, pour le béton de granulats légers, la schématisation qui convient le mieux au calcul des sections transversales est le diagramme bilinéaire de la figure 4.102.



**Figure 4.102 : Diagramme bilinéaire des contraintes-déformations du béton de granulats légers, pour le calcul des sections transversales**

- (111) La résistance de calcul du béton est donnée par l'équation suivante :

$$f_{lcd} = f_{lck}/c_c \quad (4.104)$$

Le diagramme de calcul est obtenu à partir du diagramme schématisé choisi par une affinité des ordonnées dans le rapport  $a/c_c$ , où :

$c_c$  est le coefficient de sécurité partiel du béton (voir ENV 1992-1-1, 2.3.3.2) ;

$a$  est le coefficient utilisé pour tenir compte de la diminution de la résistance à la compression sous charge soutenue et de l'effet défavorable éventuel du mode de chargement.

Le facteur de réduction complémentaire  $a$  correspondant à une compression soutenue peut généralement être pris égal à  $[0,77]$  dans le cas du diagramme parabole-rectangle et à  $[0,80]$  dans le cas du diagramme bilinéaire.

Lorsque l'on utilise le diagramme parabole-rectangle en application des alinéas (3) à (5) de 2.5.3.4.2 de la Partie 1-1 de l'ENV 1992 (par exemple, lors de la vérification approximative de la capacité de rotation), il convient de remplacer le coefficient  $a = [0,77]$  par  $a = [0,72]$  pour calculer le rapport  $x/d$ .

- (112) On peut admettre un diagramme de contrainte rectangulaire tel que celui représenté par la figure 4.4 de l'ENV 1992-1-1. Le coefficient  $a = [0,77]$  indiqué pour le diagramme schématisé parabole-rectangle reste applicable ; toutefois, dans le cas où la zone comprimée diminue en largeur du côté de la fibre la plus comprimée, il convient de réduire sa valeur à  $[0,72]$ .

### 4.2.3 Béton précontraint

#### 4.2.3.5 Calcul des éléments en béton précontraint

##### 4.2.3.5.6 Zones d'ancrage des éléments précontraints par prétension

Complément à la suite de la Règle d'Application (9) :

(110) *L'alinéa 4.2.3.5.6(3) de l'ENV 1992-1-1 est applicable à condition de remplacer l'équation (4.112) par :*

$$I_{bp} = (1/g_1) \times b_b \phi \quad (4.112)$$

$g_1$  étant donné par 3.1.2.3 de la présente Partie 1-4.

### 4.3 États-limites ultimes

#### 4.3.2 Sollicitations d'effort tranchant

##### 4.3.2.3 Éléments ne nécessitant pas d'armatures d'effort tranchant ( $V_{sd} \leq V_{Rd1}$ )

Complément à la suite de la Règle d'Application (3) :

(104) *Le paragraphe correspondant de l'ENV 1992-1-1 est applicable aux conditions suivantes :*

a) *Il convient de ne pas utiliser le tableau 4.8 de la partie 1-1.*

b) *Dans l'équation (4.18) de la Partie 1-1, la résistance ultime au cisaillement  $s_{Rd}$  prend la valeur suivante :*

$$s_{Rd} = (0,25 \times f_{lct,k0,05})/c_c$$

*avec  $f_{lct,k0,05}$  conforme à 3.1.2.3 de la présente Partie 1-4.*

*L'équation (4.20) de l'ENV 1992-1-1 est remplacée par :*

$$m = 0,6 - f_{lck}/235 \geq 0,425 \quad (f_{lck} \text{ en newtons par millimètre carré}) \quad (4.120)$$

#### 4.3.4 Poinçonnement

##### 4.3.4.5 Effort tranchant résistant

###### 4.3.4.5.1 Dalles ou semelles sans armatures de poinçonnement

Complément à la suite de la Règle d'Application (2) :

(103) *Dans l'équation (4.56) de l'ENV 1992-1-1, il convient de calculer  $\tau_{Rd}$  suivant les dispositions de 4.3.2.3 (104) de la présente Partie 1-4.*

#### 4.3.5 États-limites ultimes atteints par déformation structurale (flambement)

##### 4.3.5.2 Procédures de calcul

Complément à la suite de la Règle d'Application (5) :

P(106) *Les paragraphes 4.3.5.2 à 4.3.5.7 et l'annexe 3 de l'ENV 1992-1-1 sont applicables sous réserve des conditions exposées ci-dessous.*

(107) *Pour  $E_{lc}$  et pour l'effet du fluage, il convient de prendre en considération des valeurs appropriées au béton de granulats légers (voir 3.1.2.5.2 et 3.1.2.5.5 de la présente Partie 1-4).*

(108) *On peut envisager des diagrammes contraintes-déformations bilinéaires (voir 4.2.1.3.3 de la présente Partie 1-4).*

#### 4.4 États-limites de service

##### 4.4.2 États-limites de fissuration

##### 4.4.2.2 Sections minimales d'armatures

Complément à la suite de la Règle d'Application (8) :

(109) *Ce paragraphe de l'ENV 1992-1-1 est applicable sous réserve que dans l'équation (4.78),  $f_{ct,eff}$  soit remplacé par  $f_{lct,eff}$ , où :*

*$f_{lct,eff}$  est la résistance à la traction du béton effective au moment où la fissuration est susceptible de se produire. Dans de nombreux cas, comme lorsque la déformation dominante imposée provient de la dissipation de la chaleur d'hydratation, les premières fissures peuvent apparaître dans les 3 à 5 jours suivant le coulage, suivant les conditions d'environnement, la forme de l'élément et la nature des coffrages. Les valeurs de  $f_{lct,eff}$  peuvent se déduire du 3.1.2.3 de la présente Partie 1-4, en prenant comme classe la résistance au moment où la fissuration est susceptible de se produire. Lorsqu'il est impossible de confirmer avec exactitude que la première fissuration se produira à moins de 28 jours, il est conseillé d'adopter une résistance à la traction minimale de  $\lfloor 2,5 \rfloor$  N/mm<sup>2</sup>.*

##### 4.4.3 États-limites de déformation

##### 4.4.3.2 Cas de dispense de la vérification

Complément à la suite de la Règle d'Application (5) :

(106) *L'alinéa 4.4.3.2(2) de l'ENV 1992-1-1 est applicable, le tableau 4.14 étant remplacé par le tableau 4.114 ci-dessous.*

**Tableau 4.114 : Rapports de base portée/hauteur utile pour les éléments de béton de granulats légers sans effort normal de compression**

Système structural	Béton fortement sollicité	Béton faiblement sollicité
1) Poutre sur appuis simples, dalle portant dans une ou deux directions sur appuis simples	$\lfloor 15 \rfloor$	$\lfloor 21 \rfloor$
2) Travée de rive d'une poutre continue, dalle continue dans une direction ou dalle portant dans deux directions, continue sur un côté long	$\lfloor 20 \rfloor$	$\lfloor 27 \rfloor$
3) Portée intérieure d'une poutre ou d'une dalle portant dans une ou deux directions	$\lfloor 21 \rfloor$	$\lfloor 30 \rfloor$
4) Plancher-dalle sans retombées (la portée considérée étant la plus grande)	$\lfloor 18 \rfloor$	$\lfloor 25 \rfloor$
5) Porte-à-faux	$\lfloor 6 \rfloor$	$\lfloor 8 \rfloor$

## Section 5 Dispositions constructives

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable, à l'exception de ce qui suit :

### 5.0 Notations

Complément :

$\eta_1$  Coefficient utilisé pour déterminer la résistance à la traction.

### 5.1 Généralités

Complément à la suite du Principe (4) :

P(105) Les règles données dans ce sous-article sont les règles complémentaires s'appliquant au béton de granulats légers, suivant 5.1(2) de l'ENV 1992-1-1.

(106) *Il convient que le diamètre des barres noyées dans le béton de granulats légers, normalement, n'excède pas |32| mm (voir 5.2.6, ENV 1992-1-1).*

### 5.2 Acier pour béton armé

#### 5.2.1 Dispositions générales

##### 5.2.1.2 Courbures admissibles

Complément à la suite de la Règle d'Application (3) :

(104) *Le paragraphe correspondant de l'ENV 1992-1-1 est applicable sous réserve que les diamètres minimaux des mandrins donnés par les tableaux 5.1 et 5.2 de l'ENV 1992-1-1 soient augmentés de |30 %|.*

#### 5.2.2 Adhérence

##### 5.2.2.2 Contrainte ultime d'adhérence

Complément à la suite de la Règle d'Application (3) :

(104) *Le paragraphe correspondant de l'ENV 1992-1-1 est applicable sous réserve que les valeurs de calcul  $f_{bd}$  données par le tableau 5.3 de la Partie 1-1 soient multipliées par  $\gamma_1$ ,  $\gamma_1$  étant donné par l'équation (3.106) de 3.1.2.3 de la présente Partie 1-4.*

##### 5.2.2.3 Longueur d'ancrage de référence

La Règle d'Application (2) est remplacée par :

(102) *La longueur d'ancrage de référence nécessaire pour l'ancrage d'une barre de diamètre est :*

$$l_b = (\phi/4) \times (f_{yd}/f_{bd}) \quad (5.103)$$

*Les valeurs de  $f_{bd}$  sont prises conformément au 5.2.2.2 de la présente Partie 1-4.*

### 5.2.3 Ancrage

#### 5.2.3.2 Modes d'ancrage

La Règle d'Application (4) est remplacée par :

(104) *Les épaufrures ou le fendage peuvent être évités en suivant les indications de 5.2.1.2 de la présente Partie 1-4.*

#### 5.2.3.4 Longueur d'ancrage requise

##### 5.2.3.4.1 Barres et fils

Complément à la suite de la Règle d'Application (1) :

(102) *La Règle d'Application (1) de l'ENV 1992-1-1 est applicable sous réserve que  $l_b$  soit déterminé suivant les dispositions de 5.2.2.3 de la présente Partie 1-4.*

### 5.2.6 Règles complémentaires pour les barres à haute adhérence d'un diamètre supérieur à |32| mm

Paragraphe supplémentaire :

#### 5.2.6.0 Généralités

P(101) Ce paragraphe n'est applicable que si l'emploi de telles barres peut se justifier par l'expérience ou par des résultats d'essais.

#### 5.2.6.2 Adhérence

Le Principe (1) est remplacé par :

P(101) Pour les barres de diamètre  $\phi > |32|$  mm, on doit multiplier par  $\eta_1 \times (132 - \phi)/100$  les valeurs  $f_{bd}$  du tableau 5.3 de l'ENV 1992-1-1 ( $\phi$  en millimètres). Pour le coefficient  $\eta_1$ , voir 3.1.2.3(105) de la présente Partie 1-4.

### 5.2.7 Groupements de barres à haute adhérence

#### 5.2.7.1 Généralités

Le Principe (1) est remplacé par :

P(101) Les groupements de barres ne doivent pas être utilisés, à moins que leur emploi soit justifié par l'expérience ou par des résultats d'essais. Dans ce cas, le 5.2.7 de l'ENV 1992-1-1 est applicable, affecté cependant de la limite  $\phi \leq |20|$  mm.

## Section 6 Exécution des travaux

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable.

## Section 7 Contrôle de la qualité

La section correspondante de l'ENV 1992-1-1 est applicable.

### **Annexe 1 Dispositions complémentaires relatives à la détermination des effets des déformations différées du béton**

L'annexe 1 de l'ENV 1992-1-1 ne s'applique pas au béton de granulats légers à structure fermée.

### **Annexe 2 Analyse non linéaire**

L'annexe 2 de l'ENV 1992-1-1 est applicable.

### **Annexe 3 Compléments d'information sur les états-limites ultimes provoqués par les déformations structurales**

L'annexe 3 de l'ENV 1992-1-1 est applicable chaque fois que son usage est jugé approprié.

### **Annexe 4 Vérification des flèches par le calcul**

L'annexe 4 de l'ENV 1992-1-1 est applicable.







