

Mécanique et Ingénierie des Matériaux

Comportement dynamique des bétons et génie parasismique



sous la direction de
Jacky Mazars
Alain Millard

hermes

Lavoisier

Table des matières

Présentation	17
-------------------------------	-----------

Jacky MAZARS et Alain MILLARD

Chapitre 1. Comportement dynamique du béton : aspects expérimentaux	21
--	-----------

François TOUTLEMONDE et Gérard GARY

1.1. Introduction : identification du comportement dynamique du béton . .	21
1.1.1. Sens du mot « dynamique »	21
1.1.2. Rappels sur l'expérimentation en dynamique	24
1.1.3. Identification du comportement du béton en dynamique rapide. .	28
1.2. Essais où le régime transitoire a une influence réduite	31
1.2.1. Essais mettant en jeu le comportement déviatorique	32
1.2.2. Essais où le comportement sphérique domine	38
1.3. Essais où la phase transitoire conditionne l'interprétation	41
1.3.1. Essais mettant en jeu essentiellement le comportement en traction	41
1.3.2. Essais mettant en jeu le comportement en compression	46
1.4. Autres essais	51
1.4.1. Essais pouvant être adaptés à une approche énergétique	51
1.4.2. Essais de validation sur structures nécessitant une analyse inverse.	52
1.5. Synthèse des données expérimentales sur le béton et les matériaux associés.	54
1.5.1. Données sur pâte de ciment, mortier et béton	54
1.5.2. Données disponibles pour le béton armé	62

1.5.3. Données sur les bétons renforcés de fibres	64
1.6. En guise de conclusion	68
1.7. Bibliographie	70

Chapitre 2. Modèles de comportement 77

Patrice BAILLY

2.1. Dynamiques des structures en béton	77
2.1.1. Phénomènes macroscopiques	77
2.1.2. Perforation	79
2.1.3. Les éjections de fragments	80
2.1.4. Domaine de chargements	81
2.1.5. Chemin de chargement	81
2.2. La dynamique rapide appliquée au béton	83
2.2.1. Impacts et ondes	84
2.2.2. Impact et polaire de choc	87
2.2.3. Choc de deux solides	89
2.3. Ecaillage	90
2.4. Effet d'une onde de choc sur la structure des matériaux	90
2.5. Les types de modélisation	91
2.5.1. Les cadres de description du comportement	91
2.5.2. Intégrer la sensibilité à la vitesse de déformation	92
2.5.3. Elasto-plasticité et critères	93
2.5.4. Endommagement	95
2.5.5. Notion de loi d'état	95
2.5.6. Limiteur de localisation et sensibilité au temps	96
2.6. Modèles	97
2.6.1. Modèle basé sur l'élasticité	97
2.6.2. Modèles basés sur la théorie de la plasticité	98
2.6.3. Modèles basés sur la mécanique de l'endommagement	101
2.6.4. Modèle couplant plasticité et endommagement	102
2.6.5. Modèle couplant endommagement et mécanique des milieux poreux	103
2.6.6. Modèle dérivant d'une approche hydrodynamique	104
2.6.7. Modèle endochronique	107
2.6.8. Méthode des éléments discrets	107
2.7. Conclusion sur la modélisation	109
2.7.1. Caractères principaux des modèles	109
2.7.2. Prise en compte de l'aspect dynamique	110
2.7.3. L'apport des éléments distincts	111
2.8. Bibliographie	111

Chapitre 3. Sismicité et mouvements sismiques 115

Pierre-Yves BARD

3.1. Introduction.	115
3.2. Mesure des mouvements sismiques.	116
3.2.1. Différences entre réseaux sismologiques et accélérométriques . .	116
3.2.2. Réseaux accélérométriques	117
3.2.3. Banques de données accélérométriques	118
3.3. Caractérisation quantitative des mouvements sismiques	118
3.3.1. Valeurs maximales temporelles.	119
3.3.2. Caractérisations spectrales : spectres de Fourier et spectres de réponse	120
3.3.3. Indications sur les caractérisations hybrides	126
3.3.4. Avertissement sur les mouvements différentiels.	128
3.4. Phénomènes affectant les mouvements sismiques	129
3.4.1. Signature spectrale de la source sismique.	129
3.4.2. Effets de la propagation crustale	132
3.4.3. Effets de site	134
3.5. Commentaires de conclusion	141
3.6. Bibliographie.	143

Chapitre 4. Comportement des sols : interaction sol-structure 147

Alain PECKER

4.1. Comportement des sols sous chargement sismique : rappels	148
4.1.1. Influence de la nature des sols sur le mouvement sismique	148
4.1.2. Description expérimentale du comportement du sol	150
4.2. Modélisation du comportement des sols.	153
4.2.1. Description expérimentale du comportement du sol $\gamma \leq \gamma_s$: modèle élastique	156
4.2.2. Domaines de déformations moyennes $\gamma_s \leq \gamma \leq \gamma_v$: modèle viscoélastique linéaire	157
4.2.3. Domaine des fortes déformations $\gamma \geq \gamma_v$: modèle non linéaire . .	163
4.3. Interaction sol-structure : problèmes linéaires	165
4.3.1. Illustration de l'effet de l'interaction sol-structure	165
4.3.2. Formulation d'un problème d'interaction sol-structure.	170
4.3.3. Théorème de superposition	173
4.3.4. Modélisation pratique de l'interaction sol-structure.	176
4.4. Interaction sol-structure : problèmes non linéaires.	180
4.4.1. Non-linéarités géométriques : décollement de la fondation	180
4.4.2. Non-linéarités de comportement	181
4.4.3. Modélisation de l'interaction sol-structure non-linéaire	181

4.5. Bibliographie	183
Chapitre 5. Structures sous séismes : expérimentation en laboratoire . . .	187
Alain MILLARD, Pierre PEGON, Jean-Claude QUEVAL	
5.1. La méthode pseudodynamique	189
5.1.1. Généralités	189
5.1.2. Histoire de la méthode PSD	190
5.1.3. Le laboratoire ELSA	191
5.1.4. Comparaison avec les tables vibrantes	192
5.2. La méthode pseudodynamique conventionnelle	192
5.2.1. Algorithmes	192
5.2.2. Implémentation à ELSA	195
5.2.3. La méthode de sous-structuration	196
5.2.4. Illustration	200
5.3. La méthode pseudodynamique continue	201
5.3.1. Principe de la méthode continue	201
5.3.2. Implémentation à ELSA	203
5.3.3. La sous-structuration pour la méthode continue	205
5.4. Remarques finales	206
5.5. Essais sur table vibrante	207
5.5.1. Généralités	207
5.5.2. Caractéristiques et performances des tables vibrantes	210
5.6. Lois de similitude	216
5.7. Instrumentation	217
5.8. Sollicitations	218
5.9. Remarques finales	219
5.10. Bibliographie	220
Chapitre 6. Techniques d'expérimentation sur les grands ouvrages.	223
Patrick PAULTRE et Jean PROULX	
6.1. Instrumentation	224
6.2. Sollicitations dynamiques	227
6.3. Traitement de données	228
6.4. Application à des bâtiments	231
6.4.1. La tour inclinée du stade olympique de Montréal	231
6.4.2. Bâtiment en béton armé	233
6.5. Application à des ponts	235
6.5.1. Passerelle pour piétons	235
6.5.2. Pont mixte haubané et suspendu	238

6.6. Applications à des grands barrages	243
6.6.1. Evaluation d'un spectre de réponse sur la crête	244
6.6.2. Etude de l'interaction barrage-réservoir-glace-fondation.	246
6.6.3. Etude de l'effet du niveau d'eau dans les réservoirs	252
6.7. Conclusions.	254
6.8. Remerciements.	255
6.9. Bibliographie.	255

Chapitre 7. Modèles pour les structures en béton soumises aux séismes . . 257

Didier COMBESURE, Nicolas ILE, Jacky MAZARS, Jean-Marie REYNOUARD

7.1. Introduction.	257
7.2. Différentes familles de discrétisation.	258
7.2.1. Modélisations globales.	258
7.2.2. Modélisations semi-globales	259
7.2.3. Les modélisations fines 2D et 3D	263
7.3. Lois de comportement pour les matériaux.	264
7.3.1. Modèles mixtes semi-empiriques.	264
7.3.2. Modèle d'endommagement	265
7.3.3. Modèle de plasticité pour le béton	267
7.3.4. Modèles cycliques pour l'acier	271
7.3.5. Prise en compte de dispositions constructives et des phénomènes de second ordre	272
7.4. Quelques exemples et leur validation par l'expérience	274
7.4.1. Application de la démarche semi-globale à une structure de 4 étages	274
7.4.2. Application de modèles semi-globaux et locaux à des murs en béton.	278
7.5. Conclusions.	292
7.6. Bibliographie.	294

Chapitre 8. Méthodes de calcul sismique des structures : améliorations apportées par l'analyse probabiliste. 297

Jean-René GIBERT

8.1. Introduction.	297
8.2. Rappels sur la méthode modale	298
8.2.1. Donnée sur la source sismique	298
8.2.2. Calcul de la réponse d'une structure à l'aide de la méthode modale	301
8.3. Critique de la méthode modale	303

8.4. Rappels sur les processus aléatoires	304
8.4.1. Définition et caractérisation d'un processus aléatoire temporel . .	304
8.4.2. Caractérisation à l'ordre 2	304
8.4.3. Réponse d'un système linéaire à une sollicitation aléatoire	306
8.4.4. Utilisation des équations stochastiques	308
8.4.5. Statistique des extrema dans un processus stationnaire	309
8.5. Améliorations de la méthode modale	314
8.5.1. Combinaison quadratique complète	316
8.5.2. Effet de facteur de pic	316
8.6. Calcul direct des spectres de plancher	318
8.6.1 Représentation des processus non stationnaires	319
8.6.2. Ajustement d'un processus séparable à partir de la donnée des SRO	320
8.6.3 Détermination des spectres de planchers	321
8.7. Création de signaux synthétiques et intégration numérique directe . .	322
8.8. Analyse sismique de structures à comportement non linéaire	324
8.8.1. Introduction	324
8.8.2. Les principales non-linéarités des structures sous sollicitation sismique	325
8.8.3. Notion de « spectres inélastiques »	326
8.8.4. Méthode classique de la linéarisation stochastique	331
8.8.5. Linéarisation stochastique à paramètres aléatoires	336
8.9. Conclusion générale	342
8.10. Bibliographie	343

Chapitre 9. Art de l'ingénieur : retour d'expérience et aspects réglementaires

345

Philippe BISCH

9.1. Préambule : objet du chapitre	345
9.2. Retour d'expérience : le verdict des séismes	345
9.2.1. Pathologies liées au comportement d'ensemble	346
9.2.2. Pathologies liées au sous-dimensionnement local	348
9.2.3. Pathologies liées aux dispositions constructives	351
9.3. La protection parasismique par les normes : objectifs et méthodes . .	352
9.3.1. La normalisation de la conception parasismique	352
9.3.2. Objectifs de protection parasismique	354
9.3.3. La méthode de vérification	355
9.3.4. La méthode du dimensionnement en capacité	358
9.4. La conception générale	362
9.4.1. Principes de conception	362
9.4.2. Conditions de régularité	363

9.4.3. Calcul des effets de l'action sismique	364
9.5. Le coefficient de comportement.	367
9.5.1. Utilisation du coefficient de comportement.	367
9.5.2. Comportement de structure et coefficient de comportement. . . .	369
9.5.3. Ductilité locale et coefficient de comportement	370
9.5.4. Classes de ductilité et coefficient de comportement.	371
9.6. La conception et le dimensionnement des éléments de structure en béton armé.	372
9.6.1. Les règles spécifiques au béton armé en zone sismique	372
9.6.2. Les principaux types de contreventements en béton armé	373
9.6.3. Les ossatures principales.	375
9.6.4. Les murs de contreventement en béton armé.	379
9.6.5. La conception de détail.	385
9.7. Conclusions.	387
9.8. Bibliographie.	387
Index	389