

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

II.1. Introduction :

L'étude expérimentale a été réalisée sur les sédiments prélevés de barrage de Bouhanifia. La première étape du travail réalisé est une caractérisation physique et chimique la plus large possible du sédiment.

L'objectif est d'arriver à une connaissance approfondie du milieu (pH, teneur en eau, teneur en matière organique, granulométrie, densité,.....) afin d'identifier des grandeurs utiles pour les possibilités de valorisation dans le remblai autocompactant.

Une caractérisation systématique permettra également une bonne compréhension des paramètres du sédiment et une analyse des résultats.

II.2. Présentation de barrage de Bouhanifia :

L'ouvrage, d'une capacité de 73.10^3 m^3 est situé à 400 km au nord ouest d'Alger (fig.2). Il a été mis en exploitation en 1945 et est destiné à l'irrigation des terres agricoles voisines ainsi qu'à alimenter la retenue du barrage de Fergoug par des lâchés périodiques.

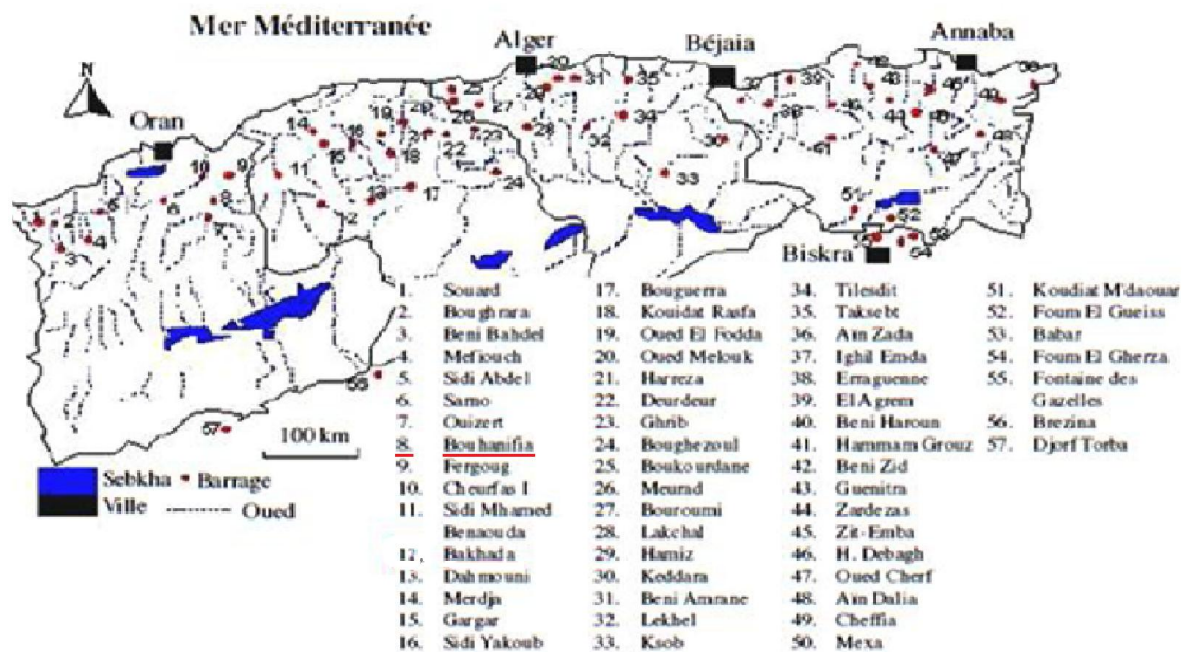


Figure (II.1) : Situation de Barrage de Bouhanifia



Photo (II.1) : Barrage de Bouhanifia

II.3. Prélèvement des échantillons :

Les essais ont été réalisés sur des échantillons de vase prélevés au niveau de la conduite de vidange, en amont de la retenue du barrage de Bouhanifia.



Photo (II.2) : Site de prélèvement des échantillons

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

Afin de garantir une bonne exploitation du barrage de Bouhanifia, les gestionnaires ont eu recours à un dragage à l'aide d'une drague.

Le prélèvement des échantillons a été réalisé en date février 2013, les sédiments prélevés ont été déversés dans des sacs en plastiques en assurant une bonne fermeture afin de conserver les sédiments à l'état naturel.

Ensuite, on a prélevé une partie des sédiments qui ont été séchés dans des éléments en plastique à l'air libre pendant quelques semaines pour éliminer l'humidité.

La mise en dépôts sur un lit de séchage naturel à l'air est une solution économique pour réduire la teneur en eau. La déshydratation des sédiments selon ce principe permet d'envisager soit une valorisation en tant que matériau stabilisé (mélange du sédiment à teneur en eau réduite 25 à 50% plus additifs, avec reprise des sédiments), soit la valorisation dans le domaine bâtiment et travaux public et notamment dans les matériaux cimentaires.

L'échantillonnage consiste une étape primordiale, pour cela un prétraitement d'homogénéisation est nécessaire. L'homogénéité est définie par la norme (ISO 11074-2, 1998) in [3] Dubois. V, 2006 « Etude du comportement physico- mécanique et caractérisation environnementale des sédiments marins-valorisation en technique routière ». Thèse de doctorat d'Université d'Artois, 285 p.

comme « le degré d'uniformité affectant la répartition d'une propriété ou d'un constituant dans une quantité définie de matériau ».

Un malaxage complet des sédiments de tous les futs aurait été intéressant mais les quantités reçues nécessitent un matériel de malaxage adapté. De plus, la fluidité des matériaux aurait entraîné des pertes de matériau et des apports éventuels de poussières.

Avant toute analyse, les échantillons ont été prélevés dans plusieurs endroits pour avoir une fraction représentative.

II.3.1. Couleur de l'échantillon :

Suivant le code MUNSEL, le sédiment de barrage de Bouhanifia représente une couleur noir-marron de référence [Code MUNSELL, 1994]. Code Munssell, 1994 « Soil color ».

II.4. Analyse des propriétés physiques :

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres des grains qui constituent un échantillon. Pour cela l'analyse consiste à séparer et classer ces grains selon leurs diamètres à l'aide de tamis, emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

II.4.1. Détermination de la distribution granulométrique :

La distribution granulométrique consiste le premier paramètre essentiel dans la classification des matériaux. L'analyse granulométrique permet d'identifier le sédiment afin de l'associer à une texture de type sable, limon ou argile. La structure se détermine par voie humide afin de décoller les particules les plus fines des plus grosses. La fraction inférieure à $80\mu\text{m}$ est analysée par la méthode sédimentométrique, qui complète celle faite par tamisage à sec.



Photo (II.3) : Matériels de l'essai de l'analyse granulométrique (série des tamis +agitateur)

La distribution granulométrique des sédiments est donnée dans le tableau III.4 suivant :

Tableau (II.1): Pourcentage des éléments fins des sédiments de Bouhanifia

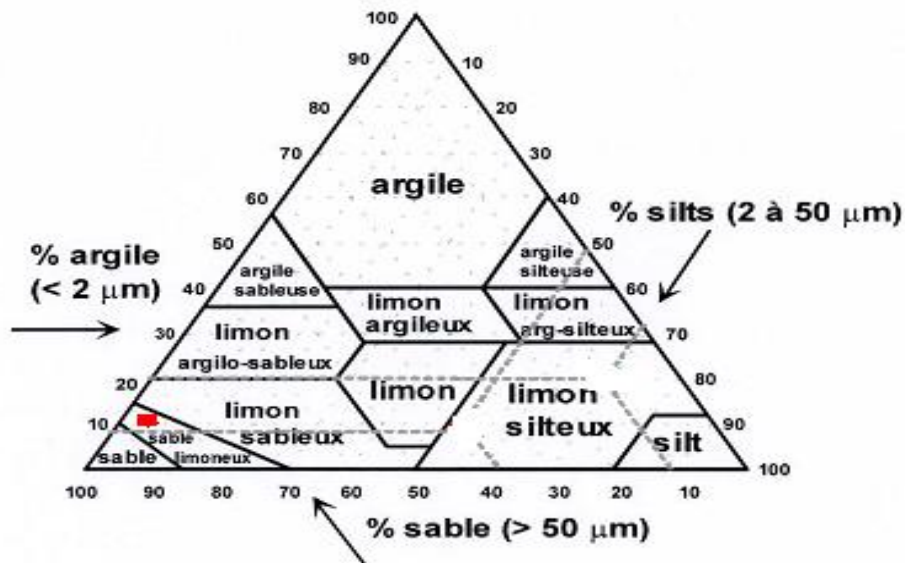
Origine du sédiment	Sable (%) (0,02mm<d<2mm)	Limons (%) (0,002mm<d<0.02mm)	Argile (%) (<0,002mm)
Barrage de Bouhanifia	87.1	12.9	0

On peut séparer le sédiment en trois catégories, la fraction argileuse ($<2\mu\text{m}$), la fraction limoneuse (ou silteuse) (de 0,002 à 0,02mm) et la fraction sableuse (0,02 à 2mm). Le classement des sédiments selon leur teneur en trois fractions ou au moyen, par exemple d'un diagramme triangulaire.

Les résultats obtenus sur les sédiments de barrage de Bouhanifia font apparaître une fraction argileuse presque nulle (voir figure III.2), la fraction limoneuse (12.9 %) et la fraction sableuse (87.1%). Ceci permet de classer ces sédiments dans la catégorie de sable limoneux (suivant le diagramme triangulaire de classification des sédiments en fonction de leur texture in [8]). Agostini, F, 2006 « Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins ». Thèse de doctorat délivrée conjointement par l'école centrale de Lille et l'université des sciences et techniques de Lille, 207 p.

Les sédiments sont classés dans la catégorie des sols sableux - limoneux dans le diagramme de Taylor (**Figure 2**).

Les distributions granulométriques des sédiments des quais de barrage de Bouhanifia sont montrées dans la figure (II.2). Tran Ngoc, T, 2009 « Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière » Thèse de doctorat de l'université d'Artois de l'Ecole des Mines de Douai, 189 p.



■ Les sédiments de barrage de Bouhanifia.

Figure (II.2) : Classification triangulaire des sols fins

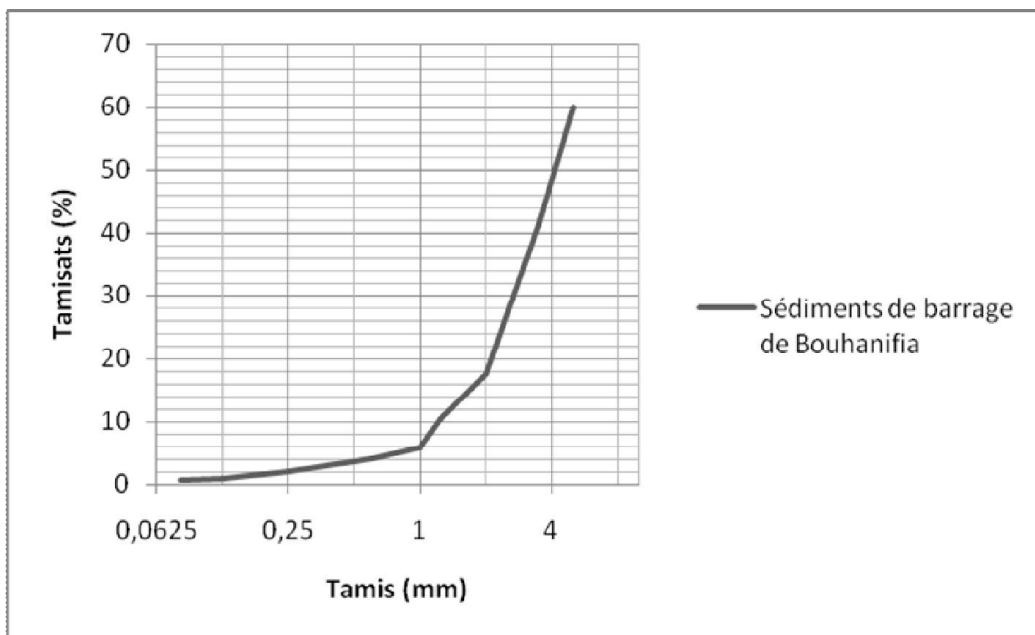


Figure (II.3) : Analyse granulométrique des sédiments de barrage de Bouhanifia.

II.4.2. Mesure du poids volumique des grains solides γ_s :

L'essai d'identification du poids volumique des grains solides par l'utilisation du pycnomètre d'après la norme (NF P 94-054), donné les valeurs suivantes

II.4.3. Les Limites d'Atterberg :

Cet essai a pour but de déterminer les teneurs en eau sur la fraction des sédiments (0/400 µm) de référence liées au changement d'état du matériau. Ces limites sont des paramètres géotechniques destinés à identifier le matériau et caractériser son état.

Tableau (II.2) : résultat de l'essai Les Limites d'Atterberg

Echantillons	La nature de matériaux
Sédiments de Barrage de Bouhanifia	sableux

II.5. Analyse chimique et environnementale :

II.5.1. Valeur au bleu de méthylène :

L'essai de la valeur au bleu méthylène (VBS) est réalisé selon la norme NF P94 068, il permet d'avoir l'activité argileuse des sédiments.

Il consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbé sur les particules de matériaux mis en suspension. L'activité argileuse sera importante quand la quantité de bleu méthylène absorbée est croissante. La valeur du bleu de méthylène « VBS » est définie par l'équation suivante :

$$\text{VBS} = \frac{\text{volume de bleu de méthylène (cm}^3\text{)} \times 0,01}{\text{masse sèche de la prise d'essai (g)}} \times 100$$



Photo (II.4) : l'essai de bleu de méthylène.

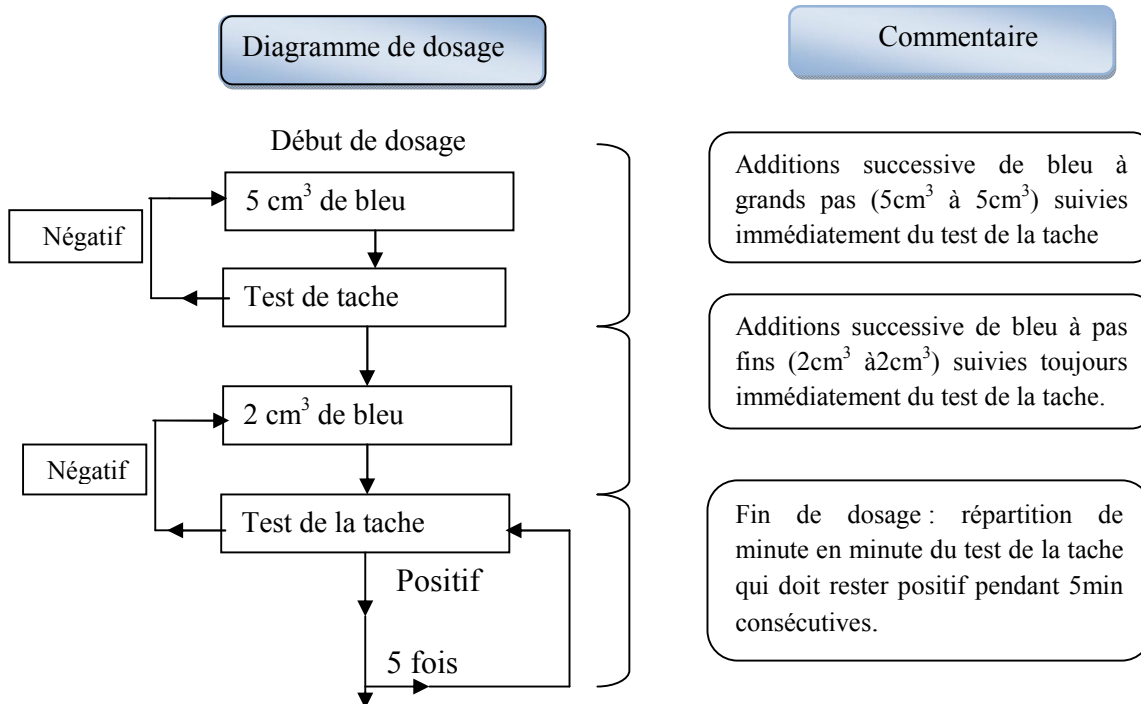


Figure (II.4) : Schéma synoptique du processus opératoire de l'essai du bleu à la tache Shaeffner, 1989 in (Gueddouda. M, 2005) [39]

Guedouda. M.K, 2005 « solution des argiles gonflantes par ajout du sable de dune : cas région de Laghouat ». Thèse de magister. Université de la science et de technologie d'Oran
 Mohamed Boudiaf

Tableau (II.3) : Argilosité des sédiments de barrage de Bouhanifia

Les sédiments de barrage de Bouhanifia	Volume de bleu méthylène (ml)	Poids (g)	VBS Cm^3/g
	52	30	1.73

Seuils retenus des valeurs de bleu [32] : Cabane. N, 20 décembre 2004 « sols traités à la chaux et aux liants hydrauliques (contribution à l'identification et à l'analyse des éléments perturbateurs de la stabilisation) ». Thèse de doctorat préparée au centre des matériaux de grande diffusion de l'école des Mines d'Alès, 189 p.

- 0,1 : seuil en dessous duquel on peut considérer que le sol est insensible à l'eau. Ce critère doit cependant être complété par vérification du tamisât à $80\mu\text{m}$ qui doit être ≤ 12
- 0,2 : seuil au dessous duquel apparait à coup sûr la sensibilité à l'eau

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

- 1,5 : seuil distinguant les sols sablo - limoneux des sols sablo argileux
- 2,5 : seuil distinguant les sols limoneux peu plastique des sols limoneux de plasticité moyenne
- 6 : seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
- 8 : seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

Selon le « Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme » [31], GTR(1992), Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme. LCPC-SETRA, 240 p en fonction de la valeur au bleu de méthylène, les sédiments de barrage de Bouhanifia sont placés dans le groupe des seuils distinguant les sols limoneux peu plastique des sols limoneux de plasticité moyenne.

II.5.2. Teneur en matière organique :

La teneur en matières organiques par calcination (C_{mo}) est le rapport de la masse des matières organiques dans un échantillon de masse M_1 ; détruites par la calcination sur la masse sèche des particules solides avant calcination, pendant au moins 3h, avec une température qui est entre 450°C et 500°C (on obtient la masse notée M_2)

La teneur en matières organiques est calculée à partir des pesées effectuées soit

$$C_{mo} = \frac{M_1 - M_2}{M_1}$$

La proportion de la matière organique dans la matière sèche des sédiments varie entre 90%, dans le cas de la tourbe et 2% pour les sables de rivière (Duan. Z, 2008) [42]. Duan. Z, 2008 « Caractérisation, stabilisation et solidification des sédiments marins » Thèse de doctorat, Université de CAEN, 145 p.

Le tableau III.6 indique la quantité des matières organiques contenues dans les sédiments de barrage de Bouhanifia.

Tableau (II.4) : Estimation du pourcentage de la matière organique

Echantillons	C_{mo} (%)
Sédiments de Barrage de Bouhanifia	4 ,5

Par rapport aux travaux antérieurs, on vérifie que la teneur moyenne en matières organique dans le barrage de Bouhanifia n'excède pas 10%.

Classification géotechnique des sols organiques :

En France, on peut citer deux classifications qui répondent à ce besoin et intéressent le domaine de Bâtiment et travaux public:

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

- la classification LPC (laboratoire des Ponts et chaussée), qui date de 1965 est tirée de la classification américaine USCS.
- la classification du GTR qui est affiliée à la première mais qui concerne le domaine particulier des terrassements.

Les figures suivantes (III.5 et III.6) illustrent la position des seuils de la teneur en matières organique dans ces deux classifications

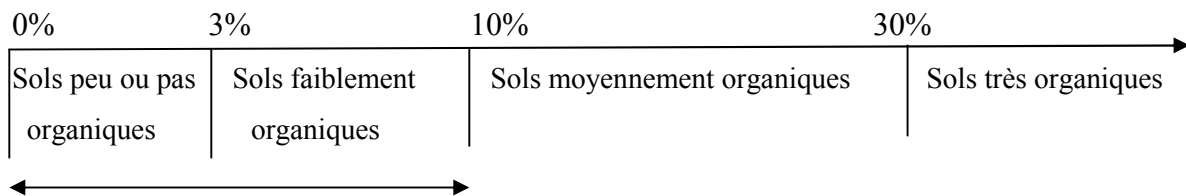


Figure (II.5) : Seuils de la teneur en matières organiques dans la classification LPC

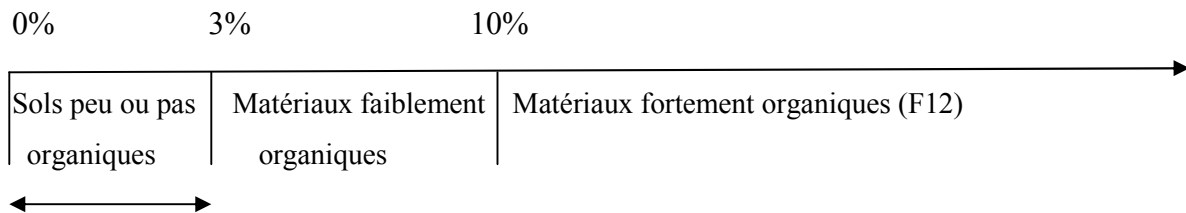


Figure (II.6) : Seuils de la teneur en matière organique dans la classification GTR

Sols fins si passant à $80 \mu\text{m} > 50\%$.

Sols grenus si passant à $80 \mu\text{m} \leq 50\%$.

Sols fins si passant à $80 \mu\text{m} > 35\%$.

Sols grenus si passant à $80 \mu\text{m} \leq 35\%$

D'après les deux classifications LPC et GTR, notre sédiment appartient au groupe de sol faiblement organique, pourcentage de matières organiques environ $4\% < 10\%$.

- $\gamma_s : 24,52 \text{ kN/m}^3$

II.5.3. Détermination du pH : (Clément. M, 2003) [43] Clément. M, Françoise. P, 2003 « Analyse chimique des sols » ISBN2- 7430-0620-X.

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut être exprimée par la concentration en H_3O^+ (noté H^+ pour simplifier). De manière à faciliter cette expression, on utilise le logarithme de l'inverse de la concentration en ions H^+ : c'est le pH.

$$\text{PH} = \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

Le pH du sédiment est une donnée essentielle car l'existence d'une phase minérale, sa spécification et sa toxicité sont autant des paramètres liés au pH du milieu.

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

Mode opératoire :

On pèse 20g de sédiment ($\leq 2mm$) séché à $40^{\circ}C$ dans un bécher, puis on ajoute 50 ml de solution d'eau déminéralisée et on agite une minute avec une baguette de verre. On laisse reposer 2h, puis on plonge l'électrode dans le liquide surnageant et on effectue la mesure en prenant soin de laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes, on note à la fin les valeurs au deuxième décimal près.



Photo (II.5) : La détermination du pH

Tableau (II.5) : Valeurs du pH des sédiments de Barrage de Bouhanifia

Echantillons	pH
Sédiments de Barrage de Bouhanifia	07,38

Le tableau II.6 montre la valeur de pH dans les sédiments de barrage de Bouhanifia.

II.5.4. Dosage des éléments chimiques :

Les caractéristiques chimiques influent sur la mobilité et la biodégradabilité des substances indésirables, susceptibles d'être présentes dans les sédiments. Toute variation des conditions environnementales peut entraîner une perturbation physique et chimique dans les sédiments.

II.5.4.1. Détermination de la perte au feu :

La perte au feu est déterminée en atmosphère oxydante. Par calcination à $975^{\circ}C \pm 25^{\circ}C$, le gaz carbonique et l'eau sont chassés et les éléments oxydables.

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

II.5.4.2. Dosage des éléments majeurs :

II.5.4.2.a. Préparation de l'échantillon :

On prélève environ 100g d'échantillon, qu'on fait passer sur un tamis de 150 μ m. Par la suite, on transfère l'échantillon dans un flacon propre et sec à fermeture hermétique, et on agite pour l'homogénéiser.

L'analyse est effectuée après mise en solution complète de l'échantillon. Le sédiment est décomposé au moyen d'un frittage au peroxyde de sodium ou par attaque chlorhydrique en présence de chlorure d'ammonium.

Dans la solution finale portée à 500ml, la silice en solution est déterminée par dosage photométrique ; l'oxyde de fer, l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de calcium et l'oxyde de magnésium sont déterminés par dosage complexométrique. Les résultats des analyses sont regroupés dans le tableau 4.

Tableau (II.6) :Analyse chimique des sédiments [Labioud, 2009]

Caractéristiques	Symboles	Teneurs%
La silice	SiO ₂	63,30
Carbonate	CaCO ₃	10
La chaux	CaO	08,50
Magnésie	MgO	0,53
L'alumine	Al ₂ O ₃	06,80
L'oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	04,39
Les sulfates	SO ₄	nul
La perte au feu	/	/
L'anhydride carbonique	CO ₂	/
L'eau de combinaison	H ₂ O	05,76

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

Sur la base des résultats du tableau ci dessus, on remarque que les principaux constituants minéralogiques des sédiments de barrage de Bouhanifia sont : les carbonates, suivie la silice, ensuite la chaux et enfin l'alumine.

La silice constitue le sable ainsi que le calcaire des sols provenant de coquilles. Par ailleurs, on remarque que la perte au feu est assez importante, ce qui prouve l'existence des matières organiques.

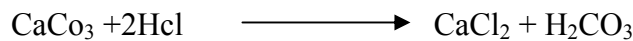
II.5.5. Pourcentage en carbonate de calcium :

Afin de déterminer la teneur en carbonate de calcium, on utilise le calcimètre Dietrich-Fruhling. L'essai consiste à une attaque d'une prise d'essai du matériau (fraction granulométrique (<0,2mm) par l'acide chlorhydrique (Hcl) concentré [30] Levacher. D, Sanchez. M, Duan. Z, Liang. Yingjie, 2009 « Caractérisation géotechnique de sédiments méditerranéens pour une valorisation » Article lié au projet SEDIMARD 83-Partie II.

La teneur en carbonate (W_{CaCO_3}) de calcium d'un échantillon de sol est le rapport entre le volume de gaz carbonique (CO_2) dégagé après attaque dans les mêmes conditions d'une prise d'essai de carbonate de calcium pur.

$$W_{CaCO_3} (\%) = \frac{\text{Volume de gaz carbonique}(CO_2) \text{ dégagé par } 0,5g \text{ d'échantillon}}{\text{Volume de gaz carbonique}(CO_2) \text{ dégagé par } 0,5g \text{ } CaCO_3}$$

La réaction qui se produit est de forme



Le tableau 6 indique les valeurs des pourcentages de $CaCO_3$ dans les sédiments des Barrage de Bouhanifia

Tableau (II.7) : Valeurs des pourcentages de carbonate de calcium dans les sédiments marins (L.T.P.O).

Echantillon	Sédiments de Barrage de Bouhanifia
Pourcentage de carbone	10 %

La classification du tableau 6 nous indique que les sédiments appartiennent au groupe des argiles ou limons.

Tableau (II.8) : Classification du sol en fonction de la teneur en CaCO₃ [41] Manuel de laboratoire de génie, civil, mode opératoire (Philipponat et Hubert, 1977).

Pourcentage de CaCO ₃ (%)	Dénomination
0 à 10	Argile ou limon
10 à 30	Argile marneuse ou limon marneux
30 à 70	Marne
70 à 90	Calcaire marneux
90 à 100	Calcaire

II.6. Analyse géotechnique :

II.6.1. Essai de Proctor Modifier et Portance :

II.6.1.1. Définition de Proctor Modifier :

le compactage est beaucoup plus intense ;il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes. C'est ordinairement par l'essai **Proctor** modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optima, densité sèche maxima) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes d'aérodromes.

Le compactage dans ce cas la s'effectue en cinq couches successives avec « la dame

Proctor modifié » l'énergie de compactage est de :

- 25 coups de dame par couche dans le moule **Proctor**.
- 55 coups par couche dans le moule **C.B.R.**

Tableau (II.9) : résultat de l'indice de portance immédiate

Sédiment de dragage de barrage bouhnifia	Portance I_{Imd}
I_{Imd}	35

Le tableau suivant montre le résultat de l'indice de portance immédiate

Tableau (II.10) : Les valeurs de W_{opt} , $\gamma_{d\ otm}$ et I_{md}

s	W_{opt}	$\gamma_{d\ otm}$	I_{md}
valeur	4.54	1.83	35

Chapitre II : Caractérisation des sédiments de barrage bouhanifia

Interprétation : L'indice de portance immédiate des sédiments de barrage bouhanifia égal : 35Mpa donc on peut valoriser ses sédiment dans leur état brut c'est sous traitement dans le remblai autocompactant.



Photo (II.6): essais de Proctor modifié

II.4. Conclusion :

Les sédiments sont considérés comme des déchets, afin de déterminer la faisabilité de leur valorisation dans le domaine de génie civil, il est nécessaire de connaître leurs caractéristiques physiques, minéralogiques, chimiques et leurs effets sur l'environnement.

La caractérisation nous a permis d'affirmer que, les sédiments de Barrage de Bouhanifia sont classés dans la catégorie des sols sableux limoneux. Les résultats de la teneur en matières organiques de nos sédiments, montrent qu'ils appartiennent au groupe de sol faiblement organique.

Les informations obtenues à partir des caractéristiques chimiques des sédiments de barrage de Bouhanifia, permettent la mise en évidence de deux phases cristallines distinctes la silice et carbonate.

Dans le chapitre suivant, on va étudier la possibilité de valoriser de ses sédiments dans le BTP (Bâtiments et Travaux Publics) et notamment dans le remblai autocompactant.