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 :

NADJI Bochra & LATRACHE Fatiha

THEME

ELABORATION D'UNE NOUVELLE TECHNIQUE D'AMELIORATION DES SOLS : UTILISATION DE BIOPOLYMERES (XANTHAN) POUR AMELIORATION DES SOLS

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, Examinateur

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

RESUME

Le présent travail présente une méthode alternative et respectueuse de l'environnement a été proposée pour stabiliser un sol argileux. Cette technique consiste à utiliser un matériau biopolymère (Xanthane Gum) pour améliorer les propriétés géotechniques d'un sol de plasticité très élevé prélevé de la région de Sidi Hadjres Msila, Algérie. Cette argile est considérée comme un sol problématique suite à sa grande déformabilité et son caractère gonflant ce qui affecte la stabilité des fondations superficielles. Le Xanthane a été ajouté en différents pourcentages 1, 2 et 3% par rapport au poids du sol. Le programme expérimental mené consiste à analyser l'effet du Xanthane sur les propriétés géotechniques de base tels que le potentiel de compactage, la résistance en compression et la déformabilité a l'œdomètre.

ملخص

يقدم هذا العمل طريقة بديلة وصديقة للبيئة تم اقتراحها لتثبيت التربة الطينية. تتكون هذه التقنية من استخدام مادة البوليمر الحيوي (Xanthane Gum) لتحسين الخصائص الجيوتقنية لتربة عالية اللدونة مأخوذة من منطقة سيدي هجرس المسيلة، الجزائر. يعتبر هذا الطين تربة مشكلة بسبب قابليته العالية للتشوه والانتفاخ، مما يؤثر على ثبات الأساسات السطحية. تمت إضافة القزانثان بنسب مختلفة 1 و2 و3٪ على أساس وزن التربة. يتكون البرنامج التجريبي الذي تم تنفيذه من تحليل تأثير Xanthan على الخصائص الجيوتقنية الأساسية مثل الانضغاط والدمك وقابلية التشوه بالادومتر.

Abstract

This work presents an alternative and environmentally friendly method has been proposed to stabilize clay soil. This technique consists in using a biopolymer material (Xanthane Gum) to improve the geotechnical properties of a soil of very high plasticity taken from the region of Sidi Hadjres Msila, Algeria. This clay is considered to be a problematic soil due to its high deformability and swelling character, which affects the stability of shallow foundations. Xanthan was added in different percentages 1, 2 and 3% based on soil weight. The experimental program carried out consists of analyzing the effect of Xanthan on basic geotechnical properties such as compaction potential, compressive strength and oedometer deformability.

SOMMAIRE

1	CONTEXTE	1
2	CONCEPTS GENERAUX DES TECHNIQUES D'AMELIORATION DES SOLS	2
2.1	Introduction	2
2.2	Les argiles	2
2.2.1	Définition	2
2.2.2	Minéraux argileux	2
2.3	LES ARGILES GONFLANTES	3
2.3.1	Les sols argileux gonflants au sens géotechnique	3
2.3.2	Le Gonflement au sens mécanique	4
2.3.3	Cinétique du gonflement	5
2.3.4	Identification des argiles gonflantes	6
2.4	Procédés d'amélioration des sols	6
2.4.1	Traitement par chaux	6
2.4.2	Traitement par ciment	7
2.5	Conclusion	7
3	BIOPOLYMERES DANS LES APPLICATIONS GEOTECHNIQUES	8
3.1	Introduction	8
3.2	Types des Biopolymères	8
3.2.1	Biopolymères d'origine végétale	8
3.2.2	Biopolymères à base de micro-organismes	9
3.2.3	Biopolymères d'origine animale	9
3.3	Interaction des biopolymères avec le sol	9
3.4	Conclusion	11
4	MATERIAUX UTILISES	11
4.1	Sol	11
4.2	Gomme Xanthane	13
5	METHODES EXPERIMENTALES	14
5.1	Essai de compactage	14
5.2	Essai de compression	15
5.3	Essai œdométrique	16
6	RESULTATS ET INTERPRETATION	17
6.1	Caractéristiques de compactage	17
6.2	Résistance à la compression	18
6.3	Essais œdométriques	19
7	CONCLUSION GENERALE	21

Liste des Figures

Figure1 structure des minéraux argileux 3
Figure2 Courbe de gonflement en fonction du temps 5
Figure3 Traitement à la chaux 7
Figure4 Traitement par ciment 8
Figure 5 Biopolymères couramment utilisés pour l'amélioration des sols en fonction de leur source de production 9
Figure 6 Effet de l'humidité dans l'interaction du biopolymère avec les feuilles d'argile (a) échantillon biotraité humide, (b) échantillon biotraité séché 10
Figure 7 Interaction du biopolymère avec le sol argileux 10
Figure 8 Situation du site de Sidi-Hadjres wilaya de m'sila (Algérie) 11
Figure 9 Aspect du sol étudié 12
Figure 10 Gomme de Xanthane 13
Figure 11 Structure chimique 14
Figure 12 Essai de compactage 15
Figure 13 Essai de compression 16
Figure 14 Essai œdométrique 16
Figure15 courbe de compactage 17
Figure16 Courbes contraintes-déformations 18
Figure17 Résultats de la résistance à la compression 19
Figure18 Courbes œdométriques 20

Liste des Tableaux

Tableau 1 Appréciation du potentiel de gonflement 6
Tableau 2 Caractéristiques géotechniques du sol étudié 11
Tableau 3 Analyse chimique du sol étudié en pourcentages 12
Tableau 4 Caractéristiques physiques et chimiques du Gomme Xanthane 13
Tableau 5 Caractéristiques de compactage Proctor 17
Tableau 6 Résistance à la compression 18
Tableau 7 Effet des XG sur les indices de compression et de gonflement 19

1 CONTEXTE

Atteindre les performances souhaitées des sols marginaux implique l'amélioration intentionnelle de leurs propriétés géotechniques par l'amélioration des sols. Les ingénieurs géotechniciens sont chargés de développer une stratégie très rentable qui tient compte de plusieurs facteurs de conception, tels que le type de sol, le niveau d'amélioration requis, la profondeur de traitement, les emplacements traités, la disponibilité du personnel qualifié et des matériaux, la solidité environnementale et le coût du projet, lorsque face à un dilemme. Ces facteurs sont essentiels pour déterminer l'approche thérapeutique la plus appropriée. Les additifs sont utilisés pour modifier les propriétés du sol, un processus appelé modification chimique, afin de satisfaire aux critères de conception prédéfinis. De nos jours, un large éventail de matériaux est utilisé pour le traitement des sols. La chaux et le ciment sont considérés parmi les options les plus populaires. De tels additifs induisent une altération minéralogique pour améliorer les caractéristiques de résistance et de rigidité. Cependant, bon nombre de ces stabilisants chimiques (tels que le ciment à la chaux, etc.) présentent des limites compte tenu de la forte consommation de ressources naturelles, du coût élevé et de l'impact environnemental considérable en termes de production de gaz à effet de serre.

Par exemple, la production de ciment représente 5 % des émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO_2), c'est-à-dire qu'une tonne de production de ciment entraîne l'émission d'une tonne de gaz CO_2 En outre, l'utilisation de tels stabilisants traditionnels conduit à un environnement corrosif à pH élevé et pourrait polluer les nappes phréatiques et freiner la croissance de la végétation. Par conséquent, pour surmonter ces problèmes, il est toujours souhaitable de disposer de nouveaux stabilisateurs de sol respectueux de l'environnement, durables et peu coûteux pour traiter les sols de fondation faibles problématiques.

Divers stabilisants alternatifs non traditionnels d'origines différentes (comme les déchets industriels, synthétiques et naturels polymères, etc.) ont été fréquemment rapportés ces dernières années en tenant compte de la faible empreinte carbone et de la promotion de la construction verte. Dans ce contexte, les biopolymères d'origine microbienne (tels que la gomme de xanthane (XG), la gomme de guar (GG), l'alginate de sodium, le chitosane, etc.) ont fait l'objet d'une attention considérable ces derniers temps, en raison de leurs attributs et de leurs impacts environnementaux significativement réduits. Parmi divers

biopolymères, le biopolymère XG était assez prometteur et est produit en induisant la bactérie Xanthomonas campestris.

2 CONCEPTS GENERAUX DES TECHNIQUES D'AMELIORATION DES SOLS

2.1 Introduction

La demande de terrains à construire n'a cessé de croître au cours des dernières années, et les ingénieurs doivent parfois commencer à améliorer ou à renforcer les sols pauvres. Le renforcement des sols est un nouveau domaine particulier de l'amélioration des sols et peut être divisé en deux catégories principales : amendements de sol ou la technologie de stabilisation, et techniques de consolidation du sol. Ce chapitre donne un aperçu des différentes techniques de consolidation du sol.

2.2 Les argiles

2.2.1 Définition

En géotechnique, les argiles sont des matériaux naturels d'origine minérale qui se caractérisent par leur composition dominante en particules de taille très fine, généralement inférieure à 2 micromètres. Les argiles sont formées principalement par l'altération et la dégradation des roches contenant des minéraux argileux tels que la montmorillonite, l'illite, la kaolinite, etc.

2.2.2 Minéraux argileux

Le terme "argile" désigne un groupe de minéraux appartenant à la famille des aluminosilicates plus ou moins hydratés, contenant plus de 50 % de particules fines de taille généralement inférieure à 2 m, avec une texture phylliteuse ou fibreuse. D'après Caillère et Hénin (1959), les phyllo-silicates sont formés d'un assemblage de particules fines dont les unités de base sont des feuillets bidimensionnels élémentaires et organisés en plusieurs couches superposées (Caillère, 1959). Les deux unités structurales de base sont le tétraèdre de silice et l'octaèdre d'alumine et éventuellement de magnésium.

- Le tétraèdre de silice SiO_4
- L'octaèdre d'alumine $Al_2\ (OH)_6$ et éventuellement de magnésium $Mg_3(OH)_6$

Lorsque plusieurs éléments sont assemblés, ils créent feuillets élémentaires tétraédriques et octaédriques reliés entre eux par des liaisons covalentes, représentés par un rectangle pour le feuillet octaédrique et un trapèze pour le feuillet tétraédrique (Figure 1).

Différents minéraux argileux sont produits par l'assemblage des feuillets élémentaires en différentes combinaisons. Les types d'argiles les plus connues en géotechnique la kaolinite, l'illite, et la montmorillonite.

- La kaolinite $\mathbf{n\ [(Si_2O_5)\ Al_2\ (OH)_4]}$
- L'illite $\mathbf{n\ [(Si_4 - n\ Al_nO_{10})\ Al_2\ K_n\ (OH)_4]}$.
- La montmorillonite $\boldsymbol{n}\ [(\boldsymbol{Si_4O_{10}})\ (\boldsymbol{Al_{5/3}\ Mg_{1/3}})\boldsymbol{Na_{1/3}(OH)_2}]$.

2.3 LES ARGILES GONFLANTES

2.3.1 Les sols argileux gonflants au sens géotechnique

Le processus de gonflement des sols argileux au contact de l'eau et des sels dissous met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés (Mrad, 2005).

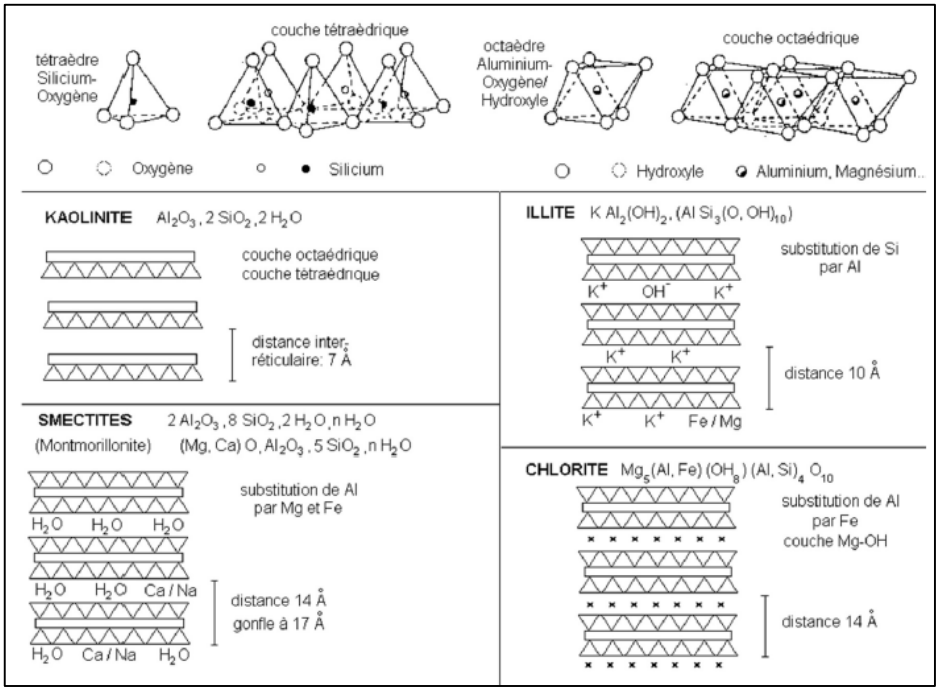


Figure1 structure des minéraux argileux

Ces phénomènes sont décrits ci-après.

2.3.2 Le gonflement au sens mécanique

Le phénomène de gonflement et de tassement peut provenir d'une modification de l'état de contraintes dans le sol en présence d'eau. Un sol est saturé si la phase gazeuse disparait, c'est-à-dire si tous les vides inters particulaires sont occupés par l'eau interstitielle. Dans un sol saturé soumis à une contrainte totale, cette dernière se décompose selon la théorie de Terzaghi (1951), de la façon suivante (Barden, 1969) :

$$\sigma_e = \sigma = \sigma' + u$$

La pression interstitielle de l'eau des pores est égale à la pression exercée par la colonne d'eau sus-jacente, soit $u_0 = \gamma w \times z$

Si l'élément de sol considéré est situé sous la nappe phréatique à une cote z, la pression interstitielle est égale à la pression exercée par la colonne d'eau sus-jacente.

Si l'on permet au sol de se drainer, un phénomène de consolidation va se développer, correspondant à l'expulsion de l'eau en surplus, avec $u_0 = 0,\ \sigma' = \sigma_e$

Dans un milieu poreux, l'existence conjointe d'une phase gazeuse et liquide provoque le développement de ménisques capillaires air-eau, qui traduit une pression négative de l'eau appelée succion.

Si la contrainte est alors supprimée, le même phénomène se produit en sens inverse et immédiatement :

$$u = -\sigma_e, \sigma' = \sigma_e$$

La pression interstitielle u devient négative et opposée à la variation de contrainte totale. Dans des conditions de libre circulation de l'eau, un phénomène de gonflement se développe pour exprimer l'absorption de l'eau et le transfert d'une contrainte négative de l'eau sur le squelette solide jusqu'à l'état final où $u = 0, \sigma' = 0$.

La succion capillaire du terrain s'exprime par la relation $S = u_a - u_w$, où ua représente la pression de l'air dans le sol et uw, la pression interstitielle de l'eau dans le sol.

2.3.3 Cinétique du gonflement

Le gonflement des sols argileux est un phénomène très lent, en raison de la faible perméabilité des argiles. Il est fondamental de commencer l'étude du gonflement par l'étude de la cinétique, c'est-à-dire la relation entre la déformation de gonflement et le temps. Dans le cas des sols argileux gonflants, l'évolution du gonflement avec le temps dépend de la répartition entre gonflement inter-particulaire et gonflement inter-foliaire, et de l'évolution de l'hydratation. Les courbes d'évolution du gonflement en fonction du temps obtenues, soit lors d'un essai de gonflement libre ou lors d'un palier de déchargement au laboratoire, sont similaires à celles de la consolidation, mais dans une direction opposée. Le gonflement primaire est une phase relativement rapide qui est dû à la dissipation de la succion dans les macro-pores du sol par migration de l'eau dans l'éprouvette à partir de ses extrémités. La phase de gonflement secondaire est liée à l'hydratation progressive des minéraux argileux de la structure et corresponde à un processus de cinétique très lent d'après (Serratrice, 1996). Ces faibles vitesses de déformation sont en accord avec des observations faites dans des massifs de roche autour de tunnels, où le processus de gonflement peut se dérouler pendant plusieurs années ou plusieurs centuries.

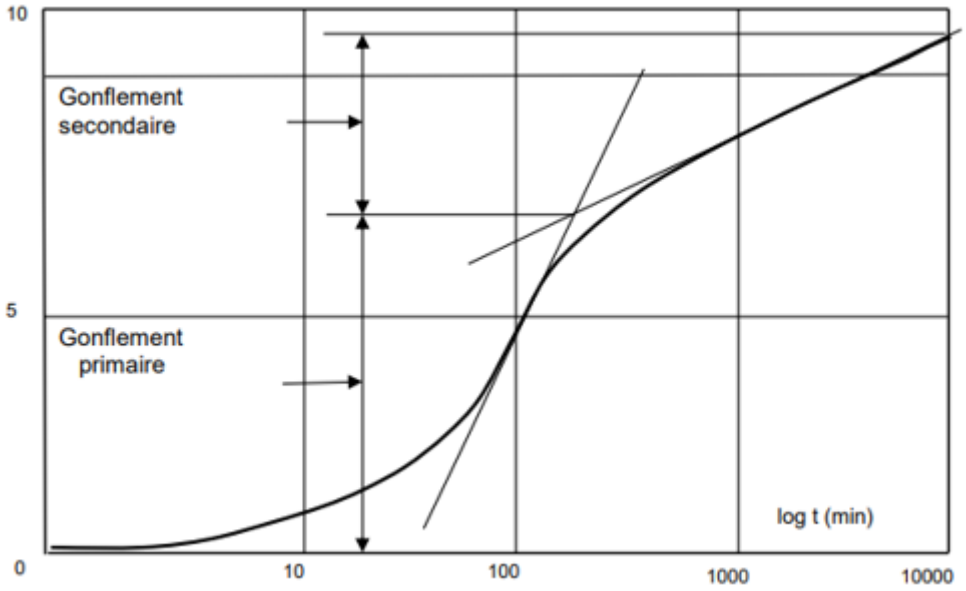


Figure2 Courbe de gonflement en fonction du temps

Plusieurs approches empiriques sont décrites par différents auteurs permettant d'apprécier le potentiel de gonflement des sols (Djedid, 2001).

Tableau 1 Appréciation du potentiel de gonflement

Potentiel de gonflement d'après Altmeyer (1955)		Potentiel de gonflement d'après Ranganatham et Satyanarayana (1965)		Potentiel de gonflement d'après Snethen (1980)	
w_S (%)	Potentiel de gonflement	I_R (%)	Potentiel de gonflement	I_P (%)	Potentiel de gonflement
< 10	Fort	0 – 20	Faible	> 35	Très élevé
10 – 12	Critique	20 – 30	Moyen	22 – 48	Elevé
> 12	faible	30 – 60	Fort	22 – 32	Moyen
		> 60	Très fort	< 18	Faible

2.3.4 Identification des argiles gonflantes

L'identification des sols gonflants par l'observation de la microstructure des argiles est coûteuse et ne donne pas des règles claires. Une identification primaire peut être effectuée sur une base relativement simple et économique, qui peut gagner en temps et en coût. Plusieurs approches empiriques sont décrites pour apprécier le potentiel de gonflement des sols (tableau 1). En effet plusieurs classifications ont été proposés par différents chercheurs pour estimer le 20 potentiel du gonflement en fonction des para mètres du sol tels que l'indice de plasticité, limite de retrait.

2.4 Procédés d'amélioration des sols

Au sol, le sol de fondation n'est pas toujours en mesure de supporter les charges de la structure. À un moment donné, une faible couche portante est souvent rencontrée sous la fondation. En fait, des techniques spéciales d'amendement du sol sont nécessaires pour réduire les tassements. Le choix entre ces méthodes dépend du type de sol à améliorer, de la profondeur requise, de la taille du projet et des ressources disponibles. La stabilisation fait référence à la modification des propriétés physiques, mécaniques ou hydrauliques des sols fins.

2.4.1 Traitement par chaux

La chaux est une substance oxyde de calcium CaO, hydroxyde de calcium Ca(OH)2, chaux dolomitique (magnésienne) CaO. MgO, et chaux dolomite monohydrate Ca(OH)2.MgO. Le dosage en chaux varie en fonction des sols et des résultats recherchés. Les sols fins à teneur élevées en argiles ou limons présentent une faible résistance vis-à-vis des sollicitations d'ordre climatique. Une fois la chaux est ajoutée aux sols fins, elle modifie sensiblement son comportement. En effet, la chaux : réduit la teneur en eau dans le sol par

l'action combinée de trois phénomènes : l'apport de matières sèches, la consommation d'eau durant l'hydratation et par évaporation. Par ailleurs, elle change l'aspect physique du sol d'un état plastique à un état solide et réduit son sensibilité à l'eau.

Figure3 Traitement à la chaux

2.4.2 Traitement par ciment

Le ciment est un additif qui peut être utilisé pour stabiliser le sol, augmenter la résistance, limiter le retrait, réduire la plasticité et réduire la possibilité de changements de volume.

Le traitement au ciment est plus particulièrement adapté aux sols peu plastiques, qui a priori ne se prêtent pas au traitement à la chaux du fait de leur faible teneur en argile. Le traitement au ciment apporte cohésion, résistance mécanique, stabilité à l'eau et au gel au traitement à la chaux. Le ciment prend plus vite que la chaux (et change encore après un an), mais s'arrête avec le gel.

2.5 Conclusion

Ce chapitre présente une description générale des sols argileux et des méthodes d'amélioration des sols (traitement à la chaux, traitement au ciment……etc.). Ces techniques augmentent la résistance du sol et réduisent sa capacité à se déformer sous les charges appliquées (Bouguerra & Chelali, 2022).

Figure4 Traitement par ciment

3 BIOPOLYMERES DANS LES APPLICATIONS GEOTECHNIQUES

3.1 Introduction

Les biopolymères peuvent être classés en fonction de différents termes, notamment la biodégradabilité (biodégradable et non biodégradable) et la source des matières premières. Trois groupes peuvent être considérés lors de la classification des biopolymères en fonction de leur source d'origine : les biopolymères d'origine végétale, les biopolymères d'origine animale et les biopolymères produits par des micro-organismes.

3.2 Types des Biopolymères

La figure 5 présente une liste de biopolymères, qui sont principalement utilisés à des fins d'amélioration des sols, en fonction de la source de production.

3.2.1 Biopolymères d'origine végétale

Les biopolymères végétaux sont produits à partir de plantes et de déchets agricoles. Les biopolymères en géotechnique regroupent majoritairement des produits d'origine végétale qui sont majoritairement des polysaccharides. Le guar, la lignine, l'agar, le bêta-glucane, l'alginate et le carraghénane entrent dans cette catégorie.

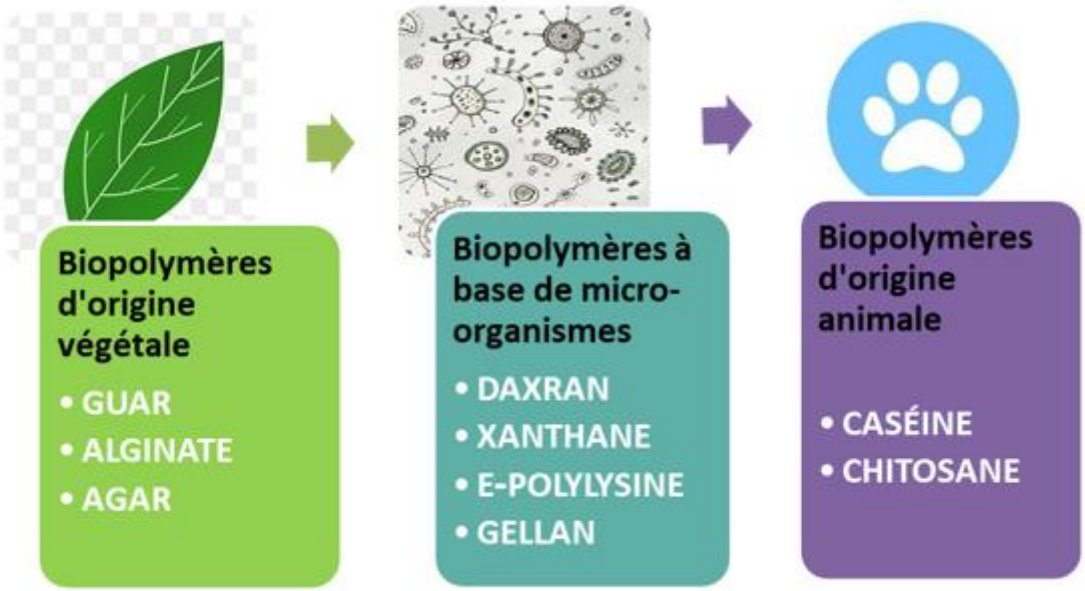


Figure 5 Biopolymères couramment utilisés pour l'amélioration des sols en fonction de leur source de production

3.2.2 Biopolymères à base de micro-organismes

Les biopolymères tels que la gomme xanthane, la gomme gellane et le dextrane sont les produits de processus de fermentation bactérienne, qui sont considérés comme des biopolymères à base de micro-organismes.

3.2.3 Biopolymères d'origine animale

Les biopolymères d'origine animale sont les polymères produits à partir de sources animales. La chitine et le chitosan sont produits à partir des déchets de carapaces de crustacés tels que les carapaces de crevettes, et les biopolymères à base de protéines sont produits à partir de lait et de produits laitiers.

3.3 Interaction des biopolymères avec le sol

La manière dont le biopolymère interagit avec différents types de sol a longtemps été considérée comme un facteur important car l'étude de la microstructure conduit à une meilleure compréhension du comportement des sols traités au biopolymère. Selon le type de sol, le mécanisme d'adhésion des biopolymères varie d'un sol à l'autre. Les figures 6 et

7 montrent le diagramme schématique de l'interaction du biopolymère avec le sol argileux (Fatehi, 2021).

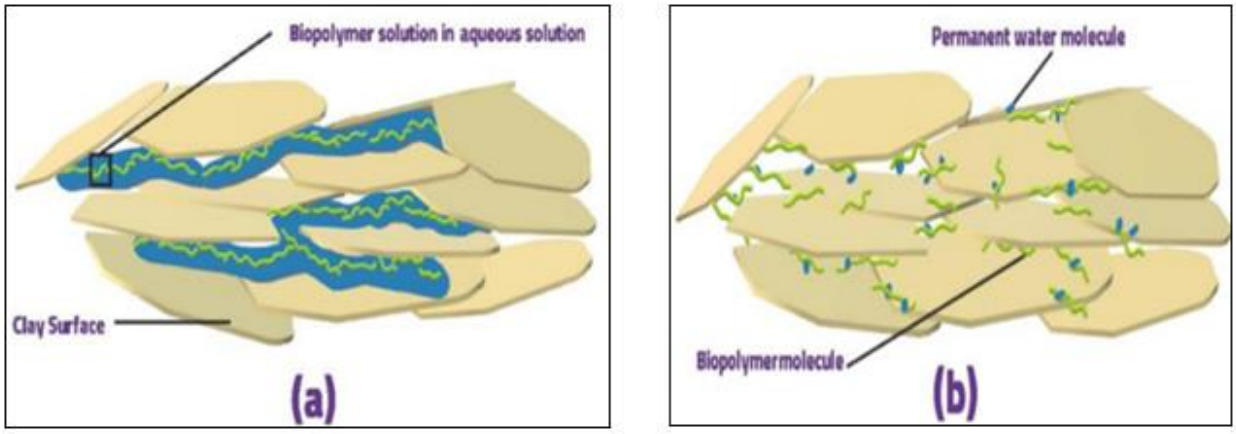


Figure 6 Effet de l'humidité dans l'interaction du biopolymère avec les feuilles d'argile (a) échantillon bio-traité humide, (b) échantillon bio-traité séché.

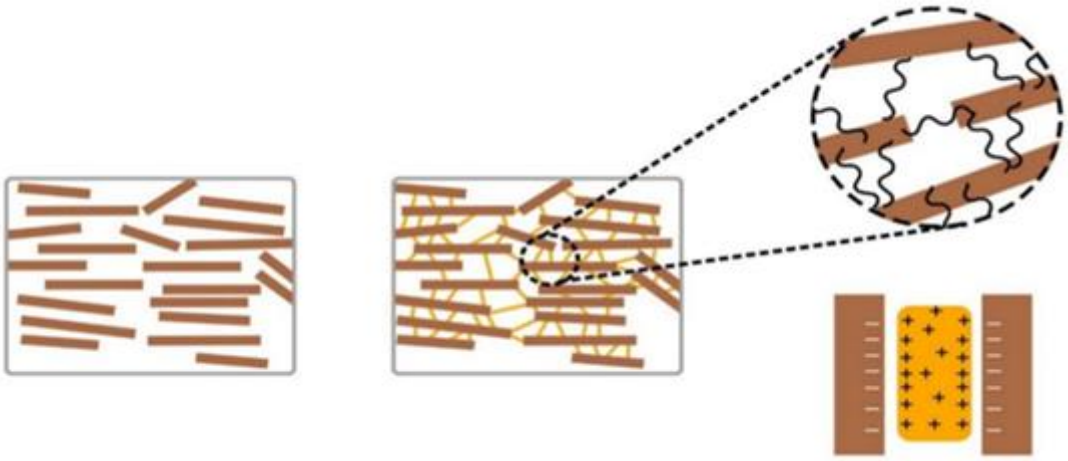


Figure 7 Interaction du biopolymère avec le sol argileux

3.4 Conclusion

L'utilisation de biopolymères dans le domaine du génie civil est une nouvelle façon d'améliorer les sols. Il peut également augmenter le facteur de sécurité et réduire les coûts par rapport aux matériaux conventionnels.

4 MATERIAUX UTILISES

4.1 Sol

Les échantillons de sol utilisés dans cette recherche proviennent de la région de Sidi-Hadjres wilaya de m'sila (Algérie). Les coordonnées géographiques du site d'étude sont (35°40'30"N et 4°02'16"E).

Figure 8 Situation du site de Sidi-Hadjres wilaya de m'sila (Algérie)

Les tableaux 2&3 présentent les caractéristiques géotechniques et chimiques du sol. Ce sol est classé comme (argile très plastique).

Tableau 2 Caractéristiques géotechniques du sol étudié

Propriété	Valeur
Limite de liquidité [%]	85.9
Limite de plasticité [%]	33.9
Indice de plasticité	52
Teneur en eau optimale [%]	24.58
Densité sèche maximale	1.56
Résistance à la compression [kPa]	256

Tableau 3 Analyse chimique du sol étudié en pourcentages

Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	P_2O_5	K_2O	Na_2O	Ti_2O	Mn_2O_3	SrO_2	ZnO	Cr_2O_3	PAF
4.15	10.63	2.87	0.21	0.17	1.78	1.02	0.64	0.04	0.04	0.01	0.02	19.51

Figure 9 Aspect du sol étudié

4.2 Gomme Xanthane

La gomme Xanthane "Fig3.4" est un Biopolymères naturel produit par la fermentation de sucres avec la bactérie commune Xanthomonas campestris. Il peut être utilisé pour stabilisant le sol et contrôler l'érosion. Lorsqu'elle est mélangée à l'eau, la gomme de xanthane peut former un gel qui peut être utilisé pour stabiliser le sol et prévenir l'érosion. Caractéristiques physiques et chimiques du Xanthane "tableau 4" et structure chimique" Fig. 10 ".

Tableau 4 Caractéristiques physiques et chimiques du Gomme Xanthane

État physique	Solide
Apparence	Poudre.
Couleur	Jaune clair.
Odeur	Caractéristique.
pH solution	6 – 8 (1% KCL - 25°C)
Point de fusion	≈ 147 °C
Température d'auto-inflammation	> 200 °C
Densité relative	650 – 850 kg/m3 en vrac à 20°C
Solubilité	Facilement soluble.

Figure 10 Gomme de Xanthane

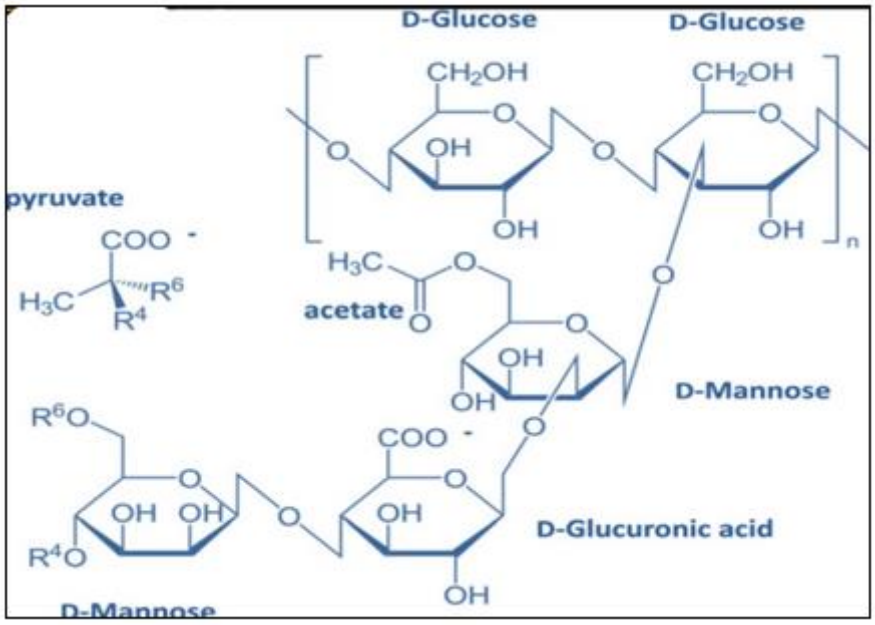


Figure 11 Structure chimique

5 METHODES EXPERIMENTALES

Cette étude s'est principalement concentrée sur l'évaluation du traitement du sol expansé avec une teneur en XG à différentes doses. Les mélanges de sol XG ont été préparés en fonction du poids sec du sol après un mélange à sec régulier, la quantité d'eau souhaitée a été ajoutée et bien mélangée. Les mélanges préparés avec différents contenus de XG (1, 2 et 3%) ont été emballés dans des sacs en plastique et traités pendant 24 heures pour atteindre l'équilibre hydrique. La méthodologie adoptée pour effectuer divers essais géotechniques (par exemple, compactage, compression, œdomètre) sont décrites ci-dessous :

5.1 Essai de compactage

Des tests de compactage ont été effectués sur des sols non traités et traités à différents dosages de teneur en XG en utilisant des énergies de compactage standard et modifiées suivant la procédure standard donnée par NFP-94-093., respectivement. Le sol a été compacté en trois couches différentes (25 coups sur chaque couche de sol) dans le moule. Une spatule ou un couteau a lissé la surface de la couche précédente avant de placer une nouvelle couche de sol pour garantir une répartition homogène de l'énergie de compactage. La densité sèche maximale (MDD) et la MOC des sols non traités et traités avec diverses doses de XG ont été déterminées (Figure12).

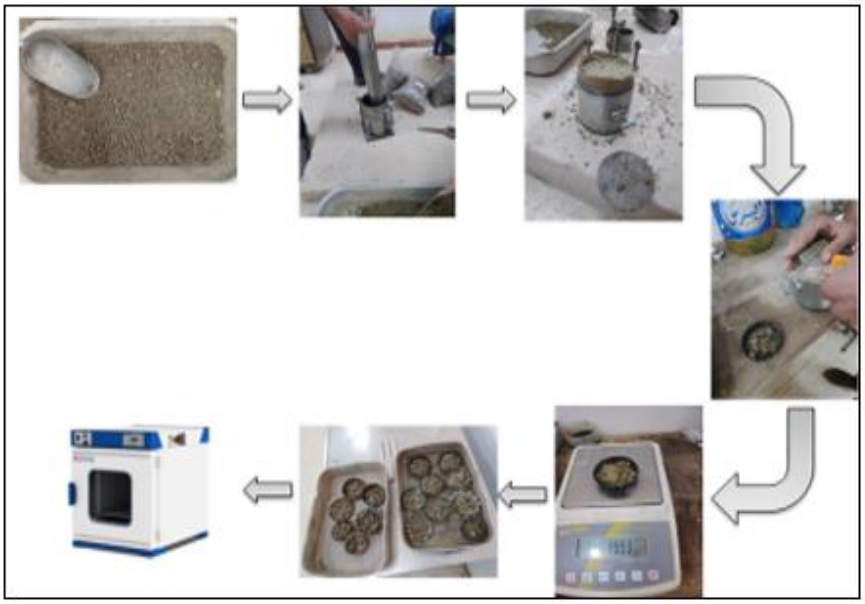


Figure 12 Essai de compactage

5.2 Essai de compression

Soumis à une charge d'écrasement, le comportement d'un matériau peut être défini par le test de compression. Cet essai comprime l'éprouvette, permettant l'observation de la déformation. La résistance à la compression d'un spécimen est déterminée en représentant graphiquement la contrainte et la déformation sur une courbe contrainte-déformation, qui enregistre diverses charges. Une éprouvette ou une carotte cylindrique ou cubique est soumise à cet essai de principe. Pour mesurer sa puissance de combat contre la compression, une force est progressivement augmentée jusqu'à ce qu'un point de rupture soit atteint et que l'objet cède (Figure13).

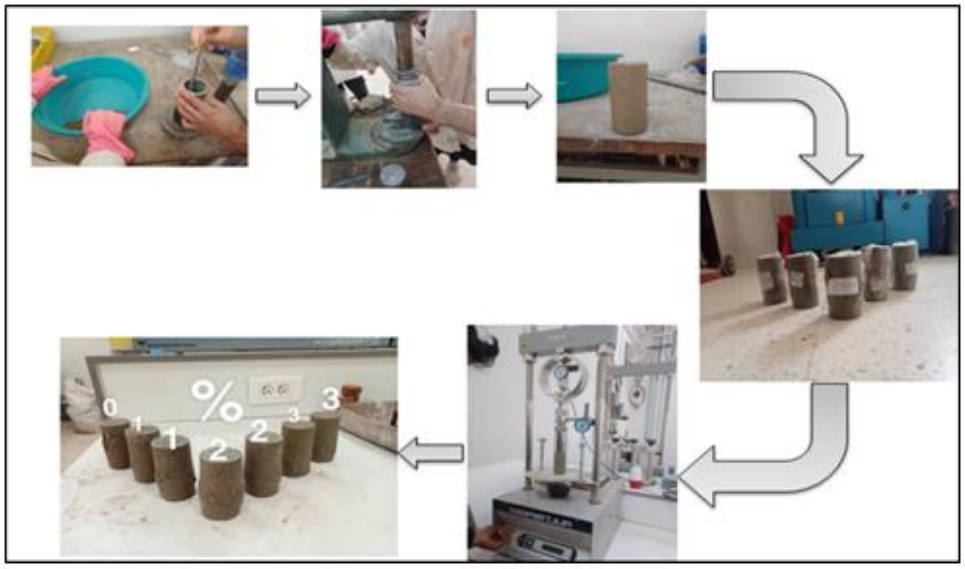


Figure 13 Essai de compression

5.3 Essai œdométrique

Dispositif expérimental de l'odomètre est un appareil de chargement permettant la réalisation de compressions verticales pour lesquelles les déformations horizontales sont empêchées par une bague (moule métallique rigide).

Le test consiste à mesurer la variation de hauteur d'un échantillon de sol sous une contrainte σ en fonction du temps. Typiquement ces mesures sont faites pendant 24 heures pour σ donner. Après 24 heures, la fusion préliminaire est considérée comme terminée.

Le même échantillon est alors chargé une seconde fois, avec une contrainte σ typiquement deux fois plus élevée que la précédente, et ainsi de suite (Figure14).

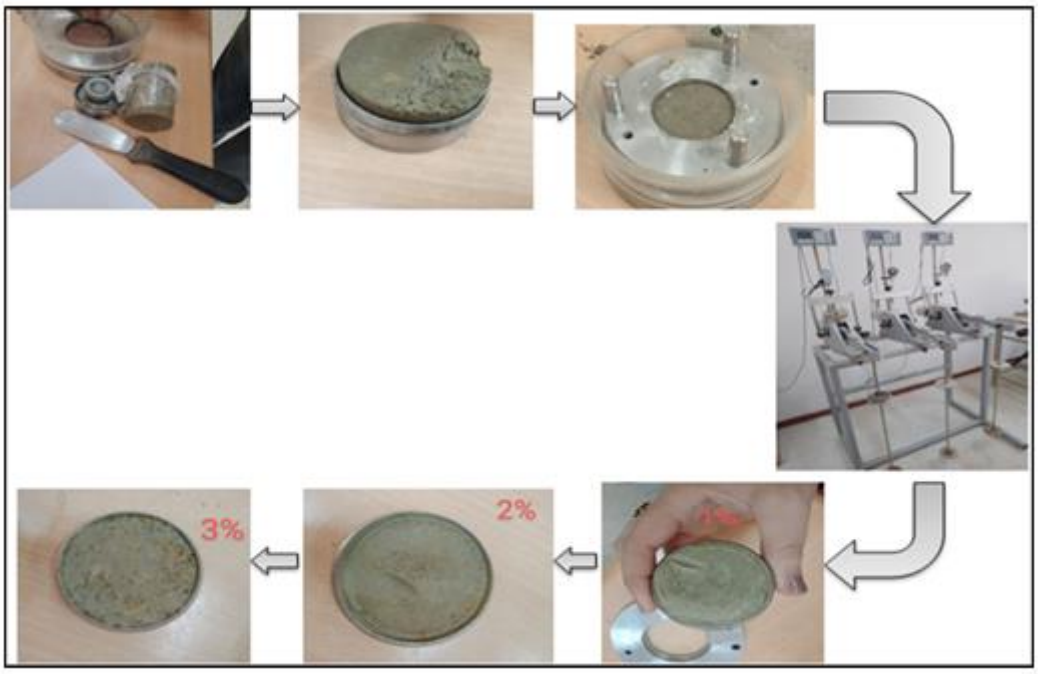


Figure 14 Essai œdométrique

6 RESULTATS ET INTERPRETATION

La présentation et l'analyse des résultats des analyses de sol obtenus à Sidi Hadjres sont au centre des préoccupations dans cette partie.

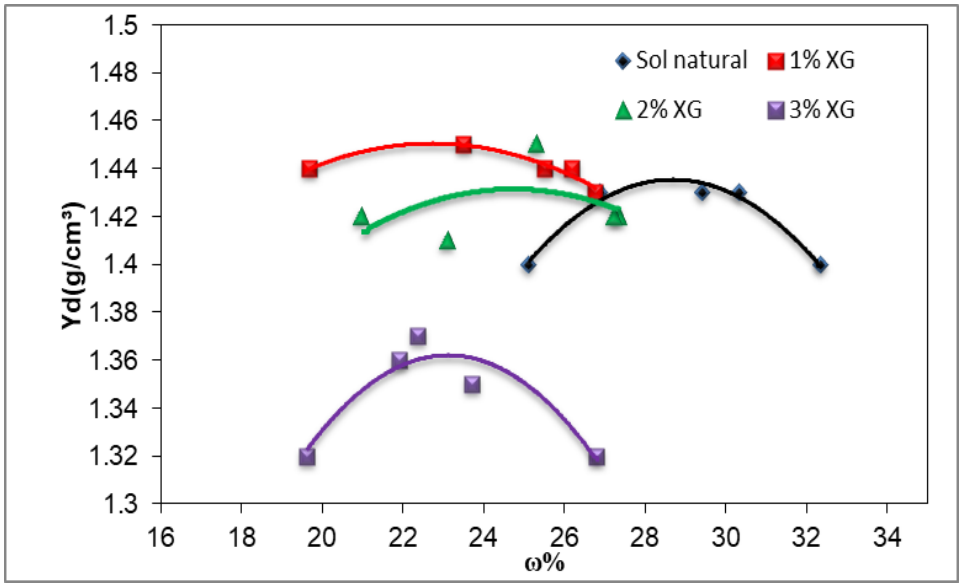
6.1 Caractéristiques de compactage

Les résultats de compactage obtenus à partir de l'essai Proctor normal sont présentés dans le tableau 4 et la figure 15. On a déterminé les caractéristiques de compactage (densité sèche maximale et teneur en eau optimale) pour chacun des pourcentages du xanthane ajouté (1, 2 et 3%).

Tableau 5 Caractéristiques de compactage Proctor

XG%	$\gamma_{d\,max}$	ω_{opt}%	e	G_s	Sr%
Sol naturel	1.14	29	1.36	2.7	57.57
Sol+1% XG	1.45	23.2	0.86	2.7	72.83
Sol+2% XG	1.436	25	0.88	2.7	76.7
Sol+3% XG	1.362	23	0.98	2.7	63.36

Figure15 courbe de compactage



Sur la base des résultats obtenus, l'ajout de gomme xanthane entraîne une modification des propriétés compressives, où la teneur en eau optimale diminue et la densité sèche

augmente, alors que ce comportement est dû à la faible sensibilité du sol aux variations hydriques après l'incorporation de la gomme xanthane.

6.2 Résistance à la compression

Les résultats obtenus des essais de compression sur l'argile de Sidi Hadjres pour les différentes combinaisons sont présentés dans les figures 16-17 et le tableau 5.

Les résultats montrent que l'ajout du gomme xanthane à l'argile seul permet d'augmenter la résistance à la compression, mais la quantité maximale d'ajout doit être limitée à 1 %. Quantitativement, lorsque 1 % de l'argile est remplacée par la gomme xanthane, la résistance varie de 357.69 à 1775.49 kPa.

Tableau 6 Résistance à la compression

XG%	$\mathbf{Rc_{max}(KPa)}$
Sol naturel	357.69
Sol + 1% XG	1775.49
Sol + 2% XG	923.72
Sol + 3% XG	851.03

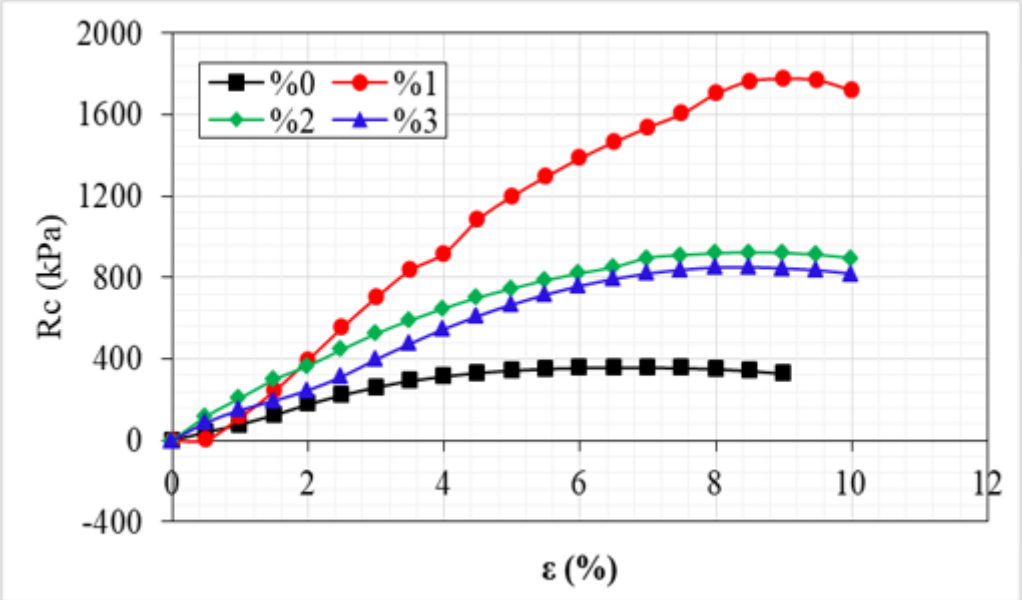


Figure16 Courbes contraintes-déformations

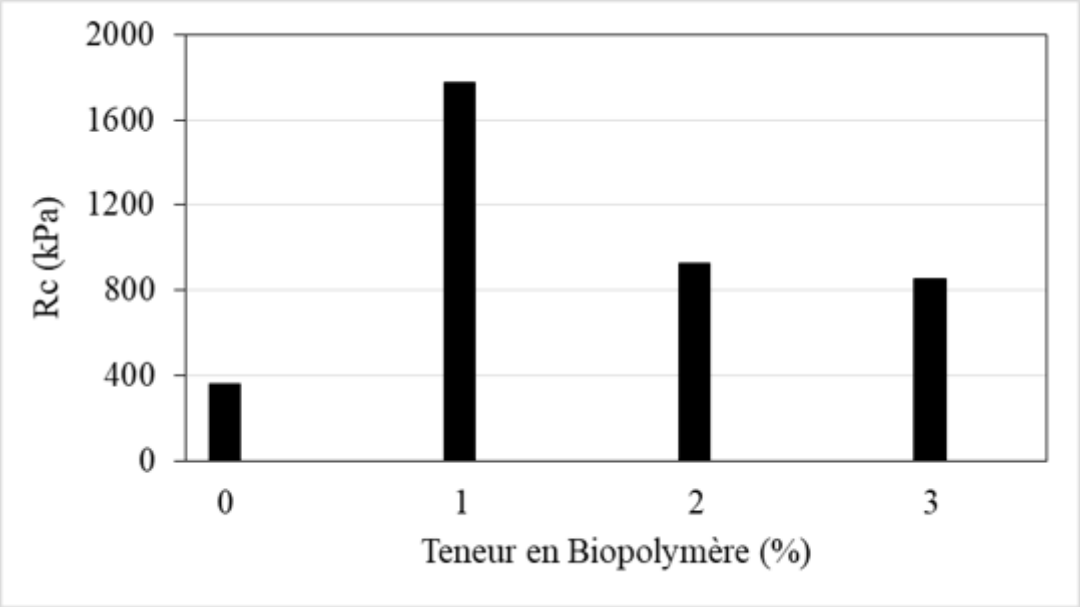


Figure17 Résultats de la résistance à la compression

6.3 Essais œdométriques

L'effet de la stabilisation de l'argile de Sidi Hadjres par le Xanthane sur le comportement œdométrique.

D'après les résultats obtenus, il est clair que le la stabilisation de l'argile par les différents agents de traitement change complètement son comportement œdométrique, en effet, la diminution du pourcentage de xanthane dans l'argile réduit fortement son côté déformable et par conséquent, son caractère renflé est réduit, ce qui est bénéfique pour les ouvrages géotechniques." Tableau 6","Fig 18"

Tableau 7 Effet des XG sur les indices de compression et de gonflement

XG%	$\mathbf{C_c}$	$\mathbf{C_s}$
Sol + 1% XG	2.95	1
Sol + 2% XG	1.712815	0.719709
Sol + 3% XG	-3.64766	-1.53761

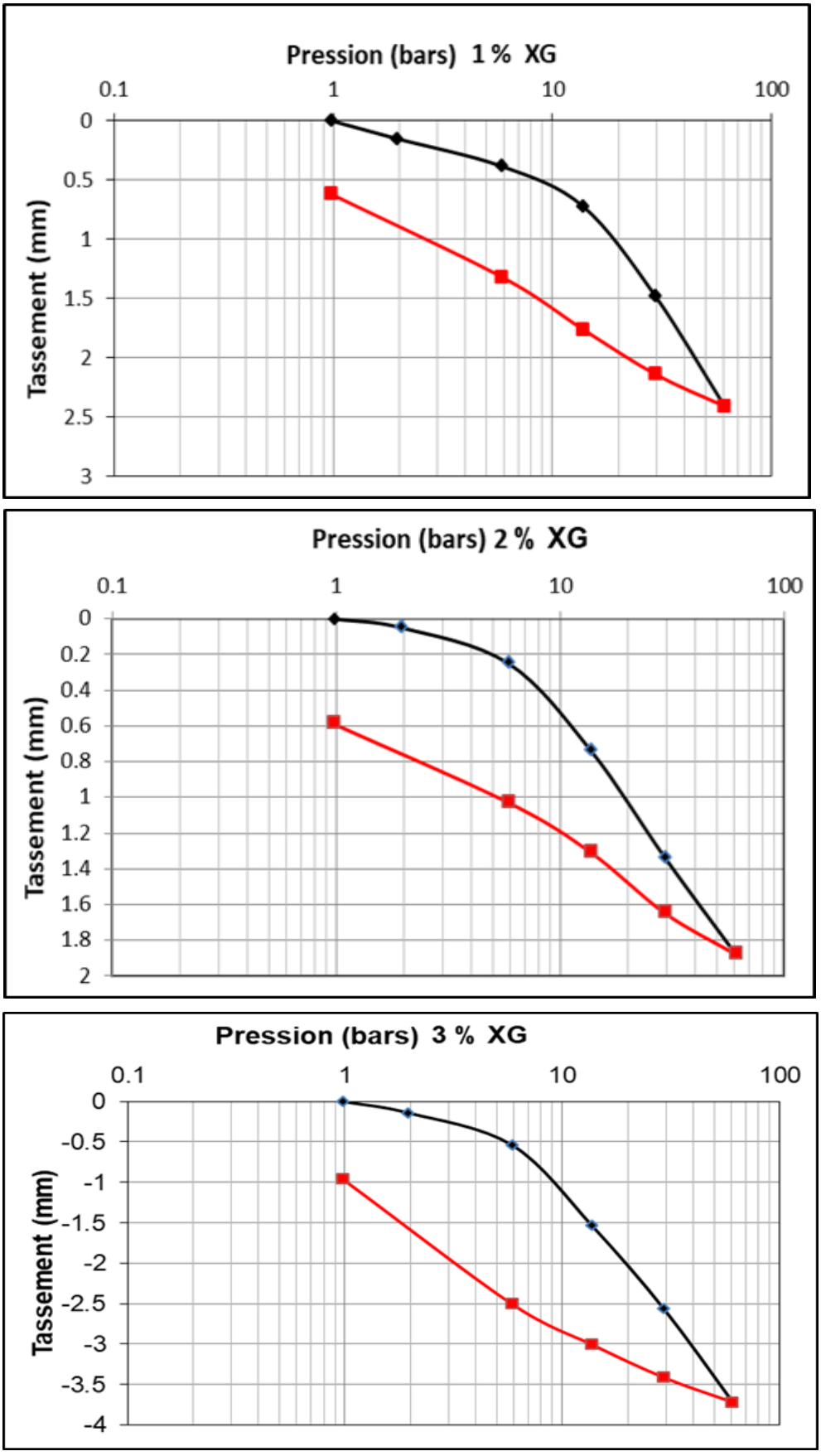


Figure18 Courbes œdométriques

7 CONCLUSION GENERALE

Dans la présente étude, la faisabilité d'améliorer les propriétés géotechniques d'une argile par le biopolymère gomme Xanthane (XG), a été expérimentalement analysée.

La gomme Xanthane a été ajoutée en déférents pourcentages : 1, 2 et 3 %.

Les principales conclusions qui l'on peut tirer à partir de cette étude sont :

- L'ajout du Xanthane à l'argile de Sidi Hadjres réduit sa sensibilité à l'eau en modifiant les caractéristiques de compactage, en effet la densité sèche maximale augmente et la teneur en eau optimale diminue.
- La modification partielle de l'argile par une quantité de Xanthane contribue à l'amélioration de la résistance en compression, cependant la quantité maximale à ajouter doit être limitée à 1%. Quantitativement, il a été obtenu que la résistance en compression varie de 357.69 à 1775.49 kPa lorsque 20g de l'argile est remplacée par 20g Xanthane.
- Les essais œdométriques montrent que l'incorporation de Xanthane réduit sensiblement le caractère gonflant de l'argile, en effet les indices de compression et celui de gonflement diminuent avec l'ajout de la teneur en Xanthane.

Un modèle ou une étude de terrain ainsi qu'une analyse des coûts sont essentiels pour ouvrir la voie à l'utilisation de biopolymères tels que le XG dans l'industrie de la construction en tant que matériau géologique pour la construction écologique.

8 Références

Barden, L. &. (1969). Consolidation of layered clays. *Canadian Geotechnical Journal, 6*(4), 413-429.

Bouguerra, M., & Chelali, S. (2022). *Stabilisation des sols par des fibres de Polypropylène.* Master 2, Géotechnique, université de Msila.

Caillère, S. H. (1959). Essai de synthèse de phyllites manganésifères. *Bulletin du Groupe français des Argiles, 11*(6), 53-56.

Djedid, A. B. (2001). Identification et prévision du gonflement de quelques sols de la région de Tlemcen Algérie. *Bulletin-Laboratoires des Ponts et Chaussees*, 67-76.

Fatehi, H. O. (2021). Les biopolymères comme liants verts pour l'amélioration des sols dans les applications géotechniques : une revue. *Géosciences, 11*(7), 291.

Mrad, M. (2005). *Modélisation du comportement hydromécanique des sols gonflants non saturés.* Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL.

Serratrice, J. F. (1996). Les essais de gonflement. *BULLETIN-LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES*, 65-86.