

## IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION GÉOTECHNIQUE DU LÆSS DE GHARDAÏA (SUD ALGERIEN)

RAHMANI Asmaa, HAZZAB Abdelkrim et AIMER Hadj  
*Laboratoire de Modélisation et Méthodes de Calcul*  
*Université Dr Tahar Moulay, Faculté de la Technologie*  
*Département de Génie Civil et Hydraulique, Saida, Algérie*  
E-mail: [ra.hydrau@outlook.com](mailto:ra.hydrau@outlook.com)

(Received 19 September 2017– Accepted 01 May 2018)

**Résumé.-** La plupart des régions arides possèdent des dépôts éoliens de sols granulaires lâches. Ces dépôts sont des lœss. Ils sont composés principalement de particules uniformes de limon. Ils se trouvent à des grandes quantités à travers le monde. Certains auteurs suggèrent qu'il y a des dépôts de lœss de type péri-saharien. En Afrique, plusieurs auteurs ont examinés le lœss de la Tunisie, la Libye, le Maroc, l'Égypte et le lœss du Nord du Nigeria...etc. Les principaux dépôts de ces gisements ont été étudiés par COUDE-GAUSSEN (1987) dans les plateaux de la région de Matmama dans le Sud Tunisien. En Algérie, des dépôts lœssiques ont été observés dans la région de Ghardaïa. Les résultats d'un programme de tests en laboratoire sur les propriétés géotechniques du lœss Algérien sont présentés et discutés. L'ensemble des tests comportent la distribution des grains, les limites d'Atterberg, la teneur en carbonates de calcium, l'essai au bleu de méthylène, l'essai d'équivalent de sable et l'analyse chimique. Les caractéristiques mécaniques au cisaillement simple et l'essai Proctor sont ainsi déterminés dans le cadre du présent travail. Les résultats obtenus indiquent que le lœss Algérien est comparable à celui de plusieurs parties du monde et assez similaire au lœss de Matmata dans le Sud Tunisien.

**Mots-clés:** Lœss, propriétés géotechniques, rhéologie, Sud Algérien, Ghardaïa, Metlili, Daïa Ben Dahoua.

## IDENTIFICATION AND GEOTECHNICAL CLASSIFICATION OF GHARDAÏA LÆSS (SOUTHERN ALGERIA)

**Abstract.-** The most of arid regions have aeolian deposits of loose granular soils. These deposits are lœssial soils. They mainly composed of uniform particles of silt. They are found in large quantities around the world. Some authors suggest that there are deposits of peri-Saharan lœss type. In Africa, some authors were examined the lœss of Tunisia, Libya, Morocco, Egypt and northern Nigeria ... etc. The well-known example of these type deposits has been studied by COUDE-GAUSSEN (1987) on the Matmama plateau in southern Tunisia. In Algeria, some deposits were observed in the Ghardaïa region. The results of the laboratory testing program to determine the geotechnical properties of the Algerian lœss are presented and discussed. The testing set includes particle size distribution, Atterberg limits, carbonate content, methylene blue test, sand equivalent and the chemical analysis. The mechanical characteristics of single shear and Proctor test were also investigated. The results obtained from this research indicate that the Algerian lœss is comparable to those of several parts of the world and quite similar to those of Matmata in southern Tunisia.

**Keywords:** Lœss, geotechnical tests, rheology, south Algerian, Ghardaïa, Metlili, Daïa Ben Dahoua.

### Introduction

Les lœss sont des dépôts éoliens. Ils sont composés principalement de grains fins et angulaires de limon, sable fin, argile et de calcite. Ils sont produits principalement dans des conditions périglaciaires. Plusieurs chercheurs ont défini le lœss. SMALLEY et VITA-FINZI (1968) ont décrit le lœss comme un dépôt éolien. Il consiste essentiellement des grains compris entre 10 et 50  $\mu\text{m}$ . Il est formé principalement de silice et de carbonate de

calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Il contient en proportion moindre des sables et des argiles [1]. Par ailleurs, PYE (1984) a décrit le loess comme un dépôt éolien de limon. Il relève qu'il est constitué du quartz, feldspath, mica, minéraux d'argile, et de grains de carbonate en différentes proportions. Il consiste essentiellement des grains compris entre 20 et 40  $\mu\text{m}$ . Sa couleur peut varier, du gris foncé, jaune, brun ou blanc [2]. Pour PYE (1987), un loess typique contient souvent 10% à 20% de minéraux d'argile, et jusqu'à 10% de sable fin [3]. Toutefois, GRABOWSKA-OLSZEWSKA (1988) a déclaré qu'en général, le loess contient une proportion de 11 à 19% de sable, de 73 à 76% de limon, et de 8 à 10% d'argile [4]. Les carbonates de calcium sont présents dans le loess comme un ciment sur toute la masse [5]. Sa teneur peut varier entre 4 et 20%. Ils peuvent aider légèrement à lier les particules du sol [6]. À son état naturel, loess se caractérise par une faible teneur en eau, et une porosité élevée [7]. La densité apparente du loess typique varie entre 1.5 et 1.8  $\text{g/cm}^3$ , et la gravité spécifique se trouve dans la gamme de 2.1 à 2.75 [8]. Cependant, du point de vue minéralogique, le quartz est le principal minéral. Il représente 40 à 70%, avec 15% de feldspaths, et jusqu'à 30% de minéraux d'argile [4]. Les minéraux argileux sont les principaux matériaux cimentaires. Ils jouent le rôle d'un liant au niveau des contacts interparticulaires en donnant ainsi à la structure du loess, quand il est sec, une certaine résistance [6]. Les loess sont caractérisés par des limites de liquidité qui varient entre 25% et 35%. Des valeurs exceptionnelles atteignant 45% sont observées pour les loess argileux. L'indice de plasticité est compris dans la gamme de 5 et 22%. Ils peuvent être classés comme sableux, limoneux ou argileux [6].

Ce type de sol couvre environ 10% de la surface en terre [9]. Il est localisé essentiellement dans les régions arides et semi-arides. Ils sont présents en grande quantité à travers le monde, notamment, en Chine en Russie, en Amérique du Nord, en Europe, en Ukraine et en Argentine, etc. L'épaisseur des sédiments loessiques peut dépasser plusieurs dizaines de mètres. Les plus importants dépôts se situent en Chine [10-13]. Ils couvrent environ 630000  $\text{km}^2$  de surface [11]. Ils atteignent environ 300m de profondeur [11,13]. Par ailleurs aux États-Unis, les principaux dépôts de loess sont indiqués dans les régions de Nebraska, Kansas, Iowa, Wisconsin, Illinois, Tennessee et le Mississippi. D'autres dépôts de loess se produisent au Sud de Idaho et Washington. L'épaisseur dépasse parfois 60 mètres [6,14-16]. En Amérique du Sud, la majeure accumulation de dépôts de loess couvre 30% de la superficie totale de la région de Pampa en Argentine. L'épaisseur atteint environ 30 mètres [17]. En Europe centrale, loess est localisé dans le bassin du Danube, en Bavière, le Rhin, Belgique, au Nord de la France, les Îles Anglo-Normandes et dans le Sud de l'Angleterre [3]. Ainsi qu'en Pologne, loess couvre une partie du Sud de pays, avec des valeurs d'épaisseur qui atteignent 30 mètres [4,18].

En Afrique, sa quantité est plus ou moins limitée. Plusieurs chercheurs ont examinés le loess de l'Afrique du Nord. COUDÉ-GAUSSEN (1987) a examiné le loess péri-saharien. Il a signalé que les loess péri-désertiques sont moins connus que les loess périglaciaires. Les plus répondus sont les loess Tunisiens dans les plateaux de Matmata. Ce dépôt de loess dépasse parfois 20 mètres d'épaisseur [19]. COUDÉ-GAUSSEN (1987) a déclaré que le loess de l'Afrique du Nord peut avoir une granulométrie plus grossière, décalée vers le limon grossier voire le sable fin [19]. Toutefois, en Libye, ASSALLAY *et al.* (1996) ont conclu que le loess Libyen peut être classé comme un loess limoneux dans la région de Tripoli, et argileux dans la région de Ghât [20].

En Algérie, aucune étude approfondie n'a été réalisée pour caractériser le loess Algérien. Par ailleurs, des dépôts loessiques ont été observés dans la région de Ghardaïa (Sud Algérien), notamment le loess de Metlili, et de Daïa Ben Dahoua. La présente étude

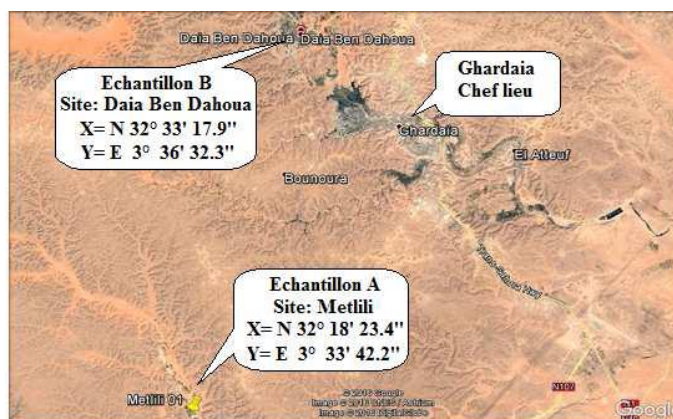
donne une démarche intéressante pour identifier, caractériser et classer le loess de l'Algérie du point de vue géotechnique.

Ce travail est une synthèse des résultats d'essais au laboratoire. Ils recherchent à caractériser d'un point de vue géotechnique des échantillons de loess collectés de deux sites appartenant à la région de Ghardaïa (Sud Algérien), représentant un échantillon du loess Algérien.

## 1.- Matériel et Méthodes

Un programme expérimental a été réalisé afin de déterminer les paramètres géotechniques des dépôts du loess Algérien. Deux échantillons du loess ont été prélevés à partir de deux sites différents appartenant à la région de Ghardaïa localisée à environ 600 kilomètres au Sud d'Alger (fig. 1).

Le choix de cette région est lié au fait qu'elle contient en abondance ce type de sols. En effet, l'analyse de la carte du relief de la région de Ghardaïa, permet de constater l'existence de dépressions au niveau des sites faisant l'objet des prélèvements dans le cadre de la présente étude (Metlili et Daïa ben Dahou). Ce genre de dépression favorise les dépôts éoliens, notamment de type loessiques.



**Figure 1.-** Localisation des sites de prélèvement

Le premier prélèvement a été effectué au niveau du site de Metlili située approximativement à 42 km au Sud-ouest de la ville de Ghardaïa. Le deuxième prélèvement a été réalisé au niveau du site de Daïa Ben Dahou située à environ 10 km au Nord-ouest de la ville de Ghardaïa. Les deux échantillons sont extraits à une profondeur d'environ 0.8 à 01 m.

La méthodologie de travail adoptée consiste à reconstituer neuf échantillons. Les deux premiers échantillons utilisés concernent les matériaux relevés des deux sites d'expérimentation (Metlili et Daïa Ben Dahou) à l'état brut. Le reste des échantillons concernent des mélanges entre les deux échantillons avec des concentrations des pas de 10% de masse. Chaque matériau se trouve prépondérant dans neuf échantillons (tab. I).

- Le premier échantillon provient du site de Metlili, est désigné par A.
- Le deuxième échantillon provient du site de Daïa de Ben Dahou est noté par B.

**Tableau I.-** Constitution des sols d'après A et B

	Désignation	Concentration A (%)	Concentration B (%)
<b>Echantillon de Metlili</b>	A	100	0
<b>Echantillon de Daïa Ben Dahoua</b>	B	0	100
<b>Mélange (A+B)</b>	S <sub>1</sub>	10	90
	S <sub>2</sub>	20	80
	S <sub>3</sub>	30	70
	S <sub>4</sub>	40	60
	S <sub>5</sub>	50	50
	S <sub>6</sub>	60	40
	S <sub>7</sub>	70	30
	S <sub>8</sub>	80	20
	S <sub>9</sub>	90	10

Plusieurs essais de laboratoire sont effectués. Ces essais sont réalisés en référence aux normes françaises. L'analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage et par sédimentométrie a été faite respectivement selon les normes NF P94-056 et NF P94-057. L'étude de la consistance des sols a été menée sur la base des limites d'Atterberg. La limite de liquidité ( $w_l$ ) a été déterminée à l'aide d'un appareil de Casagrande et la limite de plasticité ( $w_p$ ) selon la méthode du rouleau. Ces limites d'Atterberg ont été déterminées suivant la norme NF P94-051. L'indice de plasticité a été calculé comme étant la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité. La mesure de la teneur en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) est réalisée à l'aide d'un calcimètre de Bernard selon la norme NF P94-048. Le calcimètre permet de mesurer le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé par l'action d'acide chlorhydrique HCl sur le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) suivant une réaction chimique.

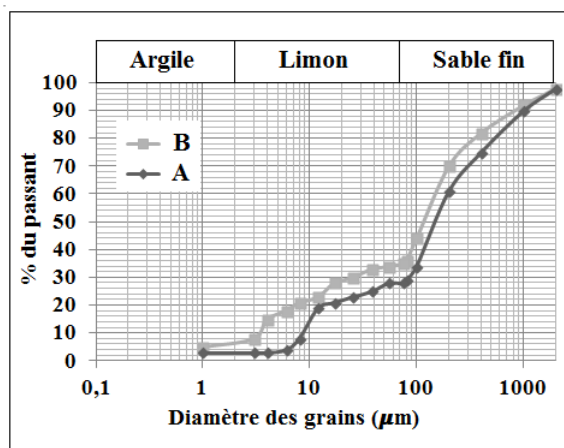
La composition chimique des échantillons a été déterminée par spectrométrie de fluorescence à rayons X (LAB-X3500). Par ailleurs, l'essai de cisaillement direct est réalisé à l'aide d'une boîte de Casagrande selon la norme NF P94-071. L'objectif de cet essai est de déterminer les caractéristiques mécaniques des échantillons en procédant au cisaillement rectiligne sous charge constante. Il permet de déterminer selon la loi de Coulomb et à partir de la courbe intrinsèque du sol étudié, son angle de frottement interne  $\varphi$  et sa cohésion  $c$ . La teneur en eau optimale ( $w_{opt}$ ) et la densité sèche maximale ( $\gamma_{dmax}$ ) ont été déterminées par l'essai Proctor selon la norme NF P94-093. Afin de caractériser l'argilosité des échantillons, l'essai de bleu de méthylène est réalisé conformément à la norme NF P 94-068. Il représente la quantité de bleu de méthylène adsorbé par les surfaces externes et internes des particules argileuses contenues dans la fraction du sol considéré.

Enfin, l'essai d'équivalent de sable a été fait selon la norme NF P18-598. Il caractérise la propriété d'un sable. Il indique dans un sol, la proportion de sol fin et de sol grenu.

## 2.- Résultats et discussion

### 2.1.- Analyse granulométrique

Pour les deux échantillons, les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés dans la figure 2.



**Figure 2.-** Courbes granulométriques des échantillons A et B

Les courbes granulométriques des échantillons A et B indiquent que le lœss de Daïa Ben Dahoua est constitué par 64% de sable, 28% de limon, 06% d'argile et 02% de sable grossier. Le lœss de Metlili est plus sableux, avec 70% de sable, 25% de limon, 03% d'argile et 02% de sable grossier. Ces résultats indiquent que les deux échantillons sont assez similaires au lœss beige dans la région de Téchine (Matmata, Sud de la Tunisie), qui est constitué plus de 60% de sable fin, 25 à 30% de limon plutôt grossiers, 5 à 15% d'argile, et moins de 5% de sable grossier [21].

HOLTZ et GIBBS (1951) distinguent trois types de lœss: un lœss sableux, limoneux, et argileux [14]. Dans le cas où la teneur en sable dépasse 20%, le terme lœss sableux est plus approprié. Si le sédiment contient plus de 20% d'argile, il est décrit comme un lœss argileux [3].

COUDÉ-GAUSSSEN (1987) a examiné du lœss tunisien. Il a constaté que le lœss de l'Afrique du Nord est plus grossier [19]. D'après les résultats obtenus, il est clair que le lœss algérien et tunisien, sont semblables. Au Moyen-Orient, le lœss de Ras Al Khaimah est relativement grossier. Il est classifié comme un lœss sableux. Sa granulométrie moyenne compose de 85% des grains inférieurs à 125 µm, 36% inférieurs à 63 µm, et 4.3% des grains inférieurs à 2 µm. Le matériau est donc composé principalement de limon et de sable fin [22]. Toutefois le dépôt de lœss libyen est plus fin. Il est composé de particules de taille de limon de 60 à 90%, et une fraction d'argile de 5 à 20%. Sa granulométrie maximale se trouve dans la gamme de 0.50 à 2.00 mm [23].

La bibliographie consultée indique que les caractéristiques de texture du lœss et les dépôts éoliens diffèrent largement d'une région à l'autre. Dans le bassin du Missouri (USA), la majorité des grains possèdent des diamètres qui varient entre 0.019 et 0.074 mm [8]. En Chine la granulométrie moyenne du lœss exploré varie de 0.01 à 0.06 mm [11]. DERBYSHIRE et MELLORS (1988) ont également constatés que la fraction de taille du lœss de Bretagne est de type limon grossier avec une granulométrie de 20 à 60 µm, dont la fraction du limon est plus de 65% [11].

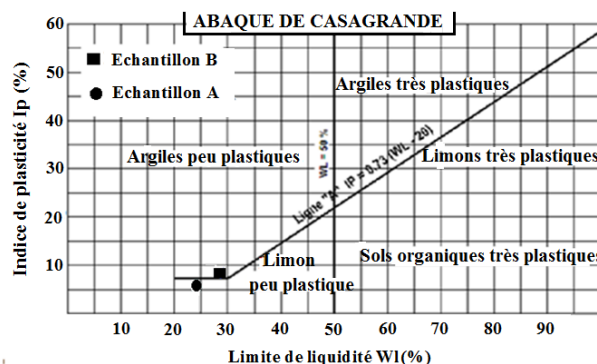
## 2.2.- Limites d'Atterberg

Les résultats des propriétés de plasticité des échantillons de Metlili et de Daïa Ben Dahoua, sont regroupés dans le tableau II.

**Tableau II.-** Propriétés de plasticité des échantillons A et B

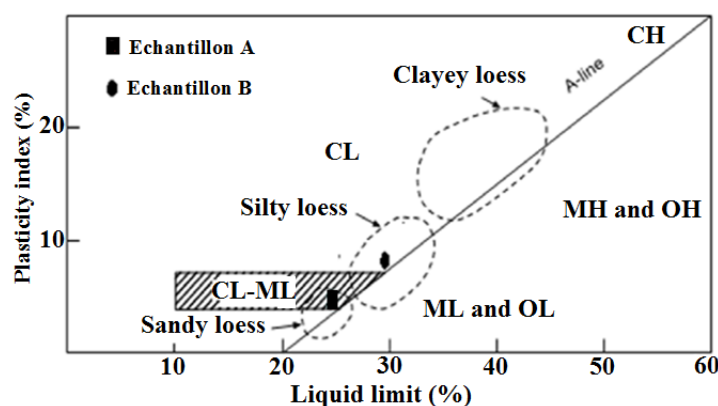
	Échantillon A	Échantillon B
<b>Limite de liquidité <math>Wl</math> (%)</b>	24.06	29.69
<b>Limite de Plasticité <math>Wp</math> (%)</b>	17.79	20.61
<b>Indice de plasticité <math>Ip</math> (%)</b>	6.27	9.08

Pour l'échantillon de Metlili, les valeurs de la limite de liquidité  $Wl$  et l'indice de plasticité  $Ip$  sont respectivement 24 % et 6%. Pour le lœss de Daïa Ben Dahoua la limite de liquidité est de 29%, et l'indice de plasticité est de 9%. La valeur de l'indice de plasticité reste inférieure à 10%. Ceci indique que l'activité argileuse dans les deux échantillons est faible. Sur le graphique de plasticité de Casagrande, les valeurs de plasticité de Metlili sont tracés au dessous, et de Daïa Ben Dahoua au dessus de la ligne A, et avant la ligne verticale de 50% (fig. 3).



**Figure 3.-** Diagramme de l'abaque de Casagrande

Le diagramme de Casagrande indique que les deux échantillons A et B sont des sols limoneux de faible plasticité. Basé sur les caractéristiques de plasticité définies par GIBBS et HOLLAND (1960), le lœss de Ghardaïa peut être classé en deux types : un lœss sableux pour le cas du site de Metlili, et limoneux pour celui du site de Daïa Ben Dahoua (fig. 4).



**Figure 4.-** Propriétés de plasticité du lœss Algérien selon la classification définie par GIBBS et HOLLAND (1960) [6]

Les résultats ainsi présentés peuvent être comparés aux mêmes résultats obtenus pour d'autres sols provenant de nombreuses régions du monde (tab. III).

**Tableau III.-** Propriétés de plasticités du lœss provenant de nombreuses parties du monde

Localisation	Wl (%)	Wp (%)	Ip (%)	Classification (Unified Soil Classification System USCS)	Références
Chine	29-32	12-22	10-17		[11]
Bretagne	28-46	17-23	9-28		[11]
USA (Mississippi)	23-43	17-29	2-20	ML-CL	[15]
Tunisie (Matmata)	19-27.5	15-21	2.5-7		[24]
Libye (Garaboli)	25	17	8	ML-CL	[20]
Iran	7-26	3-8	4-18	CL	[25]
Algérie (Metlili)	24	18	6	ML-CL	Présente étude
Algérie (Daïa Ben Dahoua)	29	20	9	ML-CL	Présente étude

Les résultats laissent apparaître que les propriétés de plasticité du lœss Algérien sont semblables à celles des lœss de nombreuses régions du monde.

### 2.3.- Teneur en carbonates de calcium

Les résultats de teneur en carbonate obtenus pour le lœss algérien est de 44% pour l'échantillon de Metlili, et 22% pour l'échantillon de Daïa Ben Dahoua. Ces résultats indiquent la présence d'une quantité notable des grains de carbonate de calcium. En se rapportant à la classification donnée dans le tableau IV, les échantillons A et B contiennent probablement une argile marneuse ou limoneuse.

**Tableau IV.-** Classification des sols selon la teneur en CaCO<sub>3</sub>

Nature du sol	% (CaCO <sub>3</sub> )
0-10	Argile
10-30	Argile limoneuse
30-70	Marne
70-100	Calcaire

GIBBS et HOLLAND (1960) affirment qu'en général, que les supports intergranulaires, sont composés principalement d'argile montmorillonite, avec de petites quantités de l'illite. Ils indiquent que les carbonates varient généralement entre 4 et 20%, et servent comme structure secondaire [6]. Par ailleurs, dans la région de Matmata (Sud Tunisien), la valeur de la teneur en carbonate de calcium varié de 2 à 48% [24]. Elle peut atteindre jusqu'à 70 [19]. Pour le dépôt de lœss Marocain, elle varié de 25% à 40% [26]. En Chine, la teneur totale en carbonate dans la région de Shaanxi varie de 3 à 20%. Elle peut atteindre des valeurs de 33% [11]. En Espagne, les échantillons du lœss indiquent un pourcentage de 40 à 65% de CaCO<sub>3</sub>. Toutefois en Grèce du Nord la teneur en carbonates ne dépasse pas 11% [27].

Des résultats, il ressort que les valeurs enregistrées pour les sites de l'Algérie restent comparables à celles des extrémums du reste du monde.

### 2. 4.- Composition chimique

Les résultats d'analyse chimique sont présentés dans le tableau V. La composition chimique des échantillons est surtout siliceuse.

**Tableau V.-** Composition chimique (%) du lœss dans différentes régions du monde

	Localisation					
	Mississippi (USA)	Golestan Province (Iran)	Shaanxi (Chine)	Matmata (Tunisie)	Daïa Ben Dahoua (Algérie)	Metlili (Algérie)
<b>Paramètres</b>	[3]	[25]	[28]	[21]	Présente étude	Présente étude
<b>SiO<sub>2</sub></b>	61.72	48.62	>50	55-65	53.97	49.68
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	7.92	11.21	>10	5-8	5.19	3.39
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	3.02	4.50	3-6	-	2.37	1.78
<b>CaO</b>	8.26	13.36	7.5-10.5	10-25	21.57	24.84
<b>MgO</b>	4.23	1.43	1.5-5	1-1.85	0.80	0.57
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1.86	-	1.5-5	>1.25	1.77	1.62
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1.28	-	1.2-2.3	-	-	-
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.62	-	-	>0.4	-	-
<b>MnO</b>	0.07	-	-	-	-	-
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.13	-	-	-	-	-
<b>P.A.F</b>	11.51	15.97			14.38	17.94
<b>Total</b>	100.62	95.09			100.05	99.82

La teneur de SiO<sub>2</sub> n'indique pas vraiment de changement dans les deux échantillons. Elle est de 49.68% dans l'échantillon de Metlili et 53.97% dans l'échantillon de Daïa Ben Dahoua. Les résultats montrent que les deux échantillons sont plus carbonatés et riches en calcite (24% pour A, 21% pour B). En outre, la teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se situe entre 1 et 2%. Par ailleurs, la teneur en aluminium ne dépasse pas 5%.

L'examen du tableau V indique que les résultats obtenus pour les échantillons de l'Algérie sont généralement comparables à ceux de reste du monde. Le lœss de Mississippi et de la Chine sont comparativement plus riches en silicium. Ils sont par rapport au lœss algérien moins carbonaté et légèrement plus riche en magnésium. Toutefois le lœss Iranien est assez plus carbonaté. Un aspect de similarité du lœss algérien est observé avec le lœss de la région de Matmata (Sud tunisien).

## 2.5.- Essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande

Les résultats de l'essai de cisaillement direct sur les deux échantillons A et B sont présentés sur les figures 5 et 6.



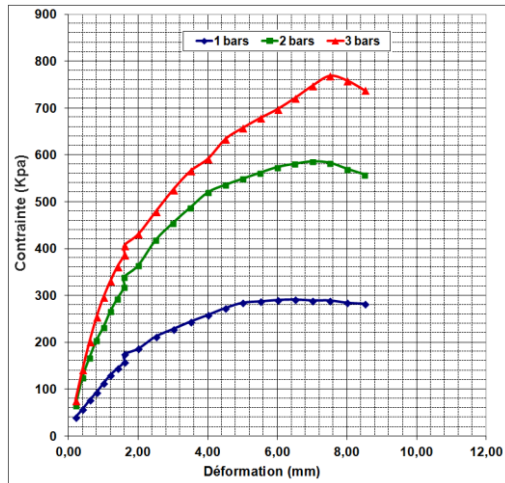


Figure 5.- Courbes contrainte/déformation de l'échantillon A

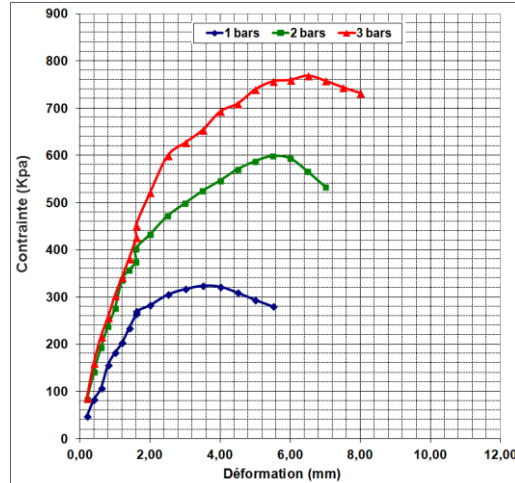


Figure 6.- Courbes contrainte/déformation de l'échantillon B

Les résultats indiquent une faible cohésion de 0.18 kg/cm<sup>2</sup> pour le lœss de Metlili, et 0.16 kg/cm<sup>2</sup> pour le lœss de Daïa Ben Dahoua. Les angles de frottement sont respectivement de 38.66 et 39.69° (fig. 7, 8).

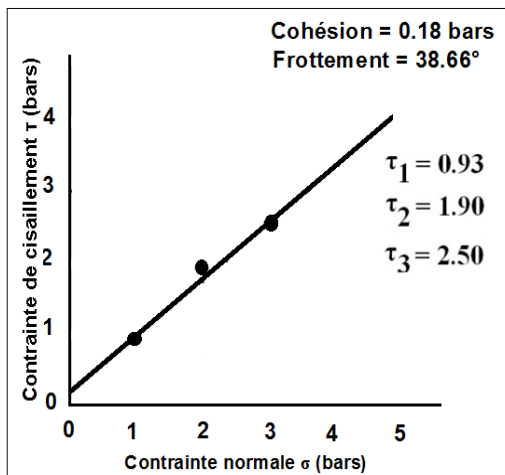


Figure 7.- Courbe intrinsèque de l'échantillon A

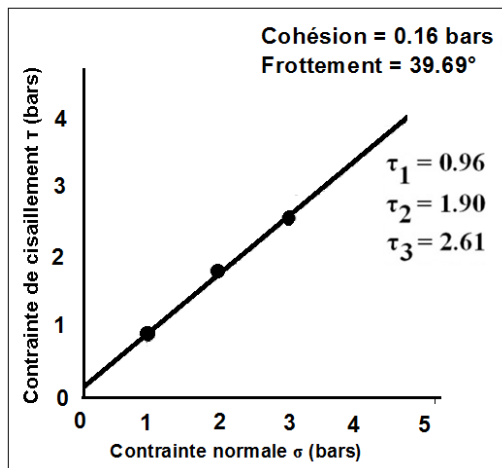


Figure 8.- Courbe intrinsèque de l'échantillon B

Pour la comparaison, quelques travaux indiquent que la valeur de l'angle de frottement au cisaillement du lœss désertique est comprise entre 24 et 26.5°. La cohésion  $c$  correspondante est de l'ordre de 0.1 à 0.46 kg/cm<sup>2</sup> [29]. Toutefois, les essais relatifs aux lœss de Matmata qui sont comparativement similaires aux lœss des échantillons indiquent que la valeur de l'angle de frottement est comprise entre 29 et 36°. Les valeurs de la cohésion correspondantes sont nulles [24].

La synthèse de l'analyse des études bibliographiques indique qu'en général, la valeur des angles de frottement interne est pour la plus part des cas comprise entre 25 et 35° [23,30]. Par ailleurs, les mêmes études montrent que les valeurs de la cohésion dépendent principalement de la teneur en eau, de la teneur en argile, et de la densité sèche.

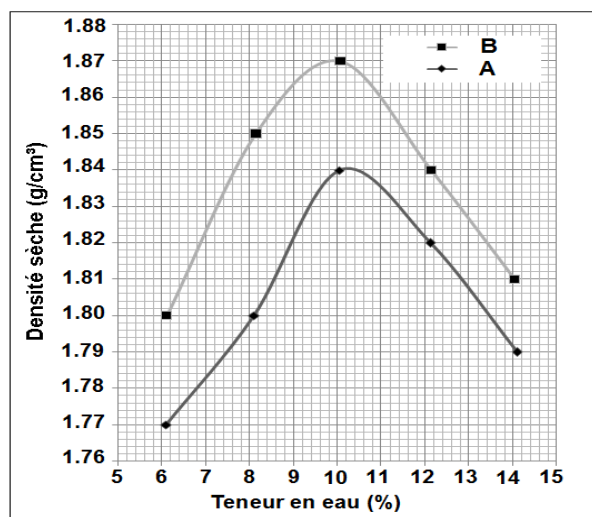
### 2.6.- Essai Proctor

Les résultats de l'essai Proctor sur les échantillons A et B sont illustrés dans le tableau VI.

**Tableau VI.-** Teneur en eau optimale de l'essai Proctor  $w_{opt}$  et densité sèche  $\gamma_{dmax}$  de A et B

Échantillon	Proctor modifié	
	$w_{opt}$ (%)	$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )
A	10.4	1.84
B	9.9	1.87

À l'optimum Proctor modifié, pour A et B, les teneurs en eau  $w_{opt}$  sont de 10.4% pour A et de 9.9% pour B. Les deux courbes de la figure 9 ne se recoupent pas. Elles sont situées l'une au-dessus de l'autre. Pour le lœss de Metlili,  $\gamma_{dmax}$  vaut 1.84 g/cm<sup>3</sup>. Elle reste inférieure à la valeur de lœss de Daïa Ben Dahoua qui est de 1.87g/cm<sup>3</sup>. Donc, pour une même énergie de compactage, la valeur de  $\gamma_{dmax}$  de Metlili (A) est légèrement inférieure à celle de Daïa Ben Dahoua (B) (fig. 9).



**Figure 9.-** Courbes Proctor modifié des échantillons A et B

D'après BELL (1992), la densité sèche du lœss dans la plupart des régions du monde est comprise entre 1.1 et 1.5 g/cm<sup>3</sup>. Parfois, elle peut atteindre 2 g/cm<sup>3</sup> [8]. Toutefois, la qualité, la quantité d'argile et la teneur en calcite contribuent à élever ou à abaisser les valeurs de cette densité. La densité sèche à l'optimum Proctor de lœss de Matmata (Tunisie) varié de 1.9 à 2 g/cm<sup>3</sup> [24]. Par ailleurs, le lœss Iranien se caractérise par une densité comprise entre 1.7 et 1.9 g/cm<sup>3</sup> [25]. En Mongolie, les résultats de l'essai Proctor donnent une valeur de densité sèche de l'ordre de 1.93 g/cm<sup>3</sup> [31].

### 2.7.- Essai au bleu de méthylène et d'équivalent de sable

Les résultats des valeurs de bleu de méthylène (VBS) et d'équivalent de sable ES (%) des échantillons de Metlili (A) et de Daïa Ben Dahoua (B) sont regroupés dans le tableau VII.

**Tableau VII.-** Résultats de la valeur de bleu de méthylène et d'équivalent de sable des échantillons A et B

Echantillons	VBS mesuré (g/100g)	ES mesuré (%)
<b>A</b>	0.25	16.84
<b>B</b>	0.75	9.7

Au vu des résultats obtenus, les sols peuvent être classés différemment (tab. VIII, IX).

**Tableau VIII.-** Classification des sols selon la valeur de VBS

Valeur de bleu	Type de sol
$VB < 0.2$	sols sableux
$0.2 < VB < 2.5$	Sols limoneux
$2.5 < VB < 6$	Sols limoneux argileux
$6 < VB < 8$	Sols argileux
$VB > 8$	Sols très argileux

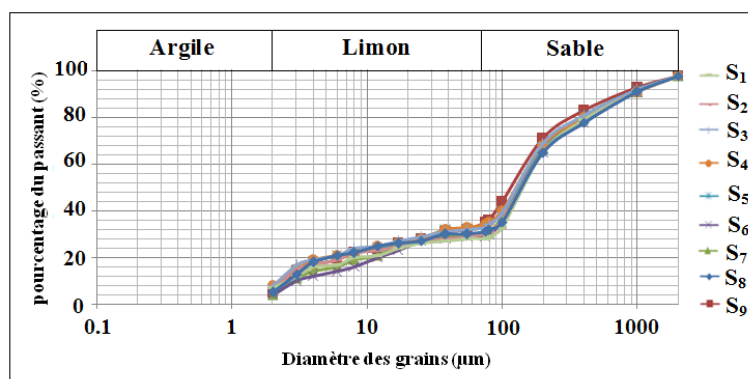
**Tableau IX.-** Classification des sols selon la valeur de l'équivalent de sable

Equivalent de sable	Nature
ES=00	Argile pure
ES<30	Sol plastique
$30 < ES < 50$	Sol généralement stabilisé
ES>50	Sol facilement compacté
ES=100	Sable pure

D'après les tableaux VIII et IX, les échantillons de Metlili et de Daïa Ben Dahoua peuvent être classés parmi les sols limoneux peu plastiques.

## 2.8.- Sols reconstitués

Les résultats des essais de la granulométrie relatifs aux sols reconstitués (tab. I) sont présentés sur la figure 10.

**Figure 10.-** Courbes granulométriques des sols reconstitués

Les résultats montrent que l'ensemble des courbes granulométriques présentent une même allure.

L'ensemble des sols reconstitués comporte un pourcentage d'argile inférieur à 10%, du limon de 20 à 30%, et du sable de 65 à 70% (fig. 11).

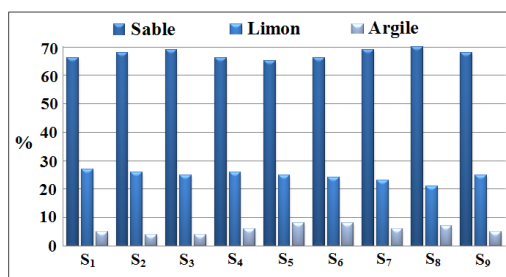


Figure 11.- Composition des sols reconstitués

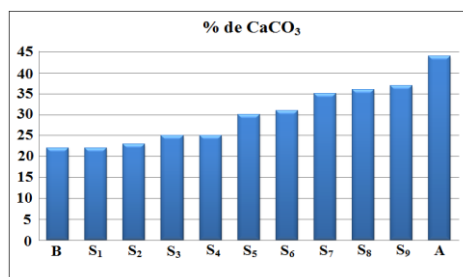


Figure 12.- Résultats de la teneur en CaCO<sub>3</sub> des sols reconstitués

La figure 12 présente les valeurs de la teneur en carbonate des sols reconstitués. Les résultats présentés indiquent ainsi que les valeurs de la teneur en carbonate restent dans un intervalle de 22% à 44%. Ils montrent que la teneur en carbonates des sols reconstitués augmente proportionnellement avec le pourcentage de l'échantillon A. Il est noté que pour le sol S<sub>5</sub> contenant la même proportion des deux échantillons de base (50% de A et 50% de B), la teneur en carbonate (CaCO<sub>3</sub>) correspondante est de 30%.

Les résultats des propriétés de plasticité relatifs à l'ensemble de sols reconstitués sont présentés sur la figure 13. La valeur de l'indice de plasticité varie entre 7 et 8%. Elle reste inférieure à 10%. Les limites de liquidité varient de 25 à 27%.

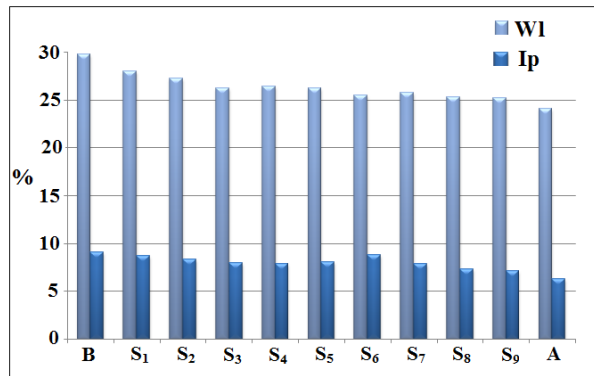


Figure 13.- Propriétés de plasticité des sols reconstitués

Au vu des résultats, il est constaté que l'indice de plasticité de l'ensemble des sols reconstitués augmente proportionnellement avec le pourcentage de l'échantillon B.

L'ensemble des sols reconstitués développe des angles de frottements internes importants légèrement inférieurs ou égaux à 41° et des cohésions très faibles. La majorité des grains des échantillons compose de sable fin. Par ailleurs le sable crée un frottement entre les grains dans les échantillons. Ce qui empêche leurs déplacements. Les valeurs de la cohésion des sols reconstitués sont faibles et assez comparables. Elles restent inférieures à 50 kPa (tab. X).

**Tableau X.-** Résultats des valeurs de la cohésion et d'angle de frottement de l'essai de cisaillement sur les sols reconstitués

Sols reconstitués	Cohésion (bars)	Angle de frottement (°)
S <sub>1</sub>	0.16	37.6
S <sub>2</sub>	0.11	41.28
S <sub>3</sub>	0.41	37.54
S <sub>4</sub>	0.19	40.96
S <sub>5</sub>	0.53	37.99
S <sub>6</sub>	0.2	40.88
S <sub>7</sub>	0.13	41.97
S <sub>8</sub>	0.18	40.94
S <sub>9</sub>	0.14	41.25

Les valeurs de VBS et d'équivalent de sable obtenus ainsi pour les sols reconstitués sont présentés dans le tableau **XI**.

**Tableau XI.-** Résultats des valeurs de bleu de méthylène et d'équivalent de sable des sols reconstitués

Sols reconstitués	VBS (g/100g)	ES (%)
S <sub>1</sub>	0.70	10.22
S <sub>2</sub>	0.65	12.29
S <sub>3</sub>	0.55	11.10
S <sub>4</sub>	0.40	11.05
S <sub>5</sub>	0.37	11.43
S <sub>6</sub>	0.35	12.98
S <sub>7</sub>	0.30	11.47
S <sub>8</sub>	0.30	14.44
S <sub>9</sub>	0.25	14.21

La valeur de VBS des sols reconstitués varie de 0.25 à 0.7 g/100g, et l'équivalent de sable de 10 à 14%. Ceci indique que l'ensemble des sols reconstitués peuvent classer parmi les sols limoneux peu plastiques.

En général, l'ensemble des courbes granulométriques des différents sols reconstitués ont la même allure. Les pourcentages du sable, du limon et d'argile varient dans des plages courtes. Cette reconstitution offre la possibilité de varier les paramètres de résistance et de plasticité de chaque échantillon en fonction des opportunités recherchées ou des conditions d'utilisations demandées. En effet, il est obtenu des teneurs en CaCO<sub>3</sub> diversifiés augmentent avec la teneur en échantillon A, ainsi que des indices de plasticité, qui augmentent proportionnellement avec le pourcentage de l'échantillon B.

Le sol reconstitué offre de possible d'utilisation économique et écologique. Ceci peut être établi après définition et caractérisation du comportement rhéologique du loess algérien. La dite caractérisation permet d'obtenir un nouveau matériau jusqu'à présent non valorisé, avec un cycle de vie respectueux de l'environnement de la fabrication au recyclage.

## Conclusion

La caractérisation géotechnique du lœss de Ghardaïa (Sud Algérien), notamment le lœss de Metlili et de Daïa Ben Dahoua, est une opération qui a pour but économique, écologique et environnemental. Le programme expérimental proposé a permis de caractériser du point de vue géotechnique deux types de sols lœssiques, associés aux deux sites différents appartenant à la région de Ghardaïa.

Les principales conclusions qu'on peut tirer de cette étude se résument comme suit :

- Les propriétés de plasticités obtenues, sont semblables à ceux des lœss de nombreuses régions du monde.

- Les caractéristiques granulométriques du lœss algérien et tunisien sont très proches, dont la majorité des grains compose de sable fin. Ils confirment la constatation de COUDE-GAUSSSEN (1987) qu'il montre que le lœss de l'Afrique du Nord est plus grossier décalé vers le sable fin.

- Basé sur les caractéristiques de plasticité définies par GIBBS et HOLLAND (1960). Le lœss de Ghardaïa peut être classé en deux types : un lœss sableux dans la région de Metlili, et limoneux dans la région de Daïa Ben Dahoua. Les deux types de lœss présentent un indice de plasticité inférieur à 10%, où le lœss de Daïa Ben Dahoua est un peu plus plastique que le lœss de Metlili.

- Les résultats de calcimétrie indiquent la présence d'une quantité notable des grains de carbonate de calcium. Les valeurs obtenues de VBS et d'équivalent de sable indiquent ainsi que les deux types de lœss Algérien sont classés parmi les sols limoneux peu plastiques.

- La composition chimique du lœss Algérien est surtout siliceuse. Un aspect de similarité est observé avec le lœss de la région de Matmata (Sud Tunisien).

- Les valeurs des cohésions obtenues par l'essai de cisaillement direct sont relativement faibles. Elles restent inférieures à 50 Kpa. En effet, les échantillons développent des angles de frottement internes importants. À l'optimum Proctor modifié, la densité sèche maximale du lœss de l'Algérie est comparativement similaire à celles de plusieurs régions du monde.

De ce fait, les échantillons étudiés peuvent faire l'objet d'une étude rhéologique. Ils permettent ainsi, la proposition d'un nouveau matériau rentable et écologique du point de vue technico-économique.

## Références bibliographiques

- [1].- Smalley I. J., Vita-finzi C., 1968.- The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of "desert" lœss. J. Sediment, Petrol., 38:766-774.
- [2].- Pye K., 1984.- "Lœss". Prog. Phys. Geog., 8, 176-217.
- [3].- Pye K., 1987.- Aeolian dust and dust deposits. Academic Press Inc. London Ltd, England, 334p.
- [4].- Grabowska-Olszewska B., 1988.- Engineering-geological problems of lœss in Poland. Engineering Geology., 25: 177-199.
- [5].- Smalley I.J., 1971.- "*in situ*" theories of lœss formation and the significance of the

- calcim carbonate content of lœss. *Earth Science Review.*, 7, 67-86.
- [6].- Gibbs H.H., and W.Y. Holland.,1960.- Petrographic and engineering properties of lœss. US Bureau of Reclamation, Engineering Monograph., No. 28, 37p.
- [7].- Chen Z.Y., 1992.- Practical solutions to problems of collapsible lœss in China. Proceedings of the 7th International conference on expansive soils. Dallas, Texas., Pp: 1-12.
- [8].- Bell F.G., 1992.- Engineering Properties of Soils and Rocks. 3rd ed. Oxford, U.K: Butterworth-Heinemann., 345 p.
- [9].- Pecsì M., 1968.- "Lœss". In: Fairbridge, R.W. (Ed). The Encyclopaedia of Geomorphology. Reinhold, New York., Pp: 674-678.
- [10].- Tan Tjong Kie., 1988.- Fundamental properties of lœss from Northwestern China. *Engineering Geology.*, 25: 103-122.
- [11].- Derbyshire E., and Mellors T. W., 1988.- Geological and Geotechnical characteristics of some Engineering lœss and lœssic soils from China and Britain: a comparison. *Engineering Geology.*, 25: 135-175.
- [12].- Dijkstra T.A., Rogers C. D. F., Smalley I.J., Derbyshire E., Li Yong Jin., and Meng Xing Min., 1994.- The lœss of North-central China : Geotechnical properties and their relation to slope stability. *Engineering Geology.*, 36: 153-171.
- [13].- Derbyshire E., Dijkstra T.A., Smalley I.J., and Li Y.,1994.- Failure mechanisms in lœss and the effects of moisture content changes on remoulded strength. *Quaternary International.*, vol. 24: 5-15.
- [14].- Holtz W. G., and Gibbs H. J., 1951.- Consolidation and related properties of lœssial soils. American Society for TestingMaterials. *Special Technologies.*, 126: 9-33.
- [15].- Sheeler J. B., 1968.- Summarization and comparison of engineering properties of lœss in the United States. *Highway Research Record.*, No. 212: 1-9.
- [16].- Smalley I. J., and Dijkstra T. A., 1991.- The Teton Dam (Idaho, U.S.A.) failure: problems with the use of lœss material in earth dam structures. *Eng. Geol.*, 31: 197-203.
- [17].- Moll L. L., Rocca R. I., and Terzariol R. E., 1989.- Lœss soils: Engineering practice in argentina. In Proc. 12th. In. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 2: 283-288.
- [18].- Smalley I. J., and Leach J. A., 1978.- The origin and distribution of the lœss in the Danube basin and associated regions of east- central Eurpoe a review. *Sedimentary Geology.*, 21: 1-26.
- [19].- Coudé-Gaussen G., 1987.- The Peri-Saharan Lœss: Sedimentological characterization and paliclimatical significance. *Geo Journal.*, 15: 177-183.

- [20].- Assallay A. M., Rogers C. D. F., and Smalley I. J., 1996.- Engineering properties of lœss in Libya. *Journal of Arid Environment.*, 32: 373-386.
- [21].- Coudé-Gaussen G., 1991.- Les poussières sahariennes. Cycle sédimentaire et place dans les environnements et paléoenvironnements désertiques. Édition John Libbey Earotext., 485p.
- [22].- Goudie A. S., Parker A. G., Bull P. A., White K., and Al-Farraaj A., 2000.- Desert lœss in Ras Al Khaimah, United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments.*, 46: 123-135.
- [23].- Assallay A. M., June 1998.- Structure and hydrocollapse behaviour of lœss. Thesis. Loughborough University., 404p.
- [24].- Mtimet A., 1992.- Les lœss sahariens et l'amélioration de leurs propriétés géotechniques, Cas des Matmata et de leurs bordures, Tunisie. L'aridité, une Contrainte au Développement. Le Floc'h, E., M. Grouzis, A. Cornet et J.C. Bille (Éditeurs). Didactiques / ORSTOM., Paris, Pp. 387-400.
- [25].- Rezaïy H., Lashkaripour G.R., and Ghafoori M., 2011.- Engineering Geology Criteria for Evaluation and Classification of Lœss in Golestan Province. *Journal of Basic and Applied Scientific Research.*, 1(12): 2979-2986.
- [26].- Grousset F. E., Rognon P., Coudé-Gaussen G., and Pedemay P., 1992.- Origins of peri-Saharan dust deposits traced by their Nd and Sr isotopic composition. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.*, 93: 203-212.
- [27].- Coudé-Gaussen G., 1990.- The lœss and lœss-like deposits along the sides of the western mediterranean sea: genetic and palaeoclimatic significance. *Quaternary International.*, vol. 5: 1-8.
- [28].- Wen Q., Yang W., Diao G., Sun F., Yu S., and Liu Y., 1984.- The evaluation of chemical elements in lœss of China and paleoclimatic conditions during lœss deposition. In: Pécsi, M. (ed.). *Lithology and Stratigraphy of Lœss and Paleosols*. Geographical Research Institute, Budapest., Pp. 161-170.
- [29].- Erol O. A., and El-Ruwaih I. A., 1982.- Collapse behaviour of desert lœss. *Proceedings of the 6th Congress International Association of Engineering Geology*. New Delhi., vol. I: 1443-1448.
- [30].- Anagnosti P., 1973.- Storage dams founded on collapsing lœss soils. *Proceedings of the 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.*, vol. II, Part 2: 7-11.
- [31].- Ștefan-Silvian C., 2014., 2014.- geotechnical characterization of lœssoid soils and improvment methods. *Journal of Young Scientist.*, vol. II: 2344 - 1283.