

12633

# THESE

présentée par

Mourad MEGHACHOU

Ingénieur en Génie-Civil de l'Université  
des Sciences et Technologies d'Oran

Pour obtenir le titre de DOCTEUR de



L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE I

(Arrêté ministériel du 30 mars 1992)

Spécialité : Mécanique

---

## Stabilité des sables lâches : essais et modélisations

---

Date de soutenance : 28 Octobre 1993

Composition du jury :

Président	M. J. LANIER	Professeur U.J.F. Grenoble
Rapporteurs	M. B. CAMBOU	Professeur E.C. Lyon
	M. R. NOVA	Professeur E.P. Milan
Examineurs	M. E. FLAVIGNY	Maître de Conf. U.J.F. Grenoble
	M. F. DARVE	Professeur I.N.P. Grenoble

Thèse préparée au sein du laboratoire 3S/ Institut de Mécanique de Grenoble  
Laboratoire mixte : C.N.R.S - I.N.P.G - U.J.F.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

## I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. <b>Plasticité des sables</b> .....	4
I.1.1. Définition de l'état critique .....	4
I.1.2. Recherche d'un état critique pour les sables .....	5
I.1.3. Etat permanent de déformation .....	8
I.1.3.1. Définition de l'état stable de déformation .....	8
I.1.3.2. Mise en évidence de l'état permanent de déformation .....	9
I.1.3.3. Concept modifié du comportement des sables lâches.....	13
I.1.4. Liquéfaction des sables .....	16
I.1.4.1. Définition de la liquéfaction .....	16
I.1.4.2. Influence des paramètres sur la liquéfaction .....	17
I.1.4.3. Critiques du concept de la surface d'effondrement.....	22
I.2. <b>Modèles rendant compte de la liquéfaction</b> .....	25
I.2.1. Introduction.....	25
I.2.2. Modèle de PASTOR-ZIENKIEWICZ.....	26
I.2.2.1. Notions de la plasticité généralisée.....	26
I.2.2.2. Equations constitutives du modèle .....	29
I.2.3. Modèle de Nova-Hueckel .....	34
I.2.3.1. La loi constitutive élastoplastique .....	34
I.2.3.2. Liquéfaction statique .....	36
I.2.3. Stabilité des sols d'après les loi élastoplastiques.....	36
<b>Conclusion</b> .....	40

## II. ETUDE EXPERIMENTALE

Introduction .....	42
II.1. <b>Les dispositifs expérimentaux</b> .....	43
II.1.1. L'installation classique .....	43
II.1.1.1. La presse.....	43
II.1.1.2. La cellule .....	43
II.1.1.3. La chaîne de mesure.....	44

II.1.2. L'installation asservie.....	46
II.1.2.1. La presse.....	48
II.1.2.2. Les contrôleurs de pression et de volume .....	48
II.1.2.3. Les capteurs.....	48
<b>II.2. La procédure expérimentale .....</b>	<b>49</b>
II.2.1. Préparation de l'échantillon .....	49
II.2.2. Saturation .....	50
II.2.3. Ecrasement et pénétration de membrane .....	51
II.2.4. Le matériau utilisé .....	52
<b>II.3. Les essais non drainés.....</b>	<b>54</b>
II.3.1. Influence de la densité .....	57
II.3.2. Influence de la contrainte isotrope .....	60
II.3.3. Courbes UF et LF pour le sable d'Hostun RF.....	64
II.3.4. Caractéristiques de l'état de plasticité.....	67
II.3.5. Les incertitudes expérimentales .....	69
II.3.5.1. Incertitude de mesure.....	69
II.3.5.2. Déformation lors de la saturation.....	69
<b>II.4. Les essais à contrainte moyenne constante.....</b>	<b>71</b>
II.4.1. Effet de la contrainte isotrope.....	74
II.4.2. Effet de la densité:.....	74
II.4.3. Validation ou non des courbes UF et LF.....	78
<b>II.5. Les essais à contrainte axiale constante .....</b>	<b>78</b>
II.5.1. Interprétation des résultats .....	80
II.5.2. Le diagramme d'état .....	84
<b>Conclusion .....</b>	<b>85</b>
<b>II.6. Les essais asservis .....</b>	<b>87</b>
II.6.1. Essais drainé - non drainé .....	87
II.6.1.1. Généralités .....	87
II.6.1.2. Interprétation des essais .....	88
II.6.1.3. Conclusion.....	93
II.6.2. Les essais en escaliers.....	94
II.6.2.1. Introduction .....	94
II.6.2.2. Le principe.....	95
II.6.2.3. Influence de la taille des chemins élémentaires .....	96
II.6.2.4. Détails d'un essai en "escalier" .....	101
II.6.2.5. Conclusion.....	109

### III. MODELISATIONS

Introduction.....	111
III.1. Les lois incrémentales.....	112
III.1.1. Aperçu sur l'écriture incrémentale des lois de comportement.....	112
III.1.2. Notion de zone tensorielle.....	113
III.1.3. Classification des loi de comportement.....	114
III.1.4. Les lois incrémentalement non linéaires.....	115
III.2. Présentation du modèle non-linéaire de Darve.....	117
III.2.1. Introduction.....	117
III.2.2. La loi incrémentale du second ordre.....	117
III.2.2.1. Les chemins triaxiaux généralisés.....	119
III.2.2.2. Détermination analytique des fonctions f, g, et h.....	122
III.2.2.3. Courbe contrainte-déformation (fonction f).....	123
III.2.2.4. Courbe indice des vides-déformation axiale (Fonction g et h).....	124
III.2.3. Calibration du modèle.....	126
III.3. Modélisation des essais à volume constant.....	130
III.3.1. Introduction.....	130
III.3.2. Essais à volume constant.....	130
III.3.3. Analyse de l'unicité de la solution.....	132
III.3.4. Analyse de la stabilité.....	134
III.3.5. Position du modèle par rapport à l'unicité et à la stabilité.....	135
III.3.6. Conclusion.....	141
III.4. Les chemins en "escalier".....	142
III.4.1. Position du problème.....	142
III.4.2. Principe de la constitution des chemins en "escalier".....	143
III.4.3. Résultats numériques.....	144
III.4.3.1. Essais à volume constant.....	144
III.4.3.2. Influence de la taille des chemins élémentaires.....	149
III.4.3.3. Essais drainés.....	151
III.4.3.4. Essais à contrainte moyenne constante.....	155
III.4.4. Conclusion.....	155
III.5. Discussion du caractère intrinsèque de quelques concepts.....	159
III.5.1. Ligne de stabilité.....	159
III.5.2. Ligne de transformation de phase.....	166
III.5.3. Conclusion.....	169
III.6. Le modèle non linéaire et l'évolution de la "limite élastique".....	170
III.6.1. Introduction.....	170
III.6.2. Choix de l'isovaleur de déformation.....	171

III.6.3. Evolution de la surface de la limite élastique dans le plan bissecteur des contraintes .....	174
III.6.4. Evolution de la surface de la limite élastique dans le plan déviatoire des contraintes .....	179
III.6.5. Conclusion .....	183
CONCLUSION GENERALE .....	184
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	186