

3 L'identification et la prévision de la stabilisation de ces sols gonflant par l'ajout de la poudrette de caoutchouc programme par le logiciel ' SCILAB'

3.1 Introduction

Le gonflement des argiles est un phénomène notable dans beaucoup de sols contenant en particulier de l'illite et smectites qui représentent environ 2.5% de la surface des terres dans le monde et sont présent principalement dans les zones climatiques ou de fortes variations saisonnières de précipitation et de température sont observées ,le phénomène de gonflement est susceptible d'induire des désordres très importants au niveau de la structure de l'ouvrage d'où le cout annuel des dégâts lie a la sécheresse géotechnique est estime très supérieure a celui de toutes les autres les catastrophes naturelles.

Par l'intermédiaire du technique pneu sol l'ingénieur est appelé a réutiliser ces déchets techniquement et économiquement intéressant dans un certain nombre de domaines de génie civil (renforcement des sols, absorbeur d'énergie, répartiteur de contrainte, remblai léger, etc.)

L'Algérie a connue des dégâts causes par le phénomène de gonflement-retrait comme la majorité des pays du monde par exemple à Ain amènes (raffinerie de sonatrach) nous a tire l'attention a son existence dans notre vaste Sahara et même chose pour la région de l'ouest de Tlemcen et Maghnia, ainsi que la région de hodna Msila qui a connue elle-même des dégâts (la remontée de fondation de l'hôpital et importantes fissures dans les murs extérieures),cela n'est pas fini puisque le sol de la région de sahel

d'Alger dans la plupart est la marne argileuse et limoneuse, qui sont des sols gonflables et rentrent dans le cadre du risque de déclenchement de phénomène de retrait-gonflement.[AIS11].

Se prémunir contre les effets du retrait et du gonflement des argiles suppose que les différents acteurs de la construction disposent des outils nécessaires pour qu'ils puissent : [DJE01].

- ✓ Identifier à partir d'essais géotechniques simples les sols potentiellement gonflants ;
- Estimer, dans une première phase, les paramètres caractérisant le gonflement à partir de modèles tenant compte des caractéristiques déterminées par les essais géotechniques courants (Bekkouche et al. 2000c. En général, ce sont la pression et l'amplitude de gonflement qui sont utilisées pour caractériser les sols gonflants.
- Mesurer ces paramètres dans une seconde phase. On notera ici qu'il existe un nombre important de procédures et qu'à l'heure actuelle, en Algérie, le problème de la normalisation reste posé (Bekkouche et al. 2000a ; et Bekkouche et al. 2000b) ;
- Construire sur ce genre de sol. Dans ce cas, le type de fondations dépend du potentiel de gonflement du matériau et génère souvent des surcoûts importants. À noter que les mesures palliatives concernant l'élimination ou la réduction de la variation de la teneur en eau du sol peuvent réduire considérablement ces surcoûts.

Le but de cette présente étude est d'apprécier les effets de l'ajout de poudrette de caoutchouc des pneus usées sur :

- ✓ Le potentiel de gonflement.
- ✓ La pression de gonflement.

Ainsi dans ce chapitre le traite des deux premiers points, c'est-à-dire l'identification et la prévision. À cet effet, sont présentées les diverses classifications utilisées dans la pratique pour apprécier le caractère gonflant

des sols et mixtures sol-poudrette de caoutchouc aux deux argiles (la Bentonite de Maghnia et l'argile d'Oran) ; celles-ci sont basées sur des paramètres déterminés à partir d'essais géotechniques simples. Une synthèse des modèles statistiques disponibles dans la littérature, qui permettent d'estimer indirectement la pression et l'amplitude de gonflement, est également proposée. Ainsi pour estimer l'amplitude et pression de gonflement on a programmé les calculs avec logiciel de calcul scientifique <Scilab> pour coopération le travail et directement par l'essai œdométrique de gonflement libre en mesurant les paramètres de gonflement «la pression et taux de gonflement»

3. 2 Identification des sols gonflants

L'identification des sols gonflants peut s'effectuer à l'échelle microscopique, les formes et les assemblages de la structure de ces matériaux étant très particuliers. Seulement, cette reconnaissance est très coûteuse et n'informe pas sur les paramètres mécaniques du retrait-gonflement. Une identification primaire, à partir des résultats d'essais simples, peut présenter un intérêt considérable puisqu'elle permettra de gagner en temps et en coût. En effet, le fait de soupçonner qu'un sol puisse être gonflant dès la campagne de reconnaissance préliminaire permet d'anticiper sur les campagnes de reconnaissance de confirmation en les adaptant à la nature du site. [DJE01].

Les essais menés sur les deux argiles (Bentonite et Argile d'Oran) – poudrette de caoutchouc ont pour but de déterminer quelques paramètres et indices permettant l'identification et la prédiction du comportement des sols gonflants, ces étaient entrepris au Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction de Sidi Bel Abbés, dans le cadre de projet de fin d'étude de magister réalisé par: [BEK10].

3.3 Matériels utilisé

3.3.1. La phrase matricielle "le sol"

Deux échantillons de sol de différentes origines et de propriétés physiques ont été choisis. Un a été obtenu à partir d'un emplacement situé dans Ayaida à Oran, dans le nord-ouest de l'Algérie. Certains sérieux on a observé des problèmes provoqués par de grands mouvements ascendants et de haut en bas du sol fondamental sur beaucoup de bâtiments.

Le deuxième échantillon de sol était une bentonite du dépôt de Maghnia dans le nord-ouest de l'Algérie.

Ces deux sols étaient sujets à des plusieurs laboratoire l'identification examine suivant des procédures standard dans l'accord avec les normes d'AFNOR et de l'OIN (N-F P 94-051 ; N-F P 94-054 ; N-F P 94-056 ; N-F P 94-057 ; N-F P 94-068) La densité du Sol d'Ayaida (le sol A) était 2.55, et celui de la bentonite (le sol B) était 2.61. Selon le système unifié de classification des sols(USCS), le sol d'Ayaida est défini comme argile avec une basse-plasticité (CL). La bentonite de Maghnia est définie comme argile de haut-plasticité(CH) [TRO12].

3.3.2. La phase renforcement (Fibres de caoutchouc)

Des fibres en caoutchouc de pneu de chute peuvent être obtenues à partir des pneus par deux procédés principaux : (1) ambient, qui est une méthode dans à la laquelle le caoutchouc de pneu de chute est rectifié ou traité ou au-dessus de la température ambiante ordinaire ; et (2) cryogénique, un processus qui emploie l'azote liquide pour geler le caoutchouc de pneu de chute jusqu'à ce qu'il devienne fragile et puis emploie un broyeur à marteaux pour briser le caoutchouc congelé dans les particules douces

[CAL06]. La fibre en caoutchouc a été produite à partir de trois pneus utilisés d'automobile par le déchetage mécanique à la température ambiante. De l'acier a été enlevé par séparation magnétique, et textile par densité de 0.83 [TRO12]

Les caractéristiques de ces deux sols – fibre de caoutchouc sont regroupées dans le tableau (3.1)

Tableau.3.1.caractéristique des sols étudiés

	Limite de liquidité wL	Teneur en eau naturelle wn	Indice de plasticité (%)	Poids volumique des particules solides γ_d (KN/m ³)	Coefficient d'argilosité A	Fraction fine C< 2 μ m (%)
100% B	135	20	88	25.62	1.4	62.73
90%B+10%P	134	20	90	23.88	1.43	/
80%B+20%P	108	20	62	21.47	0.98	/
75%B+25%P	83	20	36	20.67	0.57	/
50%B+50%P	80	20	30	18.65	0.48	/
100% A	45	20	22	24.62	0.6	36.48
9%A+10%P	44	20	23	21.35	0.63	/
50%A+50%P	36	20	21	17.8	0.57	/
80%A+20%P	43	20	18	16.84	0.49	/
75%A+25%P	42	20	11	13.25	0.30	/

3.4 Mesure indirecte du potentiel de gonfle

Un nombre considérable d'approches empiriques introduites par différents auteurs pour évaluer le potentiel de gonflement des sols, en corrélation avec les limites de consistance, teneur en eau, la densité sèche et la profondeur des échantillons de sol [SEE62].

Le tableau 3.1 présente le potentiel de gonflement estimé des sols et de leurs mélanges selon de [SEE62] ; [DAK73] et [CHE88]

Tableau.3.2. *Potentiel de gonflement estimé (en fonction des limites d'Atterberg) des échantillons testés.*

Echantillon	Potentiel de gonflement estimé		
	Seed et al. (1962)	Daksanamurthy and Raman (1973)	Chen (1988)
100% A	Haut	Moyen	Haut
90% A +10 % P	Haut	Moyen	Haut
80% A +20 % P	Haut	Moyen	Haut
75% A +25 % P	Haut	Moyen	Haut
50% A +50 % P	Moyen	Moyen	Moyen
100% B	Très haut	Très haut	Très haut
90% B +10 % P	Très haut	Très haut	Très haut
80% B +20 % P	Très haut	Très haut	Très haut
75% B +25 % P	Très haut	Très haut	Très haut
50% B +50 % P	Haut	Très haut	Très haut

En se basant sur les paramètres géotechniques, une évaluation qualitative du potentiel de gonflement des argiles de la bentonite de Maghnia, et l'argile d'Oran sont effectuées selon la classification proposée dans la littérature. La comparaison des prévisions de potentiels de gonflement en utilisant cette classification est donnée par le tableau (3.2). D'après ce tableau nous avons constaté un bon accord général entre ces diverses classifications.

Les caractéristiques physiques sont de bons indicateurs pour l'estimation du gonflement des sols. Néanmoins, il reste à confirmer cette évaluation par les mesures directes du potentiel et de la pression de gonflement.

3.5. Analyse de Gonflement des sols étudiés

Les essais de laboratoire constituent des outils privilégiés pour mesurer les variations de volume dus au retrait-gonflement des sols. Afin d'apprécier l'aptitude à ce phénomène, des mesures de paramètres expérimentaux ont été réalisées.

Les résultats d'essais de gonflement libre au cours desquels les différences de comportement des sols (Argile de Ayaida et la bentonite de Maghnia), testés à l'état remanié, sont analysées. Enfin, sont présentés les résultats d'essai de gonflement, obtenus au moyen de deux procédures particulières : les essais de gonflement par la méthode de gonflement libre suivi d'une consolidation et par la méthode du volume constant. Les deux procédures fournissent les paramètres caractérisant la pression de gonflement.

3.6. Protocoles d'essai

Les essais de gonflement sont menés dans des moules œdométrique conventionnels et dans un moule cylindrique de type œdométrique selon la norme AFNOR XP P 94-091 sur tous échantillons compactés. Les échantillons cylindriques, de diamètre 50 mm et de hauteur 20mm.

Les échantillons ont été compactés statiquement dans le moule œdométrique en cinq couches, chacune de 4 mm d'épaisseur, à assurer une densité sec uniforme. Placement des échantillons dans des cellules œdométrique et application de la charge due au piston seulement. Alimentation en eau jusqu'à saturation des échantillons et lecture des déplacements en fonction du temps jusqu'à stabilisation des déformations verticales. Après cette phase, application des contraintes croissantes par palier sur l'échantillon jusqu'à le ramener à sa hauteur initiale. Afin de

comparer les résultats, on définit le pourcentage de réduction de gonflement S ($\Delta H/H$) (%). Ce facteur est le rapport de la différence de gonflement entre les essais avec poudrette de caoutchouc et l'essai de référence par rapport au gonflement maximal noté pour l'essai de référence. Le potentiel ($S\%$), et la pression de gonflement (p_s) ont été déterminées pour les sols et leurs mélanges. La pression de gonflement (p_s) a été déterminée à partir de la courbe e - $\log p$, l'indice des vides initial e des échantillons correspondant à la pression (Annexe 1).

Des essais de gonflement libre et de mesure de pression de gonflement sont menés sur les sols étudiés. Le potentiel de gonflement est déterminé par la méthode à gonflement libre et chargement progressif jusqu'au retour à la hauteur initiale (1^{ère} méthode) cite sous titre 1.9.2.3.a, la pression de gonflement (p_s) par la méthode à volume constant (2^{ème} Méthode) cite sous titre 1.9.2.3.c.

✓ *Première méthode*

Le protocole du gonflement libre est le suivant : après montage de l'éprouvette dans une cellule œnométrique, elle est soumise au processus d'imbibition sous une contrainte correspondant au poids du piston. Les déformations verticales sont mesurées, la déformation maximale rapportée à la hauteur initiale correspond au potentiel de gonflement. Une fois la déformation du gonflement stabilisée, le chargement s'effectue de manière progressive, par paliers, selon un taux de chargement choisi. La pression de gonflement correspond à la charge qu'il est nécessaire d'appliquer pour ramener l'éprouvette à sa hauteur initiale.

✓ *Deuxième méthode*

Dans la méthode à volume constant (ASTM, méthode C), l'éprouvette est soumise au processus d'imbibition tout en maintenant son volume constant. Pour ce faire, l'échantillon est soumis, avant humidification, à une pression verticale voisine des conditions in situ ou d'une pression de

gonflement estimée. Les déformations verticales sont empêchées en augmentant progressivement la charge appliquée. La pression nécessaire pour maintenir le volume constant est la pression de gonflement.

Il est nécessaire de rappeler ici que la compressibilité du sol et les particules de caoutchouc ainsi que l'eau interstitielle sont considérées comme négligeables par rapport à la compressibilité du squelette du sol.

3.7. Résultats

3.7.1. Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel de gonflement

Les fig.3.1 et 3.2 montrent la variation du potentiel de gonflement S en fonction le temps pour des échantillons de sol et les échantillons mélangés avec des teneurs en fibres de caoutchouc des pneus usés de 10%, 20%, 25% et 50%. Le taux de gonflement maximal noté est de 4.75 % indiquent le sol A, atteint en 26 jours, considérant que le sol B donne 15,75%, atteint en 28 jours. Le potentielle finale diminue pour les échantillons composites, à pratiquement la même durée pour les échantillons composites avec 10% de fibres de pneus, et en moins de temps pour des échantillons composites avec 20%, 25% et 50%. Les fig.3.1 et 3.2 indiquent que les fibres des pneus usés est très efficace pour réduire le potentiel de gonflement des sols A et B. Pour les deux sols, la réduction de l'augmentation le potentiel de gonflement progressivement avec la teneur en fibres.

Pour le sol A, la réduction du potentiel de gonflement est d'environ 13,7% pour le mélange avec 10% de la teneur en fibres, et varie de 31,6% à 36,8% pour respectivement 20% et 25% de la teneur en fibres. les échantillons ont été préparés à une teneur en eau de 20%, le caoutchouc peut absorber de 4% de son propre poids, le rapport eau d'argile au début de l'essai étaient d'environ 0,2, 0,22, 0,25, 0,25 et 0,36 pour des échantillons avec 0%, 10%, 20%, 25% et 50% de caoutchouc de pneus usés, respectivement: ceux-ci

peuvent être la raison de la réduction du temps nécessaire pour atteindre le maximum de potentiel de gonflement [BEK10]

Une réduction de 77.89% pour un taux de poudrette de 50%. On remarque que plus le taux de poudrette de caoutchouc augmente plus le gonflement de l'argile diminue.

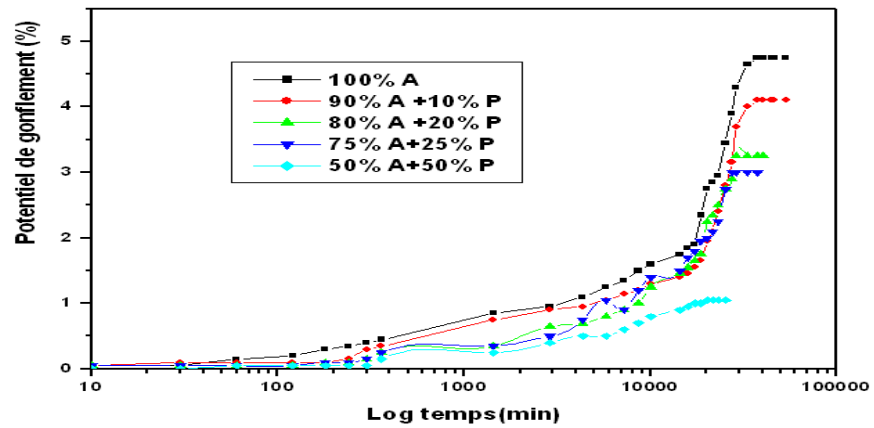


Fig. 3.1. Effet de la teneur en caoutchouc de pneus usés sur le potentiel de gonflement de sol A. [BEK10]

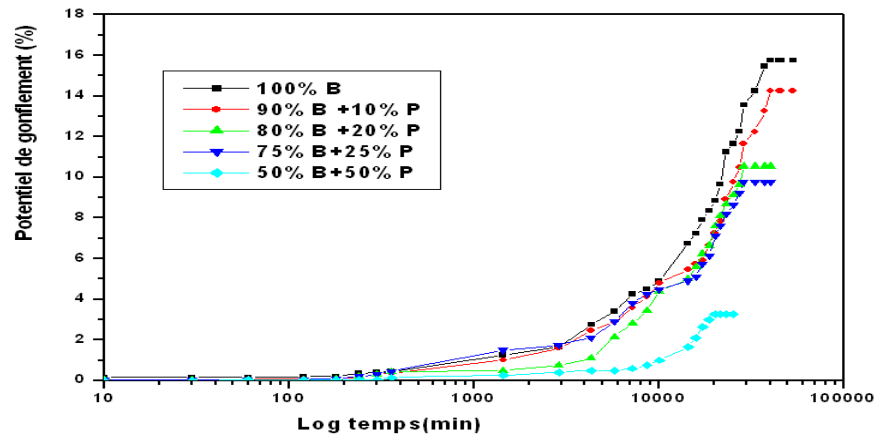


Fig. 3.2. Effet de la teneur en caoutchouc de pneus usés sur le potentiel de gonflement des sols B. [BEK10]

Pour le sol B mélangé à 10% de fibres de déchets de pneus, la réduction du potentiel de gonflement est d'environ 9,5%, alors que 20% de fibres des pneus usés, la réduction augmente à environ 33%. Une réduction supplémentaire du risque de gonflement du sol B est obtenue avec une augmentation de la durée. Le potentiel de gonflement de 50% bentonite/50% de fibres diminue à 3,25% en 14 jours (28 jours pour la bentonite seule) : Cette réduction du temps pris est certainement due à l'eau initiale, taux d'argile, qui étaient d'environ 0,2 et 0,36 pour les échantillons avec 0% et 50% de caoutchouc des pneus usés. La réduction du potentiel de gonflement par rapport au potentiel de gonflement de la bentonite seule augmentation progressive de 9% à 79% lorsque la teneur en fibres augmente de 10% à 50%

3.7.2. Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur la pression de gonflement

Les échantillons ont été préparés de la même procédure que pour la mesure le gonflement libre. Les résultats des essais sont montrés sur les courbes de l' (Annexe I).

Les fig.3.3 et 3.4 montrent les valeurs des pressions et les potentiels de gonflement pour les échantillons étudiés. La pression de gonflement p_s diminue avec la teneur en fibres de caoutchouc.

Pour le sol A, la pression de gonflement était de 65 kPa pour les échantillons de sol seul, tandis que les valeurs pour les échantillons composites à 10%, 20%, 25% et 50% de la teneur en fibres était de 51 kPa, 39 kPa, 36 kPa et 98 kPa, respectivement.

La pression de gonflement des sols B et ses mélanges diminue avec la teneur en fibres. La pression de gonflement était de 148 kPa pour les échantillons de bentonite, tandis que les valeurs pour les échantillons composites à 10%, 20%, 25% et 50% de la teneur en fibres étaient de 110 kPa, 74 kPa, 70 kPa et 36 kPa, respectivement (la fig.3.4).

Les valeurs de pression de gonflement du sol A était inférieur à la moitié de celles du sol B.

La réduction de la pression de gonflement des échantillons composites avec 50% de fibres était d'environ 75% et 57% pour les sols B et A, respectivement [TRO12]

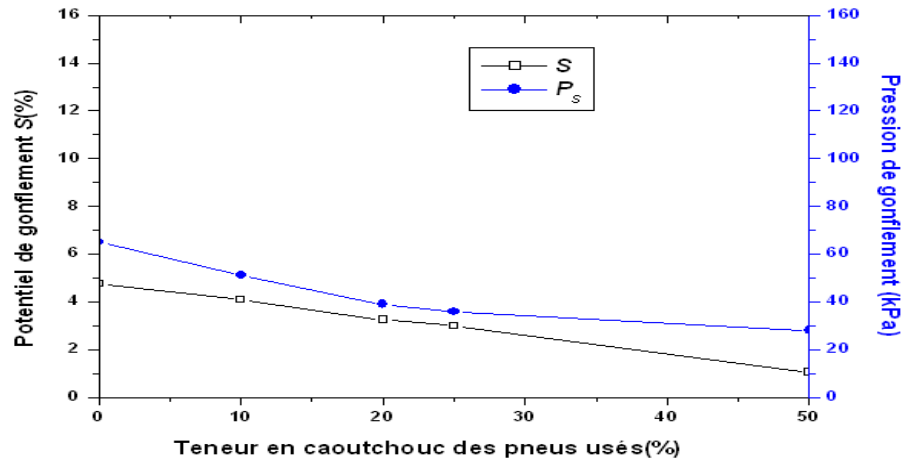


Fig.3.3. Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel et la pression de gonflement de sol A. [TRO12]

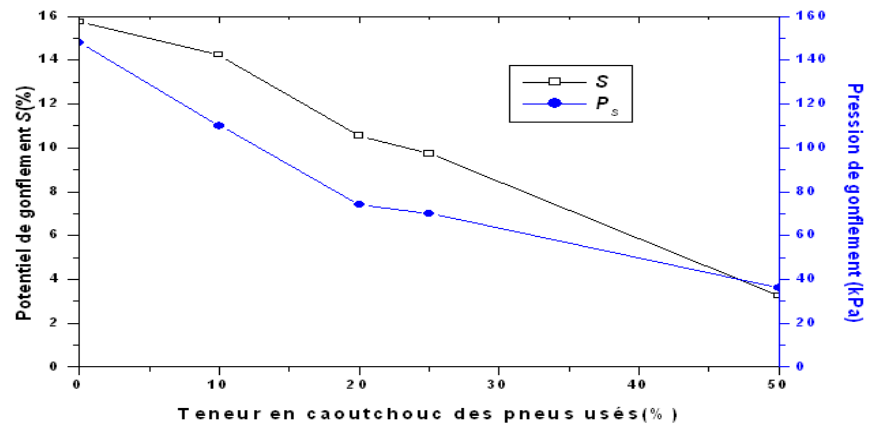


Fig.3.4. Effet de la teneur en caoutchouc des pneus usés sur le potentiel et la pression de gonflement de sol B [TRO12]

L'effet de la poudre de caoutchouc est similaire pour les deux argiles étudiées sur les paramètres du gonflement, plus le pourcentage augmente plus le gonflement libre et la pression de gonflement diminuent, à un pourcentage de 50% poudre, on constate à une diminution remarquable pour les deux argiles.

3.8. Modèles de prévision de gonflement

Les modèles utilisés pour la prévision de l'amplitude et la pression de gonflement ont été rapportés de la littérature et leurs expressions sont données dans le tableau 3.2. Ces modèles sont utilisés pour prédire le taux et la pression de gonflement des échantillons testés d'argile. Ces modèles empiriques mettent en relation les paramètres de gonflement avec les paramètres géotechniques déterminés à partir des essais d'identification.

Les modèles de Seed et al, ne tiennent pas compte la teneur en eau naturelle qui à notre avis reste un paramètre déterminant dans le processus de gonflement. Ces modèles n'utilisent que des paramètres interdépendants (la teneur en argile, l'activité et l'indice de plasticité), d'après les résultats de [AIS02].

D'après les résultats de [AIS02] modèle de Nayak et Christensen et le modèle de Vijayvergiya et Ghazzaly ne peuvent être utilisés pour des valeurs élevées de la teneur en argile, de la teneur en eau naturelle et de la limite de liquidité. Le premier modèle est basé sur des paramètres interdépendants, quant au second, il ne tient pas compte de la teneur en eau naturelle.

Le modèle de Johnson prédit globalement des pourcentages de gonflement dans des limites couramment observées en pratique. Ce dernier modèle semble être applicable d'après les applications [AIS02].

Une étude statistique a été effectuée sur les données disponibles des argiles de Tlemcen pour rechercher des modèles propres à ces sols. Ils ont donné les modèles pour l'amplitude du gonflement et la pression de gonflement. De plus ces modèles de Bekkouche et al. 2001 ; ont élaboré pour prédire le taux de et la pression gonflement utilisant les résultats de tests effectués sur soixante six échantillons intacts d'argiles expansives des régions d'Oran et de Tlemcen.

Les modèles empiriques utilisés ont été développés à partir de l'analyse des résultats obtenus, à la fois sur des sols compactés à l'optimum Proctor (équations 1,2, 3, 6, 7 et 12) et aussi, sur des sols naturels intacts à différentes teneurs en eau et différents poids volumiques secs (équations 4, 5,9, 10,11, 13,14 et 15).

Tableau.3.3. *Modèles de prévision testés pour le gonflement des sols étudiés.*

Modèles empiriques	Expression mathématique
Taux de gonflement (S %)	
Seed et al 1 (1962) (eq.1 et eq.2)	$S = 0,1670877.A.C+0,8221577$ $S = 2,16.10^{-3} (I_p)^{2,44}$ S et Ip sans unités (-)
Nayak et Christensen (1971) eq(3)	$S=0,0229.(I_p)1.45.C/W_n+6.38$
Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) (eq.4 et eq.5)	$\log S=1/19,5(6,242\gamma_d+0,65W_L-W_n-130,5)$ $\log S = 1/12(0,4W_L-W_n+5,5)$ γ_d (kN/m ³), w_L et w_n en chiffre décimal et S en pourcent.
Johnson et Snethen (1978) (eq.6)	$\log S = 0,036W_L - 0,0833W_n + 0,458$ S est le gonflement libre en pourcent ; w_L et w_n en chiffre décimal.
Seed et al 2 (eq.7) (Bekkouche et al, 2000c)	$S=0.1823723.I_p+0.4559623$
Bekkouche et Aissa Mamoune (2000) eq(8)	$\text{Log } S = - 0,1.Z+1,06.A - 0,22 \gamma_d - 0,04.W_n+ 0,8$

Pression de gonflement (Ps)	
David et Komornik (cités par Kabbaj, 1989) Eq(9)	$\log P_s = 2,08W_L + 0,00688\gamma_d - 2,69W_n + 0,132$ Ps en kPa ; wL et wn en chiffre décimal et γ_d en kN/m ³ .
Vijayvergiya et Ghazzaly(1973) eq(10) et eq (11)	$\log P_s = 1/19,5(6,24\gamma_d + 0,65W_L - 100)$ $\log P_s = 1/12(0,4W_L - 2,69W_n + 23,6)$ Ps en kPa, γ_d en kN/m ³ , wL et wn sont en chiffre décimal
Brackley (1975) (eq.12)	$\log P_s = (5.3-147e_0/ I_p)$; Ps en kPa
David et komornik (Bekkouche et al, 2000c) (eq.13)	$\log P_s = -0.0078182W_L + 0.006432451 \gamma_d - 0.00611536W_n + 1.1328183$
Bekkouche et Aissa Mamoune (2000) Eq(14) et eq (15)	$\log P_s = 0.01I_p + 1.26.\gamma_d - 0.008W_n - 0.1M - 2.179$ $\log P_s = -0.001W_n I_p + 0.024W_L + 0.1M - 0.713$

Dans les relations ci-dessus, A, C, Z, wn, wL, γ_d , Ip représentent respectivement l'activité, la teneur en argile (en pourcent), la profondeur (en m), la teneur en eau naturelle (en pourcent), la limite de retrait (en pourcent), la limite de liquidité (en pourcent), le poids volumique sec (en kN/m³), l'indice de plasticité. Le paramètre M est un facteur qui caractérise le poids de la procédure utilisée pour mesurer le paramètre en question. Ce paramètre est égal à 1 pour la procédure du gonflement libre [DJE42]. Pour l'amplitude et la pression du gonflement, les résultats des modèles restent discutables à cause des écarts constatés entre les mesures directes et les calculs estimés par programmation de 'Scilab'.

3.9. Estimation du potentiel et pression de gonflement a l'aide de programmation de Scilab

Afin d'apprécier l'aptitude au gonflement des sols étudiés, des méthodes indirectes et directes sont employées. Les méthodes indirectes sont basées sur des paramètres déterminés à partir d'essais géotechniques simples. Les méthodes directes s'appuient sur la mesure de paramètres expérimentaux de gonflement obtenus par l'essai œdométrique. [DJE42].

Après choisir les modèles empirique et pour faciliter les calculs on a travaillé avec le logiciel de calcul <Scilab> : abréviation de « scientific laboratory », est un logiciel de calcul scientifique développé depuis 1990 par L'INRIA « Institut National des Recherches en Informatique et en Automatique de France » et L'ENPC « Ecole National des Ponts et Chaussées de Paris ».il est téléchargeable gratuitement a l'adresse <http://www.scilab.org>.

Scilab est particulièrement adapté au calcul numérique matriciel possède un certain nombre de fonctions graphiques, et est relativement simple d'utilisation .Ce logiciel « freeware » est équivalent au logiciel Matlab pour les fonctions de base.

Le Scilab est un environnement agréable pour faire du calcul numérique et il permet d'accéder de façon aisée à des méthodes usuelles de cette discipline, par exemple :

- ✓ Résolution de systèmes linéaires,
- ✓ Calcul de valeurs propres, vecteurs propres,
- ✓ Transformée de Fourier rapide,
- ✓ Plusieurs méthodes de résolution d'équations différentielles et d'équations aux dérivées partielles,
- ✓ Plusieurs algorithmes d'optimisation,
- ✓ Résolution d'équations non-linéaires

D'autre part, Scilab dispose aussi de toute une batterie d'instructions graphiques, de bas-niveau (comme tracer un polygone) et de plus haut niveau (pour visualiser des courbes, des surfaces (Voir Fig.3.5) ainsi que d'un langage de programmation assez simple mais puissant et agréable car il intègre les notations matricielles. [BRU03].

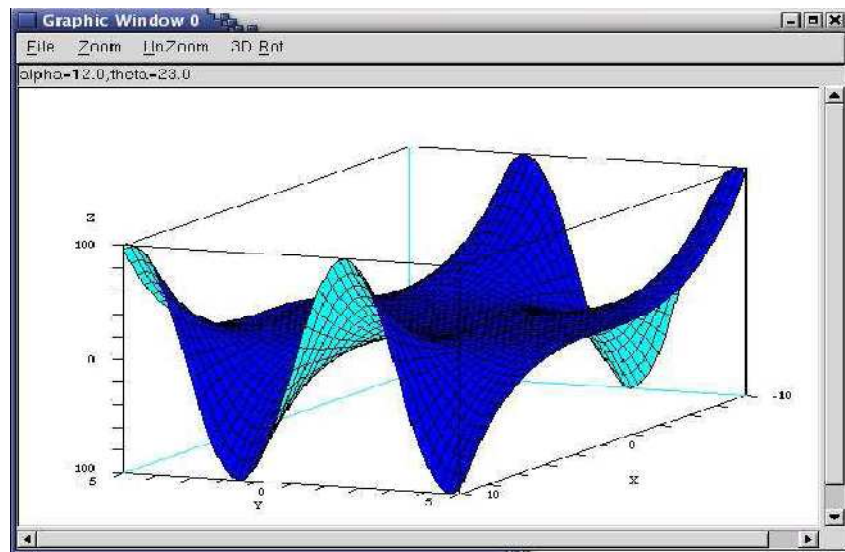


Fig.3.5. Une fenêtre graphique 3D (Chancelier J.Ph, 2004)

3.9.1. L'interface de SCILAB

Il existe deux moyens d'utiliser un programme (ou une fonction) :

a. La fenêtre console :

A l'intérieur de cette fenêtre (figure 3.6), on peut rentrer une suite d'instructions sur la ligne matérialisée par une flèche --> qu'exécutera ensuite le logiciel. Si l'instruction est suivie d'un point virgule, elle est simplement exécutée. Si elle est suivie d'une virgule ou simplement d'un return / entrée le résultat apparaît dans la fenêtre. Dans le cas où l'instruction ne comporte pas d'affectation (signe =) à une variable, le résultat apparaît à la suite du mot "ans" (answer=réponse). Les appels à des fonctions graphiques entraînent l'ouverture d'une fenêtre spécifique. Les instructions très longues peuvent être tapées sur plusieurs lignes en utilisant le symbole de continuation ... à la fin de la ligne.

Les valeurs prises par les différentes variables au terme de l'exécution sont conservées en mémoire et il est possible (et parfois utile) d'afficher l'une

d'elles a posteriori en tapant simplement son nom. Une remarque importante dans l'utilisation de Scilab, c'est que l'historique des instructions entrées depuis le début de la session sur la ligne de commande est accessible par pressions successives de la flèche vers le haut du clavier (↑), c'est-à-dire, cette touche permet de rappeler les lignes précédentes sans qu'il soit utile de les retaper, comme par exemple l'exécution du fichier de programme sauvegardé depuis l'éditeur. Enfin, à noter aussi que pour effacer les données en mémoire (par exemple avant d'exécuter un nouveau calcul), il suffit d'utiliser la commande "clear" [MAI09].

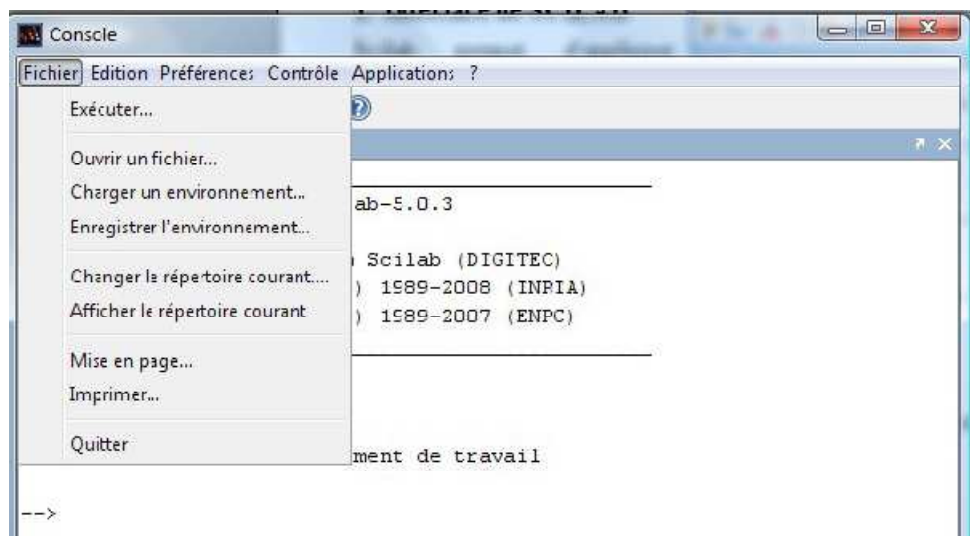


Fig.3.6. La fenêtre console du logiciel Scilab (Marie Postel, 2009)

b. L'éditeur Scipad :

Depuis la version 2.7 Scilab propose un éditeur Scipad (fig.3.7) intégré permettant d'écrire les scripts sans sortir de l'environnement. L'utilisateur peut aussi démarrer un éditeur que l'on peut trouver dans l'onglet Applications (le Bloc Note de Windows ou tout autre éditeur simple peut également convenir). Une fois le programme ou la suite de fonctions

enregistrés dans un fichier (normalement au format `.sce` ou `.sci` mais Scilab peut ouvrir les fichiers `.txt`), il faut aller dans l'onglet Fichier de Scilab pour l'exécuter ou bien dans l'onglet Exécuter de l'éditeur

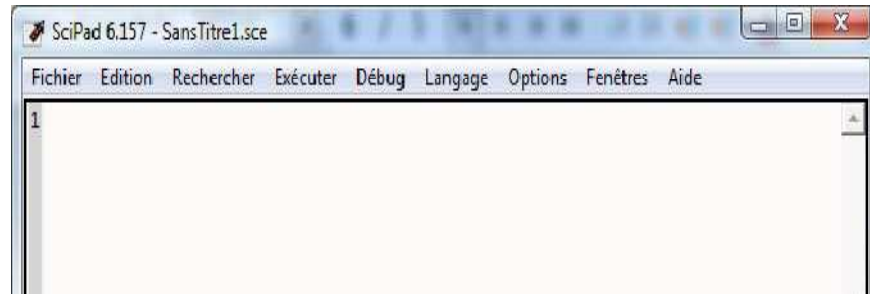


Fig.3.7. L'éditeur Scipad (Marie Postel, 2009)

Dans le cas de l'utilisation de l'éditeur Scipad (fig.3.7), les instructions sont soit séparées d'une virgule (et dans ce cas, l'affichage du contenu va s'effectuer), soit elles sont séparées d'un point virgule et dans ce cas, les affichages successifs des calculs ne sont pas permis. [MAI09].

3.10. Résultats et discussions

3.10.1. Le taux et la pression de gonflement

Afin de tester l'efficacité des nombreux modèles empiriques de Préviation proposes par différents auteurs, celles-ci ont été appliquées à des sols gonflants, l'argile d'Ayaida et la bentonite (taux de gonflement et pression de gonflement), en utilisant quelques modèles empiriques qui font intervenir en plus des paramètres géotechniques simples, les conditions initiales comme la teneur en eau et /ou le poids volumique sec (Tableau3.2).Les résultats des estimations de taux et pression de gonflement a l'aide de programmation de Scilab sont trouvées dans l'ANNEXES (II) et regroupes dans les tableaux (3.3-3.4). (La fig.3.8)

suivante montre le programme propose pour calculer le taux et la pression de gonflement.

```

SciPad 7.18.1 - Gonflement 01.sce
File Edit Search Execute Scheme Options Windows Help
1 // Gonflement
2 clc
3 clear global
4
5
6 texte=x_dialog(["Indice de plasticité Ip"], "");
7 Ip=evstr(texte)
8 texte=x_dialog(["limite de liquidité Wl"], "");
9 Wl=evstr(texte)
10 texte=x_dialog(["La teneur en eau Wn"], "");
11 Wn=evstr(texte)
12 texte=x_dialog(["Le poids volumique sec gamad "], "");
13 gamad=evstr(texte)
14 texte=x_dialog(["La profondeur prélèvement des échantillons Z"], "");
15 Z=evstr(texte)
16 texte=x_dialog(["L activité d argile A"], "");
17 A=evstr(texte)
18 texte=x_dialog(["La teneur en argile C"], "");
19 C=evstr(texte)
20 texte=x_dialog(["Le facteur qui caractérise le procédure utilise M"], "");
21 M=evstr(texte)

```

Fig.3.8. Programme propose pour le calcul de taux et pression de gonflement

Les résultats des estimations les taux et les pressions de gonflement sont donnés dans les tableaux (3.3-3.4). De grands écarts sont constatés entre les valeurs des paramètres de gonflement directement mesurées et celles fournies par les modèles. Ceci montre que, globalement, les modèles étudiés sont inadaptés pour estimer le gonflement des sols étudiés.

Seul pour le taux de gonflement de Bentonite de Maghnia est donné dans le tableau (3.3) estimé par les modèles de **Seed et al1(1962)** et **Seed et al2 (Bekkouche et al2000c)** reste globalement dans l'intervalle des valeurs mesurées expérimentalement. Ce modèle fait intervenir des paramètres qui semblent déterminants dans le comportement gonflant des ces argiles : la teneur en eau naturelle Poids volumique des particules solides γ_d et la limite de plasticité. La valeur estimée donne des résultats proches de ceux obtenus expérimentalement. ; sont données dans (la fig.3.5)

Par rapport les taux de gonflement dans d'Argile d' Ayaida estimé sont donnés dans le tableau (3.3) le modèle de **Seed el al1(1962)** et **Seed el al2 (Bekkouche et al2000c)** donne des valeurs de pression de gonflement dans l'intervalle des valeurs mesurées expérimentalement; sont données dans (la fig.3.6)

Les modèles de Vijayvergiya et Ghazzaly, de Johnson et Snethen sous-estiment le taux de gonflement Bentonite de Maghnia et l'Argile d' Ayaida et sur estiment le taux de gonflement d'autre Argile dans autre site.

La pression de gonflement de Bentonite de Maghnia est donnée dans le tableau (3.4) estimé par le modèle de **Vijayvergiya et Ghazzaly1** et reste globalement dans l'intervalle des valeurs mesurées expérimentalement. Ce modèle fait intervenir des paramètres qui semblent déterminants dans le comportement gonflant des ces argiles : la teneur en eau naturelle Poids volumique des particules solides γ_d et la limite de liquidité. La valeur estimée donne des résultats proches de ceux obtenus expérimentalement; sont données dans (la fig.3.7).

La pression de gonflement d'Argile d' Ayaida est donnée dans le tableau (3.4) estimé par le modèle de **Vijayvergiya et Ghazzaly1** reste globalement dans l'intervalle des valeurs mesurées expérimentalement. Ce modèle fait intervenir des paramètres qui semblent déterminants dans le comportement gonflant des ces argiles : la teneur en eau naturelle Poids volumique des particules solides γ_d et la limite de liquidité ; sont données dans (la fig.3.8)

Les modèles de David et Komornik (1989) David et Komornik (Bekkouche et al 2000c) Vijayvergiya et Ghazzaly, de Johnson et Snethen sous-estiment le taux de gonflement Bentonite de Maghnia et l'Argile d' Ayaida et sur estiment le taux de gonflement d'autre Argile dans autre site

Tableau 3.4. Taux de gonflement mesuré et estimé pour les sols étudiés.

Echantillons	Taux de gonf. Mesuré (%)	Taux de gonflement estimé (%)							
		Eq1	Eq2	Eq3	Eq4	Eq5	Eq6	Eq7	Eq8
		100% B	15.75	15.50	119.9	/	34.95	3.07	3.09
90%B +10% P	14.25	15.81	126.7	/	9.69	3.06	3.08	16.87	/
80%B +20% P	10.55	11.09	51.0	/	1.61	3.00	3.02	11.76	/
75%B +25% P	9.75	6.80	13.5	/	0.87	2.94	2.96	7.02	/
50%B +50% P	3.25	5.85	8.68	/	0.20	2.93	2.95	5.93	/
100% A	4.75	4.48	4.07	/	15.61	2.861	2.867	4.47	/
90%A +10% P	4.1	4.66	4.54	/	1.40	2.859	2.865	4.65	/
80%A +20% P	3.25	4.30	3.64	/	0.10	2.857	2.862	4.29	/
75%A +25% P	3.00	3.81	2.50	/	0.05	2.855	2.86	3.74	/
50%A +50% P	1.05	2.65	0.75	/	0.004	2.842	2.846	2.46	/

Tableau 3.5. Pression de gonflement mesurée et estimée pour les sols étudiés.

Echantillons	Pression de gonf. Mesuré (KPa)	Pression de gonflement estimé (KPa)						
		Eq9	Eq10	Eq11	Eq12	Eq13	Eq14	Eq15
100% B	148	334.4	1390.9	92.65	/	20.27	/	/
90%B +10% P	110	310.1	385.5	92.57	/	19.76	/	/
80%B +20% P	74	85.92	63.2	90.75	/	18.97	/	/
75%B +25% P	70	25.62	33.97	89.02	/	18.67	/	/
50%B +50% P	36	21.49	7.64	88.82		18.12	/	/
100% A	65	4.42	595.1	86.46	/	19.66	/	/
90%A +10% P	51	4.00	53.41	86.40	/	18.72	/	/
80%A +20% P	39	3.60	3.90	86.33	/	17.76	/	/
75%A +25% P	36	3.38	1.92	86.26	/	17.51	/	/
50%A +50% P	28	2.40	0.14	85.87	/	16.58	/	/

3.10.2. Comparaison des résultats estimés du taux et la pression de gonflement avec ceux expérimentaux.

Afin d'évaluer l'applicabilité et l'utilité des nombreux modèles empiriques de Préviation proposes par différents auteurs, une comparaison entre l'estimation directe et indirecte du taux et de pression de gonflement dans les tableaux ci-dessus (3.3 et 3.4). Cette comparaison sera présentée dans (les fig.3.5-3.6-3.7-3.8) pour les deux sols étude.

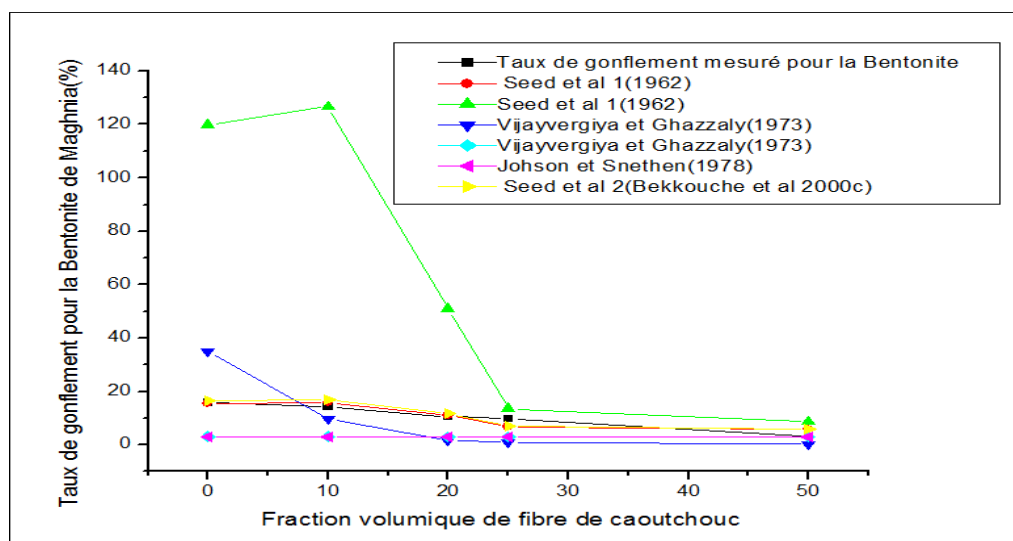


Fig.3.5. Taux de gonflement estimé et mesurée pour la Bentonite

Commentaire

Un grand écart est constate entre les valeurs des paramètres de taux de gonflement directement mesurées et celles fournies par les modèles .seul le modèle correspondant a **Seed et al1(1962)** et **Seed et al2 (Bekkouche et al2000c)** (fig.3.5), donne des résultats proches a ceux obtenue expérimentalement.

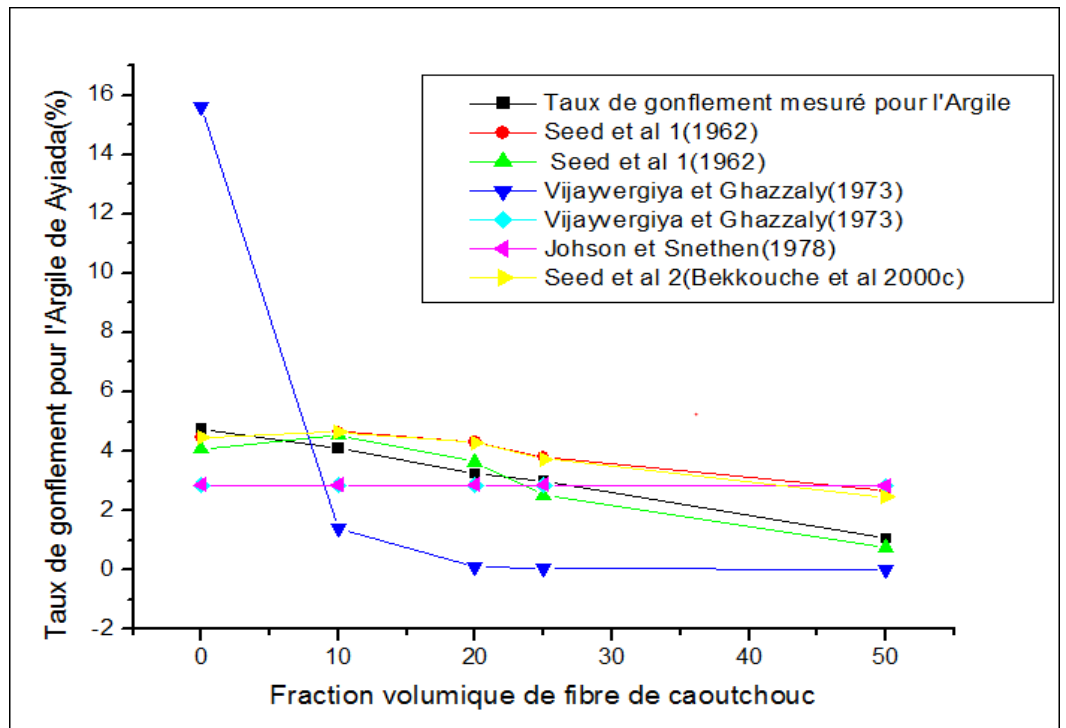


Fig.3.6. Taux de gonflement estimé et mesuré pour l'Argile

Commentaire

Un grand écart est constate entre les valeurs des paramètres de pression de gonflement directement mesurées et celles fournies par les modèles .seul le modèle correspondant a **Seed et al1(1962)** et **Seed et al2 (Bekkouche et al2000c)** (figure3.6), donne des résultats proches a ceux obtenue expérimentalement.

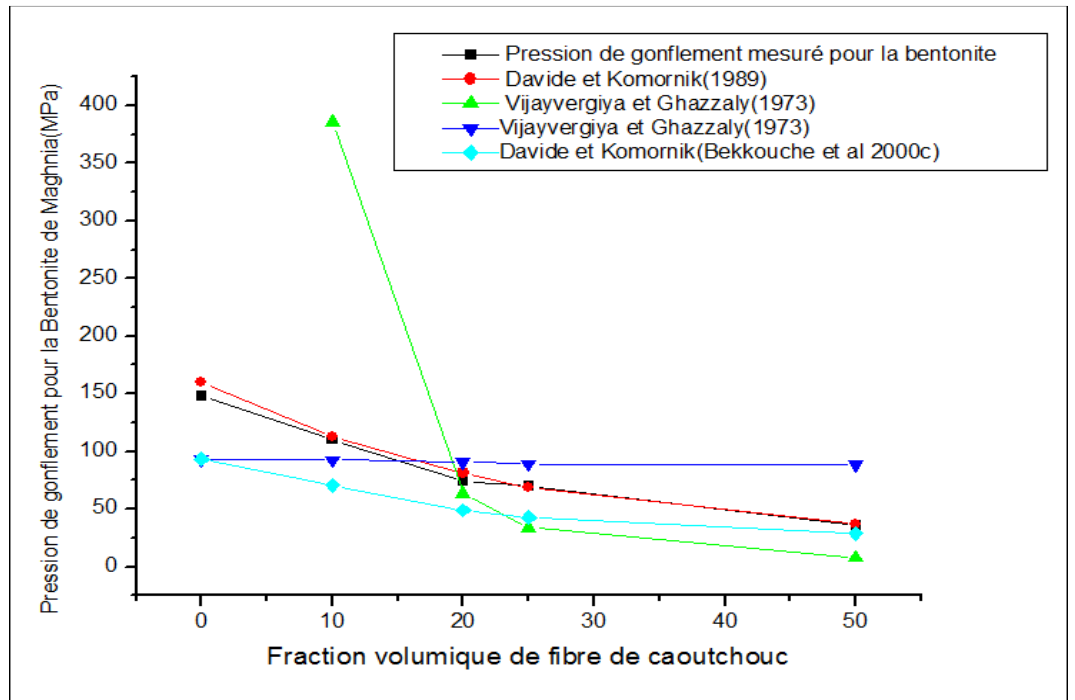


Fig.3.7. *Pression de gonflement estimé et mesurée pour la Bentonite*

Commentaire

Un grand écart est constaté entre les valeurs des paramètres de pression de gonflement directement mesurées et celles fournies par les modèles. Seul le modèle correspondant à **Vijayvergiya et Ghazzaly1** (figure 3.7), donne des résultats proches à ceux obtenus expérimentalement.

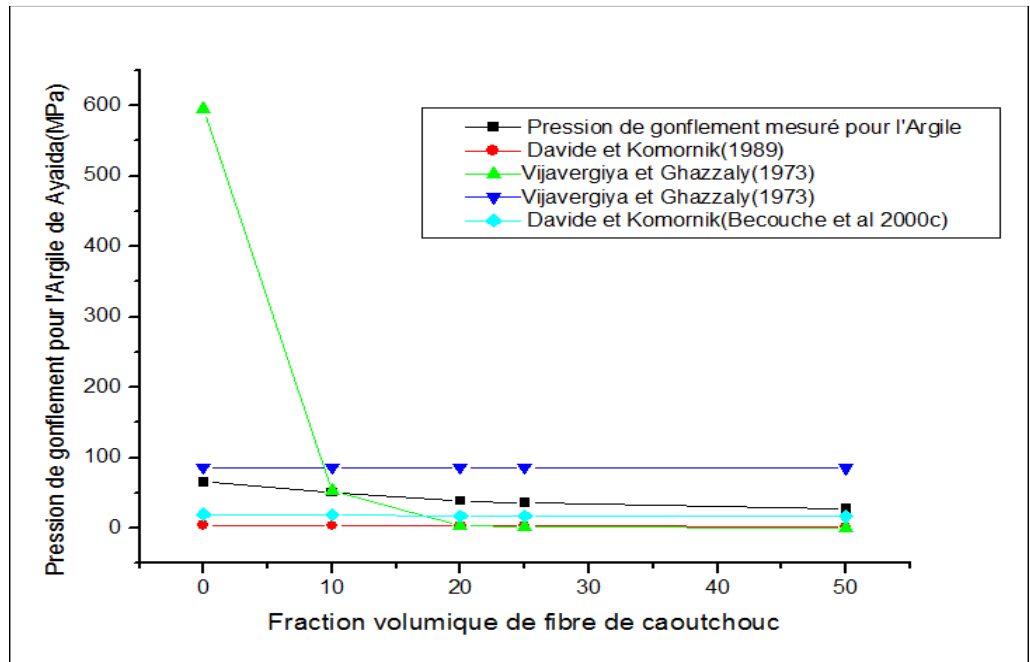


Fig.3.8. *Pression de gonflement estimé et mesurée pour l'Argile*

Commentaire

Un grand écart est constate entre les valeurs des paramètres de pression de gonflement directement mesurées et celles fournies par les modèles .seul le modèle correspondant a **Vijayvergiya et Ghazzaly1** (figure3.8), donne des résultats proches a ceux obtenue expérimentalement

3.11. Conclusion

Sachant que les essais de mesure des paramètres de gonflement sont longs et coûteux, il serait très intéressant de pouvoir obtenir rapidement une première estimation de ces paramètres. L'utilisation des modèles mathématiques offre cette possibilité.

Les résultats donnés par ces modèles montrent que la diminution des paramètres du gonflement est proportionnelle aux pourcentages de la poudrette de caoutchouc. Plus le pourcentage de poudrette de caoutchouc n'augmente, plus le potentiel et la pression de gonflement diminuent selon les deux méthodes directes (expérimentales) et indirectes (estimation mathématique).