



**Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique**

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de GENIE CIVIL



MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER



(Dans le cadre du décret ministériel 1275)

Diplôme-Startup / Diplôme-Brevet



FILIERE : Génie Civil SPECIALITE : Géotechnique

Par:

SEDDIKI Aymen & MAHMOUDI Amar Abdelhamid

THEME

***ELABORATION D'UNE NOUVELLE TECHNIQUE D'AMELIORATION DES SOLS :
UTILISATION DES FIBRES DE POLYPROPYLENE ET DES BIOPOLYMERES***

Soutenu devant le jury composé de Messieurs :

MENASRI Abderrazak, M.C.A., Université Med Boudiaf - M'sila, Président

AMRIOU Abderrachid, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Examineur

AZZEDDINE A. Raouf, Professeur, Université Med Boudiaf - M'sila, Incubateur

MIMOUNE Mohamed, Ingénieur, DTP - M'sila, Partenaire Economique

MEDDAH Abdelaziz, Professeur, Université Med Boudiaf - M'sila, Encadreur

SEDDIKI Ahmed, M.C.A, Université Med Boudiaf - M'sila, Co-Encadreur

Promotion : 2022/2023

Résumé

L'amélioration des propriétés mécaniques des sols à faible résistance (comme que les argiles à haute plasticité) est un aspect important de l'ingénierie géotechnique. La stabilisation des sols argileux inclut l'incorporation de matériaux inertes (sols pulvérulents), de substances chimiques (comme le ciment, la chaux ou des additifs industriels) ou l'utilisation des éléments discrets aléatoirement distribuées (fibres naturelles ou synthétique). Bien que tous ces additifs soient mélangés aux sols de faible résistance, la question se pose de savoir s'il est possible d'atteindre une combinaison optimale avec l'association des agents de traitement de différente nature. Puisque, chacun de ces additifs contribue à l'amélioration de la résistance du sol de manière différente (remplacement du sol, liaison chimique des particules du sol et renforcement du sol), et la littérature indique que chaque technique a ses limites.

Cette étude examine l'efficacité de l'amélioration des propriétés géotechniques d'une argile à haute plasticité prélevée de la région de Sidi Hadjres (Wilaya de M'sila) avec un effet combiné des fibres de polypropylène (PP) et les Biopolymères (Xanthan). Les fibres ont été ajoutées en différents pourcentages (0,3 ; 0,6 ; 0,9 et 1,2 %) par rapport à la masse totale du sol, tandis que le biopolymère a été ajoutés en trois pourcentages (1, 2 et 3 %). Les échantillons, préparés en combinant ces trois techniques d'amélioration des sols, ont été comparés en termes de propriétés mécaniques (résistance en compression uniaxiale et indice de portance). Les résultats expérimentaux démontrent que la combinaison de ces additifs peut considérablement améliorer la résistance et la ductilité des sols, ce qui avantageux pour les ouvrages géotechniques.

Mots-clés : argile, fibres de polypropylène, biopolymère, amélioration, résistance

Table des matières

1. Contexte de l'étude.....	8
2. Techniques de traitement usuelles.....	10
3. Concept de Renforcement des sols par des fibres.....	11
4. Description de la région d'étude.....	13
5. Programme expérimental et procédures d'essais.....	15
5.1. Matériaux.....	15
5.2. Procédures.....	17
6. Résultats et analyse.....	20
6.1. Introduction.....	20
6.2. Résultats des Essais.....	20
6.2.1. Effet de des fibres PP sur la résistance en compression.....	20
6.2.2. Interprétation des résultats.....	21
7. Conclusion générale.....	22
8. Références.....	23

Liste des Tableaux

Tableau 1. Propriétés physiques et mécaniques du sol de Sidi Hadjeres.....	16
Tableau 2. Composition chimique du sol de Sidi Hadjeres.....	16
Tableau 3. Caractéristiques techniques des fibres de Polypropylènes PP.....	16

Liste des figures

Figure 1. Désordres provoqué par la variation volumique du sol de fondation du site fissuration des murs et ouverture du joint de dilatation.....	9
Figure 2. La stabilisation mécanique : terre armée (gauche), sols fibreux (droite).....	10
Figure 3. Concept de Renforcement des sols par des fibres.....	12
Figure 4. Localisation de la commune de Sidi Hadjeres et du site de prélèvement.....	13
Figure 5. Carte géologique simplifiée de la commune de Sidi Hadjeres.....	13
Figure 6. Températures mensuelles moyennes.....	14
Figure 7. Variation annuelle des précipitations de la station de Msila (1991-2005).....	14
Figure 8. Granulométrie du sol de Sidi Hadjeres.....	15
Figure 9. Appareillage d'analyse granulométrique (tamisage et sédimentométrie).....	17
Figure 10. Limites d'Atterberg de liquidité.....	18
Figure 11. Essai de compression simple.....	18
Figure 12. Essai CBR.....	19
Figure 13. Courbe de compression simple du sol traité par fibres PP de 6mm de long.....	20
Figure 14. Courbe de compression simple du sol traité par fibres PP de 12mm de long....	21

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'objectif du traitement des sols est d'améliorer leurs propriétés mécaniques afin de les rendre plus résistants et plus stables. Les sols naturels peuvent présenter des caractéristiques insuffisantes pour supporter les charges et les contraintes appliquées par des structures, ce qui peut entraîner des problèmes de stabilité et de sécurité. Le traitement vise donc à renforcer les sols afin de garantir qu'ils peuvent soutenir efficacement les structures et prévenir les tassements excessifs, les glissements de terrain, les affaissements différentiels, etc. Les techniques de traitement des sols peuvent également être utilisées pour améliorer d'autres propriétés du sol, telles que la perméabilité, la plasticité, la compacité, la résistance à l'érosion, etc. Cela peut être nécessaire dans le cadre de projets de construction, de routes, de fondations de bâtiments, de digues, de barrages, de talus, de remblais, et d'autres ouvrages nécessitant un sol stable et résistant.

Le traitement des sols à problème géotechnique présente plusieurs avantages, notamment :

- Amélioration de la capacité portante, c qui permet de soutenir efficacement les charges des structures et de prévenir les affaissements ou les tassements excessifs ;
- Stabilisation des sols instables (argiles gonflantes, sols meubles ou érosifs), ce qui permet de réduire les risques de glissements de terrain, d'affaissements différentiels ou d'autres mouvements indésirables du sol ;
- Réduction de la déformabilité du sol, ce qui permet de prévenir les dommages aux structures causés par ces déformations ;
- Amélioration de la résistance à l'eau (réduction de la perméabilité), ce qui permet de corriger les problèmes liés aux infiltrations d'eau dans le sol ;
- Réduction des coûts de construction. En traitant les sols problématiques, on peut éviter des mesures de construction plus coûteuses, telles que l'excavation profonde, le remplacement complet du sol ou l'utilisation de fondations spéciales ;
- Durabilité : En renforçant les sols, on améliore la stabilité et la résistance des structures construites sur ces sols. Cela contribue à leur durabilité à long terme.

Des désordres importants apparaissent fréquemment dans les voiries et réseaux divers, ainsi que dans les constructions de faible hauteur, édifiées dans la région (Mekki, 2019).



Figure 1. Désordres provoqué par la variation volumique du sol de fondation du site
fissuration des murs et ouverture du joint de dilatation

2. TECHNIQUES DE TRAITEMENT USUELLES

Le traitement des sols vise à modifier leurs caractéristiques physico-chimiques et mécaniques.

Il existe principalement deux familles de techniques de traitement ou de stabilisation des sols en géotechnique :

- La stabilisation mécanique : compactage, drainage, remplacement partiel du sol ou l'incorporation des éléments plus résistants, continus (terre armée) ou discontinus (fibres).
- La stabilisation chimique : incorporation des liants hydrauliques (ciment et/ou chaux) ou d'agents industriels.

Toutefois, le choix d'une méthode de traitement s'appuie principalement sur l'aspect technique du projet (faisabilité, nature du sol, disponibilité des produits de traitement et des moyens, compétence), des considérations économiques (coût, durée de l'opération de traitement, la disponibilité des produits de traitement et des moyens) et parfois des conditions environnementales.

La figure ci-dessous montre deux types de stabilisation par terre armée et sols fibreux (CHAA, 2020).

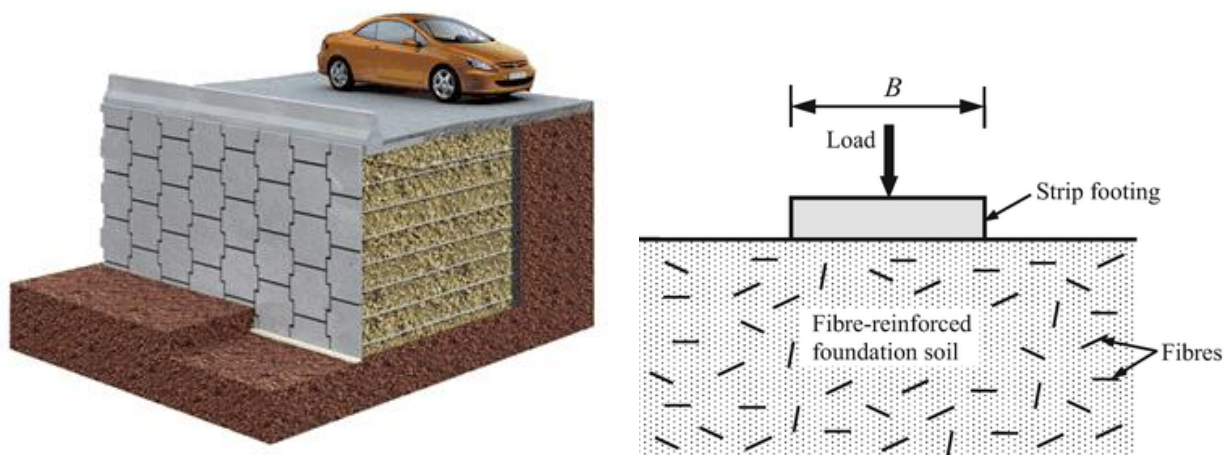


Figure 2. La stabilisation mécanique : terre armée (gauche), sols fibreux (droite)

3. CONCEPT DE RENFORCEMENT DES SOLS PAR DES FIBRES

Le sol renforcé par des fibres est un concept géotechnique qui consiste à incorporer des fibres discrètes dans le sol pour améliorer ses propriétés mécaniques. Les fibres utilisées généralement des matériaux naturelles (fibres végétales) ou synthétiques tels que le polypropylène ou le polyester, qui sont mélangés avec la matrice du sol. L'ajout de fibres renforce le sol, améliorant sa résistance, sa ductilité et ses performances globales. Les éléments clés liés au sol renforcé par des fibres peuvent se résumer comme suit :

1. Types de fibres : Différents types de fibres peuvent être utilisés dans ce concept, notamment des fibres distribuées de manière aléatoire, des fibres orientées ou des géogrilles. Les fibres distribuées de manière aléatoire sont couramment utilisées et offrent un renforcement isotrope du sol, tandis que les fibres orientées ou les géogrilles offrent un renforcement anisotrope, renforçant le sol dans des directions spécifiques.
2. Mécanismes de renforcement : Les fibres contribuent au renforcement du sol par divers mécanismes. Elles augmentent la résistance à la traction du sol en comblant les fissures ou les vides, répartissent les charges appliquées de manière plus uniforme et limitent les déformations du sol. Les fibres peuvent également améliorer la résistance au cisaillement du sol en offrant une résistance au frottement supplémentaire.
3. Teneur et orientation des fibres : La teneur et l'orientation des fibres dans le mélange de sol ont un impact significatif sur les performances du sol renforcé. La teneur optimale en fibres dépend de facteurs tels que le type de sol, les exigences du projet et l'amélioration souhaitée des propriétés du sol. L'orientation des fibres peut être importante pour atteindre des objectifs de renforcement spécifiques, tels que l'amélioration de la stabilité des pentes ou le contrôle des tassements.
4. Interaction sol-fibre : L'interaction entre les particules du sol et les fibres joue un rôle crucial dans le FRS. Les fibres doivent avoir une bonne liaison ou un bon verrouillage avec la matrice du sol pour transférer efficacement les contraintes et fournir un renforcement. Des traitements de surface ou des additifs chimiques peuvent être utilisés pour améliorer l'interaction sol-fibre et assurer une meilleure liaison entre les fibres et le sol.

5. Applications : Le FRS a diverses applications en génie géotechnique. Il est couramment utilisé dans la stabilisation des pentes, les murs de soutènement, les remblais, la construction de routes et de chemins de fer, et le contrôle de l'érosion. Le FRS peut améliorer les performances des sols faibles ou problématiques, réduire les coûts de construction et prolonger la durée de vie des structures.
6. Considérations de conception : La conception des systèmes FRS consiste à évaluer les exigences spécifiques du projet, en tenant compte de facteurs tels que les conditions du sol, les charges et les conditions environnementales. Des méthodologies de conception et des lignes directrices, comprenant la sélection des fibres, la détermination de la teneur en fibres et l'analyse de la stabilité, sont utilisées pour garantir l'efficacité et la sécurité de la solution FRS.

Le sol renforcé par des fibres s'est avéré être une technique polyvalente et efficace pour améliorer les propriétés mécaniques des sols, offrant une stabilité accrue et de meilleures performances dans diverses applications géotechniques.

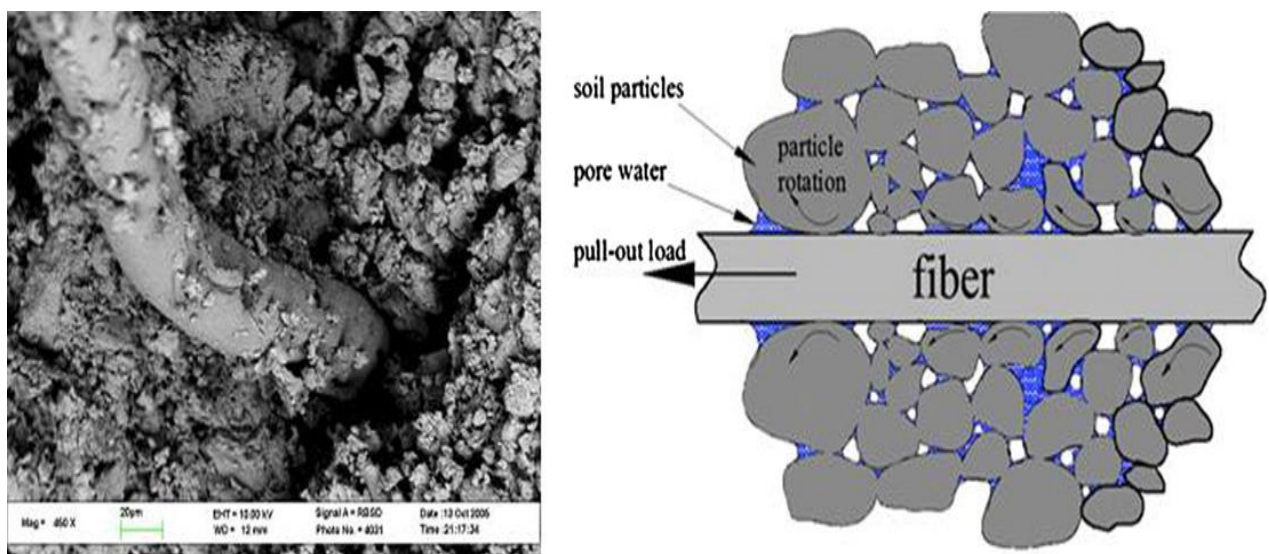


Figure 3. Concept de Renforcement des sols par des fibres

4. DESCRIPTION DE LA REGION D'ETUDE

Le site d'étude a pour coordonnées géographiques 35°40'30 "N et 4°02'16 "E, comme le montre la figure 4.

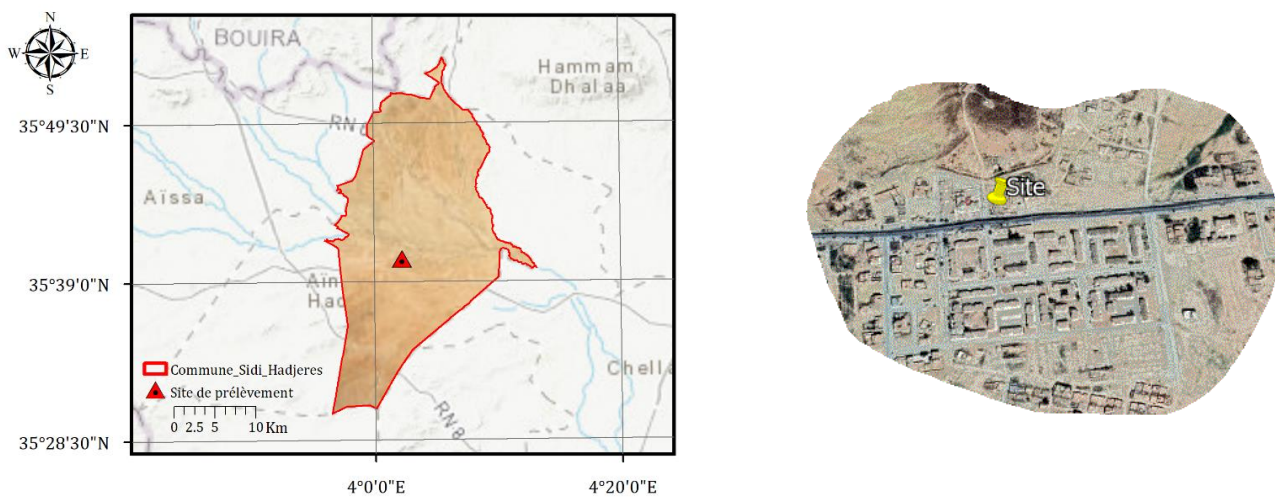


Figure 4. Localisation de la commune de Sidi Hadjeres et du site de prélèvement

La géologie de cette zone comprend des formations argileuses caractérisées par un fort changement de volume lorsque les conditions de leur équilibre sont modifiées (sécheresse prolongée, activité humaine).

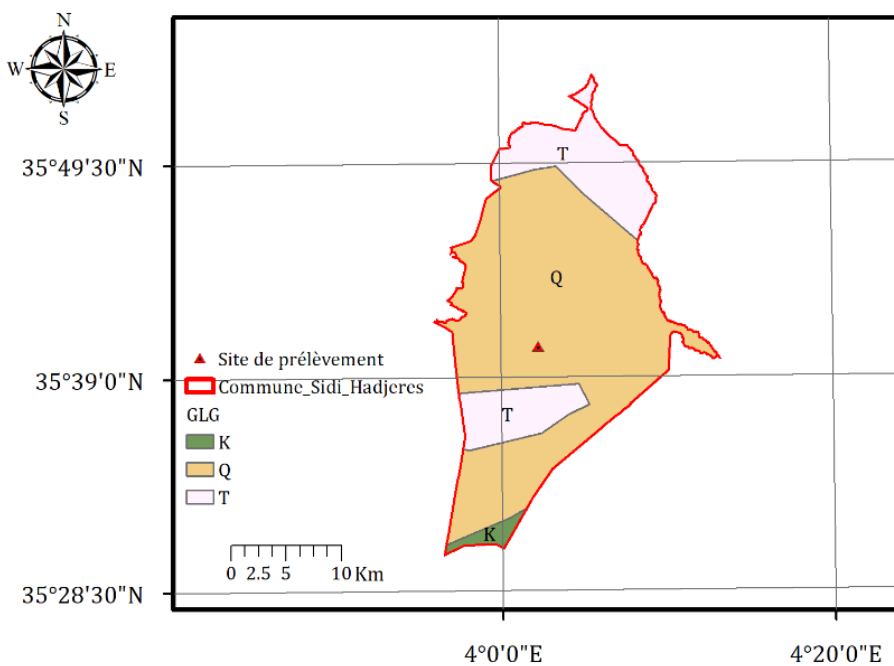


Figure 5. Carte géologique simplifiée de la commune de Sidi Hadjeres

La wilaya de Msila est située dans une zone au climat semi-aride, caractérisée par des précipitations faibles et des températures contrastées entre un hiver froid et humide et un été chaud et sec. La figure 6 présente les relevés mensuels typiques de température.

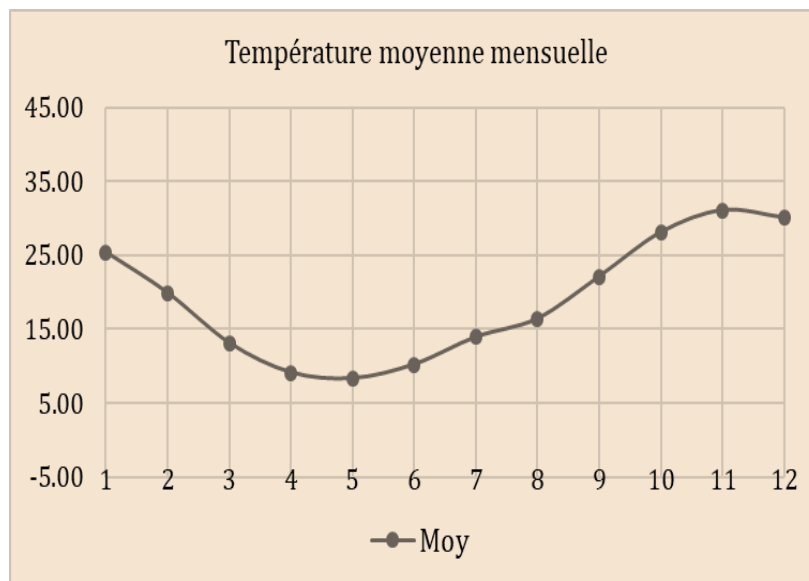


Figure 6. Températures mensuelles moyennes

Les précipitations annuelles pour différentes périodes au cours du siècle dernier sont représentées sur et la figure 7 (Nourine, 2013).

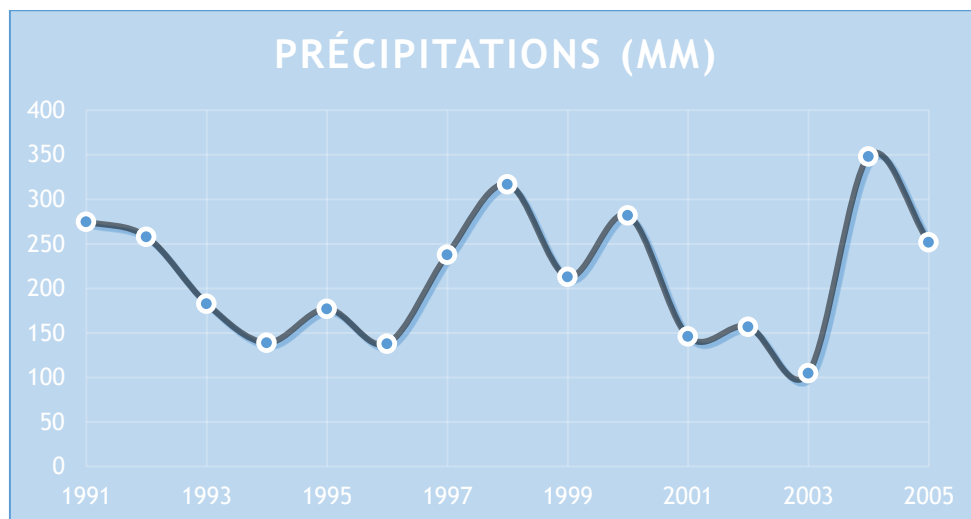


Figure 7. Variation annuelle des précipitations de la station de Msila (1991-2005).

5. PROGRAMME EXPERIMENTAL ET PROCEDURES D'ESSAIS

Cette étude a pour but d'étudier l'effet combinée des fibres de polypropylènes et du biopolymère sur les propriétés géotechniques de l'argile de Sidi Hadjeres. Outre les essais d'identification, le programme expérimental exécuté comporte des essais Proctor normal, essais de compression simple et CBR.

Le programme expérimental a été réalisé dans laboratoire du génie civil de l'université de Msila en parallèle avec le laboratoire du Bureau d'Etude et de Réalisation BERM de M'sila.

Le programme comprend deux volets, les essais d'identifications (analyse granulométrique (par tamisage et sédimentométrie, limites d'Atterberg) et les essais mécaniques (compression simple, CBR).

5.1. MATERIAUX

Argile de Sidi Hadjeres

L'argile utilisée dans la présente étude a été collectée dans la région de Sidi-Hadjeres à M'sila, sa granulométrie est représentée sur la figure 8 (Ben Younes Fouzia & Bouzidi, 2021).

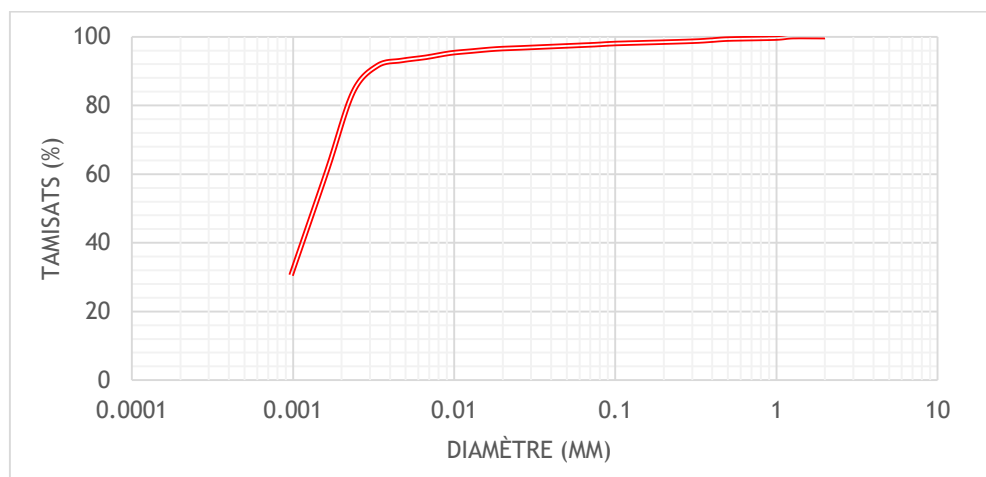


Figure 8. *Granulométrie du sol de Sidi Hadjeres*

Les tableaux 1&2 présentent dans l'ordre, les propriétés physiques et mécaniques et la composition chimique de ce sol. Ce sol est une argile de montmorillonite, qui, selon le système de classification USCS, est classifiée comme une argile à haute plasticité. De plus, il est caractérisé par un potentiel de gonflement très élevé selon les différents critères utilisés pour identifier les sols expansifs.

Tableau 1. Propriétés physiques et mécaniques du sol de Sidi Hadjeres

	Paramètre	Valeur
Propriétés physiques	Limite de Liquidité [%]	85.9
	Limite de Plasticité [%]	33.9
	Index de Plasticité	52
	VBS	9
	% passant < 80µm [%]	75
	% passant < 2mm [%]	98
	Gravité spécifique [g/cm ³]	2.7
	Classification USCS	CH
Caractéristiques de compactage	Teneur en eau optimale [%]	23.64
	Densité sèche maximale	1.5
Propriétés mécanique	UCS [kPa]	356-361
	Module d'élasticité E ₅₀	284
Caractéristiques de cisaillement	Cohésion [kPa]	16.4
	Angle de frottement [°]	14.3

Tableau 2. Composition chimique du sol de Sidi Hadjeres

Elément	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Na ₂ O
Pourcentage %	11.35	2.81	5.66	13.92	46.63	0.79	0.4

Les fibres de Polypropylènes PP disponibles localement sont utilisées comme éléments de renforcement. Les caractéristiques techniques de ces fibres sont données dans le tableau 4 (valeurs issues de fiches techniques).

Tableau 3. Caractéristiques techniques des fibres de Polypropylènes PP

Propriétés	Valeur
Longueur (mm)	6
Diamètre (mm)	0.034
Ratio (L/d)	176
Résistance (MPa)	350
Module d'élasticité (MPa)	3500

5.2. PROCEDURES

- Analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrie (NF P 94-057) (Mimoune & Laoufi, 2022):

Elle a pour but de déterminer la distribution des particules qui forment le squelette des sols en vue de leur classification. L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série des tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse (Figure 2). Les particules inférieures à 80 μm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'une défloculation. Les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et de la profondeur d'immersion de l'appareil (figure 7).



Figure 9. Appareillage d'analyse granulométrique (tamisage et sédimentométrie)

- Les limites d'Atterberg (NF P 94-051) : Les limites de consistance, constituent un indice important en géotechnique. Ces limites sont mesurées avec un appareillage normalisé (Figure 8_10), sur le mortier, c'est-à-dire la fraction de sol qui passe au tamis de 400 μm . Il est défini trois limites (Bouguerra & Chelali, 2022):
 - La limite de liquidité w_L : le passage d'un sol de l'état liquide de l'état plastique.
 - La limite de plasticité w_P : le passage d'un sol de l'état plastique de l'état solide.
 - L'indice de plasticité permet d'apprécier la quantité et le type d'argiles présentes dans un échantillon. Il définit donc l'argilosité de l'échantillon.



Figure 10. *Limites d'Atterberg de liquidité*

- Essai Proctor normal (NF P 94-093) : L'essai Proctor est un essai de compactage exécuté en laboratoire qui a pour but de déterminer la masse volumique sèche maximale et la teneur en eau optimale du sol étudié.

Les résultats sont traduits sous forme d'un graphique reprenant, en abscisse la teneur en eau au compactage et en ordonnée la masse volumique sèche.

- Essais de compression simple : la résistance à la compression uniaxiale est largement utilisé pour étudier les propriétés de résistance des sols et des sols stabilisés. Les sols et les échantillons de sol stabilisés avec des fibres de polypropylène sont compactés à leur densité sèche maximale, avec une teneur en humidité déterminée à partir des tests de compactage Proctor normal. L'essai de compression a été réalisé sur des éprouvettes cylindriques de 50 mm de diamètre et 100 mm d'hauteur. L'essai de compression permet de définir les paramètres suivants ; la contrainte de rupture, la contrainte au seuil d'écoulement, la déformation à la rupture e la déformation au seuil d'écoulement.



Figure 11. *Essai de compression simple*

- Essai de portance (NF P94-078) Il consiste à déterminer par poinçonnement la portance d'un sol compacté dans les conditions de l'essai Proctor. Le matériel comprend un moule Proctor, un piston de poinçonnement, un dispositif d'application d'une surcharge constante et des capteurs d'effort et de déplacement selon l'indice recherché et le type de sol.

L'indice CBR est calculé selon la formule (NAKACHE, 2018):

$$\frac{F \times 100}{F_{ref}}$$

L'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés (Mahdi, 2019).

$$\frac{F_{2,5} \times 100}{13.35}$$

$$\frac{F_5 \times 100}{20}$$

Avec:

$F_{2,5}$ est l'effort de pénétration correspondant à un enfoncement de 2,5 mm, exprimé en kN

F_5 est l'effort de pénétration correspondant à un enfoncement de 5mm, exprimé en kN

$$\text{Énergie de compactage (kJ/m}^3\text{)} = \frac{\text{Hauteur de chute} \times \text{poids de la dame} \times \text{Nb de coups} \times \text{Nb de couches}}{\text{Volume total du moule}}$$



Figure 12. Essai CBR

6. RESULTATS ET ANALYSE

6.1. INTRODUCTION

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats de l'essai réalisé sur le sol étudié et leur interprétation, il comporte :

- Les essais d'identification (Paramètres d'état, analyse granulométrie par tamisage et par sédimentaire, les limites d'Atterberg) ;
- Les essais mécaniques (Proctor normal, Compression simple et CBR).

6.2. RESULTATS DES ESSAIS

6.2.1. Effet de des fibres PP sur la résistance en compression

Des essais de compactage à des teneurs en eau différente, ont été effectués sur le sol naturel, la teneur en eau optimale a été utilisée pour étudier l'effet de l'ajout des fibres de polypropylène.

Deux types de fibres de polypropylènes (6 et 12mm) de longueur, et différentes teneurs (0,3, 0,6, 0,9 et 1,2 %), ont été considérées.

Les résultats ont été représentés sur les figures 13 & 14.

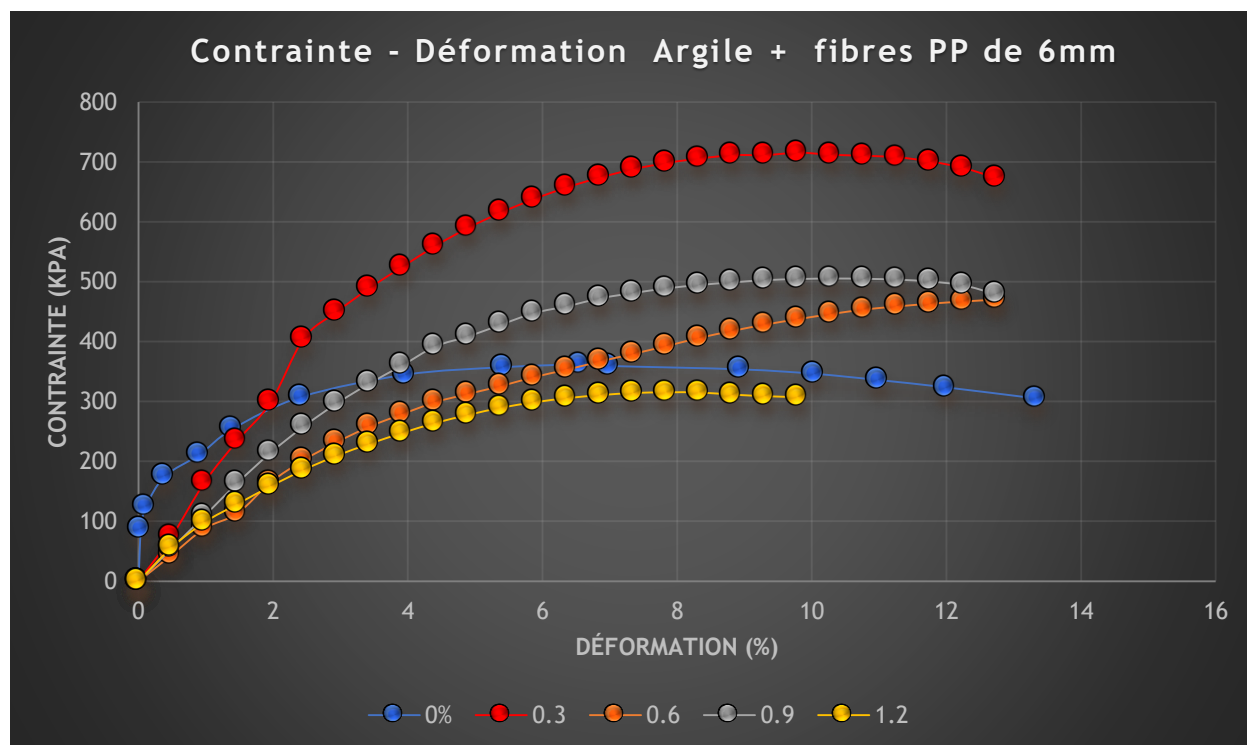


Figure 13. Courbe de compression simple du sol traité par fibres PP de 6mm de long

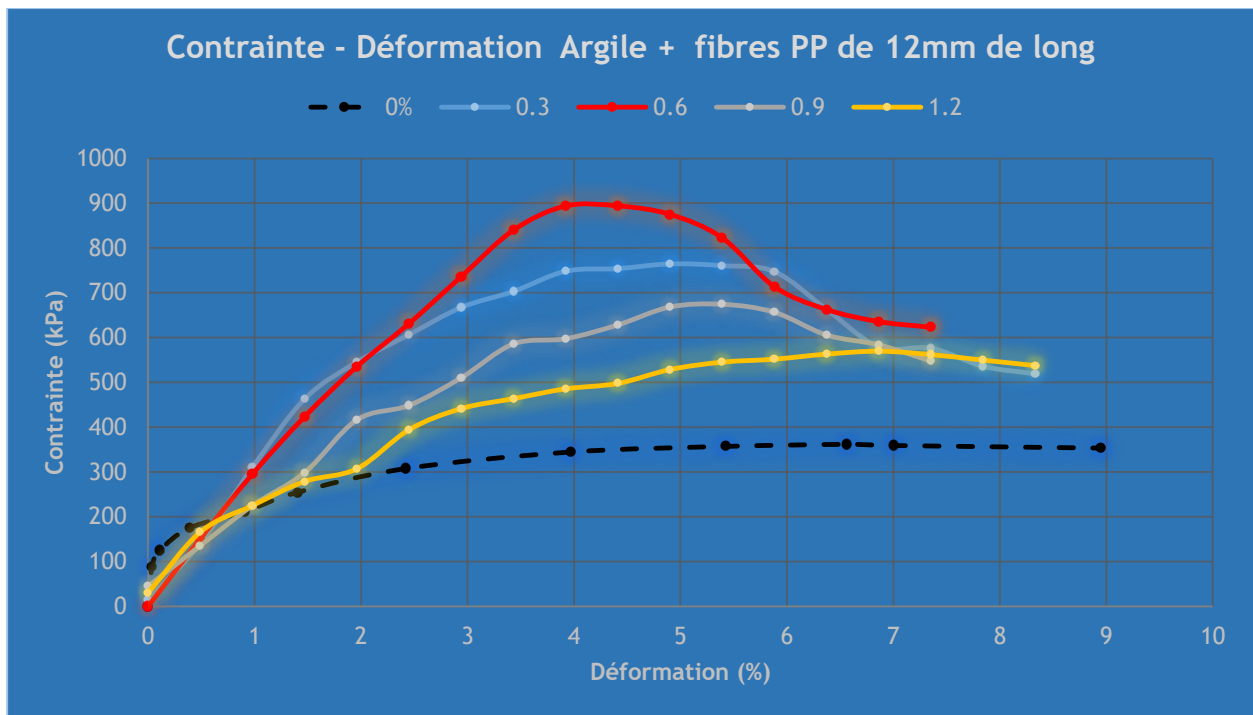


Figure 14. Courbe de compression simple du sol traité par fibres PP de 12mm de long

6.2.2. Interprétation des résultats

La résistance à la compression uniaxiale du sol varie en fonction du pourcentage de fibres de propylène utilisé. Lorsque l'on compare les pourcentages de 0.3%, 0.6%, 0.9% et 1.2%, on observe :

Fibres de 12mm de longueur :

Une augmentation de la résistance à la compression de 362 à 894 kPa avec un dosage de 0,3%.

Fibres de 6mm de longueur :

Une augmentation de la résistance à la compression de 362 à 715 kPa avec un dosage de 0,6%, le dosage doit être limité à 0,9%.

Ainsi, on peut conclure que le sol traité avec 0.3% de fibres de 6 mm de longueur et le sol traité avec 0.6% de fibres de 12 mm de longueur présentent de meilleures performances que les autres combinaisons.

7. CONCLUSION GENERALE

L'étude expérimentale avait pour objectif de déterminer les paramètres physiques et mécaniques d'une argile très plastique prélevée sur le site de Sidi Hadjeres (wilaya de Msila). Cette argile a été stabilisée en ajoutant des fibres de polypropylène et des biopolymères, puis l'influence de ce traitement sur ses propriétés mécaniques a été analysée.

D'après les résultats de la recherche, on constate que :

- ❑ La modification partielle de l'argile par une quantité de fibre contribue à l'amélioration de la résistance en compression .
- ❑ La quantité maximale à ajouter doit être limitée à 0,9% pour les fibres de 6mm de longueur .
- ❑ Quantitativement, il a été obtenu que la résistance en compression varie de 362 à 715 kPa lorsque que l'argile est renforcée par des fibres courtes de 6 mm de longueur avec un dosage de 0,3%, et elle atteint la valeur 894 kPa lorsque que l'argile est renforcée par des fibres de 12 mm de longueur avec un dosage de 0,6%.

Les techniques de traitement des sols avec l'utilisation de fibres de polypropylène et de biopolymères constituent un nouveau procédé que nous proposons aux entreprises spécialisées dans les travaux routiers. Ces techniques présentent plusieurs avantages majeurs, tels que l'amélioration des propriétés géotechniques et mécaniques des sols, ainsi que la possibilité de réutiliser les sols en place plutôt que de les évacuer vers des décharges.

Économiquement, le durcissement de l'argile plastique réduit l'épaisseur des couches des ouvrages requis. Par conséquent, en tant que matériau à faible coût, les fibres de PP offrent une solution d'amélioration des sols à long terme, aux argiles plastiques courantes.

En conclusion, bien que des progrès significatifs aient été réalisés grâce à la synthèse bibliographique et à l'étude expérimentale, il reste encore des aspects du comportement de ce sol prélevé sur le site de Sidi Hadjeres qui nécessitent une meilleure compréhension et une étude approfondie.

8. REFERENCES

- Ben Younes Fouzia, N., & Bouzidi, R. (2021). *Amélioration des propriétés géotechniques d'une argile par l'ajout des fibres de polypropylène.*
- Bouguerra, M., & Chelali, S. (2022). *Stabilisation des sols par des fibres de Polypropylène.* Master 2, Géotechnique, université de Msila.
- CHAA, K. (2020). *Etude de l'effet des fibres de polypropylène sur les caractéristiques de déformabilité d'une argile stabilisée.*
- Mahdi, C. (2019). *Étude de l'effet des fibres de polypropylène sur les propriétés géotechniques d'une argile stabilisée.* Doctoral dissertation. Université Mohamed Boudiaf de Msila.
- Mekki, L. (2019). *Comportement d'une argile expansive fortement surconsolidée.* université de Msila.
- Mimoune, M., & Laoufi, K. (2022). *Effet du temps de cure sur la résistance du sol de Chaaba El Hamra (Wilaya de M'sila) traité par différents types de ciment et reconstitué à faible énergie de compactage.*
- NAKACHE, M. (2018). *Etude du comportement d'un sol Renforcé par fibres.* Université Mohamed Boudiaf-M'sila.
- Nourine, H. (2013). *Essai de restauration des sols steppiques par un apport de boues d'épuration.* USTHB Alger.