<u>République Algérienne Démocratique et Populaire</u> <u>Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche</u> <u>Scientifique</u> <u>Université Ahmed Draia Adrar</u> Faculté Des Sciences et de Technologies Département Des Sciences et Technologie



جامعة أحمد دراية.أدرار-الجزائر Université Ahmed Draia.Adrar -Algérie

Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme :

Master En Génie Civil

Option : Géotechnique <u>Présenté Par :</u>

Ben Ali Mohammed Atouhami

Elarabi Yassine

THEME

Amélioration des caractéristiques physicomécaniques des tufs en construction routière de la région de Tamanrasset

Jury d'évaluation composé de :

| Dr. Akacem Mustapha | Univ. Adrar Examinateur |
|----------------------|--------------------------|
| Mme.Belaidi khadidja | Univ. Adrar Examinatrice |
| Pr. Mekerta Belkacem | Univ. Adrar Encadreur |

Année Universitaire : 2020-2021

Ministère de l'enseignement supérieur جامعة احمد دراية - ادرار UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR المكتبة المركزية **BIBLIOTHÈQUE CENTRALE** مصلحة البحث الببليوغرافي Service de recherche bibliographique الرقم م /م .ب .ب /ج.أ/2021 N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021 شهادة الترخيص بالإيداع انا الأستاذ(ة): مار في الع المشرف مذكرة الماستر. Amélionalion des carcetenistiques prysice :- :- interestiques dis Lufe en Construction vordiere de la région de Tamanta set من إنجاز الطالب (ت): بن على معمد الدومامي و الطالب (تر): (ن برایی را بر) سر كلية: العارم والتكنو لوحيا القسم: العلوم والتكنولويسا التخصص: مندسة مديرة - جيو تغني تاريخ تقييم / مناقشة: 20 21 106 20 20 20 أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وإن المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها. وبإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والاليكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 1202 / 06 مساعد رئيس القسم:

و. معسودي ريغ

والتعليم في التدرج بكلية العليه

مساهد رنيس قسم علومها

ملاحظة : لاتقبل أي شهادة بدون التوقيع والمصادقة.

Remerciements

Dans le cadre de la réalisation de ce Mémoire, nous remercierons avant tout
DIEU tout puissant, de nous avoir accordé la santé, guidée vers le bon chemin et de nous avoir permis d'accomplir la présente recherche.
Nous remercierons l'ensemble des enseignants de l'université Ahmed
DRAIA, département des Sciences et Technologie d'Adrar pour toutes les informations qu'ils nous ont prodigué durant notre étude.

Nos reconnaissances et tous nos remerciements s'adresse particulièrement à nos encadreurs Pr MEKERTA Belkacem et le chef de service KESRI ABDELHAFID de la DTP de la wilaya de Tamanrasset, ainsi que le gérant du laboratoire des travaux publics JABAR YAZID pour nous avoir encadré et dirigé avec une grande rigueur scientifique, la qualité de ces formations et de leurs conseils, le soutien et la confiance qu'ils nous ont accordés, et qui nous ont permis de réaliser cette période de recherche dans les meilleures conditions.

Enfin, nous remercierons sincèrement tous ceux qui nous ont aidés de près et de loin et particulièrement l'ensemble des membres des laboratoires de LTPS

et LNHC.

DEDICACES

Nous remercions Allah Sobhano et taala, qui nous a donné la volonté, la force et la patience pour mener à bien cette étude, que nous aimerions réussir, Inchaa allah.

A nos deux familles : **Elarabi** et **Ben Ali** avec une profonde gratitude et gratitude. Un grand merci à nos honorables parents, que Allah les bénisse de bonne santé, de contentement et de longue vie, Allah Yarhem que sont morts et lui accorde Eljannah Inchaa Allah, Allah Yarhem, père et frère Ben Ali, mère et sœur de notre honorable professeur et **encadreurs Pr MEKERTA Belkacem**.

Des années courtes et douces pour que nous puissions venir chez nous, grâce à eux ; Et aussi à nos frères et amis et nos enseignants, comme nous le dédions au peuple palestinien libre, parce que nous sommes un peuple avec deux patries

Le premier où nous vivons est l'Algérie

Le second vit en nous et nous rêvons d'être ensevelis sous son sol qui est la Palestine. A mes amis proches : Hassan, Nori, Mahmoud, Salem et de nombreux amis qui nous ont aidés de près et de loin mon **binôme Mohammed Atouhami** ; Et à tous mes amis en Option Géotechnique 2020/2021 Cheikh, Djamal, Youcef nous avons passé des années ensemble je vous souhaite tout le meilleur et tous ceux qui ont étudié avec nous et tous ceux que je connais très bien. Tout ce qui m'aime et que j'aime.

TABLE DE MATIERE

| Introduction générale | 02 |
|---|-------|
| Chapitre I: La géologie de la région de Tamanrasset (Hoggar) | ••••• |
| I.1 Introduction : | 04 |
| I.2 Les subdivisions structurelles du Hoggar : | 04 |
| I.2.1 La première subdivision | 04 |
| I.2.2 La deuxième subdivision | 04 |
| I.2.3 La troisième subdivision | 05 |
| I.3 Notation de terrains | 06 |
| I.3.1 Terrain occidental | 06 |
| I.3.2 Le terrain de Kidal - Tirek (Ki-Tr) | 06 |
| I.3.3 Le Terrain de Tassendjanet | 07 |
| I.3.4 Terrain Iforas | 07 |
| I.3.5 Le Terrain Ahnet | 07 |
| I.3.6 Le terrain de Zaouatene - à Tedeini | 08 |
| 1.3.7 Iskel-Terran | 08 |
| I.3.8. Les terranes centraux | 08 |
| I.4 LATEA | 09 |
| I.4.1 Trois familles de granits interpénètrent ces deux groupes | 09 |
| 1.4.2 Le Terrain de Sérouenout | 10 |
| I.4.3 Les Terrains Assodé – Issalane | 10 |
| I.4.4 Zone de cisaillement de Raghane 8°30 (zone de suture orientale) | 10 |
| I.4.5 Terrain oriental | 10 |
| I.4.6 Le terrain de Barghot (Aïr) | 11 |
| I.4.7 Le terrain d'Aouzegueur (domaine de l'Ouest) | 11 |
| I.4.8 Le terrain d'Edembo-Djanet | 11 |
| I.5 Conclusion | 13 |
| Chapitre II : Nature des tufs de Tamanrasset | ••••• |
| II.1 Introduction | 15 |
| II.2 Le Hoggar oriental | 15 |
| II.2.1 Lithostratigraphi | 15 |
| II.2.1.1 Zone occidentale ou chaîne de Tiririne | 15 |
| II.2.1.1.1 Série de plate-forme | 15 |
| II.2.1.1.2 Série volcanique | 16 |
| II.2.1.1.3 Série de Tiririne | 17 |

| II.2.1.1.4 Groupe inférieur (série de Tiririne. de Katchevski et al., 1982) | 18 |
|--|-------|
| II.2.1.1.5 Groupe supérieur (série d'Arokame de Katchevski et al., 1982) | 19 |
| II.2.1.2 Zone centrale | 20 |
| II.2.1.3 Zone orientale | 20 |
| II.2.1.3.1 Socle paléo-mésozoïque | 21 |
| II.2.1.3.2 Formations Néoprotérozoïques | 21 |
| II.2.1.3.2.1 La série de Djanet | 21 |
| II.2.1.3.2.2 La série de Tiririne | 21 |
| II.2.2 Plutonisme | 22 |
| II.2.2.1 Complexe basique-ultrabasique | 22 |
| II.2.2.2 Complexe de granitoïde pré Tiririne | 23 |
| II.2.2.3 Complexe de granitoïdes syn à post Tiririne | 24 |
| II.3 Présentation de l'échantillons | 25 |
| II.3.1 Explication sur la carrière | 26 |
| II.4 Conclusion | 29 |
| Chapitre III : Synthèse des méthodes de traitement et d'amélioration Des sols | ••••• |
| III.1 Introduction | 31 |
| III.2 Les Méthodes de traitement | 32 |
| III.2.1 Méthodes mécaniques | 32 |
| III.2.1.1 Compactage de surface | 32 |
| III.2.1.2 Compactage dynamique | 32 |
| III.2.1.3 Vibrocompactage | 33 |
| III.2.2 Méthodes hydromécaniques | 34 |
| II.2.2.1 Pré chargement ou Pré-compression | 34 |
| III.2.2.2 Accélération de la consolidation par l'installation des drains verticaux | 35 |
| III.2.3 Méthodes thermiques | 35 |
| III.2.3.1 Déshydratation | 35 |
| III.2.3.2 Congélation | 36 |
| III.2.4 Méthodes chimiques | 37 |
| III.2.4.1 Utilisation de la chaux | 37 |
| III.2.4.2 Utilisation du ciment | 38 |
| III.2.4.3 Utilisation des ajouts cimentaires | 39 |
| III.2.4.4 Utilisation des fibres de plastique | 40 |
| III.2.4.5 Utilisation de L'arène granitique | 41 |
| III.3 Conclusion | 45 |
| Chapitre IV : Identification et traitement du Tuf Utilisé | ••• |
| IV.1 Introduction | 47 |
| IV.2 Identification du Tuf utilisé | 47 |

| IV.2.1 L'échantillons et La carrière Utilisé | 47 |
|---|----|
| IV.2.2 Analyse granulométrique | 47 |
| IV.2.3 Les limite d'Atterberg | 48 |
| IV.2.4 Equivalent de sable | 51 |
| IV.2.5 Proctor modifié | 53 |
| IV.3 Le Traitement du Tuf utilisé | 54 |
| IV.4 Résultats et Discussions | 55 |
| IV.4.1 Résultat | 55 |
| IV.4.1.1 Essais de compactage (Proctor modifié) | 55 |
| IV.4.1.2 Essais des Limites d'Atterberg | 58 |
| IV.4.2 Discussion | 62 |
| IV.5 Conclusion | 64 |
| Conclusion générale | 66 |
| Références bibliographique | 67 |

Liste des figures

| Chapitre I: | La géologie de la région de Tamanrasset (Hoggar) | |
|----------------|--|----|
| Figure I.1 : | Subdivision structurelle de l'écu Touareg (Bertrand et Caby, 1978) | 05 |
| Figure I.2 : | Répartition structurelle du bouclier Touareg (Black et al 1994) | 05 |
| Chapitre II : | Nature des tufs de Tamanrasset | |
| Figure II.1 : | Série de plate-forme (formation Tafassasset-Djanet) néoprotérozoïque du Hoggar oriental | 16 |
| Figure II.2 : | Les formations volcaniques néo protérozoïques du Hoggar oriental | 17 |
| Figure II.3 : | Série de Tiririne du Hoggar oriental | 18 |
| Figure II.4: | La série molassique inférieure du Hoggar oriental | 19 |
| Figure II.5 : | La série molassique supérieure du Hoggar oriental | 20 |
| Figure II.6: | Les complexes basiques-ultrabasiques, diorites et dykes néo protérozoïques du Hoggar oriental | 22 |
| Figure II.7 : | Les granitoïdes (complexe d'Arirer) néoprotérozoïque du Hoggar oriental | 23 |
| Figure II.8 : | Les granites tardifs (post-tectoniques) du Hoggar oriental | 24 |
| Chapitre III : | Synthèse des méthodes de traitement et d'amélioration des sols | |
| Figure III.1 : | Dimension moyenne des grains (mm) | 31 |
| Figure III.2 : | Types de compactage de surface | 32 |
| Figure III.3 : | Principe du pré-chargement pour le contrôle des tassements | 34 |
| Chapitre IV : | Identification et traitement du Tuf Utilisé | |
| Figure IV.1 : | Courbe d'analyse granulométrique du tuf | 48 |
| Figure IV.2 : | Courbe de la limite de liquidité du tuf | 50 |
| Figure IV.3 : | Abaque de plasticité de Casagrande | 51 |
| Figure IV.4 : | Courbe de Proctor modifié du Tuf sans traitement | 54 |
| Figure IV.5 : | Courbe d'essai Proctor Modifié γd et W% du Tuf Sans Traitement et avec le Traitement Par Chaux | 56 |
| Figure IV.6 : | Courbe de l'essai Proctor Modifié yd et W% du Tuf Sans Traitement et avec le Traitement Par l'arène granité | 58 |
| Figure IV.7 : | Courbe de l'indice de plasticité du Tuf + Chaux | 59 |
| Figure IV.8 : | Courbe de la limite de liquidité tuf + chaux | 60 |
| Figure IV.9 : | Courbe de l'indice de plasticité du Tuf + l'arène granité | 61 |
| Figure IV.10 : | Courbe de la limite de liquidité tuf + l'arène granité | 62 |

Liste des Tableaux

| Chapitre III : | Synthèse des méthodes de traitement et d'amélioration des sols | |
|-----------------|--|----|
| Tableau III.1 : | La composition chimique moyenne des granites | 42 |
| Chapitre IV : | Identification et traitement du Tuf Utilisé | |
| Tableau IV.1 : | L'essai d'analyse granulométrique | 48 |
| Tableau IV.2 : | Les Résultats de l'essai de limite d'Atterberg | 49 |
| Tableau IV.3 : | Classification suivant IP | 50 |
| Tableau IV.4 : | Résultat d'équivalent de sable du tuf | 52 |
| Tableau IV.5 : | Nature et qualité du Tuf en fonction de l'ES | 52 |
| Tableau IV.6 : | Résultats de l'essai Proctor modifie du tuf | 54 |
| Tableau IV.7 : | Résultats des paramètres de l'essai Proctor Modifié γd et W% du Tuf avec la Chaux | 55 |
| Tableau IV.8 : | Résultats de l'essai Proctor Modifié γd et W% du Tuf Sans Traitement et avec le Traitement Cas de Chaux | 56 |
| Tableau IV.9 : | Résultats des paramètres de l'essai Proctor Normale d et W% de Tuf Avec l'arène granité | 57 |
| Tableau IV.10 : | Résultats de l'essai Proctor Modifié γd et W% du Tuf Sans Traitement et avec le Traitement Cas de l'arène granité | 57 |
| Tableau IV.11 : | Les résultats de la teneur en W% en fonction de nombre de coups N Cas de la chaux | 58 |
| Tableau IV.12 : | Les résultats de la limite de liquidité de Tuf + Chaux | 59 |
| Tableau IV.13 : | Les résultats des essais des limites de liquidité, plasticité et l'indice de plasticité Du Tuf + Chaux | 59 |
| Tableau IV.14 : | Les résultats de la teneur en W% en fonction de nombre de coups N cas de l'arène granité | 60 |
| Tableau IV.15 : | Les résultats de la limite de plasticité du Tuf et l'arène granité | 61 |
| Tableau IV.16 : | Les résultats des essais des limites d'Atterberg du Tuf et l'arène granité | 61 |

Liste des Photos

| Chapitre II : | Nature des tufs de Tamanrasset | |
|----------------|---|----|
| Photo II.1: | Carte de localisation de carrière étudiée tuf image satellitaire | 25 |
| Photo II.2 : | Carte de localisation de carrière étudiée tuf image satellitaire | 25 |
| Photo II.3 : | Carrière de PK 30+100 gauche vers Hassi Tiririne | 26 |
| Photo II.4 : | Carrière de PK 41+000 droit vers Hassi Tiririne | 27 |
| Photo II.5 : | Chargement et transport de tuf dans la carrière | 28 |
| Photo II.6 : | Chargement et transport de tuf dans la carrière | 28 |
| Chapitre III : | Synthèse des méthodes de traitement et d'amélioration des sols | |
| Photo III.1: | Chantier d'un Compactage Dynamique Profond | 33 |
| Photo III.2 : | Vibro-compactage | 33 |
| Photo III.3: | Principe d'installation Des Dœlins | 35 |
| Photo III.4 : | Chantier utilisant la congélation du sol | 36 |
| Photo III.5: | Chantier De Traitement d'un Sol A La Chaux | 38 |
| Photo III.6 : | Chantier de traitement du sol au ciment | 39 |
| Photo III.7: | Fibre plastique | 41 |
| Photos III.8: | Les type de granite | 42 |
| Photo III.9 : | Le Granite En Début d'altération | 43 |
| Photo III.10: | l'arène granitique entre les blocs sains de granite (Pierre Thomas) | 43 |
| Photo III.11 : | La forme en boules du granite après altération (Pierre Thomas). | 44 |
| Chapitre IV : | Identification et traitement du Tuf Utilisé | |
| Photo IV.1 : | Mode opératoire de l'essai des limites d'Atterberg | 49 |
| Photo IV.2: | Mode opératoire de l'essai d'équivalent de sable | 52 |
| Photo IV.3 : | Mode opératoire de l'essai Proctor modifié | 53 |
| Photo IV.4 : | Montre l'arène granitique | 57 |

Liste des Symboles

Abréviations et symboles utilisés

- γs Poids spécifique des particules solides (kN/m3).
- **Ws** Poids du sol sec (kN).
- **Vs** Volume des particules solides (m3).
- Rc Refus cumulés (%).
- Tc Tamisât cumulés (%).
- M Masse de l'échantillon (g).
- D Dimension maximale des plus gros éléments appréciée visuellement (mm)
- WL Limite de liquidité (%).
- WP Limite de plasticité (%).
- IP Indice de plasticité (%).
- N Nombre de coups.
- ω_N La teneur en eau correspondant au nombre de coups N (%).
- (yd/yw)Densité sèche.
- W La teneur en eau (%).
- OPM La densité sèche maximale à l'optimum Proctor(g/cm3).
- $(\gamma d/\gamma w)$ max Densité sèche maximale.
- W_{opt} La teneur en eau optimal (%).

Résumé :

Les régions du sud en Algérie connaissent un grand développement en construction routière. Des techniques de constructions nouvelles avec des matériaux purement locaux à moindre coût et à haute qualité pour une grande efficacité et durabilité nous incitent à développer nos axes de recherche.

A cet effet, nos travaux de recherche concernent l'utilisation des matériaux locaux de la région de Tamanrasset. Nous avons mené des expériences sur le tuf de la région d'In Azaoua. Les différents essais réalisés concernant le renforcement de ces tufs par ajout de la chaux et le granit à différents pourcentages. Nous avons déterminé les nouvelles propriétés physiques et mécaniques dans le cas du renforcement des couches de chaussée.

Mots clés : région de Tamanrasset, construction routière, Tuf de In Azoua, chaux, granit, amélioration des propriétés.

Abstract:

The southern regions of Algeria are experiencing a great development in road construction. New construction techniques with purely local materials at lower cost and high quality for a great efficiency and durability incite us to develop our research axes.

For this purpose, our research works concern the use of local materials of the region of Tamanrasset. We have conducted experiments on the tuff of the region of In Azaoua. The various tests carried out concerning the reinforcement of these tuffs by adding lime and granite at different percentages. We determined the new physical and mechanical properties in the case of reinforcement of pavement layers.

Keywords: Tamanrasset region, road construction, Tuf of In Azoua, lime, granite, improvement of properties.

تشهد المناطق الجنوبية من الجزائر تطورا كبيرا في بناء الطرق. تقنيات البناء الجديدة بمواد محلية بحتة وبتكلفة أقـل وجودة عالية لكفاءة ومتانة كبيرة تحفزنا على تطوير محاور بحثنا.

لهذا الغرض ، تتعلق أعمالنا البحثية باستخدام المواد المحلية لمنطقة تمنراست. أجرينا تجارب على طف منطقة عين آزاوا. أجريت الاختبارات المختلفة لتقوية هذه التوف بإضافة الجير والجرانيت بنسب مختلفة. حددنا الخصائص الفيزيائية والميكانيكية الجديدة في حالة تقوية طبقات الرصف.

الكلمات المفتاحية: منطقة تمنراست ، منشئات طرق ، تيف في اين آزاوا ، جير ، جرانيت ، تحسين الخواص.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le transport routier dans différents pays en général et en Algérie en particulier, joue un rôle majeur et efficace en termes de liaison de toutes les formes. Le transport routier dans les régions du sud en Algérie est consacré à la plupart des mouvements de marchandises et de voyageurs, afin de rendre le trafic plus flexible.

Dans ce domaine, notre projet de fin d'études est consacré à la valorisation des matériaux locaux de la région de Tamanrasset. Nous nous intéressons au tuf de In Azoua comme une solution pour traiter et améliorer ses propriétés en ajoutant la chaux et le granite à différents pourcentages.

Le mémoire se compose de quatre chapitres :

- Le premier chapitre traite les généralités sur la géologie de Tamanrasset.

- Le second chapitre est consacré à l'étude de la nature du tuf localisé dans la wilaya de Tamanrasset et ainsi que les différents gisements de tuf qui existent.

- Le troisième chapitre introduit les méthodes d'amélioration du tuf.

- Dans le dernier chapitre, nous présentons les méthodes de traitement du tuf utilisé par ajout de la chaux et du granite.



La géologie de la région de Tamanrasset (Hoggar)

I.1-Introduction :

Les roches du Hoggar émergent sur environ 500 000 kilomètres carrés à l'extrême sud de l'Algérie, jusqu'à Adrar Evoras à l'ouest face au Mali ; et les monts Eral de la face Est contre le Niger, ces différents blocs forment le bouclier touareg. Sa capitale administrative est Tamanrasset, elle est située à 2000 km au sud d'Alger, avec une Latitude 22 ° 41 et 5 ° 27 ° Longitude. La division de l'armure Touareg s'est développée spectaculairement des grands jeux Ialonite et se compose de terrains d'époques allant de la période archaïque à l'ère moderne (Black et al 1994). Ces terrains ont été regroupés il y a 750 à 520 millions d'années au cours de la formation panafricaine.

I.2 Les subdivisions structurelles du Hoggar :

La structure des montagnes du Hoggar se caractérise par l'apparition de grands cisaillements submersibles avec la disposition de la lithosphère (4 ° 50 et 8 ° 30), ainsi que les principales articulations subtiles nommées NNE et NNO qui lui donnent une bonne forme dont l'interprétation a évolué au fil du temps. Nous notons que trois sections structurelles majeures ont été proposées.

I.2.1 La première subdivision

M Lelubre, 1952 ; dans son ouvrage On Western and Middle Hoggar, il résume une grande composition composée de deux cycles.

- Le cycle persan au sommet se compose également de deux unités monocycliques et de deux métamorphoses volcaniques de l'ère Porterions moindre.
- Le cycle du sucre se compose de deux groupes complexes polycycliques et hautement métamorphiques de l'ère paléo-protérozoïque.

I.2.2 La deuxième subdivision (Bertrand et Caby 1978)

Les nombreuses expériences menées sur l'ensemble du bouclier touareg, durant les années entre 1967 et 1978, ont abouti à la création d'une subdivision en termes de structure et d'une véritable couche de pierre, claire et fine qui est toujours valable jusqu'à présent. Cela a permis à Hoggar d'être divisé en trois grands domaines squelettiques séparés par le grand incident 4 ° 50 et 8 ° 30.

La géologie de la région de Tamanrasset (Hoggar)

Chapitre I



Figure I.1 : Subdivision structurelle de l'écu Touareg (Bertrand et Caby, 1978)

- Le Hoggar occidental est constitué de deux branches (néoprotérozoïques) séparées par des tranchées granuleuses dans In Ouzzal à l'âge Archéen longeant l'incident 2°30 (faille de l'Adrar).
- Pour le Hoggar central polycyclique, il est séparé et considéré comme le sol paléozoïque dominant, à l'est de la plaque d'Issalane.
- Le Hoggar oriental situé à l'est de 8 ° 30, a des formations volcaniques plutoniques récentes en abondance et fait partie du craton oriental du Sahara.

I.2.3 La troisième subdivision (Black et al 1994) :

Cette subdivision est basée sur les fondements et les concepts de l'amas de terrain de l'Aïr, puis extrapolé à l'ensemble du bouclier Touareg.

> On peut conclure que le terrain est composé de blocs tectoniques majeurs avec des caractéristiques de pierre stratifiée et des propriétés métamorphiques structurales, qui sont magmatiques et caractéristiques de fines plaques tectoniques, qui par leurs agrégations conduisent à la chaîne d'origine.



Figure I.2 : Répartition structurelle du bouclier Touareg (Black et al 1994)

I.3 Notation de terrains :

I.3.1 Terrain occidental

Ce terrain est compatible avec la partie ouest du Hoggar, il est délimitée à l'est par la grande faille mylonite 4 ° 50. Il forme la série «pharussienneinterprétée comme un cycle de Wilson complet (Black et al 1979 ; Caby et al 1981).

Cette partie de la série panafricaine se compose de deux branches, la branche occidentale et la branche orientale, séparées par des unités de granit Iforas - Inuzzate de la période archéenne.

• La branche occidentale

Elle est située précisément entre la zone cumulative Tilmsee et la faille principale 2 ° 30 (faille Adrar). Elle comprend Kidal - Tirek (Ki - Tr) Tassendjanet (Tas) et Ahnet (Ah), In Ouzal - Iforas (UGI - UGI).

I.3.2 Le terrain de Kidal - Tirek (Ki-Tr)

Son emplacement principal est sur l'Adrar des Iforas. Il comprend principalement des gneiss fortement métamorphiques (le « groupe kidalien », Boulier et al. 1978), qui nousdonnent la voûte Tissandjanine au nord de l'Adrar des Iforas et une séquence supracrustale de quartzite et de marbre d'âge paléoprotérozoïque, revitalisée en la falaise panafricain. Cette falaise est successivement recouverte de manière non identique par deux formations en forme de plate-forme. La formation est supportée à partir de quartzite alumineuse associée avec des orthogneiss alcalins, datée de 1837 Ma. Cette formation est comparée à la série Ahnet, la formation supérieure comprend du quartzite, du schiste et du marbre, datée de 793 Ma, elle est quelque peu similaire à la série de stromatolithes de Tassenendjanet.

Les deux formations sont divisées par du granit déformé et de la tonalité datant de 696 Ma. Ces formations sont répertoriées de manière incohérente par une série de plastiques volcaniques d'origine caractéristique contenant des grauwacke, des tillites et des volcans andésite de type chaîne verte. Elles sont recoupés de roches batholithes calcaires à forte teneur en calcaire datant de 634 à 570 Ma (Liégeois et al. 1987) et de complexes annulaires datant de 540 Ma.

I.3.3 Le Terrain de Tassendjanet

Il est situé dans la partie nord-ouest du Hoggar et est issu d'une base constituée d'une chaîne gneissique (chaîne Tassendjanet) recouverte de granit de Tassendjanet datant de 2090 Ma (Allègre et Caby 1972) et d'une couverture constituée de:

- Le complexe métasdimental de la plate-forme est représenté par une série de quartzite alumineux de type Ahnet, datée de 1755 (Caby et al.1983), recouverte par la série de dolomite et de stromatolite calcaire à base importante et au-dessus de la base, avec une date de 1145 millions d'années.

- Le complexe d'origine majoritairement volcanique à faciès de schiste vert (série verte; R. Caby, 1970) intubé par le complexe plutonique d'Ougda daté de 676 Ma.

I.3.4 Terrain Iforas :

Ils Il est constitué de deux unités structurales à épaisse marge laiteuse, représentant un sous-sol important, avec une structure multicouche, complexe et métamorphique (Ouzegane 1987).

Ce drapeau de roche présente une chaîne supra crustale méta sédimentaire qui est interprétée comme les restes d'une ceinture de pierre verte archéennes déposée sur une base de gneiss et des granito gneiss anciens d'affinité TTG, associés à des lèptinites et gneiss syénitiques datés de 2700-3300 Ma,

Ces roches sont coupées par des intrusions charnockitiques à cinématique tardive datant de 2000-2100 Ma. Ils sont placés juste avant le métamorphisme granulitique et l'apparition des corps de carbonatite datés de 1900-2000 Ma.

L'empreinte tectonique panafricaine est un facteur négligeable, il est souvent mentionné dans une série d'intrusions dans les calcaires granitiques panafricaines (Liégeois et al 1987).

I.3.5 Le Terrain Ahnet

Il est situé au nord du terrain d'In Ouzzal. Elle se caractérise par l'exhaustivité des formations de type plateforme (la chaîne de quartzite) entrecoupées de rhyolite datant de 1755 millions d'années et dirigées par des formations de la série stromatolite. Cette dernière était constituée de dolomite calcaire et stratolite associée au groupe Attar et déposée entre 998 et 695 Ma.

Les seuils formés dans cette série remontent à 793 millions d'années.

Chapitre I

• La branche orientale :

Elle est située entre la faille Adrar (2 ° 30) et la faille 4 ° 50, et se caractérise par de fortes bandes de mylonites subverticales. Cette branche correspond aux terres de Tin Zaouatene - à Tidene (Za-It) et Iskel (Esk).

I.3.6 Le terrain de Zaouatene - à Tedeini :

C'est une région qui se spécialise dans les formations paléoprotérozoïques (chaîne Tekouyate) avec une abondance de gneiss, migmatites, métasédiments et granites d'anatexie parsemant la terre de Tin Zaouatene. Il est encapsulé de manière incohérente par des restes de formations volcaniques de l'ère panafricaine avec des facettes de schiste vert associées à du plutonium calcaire alcalin relativement abondant dans toute l'Afrique (il y a 650-550 millions d'années) dans une zone d'In Tedeini.

I.3.7 Iskel-Terran :

On peut attribuer entre deux groupes les sédiments volcaniques néoprotérozoïques, limités par une grande différence.

- Le groupe du bas (série Timeslarsine) est formé à partir des sédiments de la plate-forme et des volcans primaires à supra-basaux, interprétés comme des aviolites potentielles et précède la phase de fracture néo-protérozoïque, métamorphique et plissée avant la pose des calcaires volcaniques datant du retour à 868-839 millions ; et caractérisé par l'arc magma Iskel selon.

- Le groupe supérieur de grès à la base (Formation d'Amdid) et les roches volcaniques au sommet (série Ighellouchem) sont illustrés comme des dépôts marginaux actifs, datant de 680 Ma (Liégeois al 1987).

- L'ancre de métamorphose est séparée par deux familles de plutonite, les granites pré-sanguins d'Aouilène, datés 630 Ma et les granites tectoniques Immezzarène tardifs, datés 580 Ma.

- Le granite anorogénique de Taourirt déposé lors de la phase de dépressurisation a été daté entre 570 et 520 Ma et a marqué la fin de la chaîne de montagnes panafricaine.

I.3.8 Les terranes centraux

Il est identique aux taupes polycycliques centrales du Hoggar et d'Issalane, représentées par les deux incidents monolithiques 4 ° 50 et 8 ° 30, et comprend le terrain

Chapitre I

qui constitue le métacrâne LATEA (Laouni, Azroun'fad, Tefedest, Egéré et Aleksod) et les terrains Serouenout, Tazzat, Issalane et Assodé.

I.4 LATEA :

Ce groupe de terrain se caractérise dans l'abondance de granites d'anatexie panafricains associés à des formations de gneiss multi-structures dans le sous-sol de la période archaïque, avec des amphibolites et des granulites toujours fraîches et plus ou moins souvent daté de 2000 Ma. Ce sous-sol comprend des résidus archéens et des bassins africains limités formés à partir de bassins sédimentaires volcaniques avec des côtés de schiste vert.

Deux grands groupes de mutants paléozoïques, quelque peu distincts et séparés par des mésappariements tectoniques, ont été identifiés.

Le groupe des gneissique inférieurs dominés par les orthogneiss de leptinite et les gneiss de quartz-feldspath associés à de rares formations mutées en amphibolite à faciès granitiques (série Arechoum).

- L'agrégation des gnomes supérieurs, formés principalement de paranés et de pharmes (quartz, marbre, amphibiens), sont des amphibiens (série d'Aleksod ou d'Egéré).

I.4.1 Trois familles de granits interpénètrent ces deux groupes :

- Granit pré-tectonique Anfeg (615 Ma) ;
- Plutons de téphrite de la fin de la tectonique (il y a 580 Ma) ;
- Granit tectonique Taourirt (520 Ma).

Les formations neubrotérozoïques sont moins développées, ils présentent des bassins confinés et isolés (Aghefsa, Témassint, etc.) et donnent naissance à deux unités volcaniques séparées par des différences qui sont illustrées comme des dépôts marginaux actifs.

L'unité inférieure dominée par le mica de schiste et les amphiboles marbrées, est en contraste angulaire et compositionnel sur toutes les formations de socle du Paléolithique.

Le groupe supérieur, principalement terrestre à la base (série Tit nafara, Imededghène) et volcanique au sommet (série Assendjef, Tinouig), sont différents sur le premier groupe. Les sédiments molassiques, qui constituent de nombreux radeaux isolés, enveloppent toutes les régions précambriennes.

I.4.2 Le Terrain de Sérouenout :

Ce groupe s'étend vers le nord sur le terrain Aegean-Aleksod, il est essentiellement composé de plusieurs nesses et orthogènes amphibies profonds associés à l'alumine de schiste et à des polymorphes structuraux d'âge inconnu. Plus au sud, ce terrain comprend des vestiges de roches ultrabasiques (imzades) d'ophiolites potentiels.

I.4.3 Les Terrains Assodé - Issalane :

Elle se trouve entre deux incidents majeurs (7 $^{\circ}$ 30 et 8 $^{\circ}$ 30), et concernedesassemblages gneissiques à faces profondes d'amphibiens dominées par des gneiss, migrateurs et antibiotiques, de grande retombée, associées à des séquences supracorticales avec des marqueurs d'âge. On distingue deux familles de plutonite, les granites de chaux alcaline à 670 Ma et les granites alcalins à haute teneur en potassium datant de 645 à 580 Ma (Black et al 1994).

I.4.4 Zone de cisaillement de Raghane 8°30 (zone de suture orientale) :

La faille majeure est représentée dans l'arrangement de la lithosphère qui se spécialise dans la présence de bandes épaisses de mylonites et d'ultramylonites (Bertrand et al., 1978). Une zone de subduction ouest est caractérisée par des agrégations rocheuses fondamentales et au-dessus de la base à affinité théologique, qui sont indiquées comme des ophiolites potentiels, se trouve à Aïr (agrégation Agalen ; (Liégeois et al 1994) et le long de la marge ouest de l'Aouzegueur terrain (région de Timoletin, connue sous le nom de structure en coin. Ceux sontles roches métaboliques d'un Arier tertiaire familier.

I.4.5 Terrain oriental :

L'évolution géodynamique peut se résumer en deux phases successives (Black et al.1994). La phase précoce (il y a 750-660 Ma) qui coïncide avec la création d'une base étroitement liée à l'exploitation d'un naufrage occidental. C'est une zone suivie d'une forte collision qui a entraîné un métamorphisme HP, une perte de croûte, des superpositions plutoniques régionales, moyennes à élevées de calcaire ... Le stade tardif (650-580 Ma) se spécialise dans les grands déplacements horizontaux, le long des zones de coupe massives et la pose de calcaires avec un niveau élevé de calcium et le dépôt de formations de mélasse au-dessus.

Quatre terrains (Barghot, Aouzegueur, Edembo et Djanet) ont été identifiés à 730 Ma, elles sont liées au craton oriental du désert (Liégeois et al.1994).

I.4.6 Le terrain de Barghot (Aïr) :

Il s'agit d'un ancien sous-sol spécialisé dans deux ensembles transformés de gneissiques fortement métamorphosés. Le groupe azenguerène inférieur à structure complexe dominée par les gneiss migmatitiques et les amphibolites, recouvert de formations supracrustales, principalement méta-sédimentaires, mono à polycycliques (groupe Tafourfouzet), largement intrusées par des bassins alcalins.

• Le bloc Tafafesset-Djanet :

Il fait partie de la base de la ceinture pliante pré-panafricaine dans une direction nord-ouest et sud-est, divisée en trois régions séparées par des accidents mylonitiques verticaux, avec des relations stratigraphiques inconnues.

I.4.7 Le terrain d'Aouzegueur (domaine de l'Ouest) :

Dans l'est du Hoggar, il est assimilé à un sous-sol dominé par du granit et des roches volcaniques par du marbre, de la peroxénite avec du grenat et des représentations de mouches avec du schiste, du guacamole, du tuf, de l'andésite et de la diabase, qui sont parasités par de nombreuses familles de plutonite. Dans les airs, des formations similaires ont été séparées en trois unités de pierre chevauchantes légèrement inclinées vers l'ouest. L'unité orientale d'Eberjegui contrôlée par des roches souterraines de convergence TTG pénétrant le sous-sol de l'ère pré-panafricaine

Ces trois groupes sont recouvertes par des dépôts molassiques près du Ténéré, qui sont liés à la série des Tirirines datant de 660 Ma.

I.4.8 Le terrain d'Edembo-Djanet :

Ils sont rassemblés par une grande coupure subverticale. L'EdemboTerrane correspond à une ceinture de roche de mylonitiques et déformée composée d'un réseau de roches de micaschistes, de métagrauwackes, de lentilles de marbre rares et de grands

Chapitre I

La géologie de la région de Tamanrasset (Hoggar)

corps identiques de superstructure de basalte enterrés par des perpendiculaires et des seuils. La topographie de Gantt se distingue par des formations argileuses vertigineuses, des amas et des métagrawaki avec de faibles transitions et de légères déformations interférées par de nombreux corps granitiques panafricains.

I.5 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une description sommaire des formations géologiques de la région de Tamanrasset (Hoggar). Nous remarquons que plusieurs appellations ont été détaillés suivant les âges estimés à des millions d'années.

Toutes ces formations ont été influencées par les changements climatiques (vent, volcan, sédiments ect...) qui ont donné lieu à plusieurs natures de terrains.

Chapitre II

Nature des tufs de Tamanrasset

II.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons montré une représentation générale de la géologie de la région de Tamanrasset (Hoggar), afin de bien comprendre leurs propriétés géologiques et historiques ainsi que leurs comportements.

Nous nous intéressons dans ce deuxième chapitre, à l'étude des différentes régions et carrières sur Tamanrasset avec l'identification géotechnique du tuf comme un matériau local à l'aide des essais de laboratoire classique.

Dans le but d'une valorisation des matériaux locaux de la région Tamanrasset, nous allons déterminer les propriétés physiques et mécaniques des échantillons prélevés dans les carrières à ciel ouvert pour une utilisation en construction routière.

II.2 Le Hoggar oriental

II.2.1- Litho stratigraphie

Du point de vue stratigraphique, ce domaine est composé en trois zones actuellement séparées par de grands cisaillements verticaux. Elles sont situées à l'Ouest et l'Est: zone occidentale (Tiririne -Timolitine), zone centrale (Edembo) et zone orientale (Djanet).

II.2.1.1 Zone occidentale ou chaîne de Tiririne

Dans cette zone (Katchevski et al., 1982) ont distingué globalement trois séries volcano-sédimentaires et terrigènes, qui sont de bas en haut:

II.2.1.1.1- Série de plate-forme :

Cette série affleure en particulier dans la région de Timolitine (structure Coin) au SE de la feuille de Timolitine. Elle est essentiellement composée de micaschistes (à muscovite ± biotite) avec une alternance de niveaux de pélites noires (schistes à graphite), de conglomérats à galets de quartz, de marbres et de quartzites. La série est recoupée par des plutons de granitoïdes type TTG calco-alcalins modérément riches en potassium. Les granitoïdes analogues plus à l'est de la région ont été datés à 730 Ma.



Figure II.1 : Série de plate-forme (formation Tafassasset-Djanet) néoprotérozoïque du Hoggar oriental (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

II.2.1.1.2- Série volcanique:

Cette série affleure essentiellement plus au Nord dans les régions de Hassi Tiririne et Ighargher, situées respectivement au Nord et au Sud de la feuille de Tiririne. Elle est constituée essentiellement de basaltes, d'andésites, de rhyodacites et rhyolites porphyriques qui passent parfois progressivement aux granodiorites. Ces formations sont de nature bimodale, tholeiito-calcoalcaline ; Elles constituent une véritable chaîne de type cordillère.

Ces formations sont affectées par une schistosité de fracture accompagnée localement de plis ouverts d'axes NNW, réalisée dans les conditions de faciès schiste vert.



Figure II.2 : Les formations volcaniques néoprotérozoïques du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

II.2.1.1.3- Série de Tiririne:

La série de Tiririne, appelée proche Ténéré au Niger, repose partout en transgression sur les granitoïdes et les métasédiments et roches volcanosédimentaires néoprotérozoïques de la région.



Figure II.3 : Série de Tiririne du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

Elle est essentiellement composée de deux groupes superposés (Katchevski et al., 1982):

II.2.1.1.4 - Groupe inférieur (série de Tiririne. de Katchevski et al., 1982):

Il est composé de conglomérats et arènes gréseuses de base, surmontés par une alternance rythmique de caractère turbiditique de grès et pélites, et localement de calcaires et dolomies à stromatolithes. Il est recoupé par un sill de granodiorite daté à 660 ± 5 Ma.



Figure II.4: La série molassique inférieure du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

II.2.1.1.5 Groupe supérieur (série d'Arokame de Katchevski et al., 1982):

Il est composé de conglomérats et poudingues avec des niveaux de grès et arkose à stratification oblique de couleur rouge à pourpre.

La série d'Arokame est affectée par une schistosité de fracture accompagnée parfois de plis ouverts de direction nord. Elle est légèrement métamorphisée (métamorphisme statique) dans les conditions de faciès schiste vert de faible degré.

Ses limites ouest sont mylonitisées par la zone de cisaillement 8°30' et sont localement recoupées par le batholite de granites tardifs (tardi à pos-tectoniques) type Adaf daté à 580±12 Ma (Bertrand et al., 1978).



Figure II.5: La série molassique supérieure du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

II.2.1.2 Zone centrale

Elle correspond à une ceinture d'orientation NW-SE, très mylonitisées, composée essentiellement de batholites de granitoïdes d'âge et de nature inconnus (probablement analogues à ceux du domaine précédent, Katchevski et al., 1982) avec quelques affleurements de micaschistes sombres à biotite-oligoclase, de métagreywackes à galets et des niveaux de marbres à phlogopites, riches en matière organiques et de roches volcaniques plus particulièrement basaltiques à hornblende vert-bleutée, rarement rhyodacitiques déformées dans les conditions de faciès schiste vert.

II.2.1.3 Zone orientale

Cette zone est composée d'un socle plissé éburnéen, de formations volcanodétritiques à caractère turbiditique, de granites déformés dans des conditions de faciès schiste vert d'âge panafricain probable et d'orthogneiss d'âge et de nature inconnus.

II.2.1.3.1- Socle paléo-mésozoïque

Il est analogue au socle éburnéen du Hoggar Occidental, et occupe la partie Sud-Ouest de la région de Djanet. Il est représenté par des gneiss variés, des quartzites, des amphibolites, des marbres et des schistes cristallins.

II.2.1.3.2 Formations Néoprotérozoïques

Dans la région de Djanet, les formations néoprotérozoïques sont peu développées. Elles sont séparées du socle paléo-mésozoïque par une zone d'accidents disjonctifs, et recouvertes en discordance par les dépôts sédimentaires subhorizontaux du Tassili.

Les formations néoprotérozoïques ont été subdivisées en deux séries : Série inférieure de Djanet, série supérieure de Tiririne.

II.2.1.3.2.1 La série de Djanet

Immédiatement à l'Ouest de la ville de Djanet, la série de Djanet comporte une formation semipélitique grise ou vert-kaki, avec des lentilles de conglomérats polygéniques. Cette formation est peu déformée, recoupée par les granites de Djanet, avec omniprésence de biotite brune.

II.2.1.3.2.2 La série de Tiririne

Au Nord de Djanet, la série de Tiririne repose en discordance sur la série de Djanet, constituée de conglomérats à la base, puis d'une alternance de grès, de pélites et de schistes, et enfin des schistes de composition variée. La puissance totale de cette série dépasse 2500 m.

II.2.2- Plutonisme

Au Hoggar oriental on distingue les complexes plutoniques suivants:

II.2.2.1 Complexe basique-ultrabasique:

Il affleure essentiellement dans la structure « coin » au SE de la feuille de Timolitine, sous deux formes: en écailles tectoniques charriées vers le N-NE sur les métasédiments, et en forme de lopolites associés spatiallement aux granitoïdes pré Tiririne.

Les affleurements en forme d'écailles tectoniques sont composés de serpentinites (de composition harzburgitique et dunitique) avec des lentilles podiformes de chromite. Ces serpentinites passent parfois aux cumulatspéridotiques et gabbroïques. Les affleurements en forme de lopolites sont composés exclusivement de cumulatspéridotitiques lités à la base et de cumulats de gabbro à olivine et gabbro-norite à olivine non lités au sommet.

Ces roches basique-ultrabasique sont caractérisés comme étant la phase initiale du complexe d'Arirère.



Figure II.6 : Les complexes basiques-ultrabasiques, diorites et dykes néoprotérozoïques du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

II.2.2.2 Complexe de granitoïde pré Tiririne:

Ce complexe affleure sous forme de batholites à travers l'ensemble du Hoggar oriental, et il est relativement bien étudié dans la partie occidentale (domaine Tiririne-Timolitine).

Le complexe (appelé complexe d'Arirère, Katchevski al., 1982) est globalement composé de gabbros et pyroxenites en petits massifs à la base et de grands lopolites composés de tonalite-trondhjemite-granodiorite, datés à 729±8 Ma. Ces granitoïdes sont de nature géochimique calco-alcaline, pauvres à moyennement riches en potassium.

Un sill de granodiorite encaissé dans la série de Tiririneà été daté à 660±5 Ma (Bertrand et al., 1978).

Dans l'Aïr (Niger), Liégeois et al. (1994) ont défini le complexe de Debga-Est composé de granitoïdes calco-alcalins riches en potassium et datés U/Pb sur zircon entre 700 et 660 Ma.



Figure II.7: Les granitoïdes (complexe d'Arirer) néoprotérozoïque du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)
II.2.2.3 Complexe de granitoïdes syn à post Tiririne:

Ils forment de grands batholites qui se développent essentiellement au NW de la feuille de Tiririne qui se situent en grande partie dans le domaine du Hoggar central (batholite de Honadj et Adaf). Ils sont composés de granodiorites et granites monzonitiquescalco-alcalins riches en potassium datés respectivement à 604 ± 13 Ma (Bertrand et al., 1978) et entre 585 ± 13 Ma à 553 ± 15 Ma.

Dans la région de Djanet, des granitoïdes à prédominance granitique porphyrique à biotite et hornblende qui recoupent la série de Djanet et de Tiririne avec un métamorphisme à cornéennes, forment des reliefs négatifs. Ils sont représentés par les massifs de Djanet et d'Efevi. Ces granitoïdes sont recoupés par des granites tardifs (Taourirts) à biotite et à hornblende, ils sont minéralisés en Sn, W, Bi et pauvres en Li, Be, Nb et Ta, ce qui les diffèrent de ceux du Hoggar Central. La plupart de ces granites sont riches en fluorine, ce qui signifie que le niveau d'érosion est faible. Ils sont représentés par les massifs de Tin Benguen, Tagment, Tassetouf, Tadjeousset, Djilouet, Edjedje, Tisselatine, Adjahil, Issoudad et Tin Alkoum.



Figure II.8 : Les granites tardifs (post-tectoniques) du Hoggar oriental. (Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006)

II.3 Présentation de L'échantillon :

Notre travail est orienté vers la valorisation des tufs de la région Tamanrasset (zone In Azaoua). Nous avons prélevé des échantillons des carrières qui sont relatifs à notre thème de recherche



Photo II.1: Carte de localisation de carrière étudiée tuf image satellitaire



Photo II.2 : Carte de localisation de carrière étudiée tuf image satellitaire

II.3.1- Explication sur la carrière :

Carrière de PK30+100



Photo II.3: Carrière de PK 30+100 gauche vers hassi tiririne

Cette carrière qui est montrée sur la Photo II 3, elle se trouve au PK.30+100 gauches vers hassi tiririne ville, Le matériau est de couleur blanchâtre

□ Carrière PK 41+000 droite vers hassi tiririne

La carrière est située au PK 41+000 droite vers hassi tiririne. Le matériau présente une couleur blanchâtre.



Photo II.4: Carrière de PK 41+000 droit vers hassi tiririne



Photos II.5 : Chargement et transport de tuf dans la carrière



Photos II.6 : Chargement et transport de tuf dans la carrière

II.4 Conclusion :

On remarque que les différents types des tufs se sont déposés suivant les formulations géologiques anciennes estimées à des millions d'années. L'exploitation de ces tufs est assurée par la Direction des Travaux Publics de Tamanrasset.

Ces tufs sont de couleurs différentes avec des caractéristiques physicochimiques divers.



Synthèse des méthodes de traitement et d'amélioration

Des sols

III.1 Introduction :

Les méthodes d'amélioration des sols sont l'un des outils dont dispose l'ingénieur pour résoudre les problèmes de stabilité ou de déformation qu'il rencontre lors de l'élaboration d'un projet. De nombreuses techniques ont été développées par les ingénieurs géotechniciens. Elles permettent l''amélioration des caractéristiques géotechniques et les propriétés mécaniques des terrains, elles sont jugées importantes et efficaces. Certaines de ces méthodes sont très anciennes, comme le battage de pieux en bois dans les sols de faible portance, d'autres sont plus récent, augmenter la capacité portante et ou la résistance au cisaillement

- On peut aussi diminuer les tassements, tant absolus que différentiels aussi les accélérer,
- Diminuer ou éliminer le risque de liquéfaction en cas de tremblement de terre ou de vibrations importantes. Il y'a aussi les méthodes d'injection, de pilonnage ou de congélation. Ces méthodes ont connu un développement considérable et sont maintenant utilisées dans des projets.

Les techniques d'amélioration des sols consistent à modifier les caractéristiques d'un sol par une action physique (vibrations par exemple) ou par l'inclusion dans le sol ou le mélange au sol d'un matériau plus résistant.

Les applications des différentes techniques dépendent essentiellement de la nature et de la granulométrie des terrains que l 'on désire améliorer.



Figure III.1: *Dimension moyenne des grains (mm)*

III.2 Les Méthodes de traitement : III.2.1 Méthodes mécaniques :

Il existe trois méthodes de stabilisation mécanique:

III.2.1.1 Compactage de surface :

Le compactage est un procédé de densification des SOLS en place Ce procédé mène une diminution des vides du sol par des moyens mécaniques aboutissant ainsi une augmentation de la densité et de la résistance ainsi qu'une réduction de la compressibilité.



Figure III.2: Types de compactage de surface

L'application des charges sur le sol à compacter par certains rouleaux de compactage statiques ou vibratoires induisent une densification dans le sol qui sera proportionnelle à l'énergie mécanique appliquée. Le compactage de surface peut être accompli sur différents types de sites,

III.2 1.2 Compactage dynamique :

Le compactage de surface peut être utilisé pour une profondeur maximale de 3m, Au-delà de cette profondeur, un autre type de compactage existe connu sous le nom de compactage dynamique profond.

C'est un procédé qui consiste à pilonner le sol en surface avec une dame en chute libre. L'énergie transmise par chaque impact pénètre dans le sol et produit une déstructuration, Au bout de quelques jours ou semaines, une restructurationaboutit à des caractéristiques de portances améliorées.



Photo III.1: Chantier d'un compactage dynamique profond

Le procédé s'applique aux sols sablo-graveleux, et aux matériaux argilolimoneux saturés à condition qu'il y ait présence d'air occlus. Son emploi peut être intéressant pour consolider des couches sous l'eau.

III.2.1.3 Vibro-compactage :

Le procédé de vibro-compactage développé permet de compacter localement ou dans la masse les sols grenus sans cohésion (sables, graviers, cailloux) en placent ou en remblai au-dessus ou en-dessous de la nappe et ceci jusqu'à des profondeurs maximums de plus de 50 m. C'est une technique d'amélioration des sols pulvérulents de type sablo-graveleux permettant de les densifier sous l'effet de la vibration.

Ces vibrations émises se propagent de grains en grains et provoquent un réarrangement optimal du volume initial occupé. La réduction de la porosité du matériau permet aussi d'augmenter sa capacité portante de manière significative.



Photo III.2 : Vibrocompactage.

Ce procédé de vibro-compactage est utilisé dans les sols granulaires particulièrement les sables propres et les sables silteux, avec une teneur en fines inférieure à 20%. Les vibrations engendrent un phénomène localisé de liquéfaction sous l'effet des surpressions interstitielles qui met les grains du sol dans un état liquéfié. Les grains se réarrangent en un état plus dense.

III.2.2 Méthodes hydromécaniques :

III.2.2.1 Pré chargement ou Pré-compression :

La pré-compression nécessite la compression du sol sous une pression appliquée avant l'application des charges. Cette méthode est utilisée sur des terrains dont le tassement va se prolonger durant plusieurs années. On applique généralement ces méthodes sur des mauvais terrains de composition principalement argileuse. Le principe consiste à surcharger le terrain afin qu'Il se tasse naturellement. Le pré chargement des sols s'opère selon les mêmes principes dans le cas des sols fins ou grenus. Le mode de réalisation est le même, mais la perméabilité élevée des sols grenus permet d'obtenir l'amélioration souhaitée dans des délais beaucoup plus brefs que les sols fins et surtout argileux.



Figure III.3: Principe du pré-chargement pour le contrôle des tassements.

Les effets bénéfiques de ce procédé incluent une augmentation considérable de la capacité de portance par la réduction des pressions interstitielles excessives et de plus la réduction de la compressibilité des sols mous par l'accélération de la consolidation.

III.2.2.2 Accélération de la consolidation par l'installation des drains verticaux[‡]

Les drains verticaux peuvent donc être utilisés dans beaucoup de cas pour accélérer le taux du tassement de la consolidation primaire à l'intérieur de la zone préchargée avec ou sans la surcharge ajoutée. Ce procédé est inefficace dans les sols tels que les tufs très organiques et les tourbes où leur comportement de tassement est beaucoup plus dominé par la compression secondaire. Les drains verticaux permettent donc au drainage de s'effectuer horizontalement et verticalement.



Photo III.3: Principe d'installation des dœlins

Durant les années 1980, les drains verticaux sont constitués généralement de sables réalisés par différents procédés tels que le battage et le vibro-fonçage. A partir des années 1980, une nouvelle génération de drains qui sont les drains préfabriqués en forme de bande a fait son apparition. La part de ces drains a augmenté de façon très rapide

III.2.3 Méthodes thermiques :

III.2.3.1 Déshydratation :

La déshydratation par la chaleur est très rarement appliquée en géotechnique, elle permet de durcir certaines Tuf par exemple. En pratique, la méthode consiste à brûler un carburant dans un forage en utilisant un forage voisin communiquant avec le premier et servant de cheminée de tirage.

III.2.3.2 Congélation :

La congélation des terrains instables est un procédé ancien à caractère provisoire employé pour le creusement des fouilles de puits ou de galeries. Cette technique rend le sol étanche et résistant provisoirement, Ce procédé est généralement développé pour les sols grenus mais il peut être appliqué aux argiles molles et aux limons. La congélation de l'eau interstitielle d'un sol produit un matériau dont les propriétés sont temporairement améliorées tant que la congélation est entretenue. La congélation a également pour effet de rendre imperméable le sol et de faciliter les travaux de terrassements ou de construction sous le niveau de la nappe. Ces propriétés ont une technique d'amélioration provisoire très efficace, mais dont l'emploi reste limité en raison de son coût élevé.



Photo III.4: Chantier utilisant la congélation du sol.

Les techniques de congélation utilisées sont basées sur la circulation d'un fluide froid dans des tubes enfoncés dans le massif de sol. Une saturation complète du sol est souhaitée.

La congélation du sol d'habitude se fait en deux étapes, à savoir les étapes active et passive de congélation, L'étape active est la plus importante et l'appareillage de réfrigération marche avec sa grande capacité que durant l'étape passive nécessaire pour maintenir l'épaisseur du front de gel contre le dégel.

III.2.4 Méthodes chimiques :

La stabilisation chimique est une technique intéressante pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux. Aujourd'hui les divers produits et techniques font partie d'une pratique des grands ouvrages du Génie Civil à l'échelle mondiale.

Cette technique valorise les matériaux en place, ce qui entraine une diminution notable des coûts qui est due principalement aux facteurs suivants : tels que la raréfaction des gisements naturels de matériaux nobles ; le souci écologique croissant imposant de préserver d'une part les ressources naturelles existantes et de limiter d'autre part la mise en dépôt des matériaux impropres à la réutilisation en remblais ou en couches de forme. Les ajouts cimentaires et les produits chimiques les plus utilisés sont le ciment, la chaux, les cendres volantes. L'objectif principal du malaxage des ajouts cimentaires avec le sol est l'amélioration de ses propriétés physico-mécaniques ainsi que sa durabilité.

Les différentes propriétés qui peuvent être améliorées sont la résistance, la plasticité, la compressibilité, la perméabilité, le potentiel de gonflement et le potentiel d'effondrement. L'amélioration de ces propriétés s'effectue soit par l'augmentation de certaines d'entre elles telle que la résistance, soit par la réduction d'autres telles que la plasticité, la perméabilité et l'érosion. Un bon malaxage des ajouts cimentaires avec le sol traité est un facteur important affectant d'une façon significative la qualité des résultats.

III.2.4.1 Utilisation de la chaux :

Depuis plusieurs décennies, l'utilisation de la chaux pour stabiliser les argiles a connu beaucoup de succès. En effet, plusieurs études ont démontré que les propriétés mécaniques d'un sol traité à la chaux peuvent être modifiées de façon permanente. Dans certains cas par exemple, un sol stabilisé à la chaux fournit une performance structurelle équivalente à celle d'une fondation en gravier naturel ou en concassé. L'utilisation de la chaux se fait par l'addition des produits calcaires calcinés de monoxyde de calcium (chaux vive, CaO) ou d'hydroxyde de calcium (chaux hydratée, Ca(OH) 2.

Généralement, la chaux vive est plus efficace que la chaux hydratée pour l'amélioration des sols. La chaux est plus efficace aux sols argileux que les sols granulaires. En conséquence, les sols présentant des indices de plasticité au-delà de 10 sont les plus ciblés par ce procédé.



(a) Epandage (b) Malaxage Photo III.5: Chantier de traitement d'un sol à la chaux.

De plus, la réussite de stabilisation à la chaux d'un sol nécessite d'une part une source de silice et/ou d'alumine et d'autre part des panicules de petites dimensions susceptibles à l'échange cationique ainsi que la durée de cure.

III.2.4.2 Utilisation du ciment :

Le ciment Portland est un autre produit envisageable pour la stabilisation de certaines catégories de sols utilisés pour les routes et les revêtements des pistes d'aéroports. Il existe plusieurs ressemblances entre la chaux et le ciment Portland comme stabilisants, le ciment Portland fournit en plus la chaux et la silice.

Lorsque le ciment Portland est mélangé à l'eau, l'initiation de l'hydratation occasionne une augmentation rapide de la concentration de calcium dans le sol. A mesure que les ions de calcium sont libérés, ils deviennent disponibles pour stabiliser Tuf.



Photo III.6 : Chantier de traitement du sol au ciment.

Comme indiqué ci-dessus, le processus de stabilisation initié par l'ajout du ciment Portland à l'argile engendre quatre étapes distinctes à savoir l'échange cationique, la floculation et l'agglomération de l'argile, l'hydratation par cimentation et les réactions pouzzolaniques.

Le ciment Portland possède donc des propriétés lui permettant d'initier une étape de plus que la chaux soit celle de l'hydratation par cimentation. Les sols possédant un faible pourcentage Tuf, donc moins de silice et d'alumine ont besoin d'un apport de ciment si les réactions pouzzolaniques sont désirées. En conséquence, le ciment Portland peut généralement être utilisé dans les mêmes types de sols que la chaux.

III.2.4.3 Utilisation des ajouts cimentaires :

Parmi les ajouts cimentaires les plus utilisés, il y'a les cendres volantes, le laitier, les cendres volcaniques et le calcaire. Les coûts élevés de la chaux et du ciment ont poussé les chercheurs à trouver d'autres types de liants dans le but d'améliorer les sols instables à faible coût tout en respectant l'environnement. Les cendres volantes sont intimement liées quant à leur processus de stabilisation, Elles sont souvent utilisées conjointement avec la chaux dans les travaux de stabilisation. Deux types de cendres volantes sont produits par la combustion du charbon à savoir la cendre volante et la cendre basse. Les cendres basses relativement grossières se récupèrent en bas de la fournaise, tandis que les cendres volantes sont séparées des gaz d'échappement par un dépoussiéreur électrostatique. Les cendres volantes ont une composition très semblable à celle du ciment.

Comme les cendres volcaniques, elles présentent des propriétés pouzzolaniques car elles fixent lentement la chaux présente dans le mélange pour

donner naissance à des composés stables ayant des propriétés hydrauliques. Elles peuvent être siliceuses ou calciques. Selon leur teneur en chaux libre, les cendres volantes se comportent différemment en présence d'eau. Il existe deux classes de cendre volante, à savoir la cendre silico-alumineuse (classe F) et la cendre sulfo-calcique (classe C).

III.2.4.4 Utilisation des fibres de plastique :

La bouteille plastique d'eau est la plus utilisée dans l'industrie des boissons dans le monde. Au cours de la dernière décennie, des millions de tonnes de plastique sont utilisées pour la mise en bouteille de l'eau chaque année.

Les études montrent que 1500 bouteilles sont sous-évaluées comme déchets à chaque seconde.

Le nombre de bouteilles recyclées ou retourné est très faible.

La fibre plastique est un mélange contenant une matière de base (un polymère) qui est susceptible d'être moulé, façonné, en général chaud et sous pression, afin de conduire à un semi-produit ou à un objet. La matière de base Clarence) est un polymère. Les résines des matières plastiques sont issues de produits intermédiaires (éthylène, propylène, acétylène, benzène, etc) dont les matières premières sont le pétrole

Le type de ce matériau est en polyéthylène, les fibres plastiques sont coupées en morceaux formes D = 1 mm de diamètre et 20 mm de longueur.



Photo III.7 : fibre plastique

III.2.4.5 Utilisation de L'arène granitique (Yaichi B, Benali M) :

Le terme granite désignant une roche de manière générique, c'est une roche grenue, quelle que soit sa composition, quand elle est utilisée à des fins architecturales.

a) Descriptive du granite:

- ✤ Nom: granite.
- Composants : quartz, de feldspaths potassiques, de plagioclases sodiques et de micas. Les granites peuvent prendre toutes sortes de teintes.
- ✤ La composition chimique moyenne des granites
- ✤ Catégorie : Roche ignée acide, contenant plus de 66% de silice.
- Couleurs naturelles : Gris, beige, rose.
- Gisements : très fréquents mais pas forcément exploitables.
- Minéraux et roches associés : quartz, micas, améthyste, et d'autres.



Photos III.8 : les types de granite

| Tableau III.1 | | La composition | chimiaue | movenne | des | granites |
|---------------|---|----------------|----------|---------|-----|----------|
| Labicau III.I | • | La composition | chunuque | moyenne | ues | granics |

| Eléments | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | K ₂ O ₃ | Na ₂ O ₃ | FeO | CaO | MgO et TiO ₂ |
|---------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------|-----|-------------------------|
| Pourcentage % | 70 à 77% | 11 à 15% | 3 8 | à 5% | 2 à 3% | 1% | 1% |

b) Fracturation du granite :

1- Gel : En période de gel, l'eau fait éclater la roche en blocs de plus petite taille. Dans les zones soumises au gel interviendra aussi le phénomène de Cryo fracturation : l'eau qui s'infiltre dans les diaclases augmentera de volume lors des périodes de gel, participant ainsi à l'élargissement des diaclases et au démantèlement de l'affleurement.

2- Végétaux : La présence de végétation (racines, herbes, lichens, mousses...) permet à l'eau de rester en contact du granite.

3- Tectonique (micro fractures) :le granite est une roche dure et résistante, il manque en effet de souplesse. C'est ainsi que, lors des mouvements de l'écorce terrestre et au cours de son refroidissement, le granite, sous l'action des contraintes, va se fissurer.

4- Dilatation thermique ; Les variations de température agissent aussi sur la cohésion du granite. Elles entraînent des dilatations et des contractions successives. Soumise à ces variations de volume incessantes, le granite se fissure puis éclate. La fissuration est plus importante dans les roches composées de minéraux différents n'ayant pas le même coefficient de dilatation. Des microfissures apparaissent alors à la

limite entre les minéraux. Ce phénomène de thermoclastie est surtout observé dans les régions de forte amplitude thermique (climat continental, polaire, déserts, haute montagne).

L'altération se poursuivant, ce granite pourri va se désagrégé et se réduire à un amas de grains, formant une sorte de sable grossier, l'*arène granitique* (d'*aréna*, le sable en latin). Celle-ci s'accumulera à la base de l'affleurement ou entre les blocs de granite non encore altérés.

Le granite en début d'altération : apparition de teinte rouille d'oxyde de fer et de fissures. Affleurement de granite des monts d'Ambazac Haute-Vienne.



Photo III.9: le granite en début d'altération

On voit bien l'arène granitique entre les blocs sains de granite.



Photo III.10: *l'arène granitique entre les blocs sains de granite (Pierre Thomas)*

c) Composition de l'arène granitique :

L'arène granitique est composée par :

- Grains de quartz non altérés
- Grains de feldspaths restant plus ou moins altérés (surtout le feldspath orthose, plus résistant que les plagioclases)
- \Box Oxydes de fer
- □ Argiles (provenant de l'altération par hydrolyse des micas et des feldspaths)



Photo III.11 : la forme en boules du granite après altération (Pierre Thomas). On voit dans la photo la forme en boules du granite après altération.

III.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons recensé les différentes méthodes de traitement des sols en général, chaque méthode étant expliquée séparément. Après avoir détaillé chaque méthode, nous avons décidé de travailler avec traitement par chaux et par granite et ça voir dans le prochain chapitre

Identification et traitement du Tuf utilisé

IV.1 Introduction :

Dans le but d'une utilisation du Tuf de Tamanrasset dans des projets de Routier, il faut étudier la variation des paramètres physiques et mécaniques du Tuf en fonction d'un ajout à différents pourcentages.

Dans ce chapitre, on prépare une formulation d'un mélange entre deux type de tuf du Tamanrasset le Premier Tuf avec Chaux et le deuxième tuf avec l'arène granité pour améliorer les caractéristiques physiques, mécaniques et d'obtenir un bon comportement a la résistance après le compactage.

IV.2 Identification du Tuf utilisé :

Dans le but de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques du Tuf de Tamanrasset utilisé de la carrière In Azaoua, nous avons réalisés une série d'essais au laboratoire en respectant les différentes normes, à savoir :

| - | Analyse granulométrique | Norme NFP 94-056 |
|---|-------------------------|------------------|
| - | Équivalant de sable | Norme NFP 18-598 |
| - | Limites d'Atterberg | Norme NFP 94-051 |
| - | Proctor modifié | Norme NFP 94-093 |

IV.2.1 L'échantillons et La carrière Utilisé :

Localisation : P Du pk 30+100 côté gauche vers Hassi Tiririne

IV.2.2 Analyse granulométrique :

Selon la norme NFP 94-056, l'analyse granulométrique a pour objet la classification des granulats d'après les dimensions de leurs grains à l'aide d'une série de tamis normalisés à mailles carrés ou circulaires (passoires).

Les résultats obtenus sont représentés par la courbe granulométrique.

Le Tableau IV.1 montre proportion d'éléments de l'échantillon de la carrière du Tuf en fonction du diamètre des tamis.

| Provenance | Carrière In Azaoua | | | | | | |
|------------|---------------------------|----|----|----|----|----|------|
| Tamis (mm) | 05 02 01 0.4 0.2 0.1 0.08 | | | | | | 0.08 |
| P (%) | 91 | 81 | 74 | 69 | 61 | 65 | 55 |

 Tableau IV.1: L'essai d'analyse granulométrique



Figure IV.1 : Courbe d'analyse granulométrique du tuf.

IV.2.3 Les limite d'Atterberg :

L'essai est réalisé suivant la norme NF P 94-051, les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles (teneur en eau pondérale) qui marque les seuils entre:

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité WL);
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de liquidité WP) ;

Ces deux limites sont utilisées afin de déterminer la classification de Tuf. L'essai se fait sur une partie du matériau tamisé au tamis 0,40mm. Ces deux caractéristiques sont reliées par l'indice de plasticité I_P qui est exprimé en % est donné par la formule suivante :

$$\mathbf{I}_{\mathbf{P}} = \mathbf{W}_{\mathbf{L}} - \mathbf{W}_{\mathbf{P}}$$

L'essai se fait en 2 phases :

 Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle se referme sur 1cm lorsque celle-ci et son contenu sont soumis à 25 chocs répétés. Appareil de Casagrande : limite de liquidité

W_L =
$$\boldsymbol{\omega}_N \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121}$$
).

ω: La teneur en eau correspondante au nombre de coups N.

 Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée est confectionné manuellement se fissure. (Petits rouleaux : limite de liquidité W_P).



Photo IV.1: Mode opératoire de l'essai des limites d'Atterberg.

Les résultats et l'interprétation :

Le Tableau résume les résultats des limites d'Atterberg du tuf.

Tableau IV.2 : Les Résultats de l'essai de limite d'Atterberg.

| Echantillon | W_L | WP | IP |
|-------------|--------|--------|-------|
| Tuf | 34,62% | 25,71% | 8.91% |



Figure IV.2: Courbe de la limite de liquidité du tuf.

D'après la courbe de la limite de liquidité, on déduit W_L correspondante à N (nombre de coups) =25 de la W_L =34,62%.

| Indice de plasticité | Etat du sol |
|-----------------------|----------------|
| $0 < I_P < 5$ | Non plastique |
| 5< I _P <15 | Peu plastique |
| $15 < I_P < 40$ | Plastique |
| > 40 | Très plastique |

Tableau IV.3 : Classification suivant IP

A partir les résultats obtenus, IP = 8.91%, c'est-à-dire supérieur à 5 et inférieur à 15, notre tuf est peu plastique. Abaque de plasticité de Casagrande : la classification des sols fins utilise les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg. Elle est précisée dans le diagramme de plasticité ci-dessous. Selon la position dans le diagramme du point représentatif ayant pour l'abscisse la limite de liquidité et pour l'ordonnée l'indice de plasticité Figure de Abaque de plasticité de Casagrande.

D'après le diagramme de plasticité on déduit que notre tuf est une argile peu plastique.



Figure IV.3: Abaque de plasticité de Casagrande.

IV.2.4 Equivalent de sable :

L'essai est réalisé suivant la norme **NF P 18-598**. Il consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossier. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celuici. L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$\mathsf{ES} = \left(\frac{\mathsf{h2}}{\mathsf{h1}}\right) * \mathbf{100}$$

ES : la valeur de l'équivalent de sable. h1 : hauteur (sable+ éléments fins). h2 : hauteur (sable propre seulement).

IV.2.4.1 Mode opératoire :

- > On remplit l'éprouvette, jusqu'au premier trait avec la solution la vente.
- > On ajoute le sable concassé ou le tuf et on agite mécaniquement.

➢ On ajoute la quantité nécessaire de solution la vente pour atteindre le deuxième trait. Après 20 mn de repos, on mesure la lecture de la hauteur h1 correspondant au niveau supérieur des matières en suspension, la hauteur h2 de la position du piston et le sable propre. La Photo montre les différentes étapes de l'essai de propriété du tuf :



Photo IV.2: Mode opératoire de l'essai d'équivalent de sable.

* Résultats et l'interprétation :

 Tableau IV.4 : Résultat d'équivalent de sable du tuf.

| Echantillon | Tuf |
|-------------|--------|
| ES % | 11,65% |

| Tableau IV.5 : Nature e | et qualité du | Tuf en fonction | de l'ES. | (Hafsi Kh, Mekki F) |
|-------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------------|
|-------------------------|---------------|-----------------|----------|---------------------|

| ES | Nature et qualité du Tuf |
|---|--|
| ES<60 | Sable argileux-Risque de retrait ou de gonflement, à |
| | rejeter pour des bétons qualité. |
| 60 <es<70< td=""><td>Sable légèrement argileux- de propreté admissible pour</td></es<70<> | Sable légèrement argileux- de propreté admissible pour |
| | béton de qualité quand ou ne craint pas particulièrement de |
| | retrait. |
| 70 <es<80< td=""><td>Sable propre- à faible pourcentage de fines argileuses</td></es<80<> | Sable propre- à faible pourcentage de fines argileuses |
| | Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité. |
| >80 | Sable très propre- l'absence presque totale de fines |
| | argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton |
| | qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau. |
| | |

D'après le tableau, les tufs sont des sables argileux, risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons qualité.

IV.2.5 Proctor modifié :

L'essai est réalisé suivant la norme **NF P 94-093**. Il a pour but de déterminer un compactage normalisé d'intensité donnée, la densité sèche maximale $(\gamma_d/\gamma_w)_{Max}$ et la teneur en eau optimal WOpt correspondante. L'essai consiste à compacter un certain nombre d'échantillons dans un volume donné à différentes teneurs en eau et un même niveau d'énergie de compactage.

- 5 couches de 55 coups de dame Proctor modifié dans le moule Proctor (fraction 0/20mm).
- 5 couches de 25 coups de dame Proctor modifié dans le moule Proctor (fraction 0/5mm).

Dans la pratique, la densité maximale obtenue à l'essai Proctor modifié correspond à celle que permettent d'obtenir les compacteurs modernes pour le compactage des matériaux à leur humidité optimale, utilisés en assises de chaussées.



Photo IV.3: Mode opératoire de l'essai Proctor modifié.

Les résultats :



Figure IV.4: Courbe de Proctor modifié du Tuf sans traitement.

La courbe Proctor représentée la variation de la densité sèche ($\gamma d/\gamma w$) en fonction de la teneur en eau W du matériau étudié. Nous pouvons donc déterminer la teneur en eau optimale WOPM et la densité sèche maximale ($\gamma d/\gamma w$) Max à l'optimum Proctor. Cité cidessous

| Tableau IV.6 | Résultats | de l'essai | Proctor | modifie du tuf. |
|--------------|-----------|------------|---------|-----------------|
|--------------|-----------|------------|---------|-----------------|

| Echantillon | Tuf |
|-----------------------------|------|
| WOpt(%) | 8,64 |
| $(\gamma_d/\gamma_w)_{Max}$ | 2.03 |

IV.3 Le Traitement du Tuf utilisé :

Le traitement retenu pour un chantier est déterminé par une étude géotechnique qui permet de choisir le traitement à réaliser in situ. Des paramètres physiques et mécaniques permettent d'optimiser le meilleur traitement en vue d'obtenir les caractéristiques suffisantes pour un moindre coût (MEKERTA.B). Nous avons réalisé une série d'essais avec des ajouts à différents pourcentages 4% ,6% pour chaux et 12.5% ,25% pour l'arène granité par les normes suivantes :

- > La Densité Sèche ($(\gamma_d/\gamma_w)_{Opt}$) et (WOpt (%) de l'essai Proctor Modifié (Norme NFP 94-093)
- L'indice de plasticité (I_p), La limite de liquidité (W_L) et la Limite de Plasticité (W_p) de l'essai des Limites d'Atterberg (Norme NFP 94-051).

IV.4 Résultats et Discussions : IV.4.1 Résultats :

IV.4.1.1 Essais de compactage (Proctor modifié):

Le compactage permet de réduire la porosité du sol en expulsant l'air emprisonné. Les caractéristiques optimales de compactage du sol sont déterminées par l'essai Proctor modifié.

La teneur optimale en eau (W_{OPM}) permet de connaitre la densité sèche du sol la plus élevée (γ_{OPM}). Ces valeurs sont utilisées lors des études de la stabilisation et aussi lors du chantier.

a) Cas de la chaux

Les résultats obtenus pour l'essai de compactage Proctor sont reportés dans le Tableau Suivant.

| Pourcentage de Chaux % | Pourcentage d'eau % | Teneur en eau W % | γ _d (g/cm³) |
|------------------------|---------------------|-------------------|--|
| | 6% | 5.905 | 1.900 |
| | 8% | 7.430 | 1.957 |
| 4% | 10% | 9.810 | 1951 |
| | 12% | 10.915 | 1.931 |
| Pourcentage de Chaux % | Pourcentage d'eau % | Teneur en eau W % | γ _d (g/cm³) |
| | 6% | 5.865 | 1.912 |
| 6% | 8% | 7.705 | 1.945 |
| | 10% | 9.655 | 1.973 |
| | 12% | 10.790 | 1.951 |

Tableau IV.7: Résultats des paramètres de l'essai Proctor Modifié yd et W% du Tuf avec la Chaux

| | le Traitement Cas de Chaux | | |
|----------------------------|----------------------------|------|------|
| | 0% | 4% | 6% |
| $\gamma_{ m dmax}$ (g/cm3) | 2.05 | 1.95 | 1.97 |
| Wopt% | 8.00 | 9.81 | 9.65 |





Figure IV.5: La courbe d'essai Proctor Modifié yd et W% du Tuf Sans Traitement et avec le Traitement Par Chaux

• <u>Commentaire</u> :

Nous montrons sur les figures les valeurs de l'optimum Proctor à savoir, γ dopt et Wopt. Nous remarquons que le mélange Tuf + 4 % de la chaux est bon, car on obtient la valeur maximale de γ dopt = 1,95 g/cm³ et Wopt = 8 %.

Par contre le mélange tuf + 6 % de la chaux est aussi bon avec des valeurs de γ dopt = 1,97 g/cm³ et Wopt = 10%.

b) Cas du l'arène granité :

Après plusieurs essais de Proctor modifié avec des mélanges le mélange Tuf + Granite, dans lesquelles les proportions du granite ont été prises non sur la détermination, car nous avons obtenu des résultats approximatifs en ce qui concerne les pourcentages (12,5% et 25%), que nous avons adoptés comme expériences préliminaires dans l'étude d'amélioration des propriétés physiques et chimiques de l'échantillon utilisé.



Photo IV.4: Montre l'arène granitique.

Les résultats sont montrés dans le tableau ci-dessus.

| Pourcentage de l'arène granité % | Pourcentage d'eau % | Teneur en eau W % | $\gamma_d (g/cm^3)$ |
|-------------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| | 6% | 4.850 | 1.972 |
| 12.5% | 8% | 6.162 | 2.082 |
| | 10% | 8.525 | 2.036 |
| Pourcentage de l'arène granité % | Pourcentage d'eau % | Teneur en eau W % | $\gamma_d (\text{g/cm}^3)$ |
| | 8% | 5.280 | 2.012 |
| 25% | 10% | 7.083 | 1.992 |
| | 12% | 9.546 | 1.945 |

Tableau IV.9 : Résultats des paramètres de l'essai Proctor Normale d et W% de TufAvec l'arène granité

Tableau IV.10 : Résultats de l'essai Proctor Modifié $\gamma_{d max}$ et W_{OPT} % du Tuf Sans Traitement etavec le Traitement Cas de l'arène granité

| | 0% | 12.5% | 25% |
|--|------|-------|------|
| $\gamma_{d \max} \left(g/cm3 \right)$ | 2.05 | 2.08 | 2.01 |
| W _{opt} % | 8.00 | 6.16 | 7.08 |



Figure IV.6: La courbe de l'essai Proctor Modifié yd et W% du Tuf Sans Traitement et avec le Traitement Par l'arène granité

• <u>Commentaire</u> :

Nous montrons sur la figure IV.6 les valeurs de l'optimum Proctor à savoir, γ dopt et Wopt. Nous remarquons que le mélange Tuf + 25 % de granite est bon, car on obtient la valeur maximale de γ dopt = 2,03 g/cm³ et Wopt = entre 6% et 8%.

D'autre part le mélange tuf + 25 % de granite n'est pas bon avec des valeurs de γ dopt = 2,08 g/cm³ et Wopt = 6%

IV.4.1.2 Essais des Limites d'Atterberg :

a) Cas de la chaux :

Les mesures des limites d'Atterberg de la limite de liquidité, de la limite de plasticité et l'indice de plasticité du Tuf avec la Chaux sont les suivants :

Tableaux IV.11 : Les résultats de la teneur en W% en fonction de nombre de coups N Cas de la
chaux

| TUF SAN TRAITE | MENT | 96% TUF + 4% CHAUX | | 94% TUF + 6 % CH | IAUX |
|----------------|-------|--------------------|-------|------------------|------|
| N de coup | W% | N de coup | W% | N de coup | W% |
| 19 | 34.62 | 18 | 27.11 | 17 | 33 |
| 21 | 33.33 | 20 | 20.88 | 23 | 26 |
| 29 | 31.48 | 31 | 20.45 | 31 | 25 |

Avec :

N : nombre de coups de fermeture de la rainure

| Mélange | Limite de plasticité % | |
|--------------------|------------------------|--|
| 100% Tuf | 25.71 | |
| 96% Tuf + 4% Chaux | 24.20 | |
| 94% Tuf + 6% Chaux | 18.57 | |

Tableau IV.12: Les résultats de la limite de liquidité de Tuf + Chaux

Tableau IV.13 : Les résultats des essais des limites de liquidité, plasticité et l'indicede plasticité Du Tuf + Chaux

| | 100% Tuf | 96% Tuf + 4% Chaux | 94% Tuf + 6% Chaux |
|------------------|----------|--------------------|--------------------|
| W_L % | 34,62 | 26.48 | 27.47 |
| WP % | 25,71 | 24.20 | 18.57 |
| I _P % | 8.91 | 2.28 | 8.9 |



Figure IV.7: *Courbe de W % du Tuf + Chaux*


Figure IV.8: Courbe de la limite de liquidité tuf + chaux

• <u>Commentaire</u> :

Après les résultats obtenus en remarque que :

- ✓ La limite de liquidité à diminuer ; avec l'augmentation du pourcentage de granite.
- ✓ La limite de plasticité et l'indice de plasticité du Tuf à diminue au pourcentage de 4% de la chaux

b) Cas de l'arène granité :

Les mesures des limites d'Atterberg de la limite de liquidité, la limite de plasticité et l'indice de plasticité du Tuf et l'arène granité ont donné les résultats suivants :

Tableau IV.14 : Les résultats de la teneur en W% en fonction de nombre de coups N cas de

l'arène granité

| TUF SAN TRAITEMENT | | 87,5% TUF + 12,5% Granite | | 75% TUF + 25 % Granite | |
|--------------------|-------|---------------------------|-------|------------------------|-------|
| N de coup | W% | N de coup | W% | N de coup | W% |
| 19 | 34.62 | 15 | 21.96 | 17 | 23.99 |
| 21 | 33.33 | 23 | 20.8 | 20 | 23.44 |
| 29 | 31.48 | 34 | 20.25 | 32 | 22.31 |

| Mélange | Limite de plasticité % | | |
|-----------------------------------|------------------------|--|--|
| 100% Tuf | 25,71 | | |
| 87.5% Tuf + 12.5% l'arène granité | 12.33 | | |
| 75% Tuf + 25% l'arène granité | 15.12 | | |

Tableau IV.15 : Les résultats de la limite de plasticité du Tuf et l'arène granité

Tableau IV.16 : Les résultats des essais des limites d'Atterberg du Tuf et l'arène granité

| | 100% Tuf | 87.5% Tuf + 12.5% l'arène granité | 25% Tuf + 75% l'arène granité |
|------------------|----------|--------------------------------------|----------------------------------|
| W _L % | 34,62 | 21.16 | 22.11 |
| WP % | 25,71 | 12.33 | 15.12 |
| I _P % | 8.91 | 8.83 | 6.99 |



Figure IV.9: Courbe de W% du Tuf + l'arène granité



Figure IV.10: Courbe de la limite de liquidité tuf + l'arène granité

• <u>Commentaire</u> :

Les courbes montrent que la limite de liquidité à diminuer ; avec l'augmentation du pourcentage de granite.

On remarque que les limites d'Atterberg sont presque les mêmes entre 12,5% et 25 % de granite ajoutée.

IV.4.2 Discussion :

a) Cas de la chaux

L'ajout de la chaux provoque rapidement les fines ; Cette action entraîne une amélioration de la consistance qui se traduit par une augmentation de la limite de plasticité s'accompagnant ou non d'une augmentation de la limite de liquidité.

Cette évolution provoque un déplacement du domaine de plasticité vers des teneurs en eau plus importantes.

Le décalage de l'indice de plasticité est lié à la quantité de chaux utilisée. L'évolution de la consistance favorise la granulation du sol lors du malaxage.

Différents facteurs influencent cette granulation dont la nature du sol, la teneur en eau et le dosage en chaux.

L'évolution de la consistance débute dès l'épandage de la chaux avec la fragmentation due au retrait de déshydratation. Le malaxage amplifie ensuite le phénomène.

Chapitre IV

L'ajoute de la chaux modifier le comportement rhéologique des sols entraînent l'amélioration des propriétés d'usage des sols traités :

- → Le comportement lors du compactage est modifié. L'optimum de compactage est décalé vers des teneurs en eau plus importantes et la densité de compactage est plus faible.
- → La portance des sols est améliorée

b) Cas du granite

L'ajout de granit au tuf a fonctionné pour soutenir les fines de celui-ci et à remplir les vides résultant de l'absence de ces parties, ce qui a été la raison de l'augmentation de plasticité du ce tuf comme le montre la figure IV.9 et diminuer input l'élasticité, ce qui lui donne plus de résistance à la pression avec un certain et important pourcentage d'eau ; ainsi que l'amélioration et la modification des propriétés physico- chimique de sole qui entrainent le traité :

- \rightarrow L'arène granitique permet de renforcer la liaison des particules de sol. En milieu.
- → Le comportement lors du compactage est modifié car L'optimum est décalé vers des teneurs en eau plus importantes avec densité de compactage presque le même pour les deux mélanges.
- → La modification du comportement du compactage permet d'augmenter la résistance du tuf à la pression et aux différentes charges qui lui sont appliquées dans la réalité, cela renforce la portance de ce tuf.

IV.5 Conclusion :

Le traitement du sol est une technique économique qui permet de rendre apte à l'usage des matériaux qui ne l'étaient pas. La technique s'inscrit ainsi dans la démarche environnementale du développement durable en préservant les ressources naturelles des produits des carrières, et en valorisant les matériaux du site par leur réutilisation ; pas de transport de matériaux, ni de dépôt, donc diminution du coût. Conclusion Générale

Conclusion Générale

La réalisation des projets routiers de toute nature dépend d'un bon contrôle de l'identification des matières premières qui entrent dans leurs réalisations et en plus de la qualité dont ils sont mis en œuvre.

Il est nécessaire d'étudier les couches qui composent la route et qui supportent le poids des véhicules de toutes sortes. On a recherché de nouveaux matériaux locaux dans la région de Tamanrasset qui doivent garantirent la qualité des structures de chaussée.

Nous avons étudié la qualité du Tuf comme échantillon de la région d'in Azaoua dans la wilaya de Tamanrasset, qui n'a pas donné les résultats souhaités en l'utilisant seul dans le processus de mise en œuvre d'un projet de construction de route permettant de relier la région d'in Azaoua et Hassi Tiririne à une distance de 150 km.

Après l'étude analytique du matériau tuf utilisé dans le projet et l'identification de ses propriétés mécaniques, physiques et chimiques, il s'est avéré qu'il avait besoin d'être renforcé pour atteindre la résistance souhaitée.

Nous avons renforcé et améliorer le tuf avec différents pourcentages de chaux et ainsi que les arènes granitiques qui sont disponibles dans la nature de la région de Tamanrasset. Ces ajouts de chaux et de granite à différents pourcentages dans la composition du tuf ont donné de bons résultats au niveau des propriétés physiques et mécaniques.

Comme perspectives des travaux futurs, des essais complémentaires à long terme et au laboratoire sur des planches d'essais sont à réaliser sur un échantillonnage de tufs avec différents traitements et d'ajouts, tels que ciment, la chaux, le sable et l'arène granitique.

Références Bibliographiques

Allègre C. et Caby R. (1972): Chronologie absolue du précambrien de l'Ahaggar occidental (Algérie): C.R. Acad. Sci., Paris, D., 275: 2095-2098.

Bertrand, J.M. et Caby, R.(1978): Geodynamic evolution of the Pan-African orogenic belt: a new interpretation of the Hoggar shield (Algerian Sahara) Geol. Ruds., 67: 357-388.

Black, R.; Caby, R.; Moussine-Pouchkine, A.; Bayer, R.; Bertrand, J. M.; Boullier, A. M.; Fabre, J. et Lesquer, A.(1979): Evidence of the late Precambrian plate tectonics in the West Africa. Nature, 278: 223-227.

Black, R.; Latouche, L.; Liégeois, J. P.; Caby, R. and Bertrand, J. M. (1994): Panafrican displaced terranes in the Tuareg shield (Central Sahara): Geology, V, 22: 641-644

Boullier, A. M.; Davison, I..; Bertrand, J. M. and Coward, M. (1978) : L'unité granulitique des Iforas: une nappe de socle d'âge pan-africain précoce. Bull. Soc. Géol. Fr., 20: 877 – 882.

Caby, R. (1970): La chaîne Pharusienne dans le NW de l'Ahaggar, Algérie. Sa place dans l'orogenèse du Précambrien supérieur en Afrique; Thèse Doct. Etat USTL. Montpellier, France.

Caby, R.; Bertrand, J. M. et Black, R.(1981):Pan-African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment central sahara,In: Kroner, A edt., Precambr. Plate Tectonics, Elsevier, Amesterdam, 407434.

Caby, R. ; Bertrand, J.M. et Leblanc, M. (1983): La zone mobile Pan-Africaine de l'Ahaggar de l'Ouest, Algérie); In Fabre (editor), Afrique de l'Ouest introduction géologique et termes stratigraphiques. Lexique, Strat. Int. Pergman, 35-42.

Google Map:http://Map.Google.fr/map.consulté le 05-06-2021.

Google Earth : image satellitaire (05/06/2021).

Hafsi Kh,Mekki F: Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil,Amélioration des caractéristiques physiques et mécaniques de l'argile rouge de Mraguen (Adrar)2015

Katchevski et al. (1982): Résultats des travaux du levé et de recherche systématiques réalisés par l'équipe de Tiririnr sur les feuilles de Tiririne et Tadoumet. Rapport interne (inédit), EREM, Boumerdès, Algérie.

Lelubre, M.(1952):Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central) ; Bull.Serv. Carte Géol. Algérie,2e sér., 22, 1, 343 et 2, 369 p.

Liégeois, J. P.; Bertrand, J. M. et black, R. (1987): The subduction – and collision – related Pan-African composite batholith of the Adrar des Iforas (Mali): a review. - Geological Journal, 22, and In: African geology Reviews (J. Kinnarid and P. Bowden, ed.).

MERIEM D, BOUFAASSA A: Notes carte Hoggar (Le Hoggar), Février 2006.

MEKERTA B : Amélioration, stabilisation et renforcements des sols cours de Mécanique des Sols, année 2013.

Nicolas C : Thèse de doctorat « Sols traites à la chaux et aux liants hydrauliques : Contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation » Ecole Nationale supérieur des mines de Saint-Etienne le 20/12/2004.

Ouzegane K. (1987): Les granulites Al-Mg et les carbonatites dans les séries d'In Ouzzal (NW, Hoggar, Algérie). Thèse Doct. Etat, UPMC., Paris, France.

Yaichi B, Benali M : Mémoire pour l'Obtention du Grade d'ingéniorat d'état en science de la terre, L'altération des granites et desbasaltes.2013.