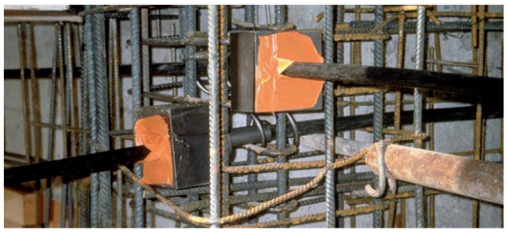


Victor Davidovici

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_r) *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*
Ferraillage des voiles *581*
Planchers *588*
Fondations *589*
Campus RDI Michelin – Construction parasismique *591*
Description du projet *592*
Hypothèses *600*
Calcul sismique *606*
Principe de ferraillages *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 Kœberg *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 **excellemment 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 coudre 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. »

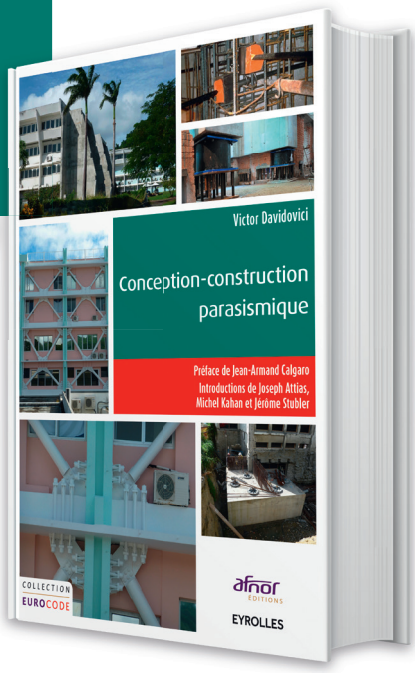
Jérôme STUBLER
Président de Vinci Construction

110 €

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

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

CONCEPTION-CONSTRUCTION PARASISMIQUE



Disponible en septembre 2016

VOUS POUVEZ LE COMMANDER :

- Par **correspondance** en nous retournant le bon ci-dessous
- En ligne sur **www.eyrolles.com**
- À la **librairie Eyrolles**
  61, Bd St-Germain - 75005 Paris
  Tél. 01 44 41 11 75
  Du lundi au vendredi 9h30 - 19h30
  et Samedi 9h30 - 20h
- Chez votre libraire habituel

Format 17,5 x 24,5 cm
1024 pages en couleur - relié
110 € - Ref : G14280

Bon de commande

À retourner à Eyrolles Pro
61, bd St Germain 75240 Paris Cedex 05
Fax : 01 44 41 41 87
eyrollespro@eyrolles.com

RÉFÉRENCE	TITRE DE L'OUVRAGE COMMANDÉ	PRIX TTC	QTÉ	MONTANT
G14280	**Conception-construction PARASISMIQUE**	**110 €**		

ENTREPRISES ET COLLECTIVITÉS
Cachet obligatoire

Participation aux frais de livraison en France métropolitaine et Corse* * DOM-TOM ou étranger, nous consulter.	+ 7,00 €
TOTAL À PAYER	

VOS COORDONNÉES

MERCI D'ÉCRIRE EN LETTRES MAJUSCULES

Société _____

Nom _____

Prénom _____

Adresse _____

_____

Code postal ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ Ville _____

Tél. _____

Précisez votre adresse de facturation si différente.

CHOISISSEZ VOTRE MODE DE PAIEMENT

Règlement par :

❑ Chèque bancaire ou postal (libellé à l'ordre de Eyrolles Pro)

❑ Carte bancaire (bleue, visa, eurocard, mastercard, american express)

N° ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

Date d'expiration : ☐☐ / ☐☐

Signature

Merci d'indiquer les 3 derniers numéros inscrits au dos de votre carte bancaire ☐☐☐

❑ Mandat administratif à réception de facture (réservé aux administrations)

Une facture acquittée sera jointe à votre colis.

Nous vous remercions de votre confiance.

☐ **OUI, je souhaite être informé des nouveautés BTP Construction par email :**

_____@_____

Conformément à la loi Informatique et Liberté du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant.

code : Conception-construction parasismique