

Sommaire

DEDICACES	
REMERCIEMENT	
RESUME	
TABLE DES MATIERSE	
LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX	
Introduction Générale	2
1 Etude phénoménologique du retrait-gonflement Approche bibliographique	
1.1 Nature et structure des sols argileux	5
1.1.1 Introduction	5
1.2 Minéralogie des argiles	6
1.2.1 Minéraux argileux	6
1.2.1.1 Structure des argiles	6
1.2.1.1.a Feuilletés en tétraèdre(de silice)	6
1.2.1.1.b Feuilletés en octaèdre (ou d'alumine)	7
1.2.1.2 Principaux groupes de minéraux argileux	8
1.2.1.2.a Kaolinite	8
1.2.1.2.b Montmorillonite	10
1.2.1.2.c L'illite	11
1.3 Microstructures des sols argileux	12
1.3.1 Définitions et concepts de texture/structure	13
1.3.2 Classification des différentes textures	15
1.3.3 Définitions des unités de l'espace poreux	18
1.4 FORCES ENTRE PARTICULES D'ARGILE	20
1.4.1 Force de répulsion	20
1.4.2 Force d'attraction	20
1.4.3 Force d'hydratation (attractive – répulsive)	20
1.5 PHENOMENE DU GONFLEMENT	20
1.5.1 Mécanisme du gonflement	20
1.5.2 Description du phénomène de gonflement	22
1.6 Facteurs influençant le retrait-gonflement des sols argileux	22
1.6.1 Facteurs intrinsèques	22
1.6.1.1 Composition minéralogique	23
1.6.1.2 Capacité d'échange cationique (CEC)	23
1.6.1.3 Surface spécifique d'une particule argileuse	24

1.6.1.4	Activité des argiles	24
1.6.1.5	Théorie de la double couche	25
1.6.2	Facteurs externes	27
1.6.2.1	Teneur en eau initiale	27
1.6.2.2	Densité sèche	28
1.6.2.3	Mode de compactage	29
1.6.2.4	Effet de l'échelle	30
1.7	STABILISATION DES SOLS GONFLANTS	31
1.7.1	Stabilisation mécanique	31
1.7.1.1	Méthode de compactage	31
1.7.1.2	Méthode de substitution	32
1.7.1.3	Méthode de pré humidification	32
1.7.1.4	Stabilisation par ajout de sable	32
1.7.2	Stabilisation chimique	33
1.7.2.1	Stabilisation par des solutions salines	33
1.7.2.2	Stabilisation par les liants hydrauliques (Chaux, Ciment et)	35
1.7.2.2.a	Stabilisation par ajout de la chaux	35
1.7.2.2.b	Stabilisation par ajout du ciment	38
1.8	Caractérisations directes et indirectes de l'aptitude des sols argileux au retrait-gonflement	40
1.8.1	Paramètres du gonflement	41
1.8.2	Caractérisation au laboratoire	41
1.8.2.1	Caractérisations indirectes	42
1.8.2.2	Modèles d'estimation du gonflement - Méthodes indirectes	45
1.8.2.3	Essais de caractérisation directe du gonflement au laboratoire	46
1.8.2.3.a	Méthode à gonflement libre (ou méthode d'hydratation sous chargement nul)	46
1.8.2.3.b	Méthode sous charge constante (Essais en parallèle ou méthodes d'hydratation sous charge constante)	46
1.8.2.3.c	Méthode à volume constant (ou méthodes d'hydratation à gonflement empêché)	46
1.9	CONCLUSION	47
2	Valorisation de pneus usés et La poudrette de caoutchouc	
2.1	Introduction	49
2.2	Généralités	49
2.2.1	Définition	50

2.2.2	Principaux constituants et catégories d'un pneu	50
2.2.3	Composition chimique d'un pneu	52
2.3	Valorisation du pneumatique usagé	53
2.3.1	Valorisation Energétique	54
2.3.2	Valorisation matière	55
2.3.3	Valorisation originale des pneus usagés	55
2.4	Valorisation et réalisations en Algérie par la technique pneu sol	57
2.5	Comportement du Pneu sol	59
2.5.1	Comportement général du Pneu sol	60
2.5.2	Comportement mécanique du Pneu sol Cas statique	61
2.5.3	Adhérence Terre-Pneumatiques	61
2.6	Problèmes liés de disposition de pneu de chute	62
2.7	La Poudrette de caoutchouc	63
2.7.1	Les caractéristiques des granulats de caoutchouc	64
2.7.2	Transformation de la poudrette de caoutchouc	65
2.7.2.1	Déchetage primaire	66
2.7.2.1	Déchetage secondaire	68
2.8	Valorisation de poudrette de caoutchouc	68
2.9	Conditions de mise en œuvre	74
2.10	L'intérêt de poudrette de caoutchouc	74
2.11	CONCLUSION	76
3	L'identification et la prévision de stabilisation de ces sols gonflant par l'ajout de la poudrette de caoutchouc programme par le logiciel ' SCILAB'	
3.1	Introduction	78
3.2	Identification des sols gonflants	80
3.3	Matériels utilisé	81
3.3.1	La phrase matricielle "le sol"	81
3.3.2	La phase renforcement (Fibres de caoutchouc)	81
3.4	Mesure indirecte du potentiel de gonflement	82
3.5	Analyse de Gonflement des sols étudiés	84
3.6	Protocoles d'essai	84
3.7	Résultats	86
3.7.1	Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel de	86

	gonflement	
3.7.2	Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur la pression de gonflement	88
3.8	Modèles de prévision de gonflement	90
3.9	Estimation du potentiel et pression de gonflement a l'aide de programmation de Scilab	92
3.9.1	L'interface de SCILAB	94
3.10	Résultats et discussions	96
3.10.1	Le taux et la pression de gonflement	96
3.10.2	Comparaison des résultats estimés du taux et la pression de gonflement avec ceux expérimentaux.	100
3.11	Conclusion	104
4	Estimation du module d'élasticité des sols de fibres de caoutchouc à l'aide de modèles de matériaux composites	
4.1	Introduction	106
4.2	Choix des Modèles Analytiques	107
4.3	Matériels utilisé	108
4.3.1	La phrase matricielle "le sol"	108
4.3.1.1	Module de Young élastique du sol	108
4.3.2	La phase renforcement (Fibres de caoutchouc)	109
4.3.2.1	Module du Young élastique des fibres de caoutchouc des pneus usées (la phase deux)	110
4.4	Module de Young expérimentale les deux sols étudiés	111
4.5	Confrontation des Modèles Analytiques aux Résultats Expérimentaux	112
4.5.1	Résultats des Approches Prédictives	113
4.5.2	Comparaison des Résultats Obtenus avec ceux Expérimentaux	116
4.6	Conclusion	118
	Conclusion Générale	120
	Références bibliographique	123
	Annexe	131

Listes des figures

Fig.1.1. Feuillet en tétraèdre	7
1.1. a) et c) Tétraèdre de silice	
1.1. b) Vue isométrique d'un feuillet de silice en tétraèdre	
1.1. d) Schéma du feuillet de silice	
Fig.1.2. Feuillet en octaèdre	7
1.2. a) et c) Octaèdre d'aluminium	
1.2. b) Vue isométrique d'un feuillet en octaèdre.	
1.2. d) Schéma du feuillet en octaèdre d'aluminium	
Fig1.3. Représentation de la structure minéralogique d'une particule d'argile.	8
Fig.1.4. Structure atomique de la kaolinite	9
1.4. a) Schéma de la structure élémentaire de la Kaolinite	
1.4. b) Vue isométrique de la structure atomique de la kaolinite	
Fig.1.5. Structure atomique de Famille de la montmorillonite	11
1.5.a) Schéma de la structure élémentaire de la montmorillonite	
1.5. b) Vue isométrique de la structure atomique de la montmorillonite	
Fig.1.6. Structure atomique de Famille de l'illite	11
1.6.a) Schéma de la structure élémentaire del'illite	
1.6.b) Vue isométrique de la structure atomique et schématique de l'illite.	
Fig.1.7. Organisation des particules d'argiles	14
Fig.1.8. Influence de l'électrolyte sur la porosité d'une bentonite	15
Fig.1.9. Arrangement des particules d'argile en suspension	14
Fig.1.10. Représentation schématique d'assemblages de particules argileuses et grains non argileux	16
Fig.1.11. Classification des textures des sols d'origines sédimentaire et éluviale : texture en nid d'abeille	17
1.11. (a), en squelette 1.11. (c), fluidale« turbulent » 1.11. (e), domaines	
1.11. (b), matricielle 1.11 (d), laminaire 1.11. (f), pseudoglobulaire« pseudoglobular »	
1.11. (g) et en éponge (h).	
Fig.1.12. Texture des sols gonflants	18
Fig.1.13. Représentation schématique des différents types de pores	19
Ces auteurs ont proposé quatre types d'arrangement de l'espace poreux	
Fig.1.14. Force d'hydratation.	20
Fig.1.15. Mécanismes de gonflement des argiles par hydratation	21
Fig.1.16. Courbe de gonflement en fonction du temps.	22
Fig.1.17. Mesure de la CEC	23
Fig1.18. Abaque pour identification des sols gonflants	25

Fig.1.19. Abaque d'évaluation de potentiel de gonflement	25
Fig.1.20. Schéma d'une double couche d'eau entourant une particule argileuse	26
Fig.1.21. Schéma de l'eau adsorbée des minéraux argileux	26
Fig.1.22. Ions échangeables	27
Fig.1.23. Potentiel de gonflement en fonction de la teneur en eau initiale	27
Fig.1.24. Variation du gonflement en fonction de la teneur en eau initiale	28
Fig.1.25. Variation de la pression de gonflement en fonction de la densité sèche	28
Fig.1.26. Variation du gonflement en fonction de la densité sèche initiale	29
Fig.1.27. Comparaison entre les valeurs de perméabilité obtenue sur des éprouvettes compactées par pétrissage et par méthode statique	30
Fig.1.28. Variation du gonflement final en fonction de l'épaisseur des échantillons	30
Fig.1.29. Variation de la pression de gonflement en fonction du temps avec les différentes solutions	35
Fig.1.30. Effet des sels utilisés sur l'argile de Mansourah	34
Fig.1.31. Effet de la chaux sur la pression de gonflement des échantillons traités compactés à l'OPN Khattab	35
Fig.1.32. Effet du dosage à la chaux sur le gonflement de la Bentonite de Maghnia	35
Fig.1.33. (a) Variation des limites de consistance en fonction du temps pour 3% et 6% chaux ; (b) Evolution de la valeur au bleu de méthylène en fonction de pourcentage de chaux	36
Fig.1.34. Courbe Proctor de l'argile traitée à la chaux et non traitée.	36
Fig.1.35. (a) Evolution du potentiel de gonflement des éprouvettes traitées à 3 et 6% de chaux conservées suivant le premier mode. (b) Evolution de pression de gonflement.	37
Fig.1.36. Effet des stabilisants sur les limites des consistances 1.37. (a) Effet des stabilisants sur la limite de liquidité W_L (%) 1.37. (b) Effet des stabilisants sur l'indice de plasticité I_p (%)	38
Fig.1.37. Effet des stabilisants sur les paramètres mécaniques de gonflement (a) Effet des stabilisants sur la pression du gonflement (b) Effet des stabilisants sur le potentiel du gonflement	39
Fig.1.38. Caractérisation des sols gonflants	42
Fig.1.39. Classification des sols gonflants	43
Fig.1.40. Différentes méthodes d'essais de gonflement	46
Fig. 2.1. Coupe transversale d'un pneu Michelin	51
Fig. 2.2. Valorisation en Poudrette de caoutchouc	55
Fig.2.3. Schéma d'une filière de valorisation matière	57
Fig. 2.4. Pose des nappes de pneus Projet pilote – Route de Bousmail	58
Fig.2.5. Stabilité d'un glissement de terrain - Cas de Tizi Ghenif – Wilaya de Tizi Ouzou Algérie	59
Fig.2.6. Pneus entiers avec flancs	60

Fig.2.7. Pneus avec un seul flanc	60
Fig.2.8. Pneus sans flanc	60
Fig.2.9. Ligne de production de pneu	63
Fig.2.10. Aspect des poudrettes de caoutchouc	64
Fig.2.11. Le différent diamètre des granulats des pneus usés après broyage.	65
Fig.2.12. Différent mode de valorisation de poudrette de caoutchouc.	69
Fig.2.13. Bassin d'infiltration	70
Fig.2.14 La valorisation de broyats de pneus dans la fonction de drainage	71
Fig.2.15. Production d'encrant d'acoustiques à l'aide de poudrette de caoutchouc	72
Fig.2.16. Coupe schématique verticale d'un sol sportif de 3ème génération	73
Fig. 3.1. Effet de la teneur en caoutchouc de pneus usés sur le potentiel de gonflement de sol A.	87
Fig.3.2. Effet de la teneur en caoutchouc de pneus usés sur le potentiel de gonflement des sols B.	87
Fig.3.3. Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel et la pression de gonflement de sol A.	89
Fig.3.4. Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel et la pression de gonflement de sol B	89
Fig.3.5. Une fenêtre graphique 3D	94
Fig.3.6. La fenêtre console du logiciel Scilab	95
Fig.3.7. L'éditeur Scipad	96
Fig.3.8. Programme propose pour le calcul de taux et pression de gonflement	97
Fig.3.5. Taux de gonflement estimé et mesuré pour la Bentonite	100
Fig.3.6. Taux de gonflement estimé et mesurée pour l'Argile	101
Fig.3.7. Pression de gonflement estimé et mesurée pour la Bentonite	102
Fig.3.8. Pression de gonflement estimé et mesurée pour l'Argile	103
Fig.4.1. Photographies montrant (i) des fibres de caoutchouc des pneus usés, (ii) et (iii) la poudre de caoutchouc.	110
Fig. 4.2. Rapport des caractéristiques des phases Ea/Em dans les deux argiles	113
Fig.4.3. Programme propose pour estimer le module d'élasticité en utilisant les modèles analytiques.	114
Fig.4.4. Modules d'élasticité effective en fonction de la fraction volumique du renfort pour les auteurs pour l'argile pour l'argile d'Ayaida	115
Fig.4.5. Modules d'élasticité effective en fonction de la fraction volumique du renfort pour les auteurs pour la Bentonite de Maghnia	115
Fig.4.6. Modules d'élasticité effective en fonction de la fraction volumique du renfort	117

confrontation des résultats analytiques et expérimentaux pour l'argile d'Ayaida

Fig.4.7. Modules d'élasticité effective en fonction de la fraction volumique du renfort **118**

confrontation des résultats analytiques et expérimentaux pour la Bentonite de Maghnia.

Liste des tableaux

Tableau.1.1. Classification des phyllosilicates	9
Tableau.1.2. Relation entre type de cations et gonflement	23
Tableau.1.3. Caractéristiques physico-chimiques des minéraux argileux courants.	24
Tableau.1.4. Activité de différents minéraux	25
Tableau.1.5. Les pourcentages utilisés	39
Tableau.1.6. Classification du potentiel de gonflement des sols argileux selon différents auteurs	42
Tableau.1.7. Paramètres hydriques et potentiel de gonflement	44
Tableau.1.8. Modèles d'estimation du taux de gonflement (ϵ_g) et de la pression de gonflement (σ_g).	45
Tableau.2.1. Composition des pneus tourisme et poids lourd	53
Tableau.2.2. Distribution granulométrique pour les trous de filière de \varnothing 20 mm et \varnothing 16 mm	65
Tableau.2.3. Les méthodes d'extraction des contaminants du pneu	66
Tableau.3.1. caractéristique des sols étudiés	82
Tableau.3.2. Potentiel de gonflement estimé (en fonction des limites d'Atterberg) des échantillons testés.	83
Tableau.3.3. Modèles de prévision testée pour le gonflement des sols étudiés.	91
Tableau.3.4. Taux de gonflement mesuré et estimé pour les sols étudiés.	99
Tableau.3.5. Pression de gonflement mesurée et estimée pour les sols étudiés	99
Tableau.4.1. Le module d'élasticité effectif par les différents modèles analytiques (MPa).	108
Tableau.4.2. Les valeurs typiques du module de Young pour le matériau cohésif	109
Tableau.4.3. Le module d'élasticité de composite sol-fibres mesuré expérimentalement	112
Tableau.4.4. Caractéristiques expérimentales et la fraction volumique pour les composites de sol-fibres	113
Tableau.4.5. Modules d'élasticité effective des sols-fibres obtenus par les différents modèles analytiques (MPa).	114
Tableau.4.6. Modules d'élasticité effectifs (MPa): Confrontation des différents modèles analytiques aux résultats expérimentaux.	116
Tableau.4.7. Ecarts (%) sur les modules d'Young entre les prédictions des modèles analytiques et des résultats expérimentales.	116

