

Construction mixte

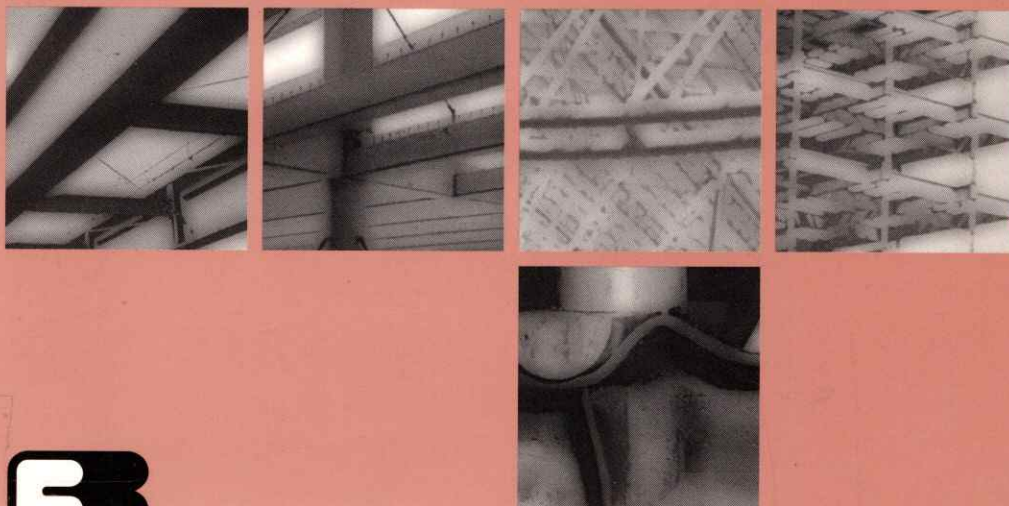
Eurocode 4

et document d'application nationale

Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton

Préface de
Gilles CAUSSE

Partie 1-1 :
Règles générales
et règles pour les bâtiments



Ouvrage de référence

E Eyrolles

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS NATIONAL DE L'ENV 1994-1-1	20
AP.1 INTRODUCTION	20
AP.2 PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'EC4-DAN 1.1	20
AP.2.1 Les différents objets de l'EC4-DAN 1.1.....	20
AP.2.2 Les différentes lectures de l'EC4-DAN 1.1.....	21
AP.3 LE CARACTÈRE CONTRACTUALISABLE DE L'EC4-DAN 1.1	21
AP.3.1 Le statut prescriptif des spécifications.....	21
AP.3.2 Le traitement des normes de référence.....	23
AP.4 MODALITÉS D'APPLICATION	25
AP.4.1 Domaine d'application.....	25
AP.4.2 Modalités contractuelles.....	25
AP.4.3 Modalités d'expérimentation.....	26
AP.5 LISTE DES NORMES DE RÉFÉRENCE	26
PRÉFACE À L'EUROCODE 4 : PARTIE 1.1	39
0.1 Objectifs des Eurocodes.....	39
0.2 Historique du programme Eurocodes.....	39
0.3 Programme Eurocodes.....	39
0.4 Documents d'application nationale (DAN).....	40
0.5 Points spécifiques à cette norme expérimentale.....	41
0.5.1 Renvois à d'autres Eurocodes.....	41

0.5.3 Notes utilisées dans la présente norme expérimentale 42

1. INTRODUCTION

1.1	Objet	43
1.1.1	Objet de l'Eurocode 4	43
1.1.2	Objet de la partie 1.1 de l'Eurocode 4	44
1.1.3	Parties de l'Eurocode 4 à venir	46
1.2	Distinction entre principes et règles d'application	46
1.3	Hypothèses	47
1.4	Définitions	47
1.4.1	Termes communs à tous les Eurocodes structureux	47
1.4.2	Termes utilisés dans cette partie 1.1 de l'Eurocode 4	48
1.5	Unités S.I.	51
1.6	Symboles utilisés dans l'Eurocode 4 – Partie 1.1	51
1.6.1	Caractères romains majuscules	51
1.6.2	Caractères grecs majuscules	52
1.6.3	Caractères romains minuscules	52
1.6.4	Caractères grecs minuscules	53
1.6.5	Indices	54
1.6.6	Utilisation des indices dans la partie 1.1 de l'Eurocode 4	55
1.6.7	Conventions concernant les axes des éléments	55

2. BASES DE CALCUL

2.1	Exigences fondamentales	57
2.2	Définition et classification	58
2.2.1	États limites et situations de projet	58
2.2.1.1	États limites	58
2.2.1.2	Situation de projet	59
2.2.2	Actions	59
2.2.2.1	Définitions et principale classification	59
2.2.2.2	Valeurs caractéristiques des actions	60
2.2.2.3	Valeurs représentatives des actions variables	61
2.2.2.4	Valeurs de calcul des actions	63
2.2.2.5	Valeurs de calcul des effets des actions	63

3.1.3 Propriétés des matériaux

3.1.3.1 Valeurs caractéristiques

3.1.3.2 Valeurs de calcul

3.1.4 Données géométriques

3.1.5 Dispositions de charges et cas de charge

3. Exigences de calcul

3.3.1 Généralités

3.3.2 États limites ultimes

3.3.2.1 Conditions de vérification

3.3.2.2 Combinaisons d'actions

3.3.2.3 Valeurs de calcul des actions permanentes

3.3.2.4 Vérification de l'équilibre statique

3.3.3 Coefficients partiels de sécurité pour les états limites ultimes

3.3.3.1 Coefficients partiels de sécurité pour les actions exercées sur des structures de bâtiment

3.3.3.2 Coefficients partiels de sécurité pour les résistances et propriétés des matériaux

3.3.3.3 États limites de service

3.4 Durabilité

3.4.1 Durabilité

Annexe 1 Tableaux synoptiques des valeurs des coefficients partiels de sécurité intervenant dans ce document

1. Coefficients relatifs aux actions

2. Coefficients relatifs aux résistances

3. MATÉRIAUX

3.1 Béton

3.1.1 Généralités

3.1.2 Classes de résistance du béton

3.1.3 Revrait du béton

3.1.4 Déformabilité du béton – théorie élastique

3.1.4.1 Module sécant d'élasticité pour un chargement à court terme

3.1.4.2 Coefficients d'équivalence

3.1.4.3 Coefficient de Poisson

3.1.5 Déformabilité du béton – autres théories

3.1.6 Dilatation thermique

3.2 Acier d'armature

3.2.1 Généralités

3.2.2 Types d'aciers

3.2.4	Module d'élasticité longitudinale	81
3.2.5	Diagramme contrainte-déformation	82
3.2.6	Dilatation thermique	82
3.3	Acier de construction	83
3.3.1	Généralités et objet	83
3.3.2	Limite d'élasticité	83
3.3.3	Valeurs de calcul de certaines propriétés de matériau	83
3.3.4	Relation contrainte-déformation	85
3.3.5	Dimensions, masse et tolérances	85
3.4	Tôles profilées en acier pour dalles mixtes	86
3.4.1	Généralités et objet	86
3.4.2	Limite d'élasticité	86
3.4.3	Valeurs nominales de certaines propriétés de matériau	87
3.4.4	Relation contrainte-déformation	88
3.4.5	Revêtement	88
3.5	Moyens d'assemblage	88
3.5.1	Généralités	89
3.5.2	Connecteurs	89
		89
4.	ÉTATS LIMITES ULTIMES	
4.1	Bases	91
4.1.1	Généralités	91
4.1.2	Poutres	91
4.1.3	Poteaux, ossatures et assemblages mixtes	92
4.2	Caractéristiques des sections transversales des poutres	94
4.2.1	Section efficace	94
4.2.2	Largeur participante de dalle pour les poutres de bâtiment	94
4.2.2.1	Largeur participante pour l'analyse globale	95
4.2.2.2	Largeur participante pour la vérification des sections transversales	96
4.2.3	Rigidité de flexion	96
4.3	Classification des sections transversales des poutres	96
4.3.1	Généralités	97
4.3.2	Classement des semelles comprimées en acier	97
4.3.3	Classement des âmes en acier	98
4.3.3.1	Sections dont la semelle comprimée est de classe 1 ou 2	99
		99
4.4	Sections où la semelle comprimée est de classe 3 ou 4.	
4.4.1	Moment fléchissant	
4.4.1.1	Bases	
4.4.1.2	Moment de résistance plastique d'une section dans le c d'une connexion	
4.4.1.3	Moment de résistance plastique d'une section dans le c d'une connexion partielle	
4.4.1.4	Résistance élastique en flexion	
4.4.2	Effort tranchant	
4.4.2.1	Objet	
4.4.2.2	Méthodes de calcul	
4.4.3	Flexion et effort tranchant	
4.4.4	Résistance au voilement par cisaillement	
4.4.5	Interaction entre flexion et voilement par cisaillement	
4.5	Boîtes dans les poutres continues	
4.5.1	Généralités	
4.5.2	Analyse plastique	
4.5.2.1	Généralités	
4.5.2.2	Exigences pour l'analyse rigide-plastique	
4.5.3	Analyse élastique	
4.5.3.1	Généralités	
4.5.3.2	Passage de construction	
4.5.3.3	Effet du retrait du béton dans les poutres de bâtiment	
4.5.3.4	Redistribution des moments dans les poutres de bâtiment	
4.6	Déversement des poutres mixtes de bâtiment	
4.6.1	Généralités	
4.6.2	Vérification sans calcul direct	
4.6.3	Moment de résistance au déversement	
4.7	Enfoncement local de l'âme	
4.7.1	Généralités	
4.7.2	Âme efficace de classe 2	
4.8	Poteaux mixtes	
4.8.1	Objet	
4.8.2	Méthode générale de calcul	
4.8.2.1	Généralités	
4.8.2.2	Méthode de calcul	
4.8.2.3	Imperfections	
4.8.2.4	Voilement des éléments structuraux en acier	

4.8.2.6	Cisaillage entre les composants acier et béton.....	121
4.8.2.7	Résistance au cisaillement.....	122
4.8.2.8	Goujons fixés sur l'âme d'un poteau mixte.....	124
4.8.3	Méthode simplifiée de calcul.....	125
4.8.3.1	Objet.....	126
4.8.3.2	Coefficients partiels de sécurité γ_{Ma} , γ_a et γ_{Rd}	126
4.8.3.3	Résistance des sections transversales aux charges axiales.....	127
4.8.3.4	Rapport de contribution de l'acier.....	129
4.8.3.5	Rigidité élastique réelle de flexion des sections transversales.....	129
4.8.3.6	Longueurs de flambement d'un poteau.....	130
4.8.3.7	Élancement réduit.....	130
4.8.3.8	Résistance des éléments structuraux en compression axiale.....	130
4.8.3.9	Compression et flexion combinées.....	131
4.8.3.10	Analyse des moments fléchissants.....	131
4.8.3.11	Résistance des sections transversales à la compression et à la flexion uniaxiale combinées.....	131
4.8.3.12	Influence de l'effort tranchant.....	133
4.8.3.13	Résistance des éléments structuraux à la compression et à la flexion uniaxiale combinées.....	134
4.8.3.14	Compression et flexion biaxiale combinées.....	134
4.9	Sollicitations dans les ossatures de bâtiment	136
4.9.1	Généralités.....	137
4.9.2	Hypothèses de calcul.....	137
4.9.2.1	Bases.....	139
4.9.2.2	Modélisation en structure réticulée.....	139
4.9.2.3	Modélisation en structure continue.....	140
4.9.2.4	Modélisation en structure semi-continue.....	140
4.9.2.5	Effets des déformations.....	140
4.9.3	Prise en compte des imperfections.....	140
4.9.4	Stabilité latérale.....	140
4.9.4.1	Généralités.....	140
4.9.4.2	Classification en ossatures souples ou rigides.....	140
4.9.4.3	Classification en ossatures contreventées ou non contreventées.....	141
4.9.5	Méthodes d'analyse globale.....	141
4.9.6	Analyse globale élastique.....	141
4.9.6.1	Généralités.....	142
4.9.6.2	Rigidité de flexion.....	142
4.9.6.3	Redistribution des moments.....	142

4.9.7	Analyse globale rigide plastique.....	142
4.9.7.1	Généralités.....	142
4.9.7.2	Rotules plastiques.....	142
4.10	Assemblages mixtes dans les ossatures contreventées du bâtiment.....	142
4.10.1	Généralités.....	142
4.10.2	Classification des assemblages.....	142
4.10.3	Assemblages réalisés par boulons, rivets ou axes d'articulation.....	142
4.10.3.1	Généralités.....	142
4.10.3.2	Répartition des efforts entre les éléments d'attache.....	142
4.10.3.3	Assemblages par axe d'articulation.....	142
4.10.4	Couvre-joints dans les éléments structuraux mixtes.....	142
4.10.5	Assemblages poutre-poteau.....	142
4.10.5.1	Généralités.....	142
4.10.5.2	Classification par rigidité en rotation.....	142
4.10.5.3	Classification par moment résistant.....	142
4.10.5.4	Classification des courbes moment-rotation.....	142
4.10.5.5	Caractéristiques calculées.....	142
4.10.5.6	Règles d'application.....	142
5.	ÉTATS LIMITES DE SERVICE	142
5.1	Généralités.....	142
5.2	Déformations.....	142
5.2.1	Généralités.....	142
5.2.2	Calcul des flèches maximales des poutres.....	142
5.3	Fissuration du béton des poutres.....	142
5.3.1	Généralités.....	142
5.3.2	Section minimale d'armature.....	142
5.3.3	Analyse de la structure pour vérifier la fissuration.....	142
5.3.4	Vérification de la fissuration due aux actions directes, sans calcul de la largeur des fissures.....	142
5.3.5	Vérification de la fissuration par le calcul de la largeur de fissures.....	142
6.	CONNEXION DANS LES POUTRES DE BÂTIMENT	142
6.1	Généralités.....	142
6.1.1	Bases de calcul.....	142
6.1.2	Capacité de déformation des connecteurs.....	142
6.1.3	Espacement des connecteurs.....	142

6.2.1	Poutres pour lesquelles on utilise le calcul plastique pour la résistance des sections transversales	164
6.2.1.1	<i>Connexion complète</i>	164
6.2.1.2	<i>Connexion partielle avec connecteurs ductiles</i>	164
6.2.1.3	<i>Connexion partielle avec connecteurs non ductiles</i>	165
6.2.2	Poutres pour lesquelles on utilise le calcul élastique pour la résistance d'une ou de plusieurs sections transversales	166
6.3	Résistance de calcul des connecteurs	168
6.3.1	Généralités	168
6.3.2	Goujons dans les dalles pleines	168
6.3.2.1	<i>Goujons à tête – Résistance au cisaillement</i>	168
6.3.2.2	<i>Influence de la traction sur la résistance au cisaillement</i>	168
6.3.2.3	<i>Goujons sans tête – Résistance au cisaillement</i>	169
6.3.3	Goujons à tête utilisés avec des tôles profilées en acier	169
6.3.3.1	<i>Tôles dont les nervures sont parallèles aux poutres portuses</i>	170
6.3.3.2	<i>Tôles dont les nervures sont perpendiculaires aux poutres portuses</i>	170
6.3.3.3	<i>Sollicitation biaxiale des connecteurs</i>	170
6.3.4	Connecteurs en butée dans les dalles pleines	171
6.3.5	Crochets et arceaux dans les dalles pleines	171
6.3.6	Connecteurs en butée équipés de crochets ou d'arceaux dans les dalles pleines	172
6.3.7	Connecteurs en cornières dans les dalles pleines	173
6.4	Dispositions constructives concernant la connexion	174
6.4.1	Recommandations générales	174
6.4.1.1	<i>Résistance à la séparation</i>	175
6.4.1.2	<i>Mise en place du béton et épaisseur d'enrobage</i>	175
6.4.1.3	<i>Ferraillage local de la dalle</i>	175
6.4.1.4	<i>Renforts autres que ceux formés par des tôles profilées en acier</i>	175
6.4.1.5	<i>Espacement des connecteurs</i>	175
6.4.1.6	<i>Dimensions de la semelle en acier</i>	176
6.4.2	Goujons	177
6.4.3	Goujons à tête utilisés avec des tôles profilées en acier	177
6.4.3.1	<i>Généralités</i>	177
6.4.3.2	<i>Tôles dont les nervures sont perpendiculaires à la poutre portuse</i>	177
6.4.4	Connecteurs en butée	178

7. DALLES MIXTES AVEC TÔLES PROFILÉES EN ACIER POUR BÂTIMENT

7.1	Généralités	178
7.1.1	Objet	178
7.1.2	Définitions	178
7.1.2.1	<i>Dalle mixte</i>	178
7.1.2.2	<i>Comportement mixte</i>	178
7.2	Dispositions constructives	178
7.2.1	Armature et épaisseur de dalle	178
7.2.2	Granulats	178
7.2.3	Exigences concernant les appuis	178
7.3	Actions et effets des actions	178
7.3.1	Situations de calcul	178
7.3.2	Actions	178
7.3.2.1	<i>Tôles profilées en acier utilisées comme coffrage</i>	178
7.3.2.2	<i>Dalle mixte</i>	178
7.3.3	Combinaisons de charges et cas de charge	178

7.4	Analyse des sollicitations	194
7.4.1	Tôles profilées en acier utilisées comme coffrage.....	194
7.4.2	Dalle mixte.....	195
7.4.2.1	Analyse.....	195
7.4.2.2	Largeur utile pour les charges concentrées ponctuelles et linéaires.....	196
7.5	Vérification des tôles profilées en acier utilisées comme coffrage	197
7.5.1	État limite ultime.....	197
7.5.2	État limite de service.....	198
7.6	Vérification des dalles mixtes	198
7.6.1	État limite ultime.....	198
7.6.1.1	Critères de calcul.....	198
7.6.1.2	Flexion.....	199
7.6.1.3	Cisaillement longitudinal pour les dalles dépourvues d'ancrage d'extrémité.....	201
7.6.1.4	Cisaillement longitudinal pour les dalles comportant un ancrage d'extrémité.....	204
7.6.1.5	Effort tranchant.....	205
7.6.1.6	Poinçonnement.....	205
7.6.2	État limite de service.....	206
7.6.2.1	Fissuration du béton.....	206
7.6.2.2	Flèche.....	206

1. PLANCHERS AVEC DALLES DE BÉTON PRÉFABRIQUÉES POUR BÂTIMENT

1	Généralités	209
2	Actions	209
3	Coefficients partiels de sécurité pour les matériaux	210
4	Calcul, analyse et dispositions constructives du système de plancher	210
8.4.1	Disposition des appuis.....	210
8.4.2	Joints entre éléments préfabriqués.....	210
8.4.3	Surfaces de contact.....	211
5	Joint entre poutres en acier et dalle	211
8.5.1	Scellement et tolérances.....	211
8.5.2	Corrosion.....	211
8.5.3	Connexion et armature transversale.....	212
6	Plancher en béton calculé pour un chargement horizontal	212

9. EXÉCUTION

9	EXÉCUTION	213
9.1	Généralités.....	213
9.2	Prévenement des phases de construction.....	213
9.3	Stabilité.....	214
9.4	Indépendance en cours de construction et contrôle de la qualité.....	214
9.4.1	Flèche sous charge statique pendant et après le bétonnage.....	214
9.4.2	Compacité du béton.....	214
9.4.3	Connexion dans les poutres et poteaux.....	215
9.4.3.1	Goujons à tête dans les structures de bâtiment.....	215
9.4.3.2	Crochets, arceaux, connecteurs en butée.....	215
9.4.3.3	Boulons à serrage contrôlé.....	215
9.4.3.4	Protection contre la corrosion à l'interface.....	216
9.4.3.5	Condition de surface.....	216
9.4.4	Dalles mixtes avec tôles profilées en acier.....	216
9.4.4.1	Tôle profilée en acier utilisée comme coffrage – Fixation des tôles.....	216
9.4.4.2	Nettoyage de la tôle avant le bétonnage.....	217
9.4.4.3	Charges.....	217
9.4.4.4	Goujons de cisaillement soudés à travers les tôles profilées.....	217
9.4.4.5	Ancrages d'extrémité.....	218
9.4.4.6	Appuis provisoires.....	218

10. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT ASSISTÉS PAR L'EXPÉRIMENTATION

10	CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT ASSISTÉS PAR L'EXPÉRIMENTATION	219
10.1	Généralités.....	219
10.2	Essais sur connecteurs.....	219
10.2.1	Généralités.....	219
10.2.2	Dispositions d'essai.....	221
10.2.3	Préparation des éprouvettes.....	223
10.2.4	Procédure d'essai.....	223
10.2.5	Interprétation des résultats.....	224
10.3	Essai des dalles de plancher mixtes.....	225
10.3.1	Essais paramétriques.....	225
10.3.1.1	Généralités.....	225
10.3.1.2	Conditions d'essai.....	226
10.3.1.3	Préparation des corps d'éprouve.....	228
10.3.1.4	Procédure de mise en charge pour les essais.....	225
10.3.1.5	Détermination de valeurs de calcul pour m et k	230

10.3.2	Essais spécifiques	231
10.3.2.1	Généralités	231
10.3.2.2	Conditions d'essai	231
10.3.2.3	Préparation des corps d'épreuve	232
10.3.2.4	Méthode de mise en charge pour les essais	232
10.3.2.5	Détermination de la résistance	233

ANNEXES

Annexe A (normative)

Documents de référence		
A.1	Objet	235
A.2	Normes concernant les matériaux et produits associés à la partie 1.1 de l'Eurocode 4	235
A.2.1	Normes mentionnées dans l'EC2	235
A.2.2	Normes mentionnées dans l'EC3	235
A.2.3	Autres normes mentionnées dans l'EC4	236
A.3	Documents de référence pour l'exécution	236
A.4	Normes générales	236
Annexe B (normative)		
Déversement		
B.1	Méthodes basées sur un modèle d'ossature continue en U inversé	237
B.1.1	Méthode simplifiée pour le calcul de l'éclatement	237
B.1.2	Moment critique élastique	238
B.1.3	Sections en acier doublement symétriques	243
B.1.4	Sections en acier monosymétriques	243

Annexe C (normative)

Méthode simplifiée de calcul de résistance de sections transversales mixtes doublement symétriques soumises à une interaction de flexion et compression		
C.1	Objet et hypothèses	245
C.2	Résistances à la compression	245
C.3	Position de l'axe neutre	246
C.4	Résistances à la flexion	247
C.5	Interaction avec l'effort tranchant	247
C.6	Axes neutres et module de résistance plastique de quelques sections transversales	248
C.6.1	Généralités	248
C.6.2	Flexion selon l'axe fort des profilés en I enrobés de béton	249

C.6.3	Flexion selon l'axe faible des profilés en I enrobés de bé
C.6.4	Profilés creux circulaires et rectangulaires remplis de bé
Annexe D (normative)	
Calcul des poteaux mixtes avec sections transversales mono-symétriques – méthode simplifiée	
D.1	Généralités
D.2	Objet
D.3	Calcul en compression axiale
D.4	Calcul de compression et de flexion uniaxiale
D.5	Comportement à longue durée du béton

Annexe E (normative)

Méthode de la connexion partielle pour les dalles mixtes	
E.1	Objet
E.2	Détermination de $\tau_{u,Rd}$
E.3	Vérification de la résistance au cisaillement longitudinal
E.4	Vérification des dalles mixtes avec ancrage d'extrémité
E.5	Vérification des dalles mixtes avec armature supplémentaire

Annexe F (informative)

Liste de contrôle des informations devant figurer dans les procès-verbaux d'essais	
F.1	Essais de poussée
F.1.1	Objet
F.1.2	Corps d'épreuve
F.1.3	Réalisation d'essai
F.1.4	Résultats
F.2	Essais des dalles mixtes
F.2.1	Objet
F.2.2	Corps d'épreuve
F.2.3	Exécution de l'essai
F.2.4	Résultats

Construction mixte

Ouvrage de référence

Eurocode 4
et document d'application nationale
**Conception
et dimensionnement
des structures mixtes
acier-béton**

Partie 1-1 :
Règles générales
et règles pour les bâtiments

Les pays de l'Union européenne ont décidé d'harmoniser les normes régissant les domaines du bâtiment, des travaux publics et du génie civil. Appelées Eurocodes structuraux, elles regroupent un ensemble de normes expérimentales réglementant le calcul, la conception et la justification des structures. Les Eurocodes reproduisent également les adaptations nationales, dont la réunion constitue le *Document d'application nationale* (DAN), qui prend en compte les particularités de chaque pays.

Les Eurocodes sont applicables, en totalité ou en partie, dans le cadre contractuel d'un marché public ou privé, s'ils sont mentionnés dans le *Cahier des Clauses administratives particulières* (CCAP) dans le premier cas, ou dans les *Documents particuliers du marché* (DPM), dans le second cas. Dans quelques années, ils remplaceront les normes nationales en vigueur dans les secteurs correspondants.

L'Eurocode 4 énonce les règles concernant la conception et le dimensionnement des structures mixtes acier-béton, et plus particulièrement les *Règles générales et règles pour le bâtiment*. Ce premier volume sera ultérieurement complété par deux autres tomes, concernant respectivement le calcul de la résistance au feu et la conception et le dimensionnement des ponts.

Cet Eurocode va réglementer un secteur, qui n'avait pas, jusqu'à présent, de réglementation spécifique.

Barbary & Courte
joseph@barbary.net

ISBN : 2-212-10019-1



9 782212 100198

Eyrolles

