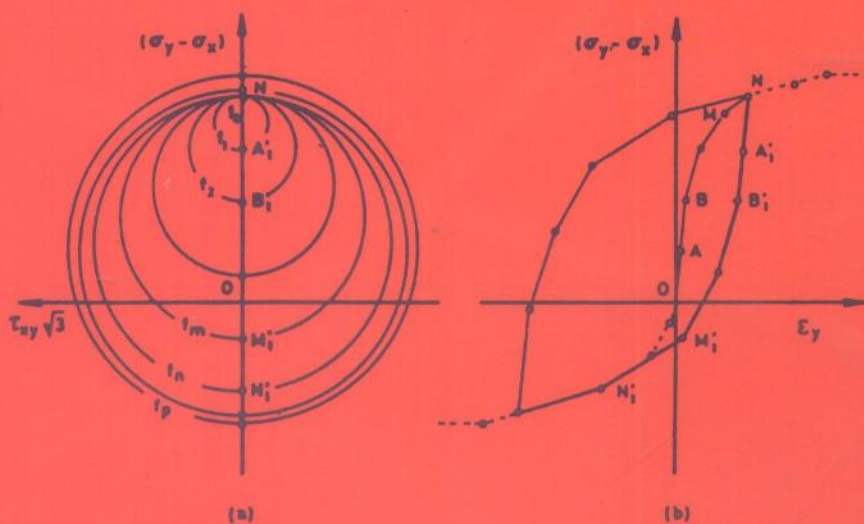


# DYNAMIQUE DES SOLS



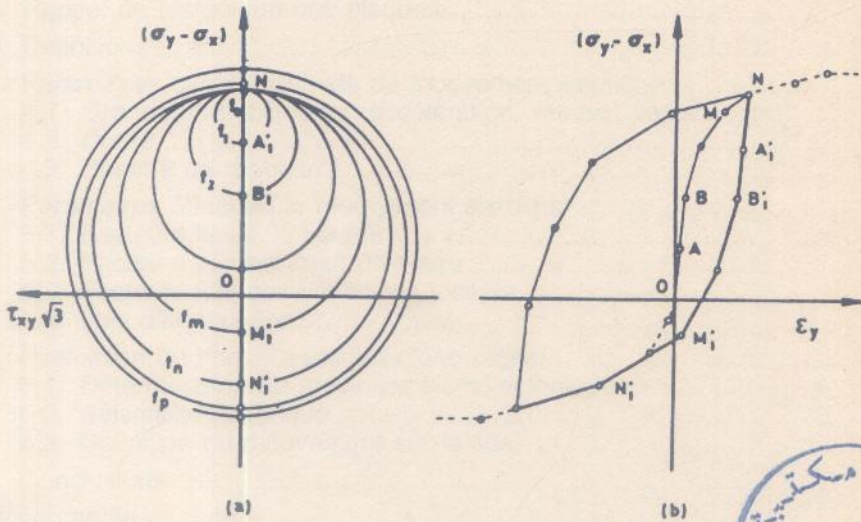
**ALAIN PECKER**



1449/3

Presses de l'école nationale des  
Ponts et chaussées

# DYNAMIQUE DES SOLS



1449 3/5



**ALAIN PECKER**



1449/3

# SOMMAIRE

<b>Notations</b> .....	11
<b>Chapitre I : Caractérisation du mouvement sismique</b> .....	13
1. Introduction.....	13
2. Rappel de tectonique des plaques.....	15
3. Définitions .....	18
4. Paramètres caractéristiques du mouvement sismique .....	19
4.1. Grandeurs maximales : accélération, vitesse, déplacement.....	21
4.2. Durée .....	21
4.3. Spectre de réponse.....	22
5. Paramètres affectant le mouvement sismique.....	24
5.1. Facteurs liés à la source.....	25
5.2. Facteurs liés au trajet parcouru.....	30
5.3. Facteurs liés aux conditions locales .....	31
5.4. Lois d'atténuation.....	33
6. Evaluation du risque sismique d'une région.....	36
6.1. Détermination de provinces sismotectoniques .....	37
6.2. Séismicité historique.....	38
6.3. Définition du mouvement sur le site .....	39
7. Conclusions .....	40
Bibliographie .....	41
<b>Chapitre II : Comportement des sols sous chargement cyclique</b> .....	43
1. Introduction.....	43
2. Description du comportement des sols.....	43
2.1. Loi de comportement.....	45
2.2. Description expérimentale.....	45
3. Observations expérimentales .....	46
3.1. Chargement monotone.....	46
3.2. Chargement cyclique.....	48
4. Notions d'amortissement.....	52
4.1. Définitions des paramètres caractérisant l'amortissement.....	52

4.2. Matériaux à amortissement dépendant de la vitesse de déformation.....	55
4.3. Matériau à amortissement indépendant de la vitesse de déformation.....	57
5. Modèles de comportement.....	57
5.1. Modèle élastique.....	57
5.2. Modèle viscoélastique linéaire.....	60
5.3. Modèles non linéaires.....	66
6. Conclusions.....	81
Bibliographie.....	82
<b>Chapitre III : Liquéfaction des sables</b> .....	<b>85</b>
1. Introduction.....	85
2. Variations de volume d'un sable sous chargement cyclique.....	86
2.1. Rappels sur les variations de volume en chargement monotone.....	86
2.2. Variations de volume sous chargement cyclique.....	88
3. Observations de cas de liquéfaction in situ.....	92
4. Paramètres affectant la résistance au cisaillement cyclique non drainée.....	92
4.1. Influence de l'état de contrainte actuel.....	97
4.2. Influence de l'histoire des contraintes et déformations.....	98
4.3. Influence de l'incrément de contrainte appliqué.....	102
4.4. Influence de la saturation.....	102
5. Modèles de comportement pour l'étude de la liquéfaction.....	103
5.1. Modèle du chemin de contraintes effectives.....	104
5.2. Modèle de MARTIN FINN SEED.....	104
6. Evaluation du risque de liquéfaction d'un site.....	107
6.1. Approche en contraintes totales.....	108
6.2. Evaluation du risque de liquéfaction en contraintes effectives.....	117
7. Stabilisation de sites liquéfiables.....	121
7.1. Accroissement de la densité.....	123
7.2. Amélioration du drainage.....	123
7.3. Amélioration par augmentation de la contrainte dans le sol.....	123
7.4. Modification des caractéristiques du sol.....	123
Bibliographie.....	124
<b>Chapitre IV : Mesure des caractéristiques dynamiques des sols</b> .....	<b>127</b>
1. Introduction.....	127
2. Essais en place.....	128
2.1 Généralités.....	128
2.2. Essais réalisés à partir de la surface.....	130
2.3. Essais réalisés dans des forages.....	131

3. Essais de laboratoire.....	138
3.1. Généralités.....	138
3.2. Essais de vibration libre.....	138
3.3. Essais de résonance.....	139
3.4. Essais de vibration forcée.....	143
4. Comparaisons entre mesures au laboratoire et mesures en place.....	150
Bibliographie.....	154

## **Chapitre V : Réponse sismique d'une couche de sol**..... 157

1. Introduction.....	157
2. Propagation d'ondes dans un milieu élastique, isotrope. Rappels.....	158
2.1. Equation de propagation.....	158
2.2. Onde monochromatique plane.....	159
2.3. Réflexion et réfraction des ondes planes à une interface.....	161
2.4. Onde sphérique dans un milieu infini.....	161
3. Propagation d'ondes planes en milieu élastique semi-infini.....	163
3.1. Ondes SH dans un milieu semi-infini.....	164
3.2. Ondes SH dans une couche d'épaisseur limitée surmontant un semi-espace.....	165
3.3. Ondes SH dans un milieu stratifié surmontant un semi-espace.....	169
3.4. Ondes de surface dans un milieu semi-infini homogène.....	170
3.5. Ondes de surface dans un milieu stratifié.....	173
4. Problèmes spécifiques au génie parasismique.....	174
5. Choix des caractéristiques de l'onde sismique.....	175
5.1. Nature de l'onde et angle d'incidence.....	175
5.2. Définition du point de contrôle.....	176
6. Réponse sismique d'un profil viscoélastique à une onde de volume.....	177
6.1. Modélisation du sol en milieu continu.....	177
6.2. Modélisation discrétisée du profil de sol.....	182
6.3. Validité du modèle viscoélastique linéaire équivalent.....	187
7. Réponse non linéaire à une onde sismique de volume.....	189
7.1. Prise en compte des conditions aux limites.....	190
7.2. Modélisation du sol en milieu continu.....	191
7.3. Modélisation discrétisée du profil de sol.....	193
7.4. Validité des calculs non linéaires.....	196
8. Réponse sismique d'un profil viscoélastique à une onde sismique de surface.....	197
Bibliographie.....	201

## **Chapitre VI : Vibration des massifs de fondation**..... 203

1. Introduction.....	203
2. Définition de l'impédance d'une fondation.....	204
2.1. Impédance d'un oscillateur simple à un degré de liberté.....	205
2.2. Forme générale de l'impédance d'une fondation.....	206

2.3. Analogie entre le demi-espace et l'oscillateur simple. HSIEH (1962) .....	208
3. Application des fonctions d'impédance à l'étude des vibrations de massifs de fondation .....	209
4. Détermination des fonctions d'impédance .....	211
4.1. Solutions continues .....	212
4.2. Solutions discrètes .....	213
4.3. Avantages et limitations des méthodes .....	213
5. Exemples de fonction d'impédance .....	214
5.1. Impédance d'une fondation circulaire à la surface d'un semi-espace .....	214
5.2. Impédance d'une fondation circulaire en surface d'une couche d'épaisseur limitée .....	218
5.3. Impédance d'une fondation de forme quelconque .....	220
5.4. Impédance d'une fondation enterrée .....	221
6. Conclusions .....	222
Bibliographie .....	223
<b>Chapitre VII : Interaction sol-structure</b> .....	225
1. Introduction .....	225
2. Formulation d'un problème d'interaction sol-structure .....	226
3. Méthodes de prise en compte de l'interaction sol-structure .....	229
3.1. Méthodes globales .....	229
3.2. Méthodes de sous-structures .....	231
3.3. Méthode hybride .....	238
3.4. Comparaison des différentes méthodes .....	239
4. Mise en œuvre des calculs d'interaction sol-structure .....	239
4.1. Modèle de comportement du sol .....	241
4.2. Nature et direction de propagation de l'onde incidente .....	241
4.3. Modélisation géométrique du milieu .....	242
4.4. Schéma d'intégration numérique .....	246
5. Exemple de calcul d'interaction sol-structure .....	249
Bibliographie .....	251
<b>Annexe : Echelle d'intensité macrosismique MSK</b> .....	253
<b>Index</b> .....	261

## DYNAMIQUE DES SOLS

La prise en compte du risque sismique dans la conception d'un nombre grandissant d'ouvrages importants comme les centrales nucléaires, les grands barrages, les réservoirs à gaz naturel liquéfié, a contribué au développement rapide d'une science récente: le Génie Parasismique. Sous ce vocable se trouvent regroupées les disciplines diverses que sont la sismologie, la dynamique des sols, la dynamique des structures et des équipements, l'instrumentation sismique... Si la dynamique des structures et la sismologie ont très tôt retenu l'attention des chercheurs et ingénieurs, ce n'est que depuis une quinzaine d'années que la dynamique des sols est apparue comme une composante fondamentale du Génie Parasismique,

Ce livre a pour objectif de présenter l'état actuel de la pratique en dynamique des sols, tout en introduisant les développements les plus récents concernant la modélisation du comportement du sol, la liquéfaction et l'interaction sol-structure.

Il s'adresse tant aux étudiants désireux d'acquérir les notions de base qu'aux ingénieurs des bureaux d'études confrontés à des problèmes de dynamique des sols.

Alain PECKER

Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées,

Master of Science, Université de Californie, Berkeley.

Gérant du bureau d'ingénieurs conseils en Génie

Sismique, GÉODYNAMIQUE ET STRUCTURE.

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale

des Ponts et Chaussées.

Membre du Comité Scientifique et Technique

de l'Association Française de Génie Parasismique.

*(Le graphique de couverture est extrait d'un article de J.H. Prévost: « Mathematical modelling of monotonic and cyclic undrain clay behaviour » paru dans le n° 117 de la revue du Norwegian Geotechnical Institut, 1977).*