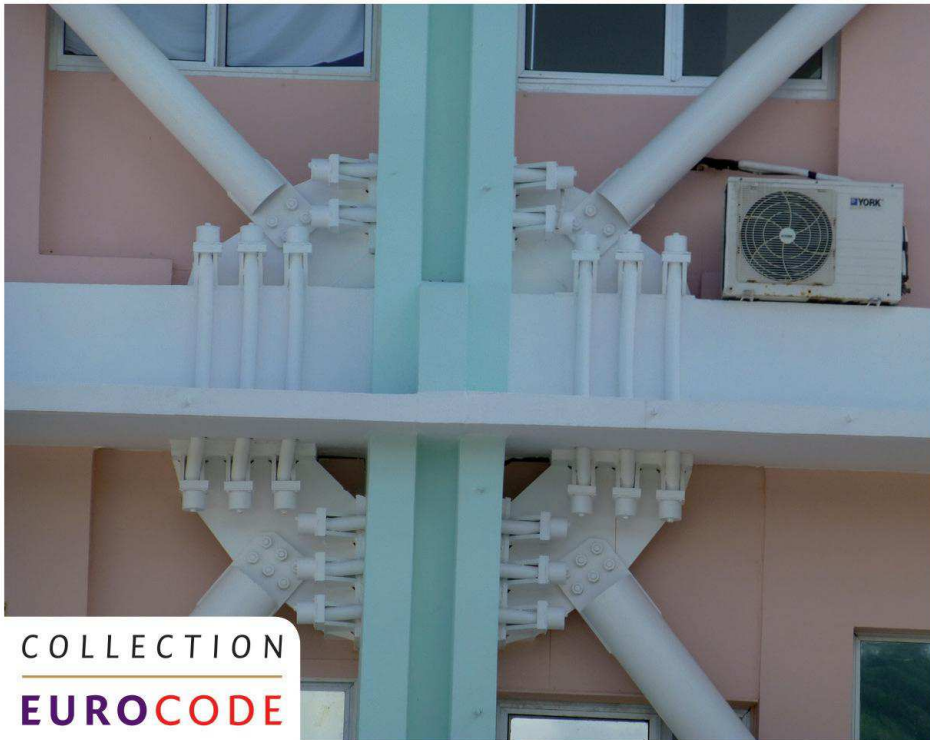


Victor Davidovici

Conception-construction parasismique

Préface de Jean-Armand Calgaro
Introductions de Joseph Attias,
Michel Kahan et Jérôme Stubler



COLLECTION
EUROCODE

afnor
ÉDITIONS

EYROLLES

Table des matières

Préface de Jean-Armand Calgaro
Introduction du concepteur : Michel Kahan
Introduction des constructeurs : Joseph Attias et Jérôme Stubler

1. Bases de la conception 1

Ondes sismiques 2
Domaine fréquentiel des constructions 12
Perception des séismes et réactions humaines 16
 Perception et réactions 16
 Faut-il évacuer le bâtiment en cas de tremblement de terre ? 17
 La résonance 18
Fiabilité, importances des bâtiments, exigences 18
 Bâtiments nouveaux : probabilité d'occurrence de l'action sismique 20
 Catégories d'importance des bâtiments 22
 Bâtiments existants : probabilité d'occurrence de l'action sismique 23
 Exigences fondamentales 25
 Exigences générales et performances pour les constructions de toute catégorie 27
 Exigences de continuité de fonctionnement pour les bâtiments de catégorie IV 30
 Exigences pour les installations classées « à risque spécial » 30
 Exigences pour les phases ou les constructions provisoires 31
 Bâtiments en zones de faible et très faible sismicité 31
Sites et sols 32
 Site de construction 32
 Identification des types des sols 38
Maîtrise de l'endommagement, ductilité 43
 Capacité dissipative 43
 Ductilité 48
 Dimensionnement en capacité 51
Coefficients de comportement des structures en béton armé 54
Incertitudes et vérifications de sécurité 62
 Incertitudes 62
 Vérifications de sécurité 63
 Condition de résistance 66
 Effets du second ordre (effets P- Δ) 66
 Conditions de ductilité locale et globale 68
 Déplacements limites entre étages 70
 Effets accidentels de la torsion 71
 Variabilité spatiale de l'action sismique 73
 Conditions d'équilibre au glissement 81
Conception des structures faiblement dissipatives (DCL) 83

2. Conception des bâtiments 87

Comportement des ouvrages lors des séismes majeurs 88
 Comportement des bâtiments avec portiques béton armé 89
 Comportement des bâtiments avec murs en béton armé 108
 Comportement des bâtiments avec murs porteurs en maçonnerie 114
 Comportement des ponts 116

Comportement des constructions métalliques 119
Comportement des fondations 132
Comportement des bâtiments 135
Considérations architecturales 139
 Critères pertinents de conception 139
 Critères spécifiques pour les bâtiments industriels 146
 Formes en plan, critères de régularité 147
 Formes en élévation, critères de régularité 150
Espacement entre blocs voisins. Joints sismiques 152
 Problématique 152
 Dispositions des joints 158
 Dimensions des joints 163
 Bâtiments des longueurs importantes 169
 Structures continues sur plusieurs blocs 172
 Prise en compte de l'entrechoquement 177
Plancher, élément de contreventement 179
 Problématique 179
 Modèle « poutre » 180
 Modèle « voûte de décharge » 180
 Modèle « mixte » 182
 Prescriptions Eurocode 8 185
Contreventement par portiques en béton armé 188
 Portiques en béton armé 188
 Incidence des panneaux de remplissage en maçonnerie 191
 Incidence des poteaux courts 195
Contreventement par murs en béton armé 204
 Murs en béton armé, éléments de résistance 204
 Niveaux de transfert 218
 Poutres-voiles, poutres-échelles 224
 Systèmes à noyaux 228
 Soubassement rigide de type caisson 230
Éléments non structuraux 234
 Actions sismiques prévisibles 234
 Déplacements entre étages (d_j) 240
 Murs en maçonnerie 241
 Cloisons 244
 Plafonds suspendus 245
 Planchers techniques 249
 Vitrages 250
 Façades légères 251
Équipements, fixations 252

3. Conception des établissements de santé 257

Comportement des hôpitaux lors des séismes majeurs 258
Exigences et objectifs 261
Conception générale 263
 Principes de base de la conception 263
 Éléments non structuraux 266
Interface réseaux-structure ; retour d'expérience 270
 Hauteur d'un niveau ; problématique 270
 La synthèse 274
Équipements et réseaux 276
 Équipements, fixations 277
 Locaux hospitaliers 284
 Réseaux 288

Équipements techniques 293
Ascenseurs, monte-charges, monte-malades 295
Atelier 296
Revue des dispositions constructives 297

4. Calcul sismique 301

Actions sismiques et autres actions 303
 Action sismique 304
 Modifications du mouvement sismique 308
 Représentations de l'action sismique 310
 Combinaisons de l'action sismique avec d'autres actions (annexe B) 325
 Autres actions 326
Caractéristiques des matériaux 329
 Béton armé 329
 Amortissements 337
Modélisation des structures 339
 Conseils de modélisation 339
 Validation du modèle 355
 Hauteur de calcul du bâtiment 356
 Modélisation de l'interaction sol-structure 360
 Portiques en béton armé et remplissage en maçonnerie 391
 Éléments structuraux secondaires, ESS 396
 Incidence des éléments non structuraux, ENS 397
Méthodes de calculs dynamiques 398
 Analyse statique linéaire 401
 Méthode d'analyse modale 404
 Analyse statique non linéaire : *pushover* 415
 Analyses transitoires 417
 Combinaison des composantes de l'action sismique 418
 Prise en compte du décollement 420
 Mouvements sismiques transférés 425
Analyse des résultats 429

5. Dimensionnement des éléments en béton armé 435

Chaînages 436
 De l'obligation des chaînages disposés en 3-D 436
 Chaînages périphériques 440
 Chaînages intérieurs traversants 441
 Chaînages horizontaux pour les éléments de rive 444
 Chaînages verticaux 444
 Recouvrements et continuité des chaînages 444
Planchers 446
 Résistance 446
 Planchers à dalles pleines 446
 Planchers à prédalles 448
 Planchers à dalles alvéolées préfabriquées 451
 Planchers à poutrelles préfabriquées 455
 Plancher avec le procédé ThermoPrédalle 457
 Plancher à prédalles suspendues 458
 Exemple de calcul d'un plancher, fonction

diaphragme 460
Éléments en béton armé, classe DCL 465
Portiques 468
Poteaux, classe DCM 468
Poutres, classe DCM 475
Nœuds, classe DCM 481
Portiques et remplissage en maçonnerie, classe DCM 486
REX Construction des structures en portiques 486
Murs ductiles, DCM 494
Géométrie 494
Gestion des incertitudes 498
Cas des niveaux de transfert 500
Résistance 500
Ductilité locale 501
Armatures transversales des zones confinées 504
Armatures des linteaux 505
Application de l'Eurocode 2 510
Dispositions constructives 511
Murs conventionnels, DCM (grandes dimensions) 513
Critères d'acceptabilité 515
Gestion des incertitudes 516
Résistances 517
Utilisation du modèle bielle-tirant 526
Généralisation du modèle bielle-tirant 527
Justification au flambement 530
Dispositions constructives 532
Cas des niveaux de transfert 534
Murs ajourés en façades 535
Modèles de calcul 535
Exemple de l'hôpital Pasteur II à Nice 537
Ancrages, recouvrements, coutures 540
Contraintes d'adhérence 540
Ancrage droit et recouvrement des armatures longitudinales 542
Présence de crochets 545
Jonction par soudure 546
Coupleurs 548
Couture des recouvrements 549
Ancrages des armatures transversales 552
Scellement au mortier 553
Ratios d'armatures 554
Voiles en béton armé, incidence du cisaillement 554
Voiles en béton armé, incidences des réservations (trémies) 556
Valeurs indicatives des ratios 558
Bâtiment contreventé par des murs en béton armé – Application 560
Hypothèses 560
Critères d'application de l'Eurocode 8 572
Calcul sismique 576
Torsion accidentelle d'axe vertical 578
Ferrailage des voiles 581
Planchers 588
Fondations 589
Campus RDI Michelin – Construction parasismique 591
Description du projet 592
Hypothèses 600
Calcul sismique 606
Principe de ferrillages 614

6. Bâtiments sur isolation sismique 627
Conception 628
Introduction d'isolateurs sismiques 628
Exigences fondamentales 633
Exigences spécifiques 633
Sensibilité à l'action du vent 634
Dispositifs parasismiques 635
Appuis en élastomère 635
Appuis en élastomère fretté à haut amortissement 636
Appuis en élastomère fretté à noyau en plomb 638
Isolation sismique avec appareils pendulaires 639
Amortisseurs 641
Méthodologies de dimensionnement 643
Modélisation, simulation numérique 643
Actions sismiques de calcul 644
Analyse linéaire équivalente 644
Analyse linéaire simplifiée (mode fondamental) 646
Analyse linéaire multimodale 647
Analyse chronologique (temporelle) 647
Analyse non linéaire temporelle 647
Effet de torsion d'axe vertical 648
Sensibilité à la composante verticale 648
Conceptions-réalisations, études de cas 649
Centrale nucléaire de Koeberg 649
Centre de découvert des sciences de la Terre, Saint-Pierre, Martinique 652
Case à L'Aquila, Italie 659
Centre hospitalier universitaire de Fort-de-France 661
Conception de la structure 661
Action sismique 664
Appareils d'appuis : choix et dispositions 665
Robustesse du système d'isolation sismique 668
Interaction sol-structure 669
Analyse transitoire pour la validation des appareils d'appuis 670
Variations dimensionnelles : retrait et gradient thermique 674
Études d'exécution et mise en œuvre 679
7. Réhabilitation, réparation-renforcement 685
Stratégie du renforcement 688
Problématique 689
Pour une analyse appropriée : mieux connaître la demande 691
Identifier les besoins et les difficultés techniques 693
Avoir une vision d'ensemble 696
Diagnostic/constat de situation 705
Historique de l'ouvrage, typologie 705
Méthodologie du diagnostic 706
Analyse des conséquences du diagnostic 710
Exemples des diagnostics 712
Techniques de renforcements 765
Renforcement par ajout d'une nouvelle construction 766
Renforcement par brêlage 768
Renforcement par voiles en béton armé 769

Renforcement par panneau de remplissage en maçonnerie 775
Renforcement par précontrainte additionnelle 776
Renforcement par chaînages-tirants 778
Renforcement par treillis métallique 781
Renforcement des fondations 782
Renforcements par matériaux composites 783
Renforcement-réhabilitation par isolation sismique 795
Réduction de l'action sismique 797
Renforcements des bâtiments. Études de cas 798
Réparations-renforcements, Mexico 798
Réparation-renforcement d'un bâtiment d'habitation, Annecy 801
Renforcement d'un bâtiment de bureaux par une structure en treillis, Sophia-Antipolis 802
Renforcement d'un bâtiment de bureaux par contreforts et précontrainte additionnelle, Mougins 804
Transformation de la « Fonderie », Mulhouse 805
Renforcement de l'hôpital de Trinité, par croix de Saint-André et précontrainte additionnelle verticale, Martinique 817
Transformation en maison universitaire des silos Seegmuller, Strasbourg 827
Transformation de l'ex-hôpital Victor-Fouche en bâtiment administratif, Martinique 840
Réhabilitations par introduction d'isolateurs sismiques 853
Utilisation des isolateurs sismiques à L'Aquila, Italie 853
Réparation et projet de renforcement d'un immeuble de bureaux, Port-au-Prince 860
Bâtiment « Hexagone » à Port-au-Prince 861

8. Renforcement des établissements scolaires aux Antilles 879

Conception du renforcement 880
Hypothèses générales 880
Typologie des bâtiments de classe 887
Évaluation de la capacité sismique de la structure existante 888
Méthodes de renforcement 898
Réalisations 910
Renforcement par « tabourets » métalliques, collège Dillon 1, Martinique 910
Renforcement par contreforts en béton armé et précontrainte, collège G. Café, Martinique 913
Renforcement par voiles en béton armé 916
Renforcement par contreforts en béton armé et précontrainte, collège Général-de-Gaulle, Guadeloupe 919
Enseignements 923

Annexes : Unités de mesure et de conversion et autres valeurs de référence
Bibliographie
Index

Victor Davidovici

CONCEPTION-CONSTRUCTION PARASISMIQUE

Préface de Jean-Armand Calgaro

Introductions de Joseph Attias, Michel Kahan et Jérôme Stubler

« La conception parasismique des bâtiments et des ouvrages de génie civil fait désormais partie des techniques de l'ingénieur. Elle s'appuie sur une multitude de compétences et d'intervenants – architectes, géotechniciens, ingénieurs de structures – dont le savoir est nécessaire pour **tout projet en zone sismique**.

Même dans le domaine du bâtiment courant, la bonne utilisation d'une norme parasismique par un ingénieur de structures suppose qu'il ait des bases suffisantes en sismologie et comprenne les particularités de l'action sismique.

Œuvre majeure, ce traité de conception des constructions édifiées en zone sismique n'est ni un catalogue de catastrophes, ni un cours abstrait de dynamique des structures ou d'analyse de risques. Enfin, **l'ouvrage a une portée générale** : outre le récit de nombreuses expériences vécues dans les contrées les plus sujettes aux tremblements de terre, **Victor Davidovici aborde tous les aspects d'une bonne conception des bâtiments**, sans omettre le recours aux modèles théoriques introduits dans la norme française de l'Eurocode 8.

Fruit de nombreuses années d'observations et de réflexions couvrant divers aspects du risque sismique en génie civil, **le présent ouvrage est d'une qualité exceptionnelle**, tant par l'investissement personnel qu'il représente que par la richesse de son contenu. »

Jean-Armand Calgaro

Ingénieur général des Ponts et Chaussées, ancien président du CEN/TC250 (Eurocodes)

« **Science complète, le génie parasismique rassemble de nombreuses disciplines** comme la sismologie, les méthodes mathématiques de la physique, la géologie et la géotechnique, l'ingénierie des fondations et des structures, le calcul des équipements, etc. Forme majeure de son art, il ne saurait être abordé par l'ingénieur-constructeur qu'avec une grande humilité.

Humilité et expérience : **Victor Davidovici a l'immense mérite de ne rien laisser de côté**, depuis les bases de la conception des bâtiments jusqu'aux principes de leur réhabilitation.

Les Eurocodes servant de base réglementaire à l'ouvrage et se propageant hors d'Europe, **Conception-construction parasismique pourra servir de manuel sous bien des latitudes**.

On appréciera particulièrement l'attention portée aux sujets complexes des incertitudes dans la vérification de la sécurité, celles qui résultent par exemple des effets du second ordre, de la torsion accidentelle, ou encore la variabilité spatiale de l'action sismique. Le traitement de la modélisation des structures servira de référence pour éviter erreurs et complexité auxquelles conduisent trop souvent les logiciels les plus puissants. On appréciera également les multiples exemples, les chapitres par destination d'ouvrage et l'attention portée aux détails constructifs dont la faisabilité même a fait cruellement défaut dans nombre de cas.

Fruit du **savoir immense de son auteur** et d'une **longue expérience partagée avec de nombreux ingénieurs**, ce livre fera date et je forme le vœu qu'il nous serve longtemps de guide. »

Joseph Attias

Fondateur et ancien président de SIDF

Ancien directeur de l'ingénierie de VINCI Construction

Group Director, Concessions, Development & Engineering, SALINI-IMPREGIO

Victor Davidovici

CONCEPTION-CONSTRUCTION PARASISMIQUE

Préface de Jean-Armand Calgaro

Introductions de Joseph Attias, Michel Kahan et Jérôme Stubler

En préambule des chapitres de conception Victor Davidovici nous propose un **retour d'expérience complet** qui alerte le lecteur sur les points faibles des bâtiments, les erreurs fatales et les dispositions qui, au contraire, préservent la sécurité des constructions. C'est sans doute **la meilleure école**, car s'il est admis que des bâtiments construits selon les normes parasismiques modernes ont toutes les chances de résister, c'est dans la **conception architecturale globale** et le **détail constructif** que se niche l'origine des défaillances ou la bonne tenue des ouvrages. S'offre au concepteur **tout un arsenal de méthodes de calcul, abondamment décrites dans cet ouvrage**. Si les exigences usuelles en matière de protection sismique des bâtiments visent essentiellement à préserver la vie des occupants, **certains établissements**, notamment hospitaliers, **doivent être opérationnels très rapidement après la secousse**. Cela tient beaucoup au comportement des équipements auxquels Victor Davidovici consacre un chapitre.

Enfin, on ne saurait résoudre rapidement la question de la **protection sismique d'un parc immobilier** qui ne se renouvelle qu'à raison de 1 à 2 % par an. D'où l'importance, en particulier pour les ouvrages sensibles anciens, de se pencher sur la question de leur **réhabilitation**, de leur **renforcement** ou encore de leur **réparation** après séisme. **On trouvera dans cet ouvrage un vaste descriptif du champ des possibles illustré par de nombreuses études de cas**. Un chapitre entier est consacré au renforcement des établissements scolaires.

À travers cet ouvrage qui deviendra sans nul doute une **référence pour des générations à venir**, Victor Davidovici nous lègue son expérience. Nous sommes nombreux à lui devoir le goût pour le génie parasismique; souhaitons qu'avant de se lancer, de nombreux ingénieurs prennent le temps de le lire. »

Michel KAHAN

Directeur général du groupe Setec

La construction parasismique est une école d'exigence et de quête de la perfection où la **recherche de la simplicité, de l'efficacité et de la lisibilité de la structure** nécessite de faire appel au bon sens acquis par une compréhension fine des **solutions constructives**, lesquelles sont **excellamment décrites dans cet ouvrage**.

Lorsqu'il s'agit de réhabilitation de structures et de renforcement parasismique, l'ingénieur doit comprendre ce que chaque composant va vivre lors du séisme puis couder tous les éléments, réalisant parfois l'exploit de rendre les renforts invisibles.

On peut se passionner toute une vie pour le génie parasismique, la diversité des solutions structurelles, les innovations à développer, les mécanismes de dissipation d'énergie, les matériaux de glissement, de friction, les poutres à écoulement, les amortisseurs, les bloqueurs... **Cette passion pour la technologie est avant tout la passion de protéger les hommes** – via les structures qui les entourent – sachant que le test à l'échelle 1 arrivera un jour, le jour où on ne l'attend plus.

Et cette passion, **Victor Davidovici nous l'a transmise**: synthèse de son savoir théorique et pratique, ce livre doit devenir celui de tous les ingénieurs qui conçoivent et construisent en zone sismique. »

Jérôme STUBLER

Président de Vinci Construction

110 €

Code éditeur : G14280
ISBN : 978-2-212-14280-8

www.editions-eyrolles.com
Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif



9 782212 142808