

## VALORISATION DES SABLES DE DUNES EN MELANGE AVEC LE TUF DANS LE CORPS DE CHAUSSEE. APPLICATION A LA REGION D'ADRAR

M. Akacem<sup>1</sup>, H. Moulay Omar<sup>1</sup>, M. Abbou<sup>1</sup>, B. Mekerta<sup>1</sup>, A. Semcha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Sciences et de la Technologie, Université d'Adrar - Algérie  
[akacem1960@yahoo.fr](mailto:akacem1960@yahoo.fr)

**Résumé :** Les matériaux constituant les corps de chaussées, jusqu'à nos jours, ont été limités à certains matériaux dits nobles (graves, granulats, ...etc.), mais ces derniers sont en voie d'épuisement sous l'effet de l'exploitation intensive et la rareté des carrières de qualité. Les tufs d'encroûtements gypso-calcaires, les matériaux les plus utilisés en corps de chaussées (couche de fondation et couche de base) dans les zones sahariennes telles que le sud algérien, ont montré un comportement acceptable pendant de longues années jusqu'à ces dernières jours où ce type de matériaux commence à présenter certaines limites sous l'effet de l'intensité du trafic. Dans l'objectif de valoriser les sables éoliens en abondance dans ces régions, on s'intéresse à valoriser les sables de dunes dans le corps de chaussée en mélange avec les tufs. L'actuel travail présente une contribution à l'étude du comportement du tuf de la région d'Adrar seul et en mélange avec les sables de dunes selon différentes formulations. Le but est d'évaluer l'évolution des performances mécaniques notamment la résistance à la compression simple, l'aptitude au compactage et le poinçonnement CBR. Le travail traite aussi l'influence de l'ajout de ciment en faibles teneurs sur les performances du mélange. L'étude aboutit sur des recommandations pratiques concernant la prédiction du comportement des tufs modifiés.

**Mots clés :** Sable de dunes ; Tuf, CBR ; Proctor ; Compression simple.

**Abstract:** The materials constituting the body of roadways, until now, have been limited to certain so-called noble materials (bass, aggregates, etc.), But these are being depleted as a result of the intensive exploitation and the scarcity of quality careers. Gypso-limestone encrustation tuffs, the most used materials in pavements (base course and base course) in the Saharan areas such as southern Algeria, have shown acceptable behavior for many years until these last days, when this type of material begins to present certain limits under the effect of the intensity of the traffic. In order to promote the abundant wind sands in these regions, we are interested in developing the dune sands in the pavement as a mixture with the tuffs. The present work presents a contribution to the study of the behavior of the tuff of the Adrar region alone and mixed with the sand dunes in different formulations. The aim is to evaluate the evolution of mechanical properties including resistance to simple compression, the ability to compaction and punching (RBC). The article also discusses the influence of the addition of cement in low levels on the performance of the mixture. The study led to practical recommendations for predicting the behavior of the modified tuffs.

**Keywords :** Sand dunes ; Tuffs ; RBC ; Proctor ; Simple compression.

### INTRODUCTION

Les tufs ont naturellement un pourcentage de fines élevé et ils comportent peu ou pas de squelette. Certaines graves naturelles sont, au contraire, riches en gros éléments mais totalement dépourvues de fines. Par ailleurs, certains sables naturels éoliens ou alluvionnaires sont dépourvus de fines. L'association de tufs d'encroûtements avec ces graves ou sables paraît donc tout à fait intéressante lorsqu'on veut améliorer la granulométrie d'une grave pauvre en fines ou réduire la quantité de fines d'un tuf riche en

fin. D’après Horta [1,2], l’ajout d’un sable propre aux matériaux fins présentant une certaine argilosité peut également améliorer les caractéristiques de compactage du mélange.

### MATERIAUX ETUDIÉS

Dans ce travail, on utilise le tuf de Berbaa (Adrar), comme étant matériau de base, mélangé en proportions variables avec du sable de dune allant de 10% à 40%, on vu de voir l’effet sur les caractéristiques géotechniques. Des essais d'identification sont effectués sur le sable de mélange : très fin (0-0,4 mm), fortement homométriques et propre (ES = 83%), il a une limite de liquidité  $W_L$  de l'ordre de 22 et une limite de plasticité non mesurable, pratiquement dépourvus d'éléments fins, avec une valeur de bleu 0,10 et de densité sèche maximale de  $1,63 \text{ KN/m}^3$  pour une teneur d'eau optimale égale à 6,3%. Le tableau 1, montre l’apport de l’incorporation du sable de dune dans le matériau de base, et cela sur le stade de la propreté et la plasticité.

Tableau 1. Propreté et plasticité des mélanges

	<b>Tuf</b>	<b>Tuf + 10%sable</b>	<b>Tuf + 20%sable</b>	<b>Tuf + 30%sable</b>	<b>Tuf + 40%sable</b>	
<b>VBs</b>	0,39	0,35	0,31	0,26	0,22	
<b>Limites d’Atterberg</b>	<b>WL</b>	30,19	25,19	22,27	17,78	15,63
	<b>WP</b>	19,08	17,61	16,89	N.M	N.M
	<b>IP</b>	11,11	7,58	5,38	N.M	N.M

On constate que l’indice de plasticité chute de 50% pour un ajout de 20% de sable de dune, et devient non mesurable à 30%.

De même que la plasticité, on voit bien que la valeur au bleu diminue au profit d’une augmentation du taux de sable de dune. La courbe granulométrique du tuf étudié ainsi que le sable de dune de mélange sont présentées sur la figure 1.

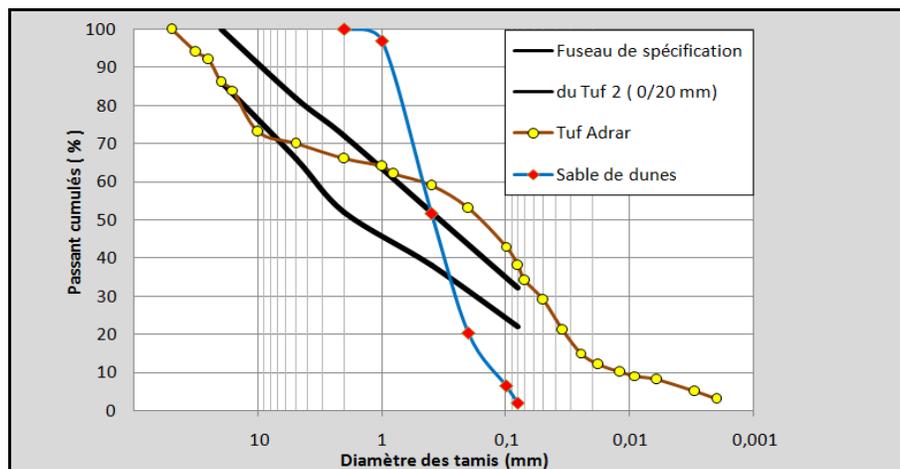


Fig 1. Courbes granulométriques (tuf et sable de dunes)

La figure 1, montre que la courbe granulométrique - étalée - du tuf est hors fuseau de spécification du tuf 2 : 0/20 mm [3], par contre, on peut visiblement constater la distribution serrée du sable de dunes.

### ESSAIS DE COMPORTEMENT

Les essais fréquemment utilisés pour connaître le comportement des matériaux routiers sont :

L'essai Proctor Modifié ; l'essai CBR et l'essai de résistance à la compression simple.

#### Essai Proctor Modifié

On utilise cet essai lorsque le matériau est destiné à être utilisé en couche de chaussée.

Les différents auteurs ayant réalisé des essais de ce type s'accordent sur les constatations suivantes [4] :

- Les densités OPM optimales sont en général comprises entre 1,7 et 2 KN/m<sup>3</sup> ; les valeurs inférieures à 1,6 KN/m<sup>3</sup> dénotent d'une altération de l'encroûtement, et d'un matériau calcaire trop fin ;
- Les teneurs en eau optimales sont très variables, mais en général élevées, et comprises entre 8 et 15%, elles peuvent atteindre ou dépasser par fois 20% ;
- Les densités les plus faibles correspondent aux teneurs en eau les plus élevées ;
- Les courbes OPM sont relativement plates pour les tufs non plastiques ( $I_p < 5$ ) ; la densité optimale est peut influencée par la variation de la teneur en eau ;
- La présence d'argile ( $I_p > 10$ ) conduit à des courbes pointues, la densité chute lorsque l'on s'écarte de la teneur en eau optimale.

La figure 2 montre la variation de la densité sèche du tuf de la région d'Adrar (tuf de Berbaa) en fonction de la teneur en eau.

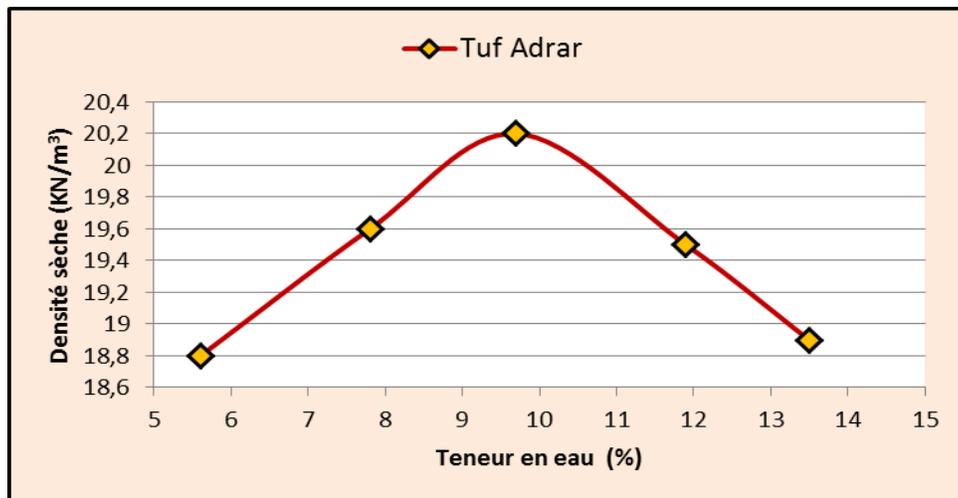


Fig 2. Courbe Proctor Modifié pour le tuf de Berbaa (région d'Adrar)

### Essai de portance CBR

L'essai de poinçonnement CBR est souvent réalisé sur les tufs d'encroûtements, car son résultat est retenu dans les spécifications de nombreux pays. L'essai est réalisé, soit immédiatement après le compactage soit après quatre jours d'immersion.

Les résultats CBR immédiats sont très variables selon les caractéristiques du tuf étudié, l'indice CBR est d'autant plus élevé que le matériau comporte un squelette dur et que la courbe granulométrique est régulière. Les indices maxima sont les plus souvent atteints pour une teneur en eau légèrement inférieure à  $W_{OPM}$ .

Pour les tufs d'encroûtements calcaires utilisés en corps de chaussée, les valeurs de l'indice CBR varient entre 50 et 150 (Colombier, 1988). L'indice CBR après immersion chute plus ou moins par rapport à l'indice immédiat en fonction de la présence d'argile. Les valeurs de l'indice CBR après immersion sont en général comprises entre 30 et 10 [4].

### Essai de compression simple

C'est un essai empirique, introduit pour les matériaux locaux pour la première fois par FENZY (1957) [5], il est réalisé sur tous les matériaux sahariens sur la fraction 5 mm. Le compactage à l'OPM est effectué à la presse et les éprouvettes démoulées (5 cm de diamètre et de 10 cm de hauteur) sont séchées, soit à l'étuve à 60°C pendant 48h, ou bien conservées à l'air libre. Le matériel est constitué essentiellement d'une presse hydraulique et d'éléments pour confectionner les éprouvettes (moule, contre moule, piston inférieur, pièce d'espacement, piston supérieur, et cylindre de démoulage) – figure 3



**Fig 3.** Eléments pour la confection d'éprouvettes cylindriques

Le matériau est malaxé manuellement ou à l'aide d'un malaxeur, les éprouvettes de forme cylindrique ( $\varnothing = 5\text{cm}$  ;  $h = 10\text{cm}$ ) sont confectionnées statiquement à la teneur en eau  $W_{opt}$  et la densité  $\gamma_{d\max}$ .

La confection d'une éprouvette passe par plusieurs étapes (figure 4) [6] ; on prépare :

- Quantité sec du matériau : 
$$\gamma_{d\max} \pi \varnothing^2 \frac{h}{4} \quad (1)$$
- Quantité d'eau : 
$$\gamma_{d\max} \pi \varnothing^2 \frac{h}{4} W_{opm} \quad (2)$$
- Quantité humide du matériau : 
$$\gamma_{d\max} \pi \varnothing^2 \frac{h}{4} (W_{opm} + 1) \quad (3)$$

- a). Placer le moule sur le piston inférieur espacé à l'aide d'une pièce d'espacement, y verser la quantité de matériau humide préparée et placer le piston supérieur ;
- b). Compactage statique de l'éprouvette jusqu'à renfermement des deux pistons ;
- c). Démoulage de l'éprouvette, en utilisant le contre moule et le cylindre de démoulage.



a) Remplissage du moule



b) Compactage statique



c) Démoulage de l'éprouvette

**Fig 4.** Etapes de confection d'éprouvettes cylindriques pour essai de compression simple

## ANALYSE DES RESULTATS

### Effet de l'incorporation de sable de dune sur la densité sèche

D'après la figure 5, la densité sèche s'améliore visiblement lorsque la teneur en sable du mélange augmente jusqu'à 20%, puis elle décroît légèrement pour des taux au-delà de 20%. Ce fait peut être expliqué qu'au début, le sable de dune améliore la densité jusqu'au seuil où la quantité des particules fines du tuf parvient juste à remplir les vides entre les grains de sable, mais une fois dépassé ce seuil, les vides s'accroissent et la densité se voit diminuer.

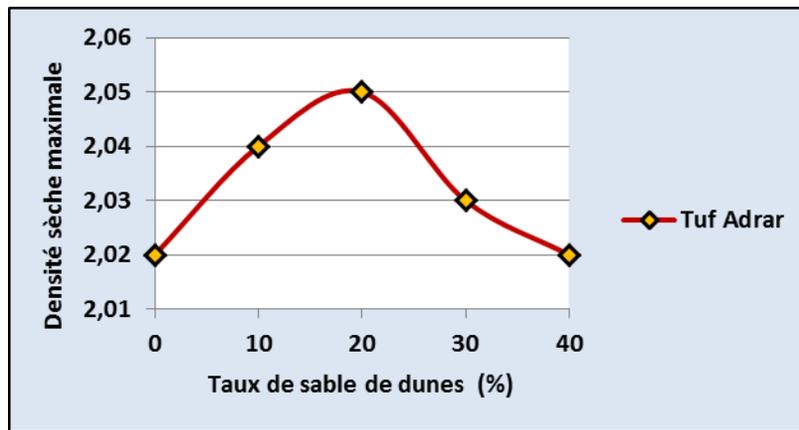


Fig 5. Effet de la teneur en sable de dune sur le poids volumique (Tuf région d'Adrar)

### Influence de l'ajout de sable de dune sur la portance

Les résultats d'essais de poinçonnement effectués sur les différentes formulations sont présentés sur la figure 6, où on peut voir l'effet de l'ajout de sable sur l'indice CBR immédiat.

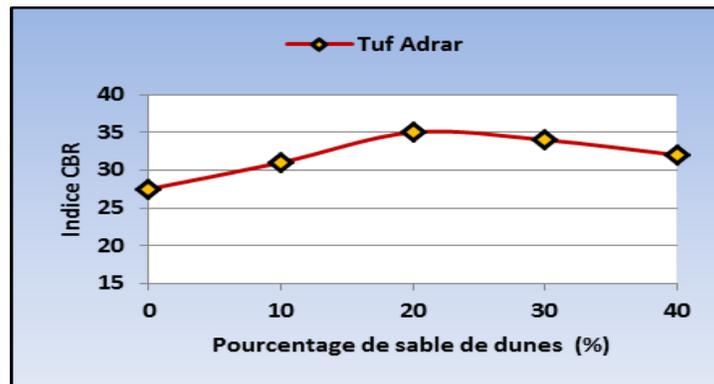


Fig 6. Effet de l'incorporation de sable de dune sur la portance du mélange (tuf région d'Adrar)

L'incorporation du sable de dune améliore d'une manière claire la portance des mélanges.

### Evolution de la résistance à la compression en fonction de l'âge :

On mesure la résistance des éprouvettes de tuf compactées à la compression aux âges : (0 ; 7 ; 14 ; et 28 jours), les éprouvettes – tuf de la région d'Adrar - ont été soumises à un effort de compression appliqué parallèlement à l'axe du cylindre, figure 7.



Fig 7. Eprouvette de tuf soumise à l'essai de compression.

### Résistance à la compression (matériau non traité)

Pour le tuf de la région d'Adrar, et avec les différents taux de sable de dunes, les résultats d'écrasement des éprouvettes aux différents âges sont représentés sur la figure 8.

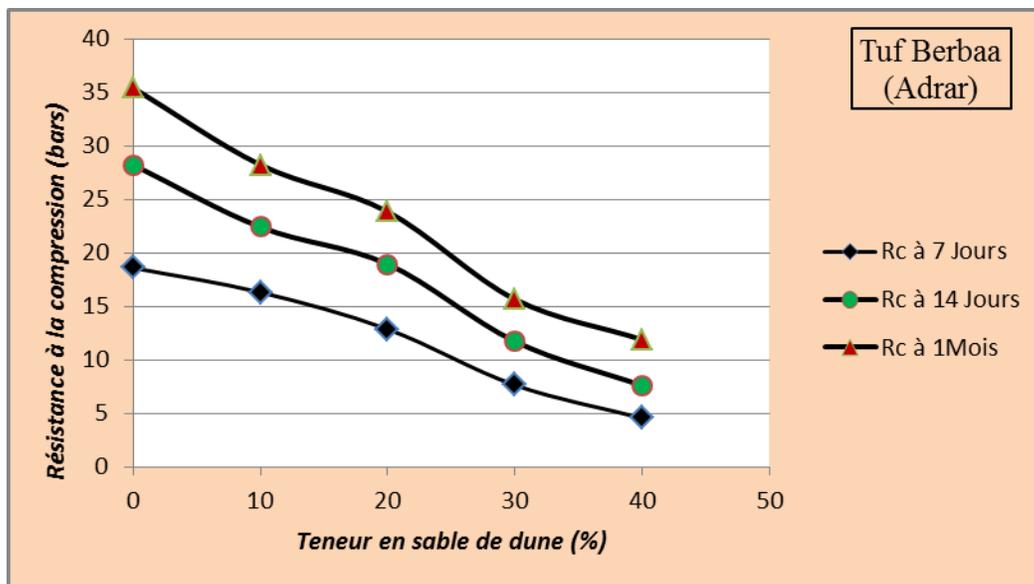
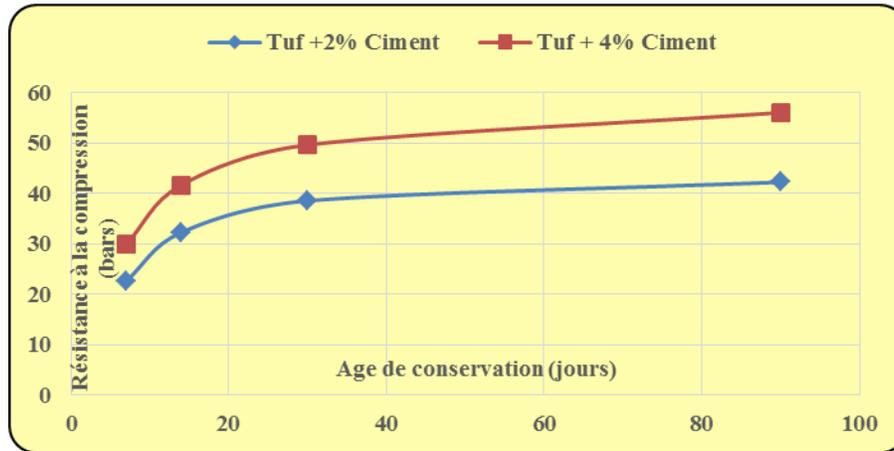


Fig 8. Résistance à la compression des mélanges non traités (tuf de la région d'Adrar)

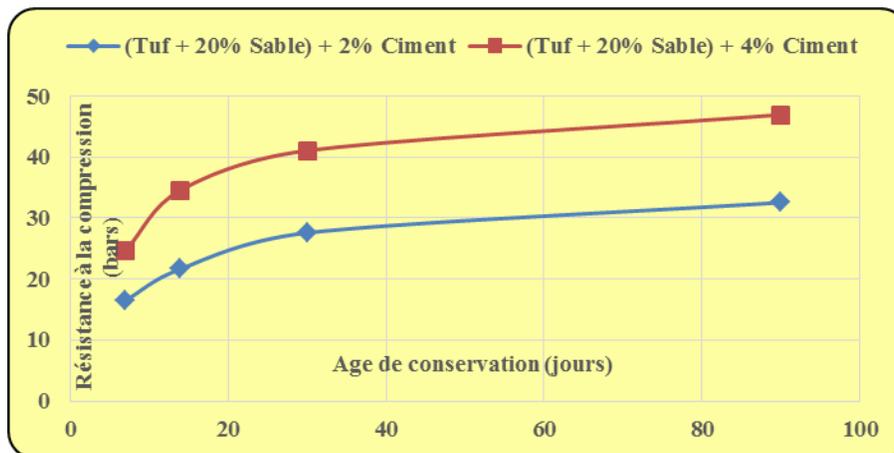
Concernant le tuf de la région d'Adrar, et en se référant aux résultats de la figure 8, on voit bien que l'ajout du sable de dunes au tuf a causé une détérioration de la résistance qui a causé une diminution de plus de 60% de la résistance à la compression du tuf lui seul, et donc on peut conclure – et en l'absence d'un éventuel traitement- que le tuf de Berbaa se comporte bien mieux seul. Ceci peut être expliqué par le fait qu'il n'y a pas de cohésion entre les fines du tuf et les grains siliceux du sable utilisé,

### Résistance à la compression (matériau traité au ciment)

Pour le traitement, on a choisi de traiter le tuf seul et le mélange optimal (tuf + 20% sable de dunes) à 2% et 4% de ciment. Les résultats d'écrasement des éprouvettes aux différents âges sont représentés respectivement sur les figures 9 et 10 :



**Fig 9.** Résistance à la compression du tuf de la région d'Adrar traité au ciment



**Fig 10.** Résistance à la compression du mélange (tuf+20% sable de dunes) traité au ciment

Pour le traitement du matériau de base seul, et d'après les résultats trouvés, on peut voir qu'un ajout de 2% à 4% de ciment améliore la résistance à la compression respectivement de 5 bars à 20 bars pour le tuf de Berbaa, cela nous permet de dire que si on opte pour un traitement au ciment, on choisit de le faire à 4% pour le tuf de la région d'Adrar.

Concernant le traitement du mélange tuf et sable de dune (20%), et à la lumière des résultats obtenus avec l'ajout de 2 à 4% de ciment, on constate que le gain sur la résistance à la compression est respectivement de 7 à 20 bars pour le tuf de la carrière de Berbaa.

## CONCLUSION

Nous pouvons retenir de toutes ces études portant sur l'utilisation du sable de dunes que jusqu'à 25 % environ d'ajout de sable, le matériau obtenu a des caractéristiques géotechniques comparables à celles du matériau de base, sinon meilleures.

La densité sèche s'améliore lorsque la teneur en sable du mélange augmente à un seuil de 25 %. Elle décroît légèrement ensuite pour aboutir à la valeur relative au sable seul.

L'incorporation du sable de dune améliore d'une manière claire la portance des mélanges et on enregistre une baisse de la cohésion quand le pourcentage de sable de dune augmente.

Quant à la plasticité, elle diminue au profit d'une nette amélioration de la propreté.

Aux différents âges de conservation, l'incorporation de sable de dunes cause une diminution de la résistance à la compression des mélanges, (le tuf de Berbaa de la région d'Adrar a montré qu'il résiste mieux seul).

Pour le traitement du tuf seul, et d'après les résultats trouvés, on peut appliquer un taux de 4% de ciment.

Le traitement du mélange tuf et sable de dune a montré qu'avec un ajout de 20% de sable, le taux de 4% de ciment donne de bonnes améliorations, il reste à le justifier du point de vue économique.

## REFERENCES

- [1]. Horta O S. (1979). *Les encroûtements calcaires et les encroûtements gypseux en géotechnique routière* – Service des publications du laboratoire de M.D.S., Base Sonatrach, Blida, Algérie.
- [2]. Morsli M. (2007) *Contribution à la valorisation des tufs d'encroûtement en technique routière saharien*. (Thèse de doctorat). Ecole Nationale Polytechnique, ENP Alger – Algérie,
- [3]. CTTTP (2001). *Catalogue de Dimensionnement des Chaussées neuves*. Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics, Algérie.
- [4]. Colombier G. (1988). *Tufs et encroûtements calcaires : Utilisations routières – Synthèse*, ISTED.
- [5]. Alloul B. (1981). *Etude géologique et géotechnique des tufs calcaires et gypseux d'Algérie en vue de leur valorisation routière* – Thèse de docteur de 3ème cycle de l'Université de Paris VI.
- [6]. AKACEM M. (2008). *Contribution à l'étude de la stabilisation par les liants hydrauliques des tufs de la région d'Adrar*. (Mémoire de Magister) Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf – UST Oran, Algérie.