

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة محمد بوضياف - المسيلة

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الهندسة المدنية

DEPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

FILIERE : Génie Civil
OPTION : GÉOTECHNIQUE

THEME

**Caractérisation géotechnique et valorisation en
travaux routiers des sédiments de dragage du
barrage K'sob**

Par : SELMANA Amal *et* BENDAKMOUSSE Maria

Soutenu devant le jury composé de :

Pr. TITOUM Messaoud

Président

Dr. BAKIR Nassima

Examinateur

Mr. LAHMADI Azzeddine

Encadreur

Année universitaire : 2019/2020

إهداء وشكر

بسم الله والحمد لله حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه نحمده حق حمده فإنه الواحد
الأحد الفرد الصمد، الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على نبينا محمد بن عبد الله خاتم
الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

إلى من قال فيهما المولى تعالى: (ووصينا الإنسان بوالديه حملته أمه وهنا على وهن
وفصاله في عامين أن اشكر لي ولوالديك والي المصير)

إلى من لا تفيها الكلمات حقها، إلى نبع الحنان والطمأنينة، إلى رمز العطاء، إلى هبة القلب
... وصفاء الحب ... وكمال الورد... وهبة الرب ... ومنارة البيت
أمهاتي الغاليتان فريدة ومريم حفظكما الله.

إلى من كان خير معين على صعاب الحياة وخير صديق ... إلى اليد السخية التي أعطت ولم
تبخل ... إلى من يحب العلم وغرس فينا حبه.

أبي الغالي سليمان حفظك الله.

أطال الله عمرهما وأدامهما نورا يضيء دربي.

إلى روح عمي الطاهرة التي لم أنساها رحمه الله.

إلى من قاسموني حلاوة الحياة ومرها، مصدر سعادتني إخوتي وأخواتي

إلى صديقاتي شيماء مروة بسمة يسرى زهرة اللواتي اظهرن لي أجمل ما في الحياة إلى من
كانوا ملاذي وملجئي. إلى من تذوقت معهم أجمل اللحظات واغلي الذكريات إلى من سوف
افتقدهم وجعلهم الله إخوتي في الله.

و

إلى شريكتي في العمل بن دقموس مارية التي كانت بمرتبة الأخت وكانت نعم الصديقة وانا
افتخر برفقتها في الدراسة وفي حياتي المقبلة كلها إن شاء الله.

كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى أستاذي الفاضل " لحمادي عزالدين " حفظه الله الذي لم يبخل
علينا بتوجيهاته وإرشاداته ونصائحه القيمة والتي ساهمت بكثير في انجاز هذا العمل ...

كما أتوجه بالشكر الجزيل إلى كل من وقف على المنابر وأعطى من حصيلة فكره لينير
دربنا... إلى الأساتذة الكرام في كلية التكنولوجيا والقطب الجامعي... إلى من جعلهم الله إخوتي
في الله... ومن أحببتهم بالله طلاب فرع الهندسة المدنية دفعة 2020 وفي الأخير نشكر كل
من ساعدنا من قريب أو بعيد ولو بكلمة طيبة

إلى كل من احتواهم قلبي ونسيهم قلبي أهدي عملي المتواضع هذا

أمال

إهداء وشكر

بسم الله والحمد لله حمدا يليق بجلال وجهه وعظيم سلطانه نحمده حق حمده فانه الواحد الأحد الفرد الصمد، الرحمن الرحيم والصلاة والسلام على نبينا محمد بن عبد الله خاتم الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

إلى من قال فيهما المولى تعالى: (ووصينا الإنسان بوالديه حملته أمه وهنا على وهن وفصاله في عامين أن اشكر لي ولوالديك والي المصير)

إلى من لا تفيها الكلمات حقها، إلى نبع الحنان والطمأنينة، إلى رمز العطاء، إلى هبة القلب ... وصفاء الحب ... وكمال الورد... وهبة الرب ... ومنازة البيت

أمي الغالية حفظك الله.

إلى من كان خير معين على صعاب الحياة ... إلى اليد السخية التي أعطت ولم تبخل ... إلى من يحب العلم وغرس فينا حبه.

أبي الغالي حفظك الله.

أطال الله عمرهما وأدامهما نورا يضيء دربي.

إلى من قاسموني حلاوة الحياة ومرها، مصدر سعادتي إخوتي يحي جمال سفيان عثمان وأخي الأكبر علي وزوجته وأولاده وأخص بالذكر أخي منصور الذي كان لي سنداً في كل رحلتي الجامعية واطلب من الله ان يبارك له في زوجته وابنائها وائل وامحمد ولا انسى أخواتي ونام وخديجة وعمتي امباركة

إلى صديقاتي امان نسبية نورة فطيمة صفية ثرية مروة بسمة يسرى الى ابنت عمي وفاء اللواتي اظهروا لي أجمل ما في الحياة إلى من كانوا ملاذي وملجئ وحدي. إلى من تذوقت معهم أجمل اللحظات وأغلى الذكريات إلى من سوف افتقدهم وجعلهم الله إخوتي في الله.

والى شريكتي في العمل سلمانة امال التي كانت بمرتبة الأخت وكانت نعمة الصديقة وانا افتخر برفقتها في الدراسة وفي حياتي المقبلة كلها ان شاء الله

كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى أستاذ الفاضل " لحمادي عز الدين " حفظه الله الذي لم يبخل علينا بتوجيهاته وإرشاداته ونصائحه القيمة والتي ساهمت بكثير في انجاز هذا العم المتواضع ...

كما أتوجه بالشكر الجزيل إلى كل من وقف على المنابر وأعطى من حصيلة فكره لينير دربي في رحلتي الدراسية من اساتذة الابتدائية و المتوسطة والثانوية ... إلى الأساتذة الكرام في كلية التكنولوجيا والقطب الجامعي واخص بالذكر استاذي الفاضل فهو بمقامي ابي كان نعم الاستاذ والقوة ولا انسى مساندته القيمة لي في عامي الاخير عندما اصبت بعاهة في رجلي شكرا شكرا استاذي رحموني زين العابدين...إلى من جعلهم الله إخوتي في الله ...و من أحببتهم بالله طلاب فرع الهندسة المدنية دفعة 2020 و في الأخير نشكر كل من ساعدنا من قريب أو بعيد ولو بكلمة طيبة

إلى كل من احتواهم قلبي ونسيهم قلبي أهدي عملي المتواضع هذا

مارية

Résumé

Le dépôt des barrages est un phénomène naturel qui affecte pratiquement tous les réservoirs dans le monde, mais à un taux de précipitation qui varie d'un endroit à l'autre. Malheureusement, l'Afrique du Nord est le lieu où l'envasement des barrages a les valeurs les plus élevées de la planète. L'Algérie perd un volume annuel de 32 millions de mètres cubes d'eau sur un volume total de 5,2 milliards de mètres cubes sur 114 barrages en fonctionnement.

Ce mémoire vise à étudier la possibilité de récupérer les sédiments qui ont été dragués du barrage de K'sob (au nord-est de la ville de M'sila en Algérie et l'un des nombreux barrages inondés) dans le domaine de la géotechnique routière : les couches du remblai et du substrat ont été étudiées.

Après avoir passé en revue de la littérature sur les barrages et les problèmes de sédimentation, la deuxième partie de ce travail consiste à déterminer les propriétés physiques, chimiques, environnementales et géotechniques des sédiments qui ont été dragués du barrage de K'sob. Les résultats obtenus permettront de démontrer la faisabilité de l'utilisation des sédiments dragués du barrage de K'sob dans les remblais et les substrats.

Mots clés :

Caractérisation géotechnique ; Valorisation ; Barrage K'sob ; Sédiments de dragage ; Technique routière.

Abstract

Dam deposition is a natural phenomenon that affects virtually all reservoirs in the world, but at a rate of precipitation that varies from place to place. Unfortunately, North Africa is the place where siltation of dams has the highest values on the planet. Algeria loses an annual volume of 32 million cubic meters of water out of a total volume of 5.2 billion cubic meters out of 114 dams in operation.

This thesis aims to study the possibility of recovering the sediments that were dredged from the K'sob dam (northeast of the city of M'sila in Algeria and one of the many flooded dams) in the field of geotechnics road: the layers of the backfill and the substrate were studied.

After reviewing the literature on dams and sedimentation issues, the second part of this work is to determine the physical, chemical, environmental and geotechnical properties of the sediments that were dredged from the K'sob dam. The results obtained will demonstrate the feasibility of using the sediments dredged from the K'sob dam in embankments and substrates.

Keywords:

Geotechnical characterization; Valuation; K'sob Dam; Dredging sediments; Road technique.

ملخص

يعتبر ترسب السدود ظاهرة طبيعية تؤثر فعليًا على جميع الخزانات في العالم، ولكن بمعدل هطول يختلف من مكان إلى آخر. لسوء الحظ، شمال إفريقيا هي المكان الذي يحتوي فيه ترسب السدود على أعلى القيم على هذا الكوكب. تخسر الجزائر حجمًا سنويًا يبلغ 32 مليون متر مكعب من المياه من إجمالي حجم 5.2 مليار متر مكعب من أصل 114 سدًا قيد التشغيل.

تهدف هذه الرسالة إلى دراسة إمكانية استعادة الرواسب التي جرفت من سد قصب (شمال شرق مدينة المسيلة في الجزائر وأحد السدود التي غمرتها المياه) في مجال الجيوتقنية. الطريق: تمت دراسة طبقات الردم والركيزة.

بعد مراجعة الأدبيات حول السدود وقضايا الترسيب، يتمثل الجزء الثاني من هذا العمل في تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيئية والجيوتقنية للرواسب التي تم تجريفها من سد كسوب. ستوضح النتائج التي تم الحصول عليها جدوى استخدام الرواسب المجروفة من سد قصب في السدود والركائز.

الكلمات المفتاحية:

التوصيف الجيوتقني؛ تقييم؛ سد قصب؛ رواسب؛ التجريف؛ تقنية الطريق.

TABLE DES MATIERES

Remerciement

Table des matières

Listes des Figures

Listes des Tableaux

Résumé

Abstract

Introduction générale 01

Chapitre I : GENERALITES SUR LES BARRAGES

I.1- Introduction 02

I.2- Les élément constitutifs de barrage 02

I.3- Les différents types de barrages 03

I.3.1- Les barrages en remblai 03

I.3.2- Les barrage en béton 06

I.4- Barrages en Algérien 07

I.5- Conclusion 09

Chapitre II : L'ENVASEMENT DES BARRAGES

II.1- Introduction 10

II.2- Définition de la vase 10

II.3- La causes et l'origine de l'envasement 11

II.4- La lutte contre l'envasement 11

II.4.1- La conservation des sols 11

II.4.2- Le reboisement 12

II.3.3- La réalisation des barrages de décantation à l'amont 12

II.4.4- La réalisation des barrages de chasses 13

II.4.5- La surélévation des digues 13

II.4.6- Extraction par siphonnement	13
II.4.7- Le dragage des barrages	14
II.5- L'envasement des barrages en Algérie	17
II.5.1- Le reboisement, la restauration des sols la formation des banquettes, la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds	17
II.5.2- Réalisation de barrage de décantation	17
II.5.3- Surélévation des barrages	18
II.5.4- chasses dites à L'espagnole	18
II.5.5- Soutirage des courants de densité	18
II.5.6- Dragage des barrages	19
II.5.7- Reprise de barrage	20
II.5.8- Valorisation des vases	21
II.6- Conclusion	22

Chapitre III : LA VALORISATION DES SEDIMENTS

III.1- Introduction	23
III.2- Valorisation dans les techniques routières	23
III.3- Valorisation dans les matériaux de constructions	26
III.4- Valorisation dans le domaine agricole	27
III.5- Autres domaines de valorisation	27
III.5.1- amendement du sol	27
III.5.2- Réhabilitation des sites naturels	28
III.6- Conclusion	29

Chapitre IV : LE BARRAGE DE K'SOB

IV.1- Introduction	30
IV.2- Historique	31
IV.3- Bassin versant du K'sob	31

IV.4- Oued K'sob	35
IV.5- Conclusion	37

Chapitre V : VALORISATION EN TRAVEAUX ROUTIERS

V.1- Introduction	38
V.2- Classification des matériaux selon le GTR	38
V.2.1- Classification des matériaux selon leur nature	39
V.2.2- Classification des sols	39
V.2.3- Classification des matériaux rocheux	41
V.2.4- Classification des sols organique et sous-produits industriels	44
V.5- Classification générale des sols organique et sous-produits industriels (classe F).	45
V.3- Conditions d'utilisation des matériaux	45
V.3.1- Remblais	45
V.3.2- Conception de la couche de forme	53
V.3- Conclusion	54

Chapitre VI : CARACTERISATION GEOTECHNIQUE

VI.1- Introduction	55
VI.2- Essais d'identifications	56
VI.2.1- Analyse chimiques	56
V.2.2- Matières organiques (XP P 94-047)	56
VI.2.3- Mesure de la masse volumique (NF P 94-053)	56
VI.2.5- Pycnomètre (NF P 94-054)	58
VI.2.6- Analyse granulométrique	59
VI.2.7- Les limite d'Atterberg (NF P94.051)	62
VI.2.8- La capacité d'absorption de bleu de méthylène (NF p94-068)	67
VI.3- Essais mécaniques	68

VI.3.1- Essais Proctor normal (NF P94.093)	68
VI.3.2- Essais de portance C.B.R (NF P 94-078)	69
VI.3.3- Essai à la boîte de cisaillement directe (NF P 94-071-1)	71
VI.3.4- Mesure la cinétique du gonflement	72
VI.4- Conclusion	74

Chapitre VII : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

VII.1- Introduction	76
VII.2- Essais d'identifications	76
VII.2.1- La masse volumique des grains solides	76
VII.2.2- Pycnomètre	76
VII.2.3- Limites d'Atterberg	77
VII.2.4- La capacité d'absorption de bleu de méthylène VBS	79
VII.3- Les essais mécaniques	80
VII.3.1- Essais Proctor	80
VII.4- Conclusion	82
Conclusion générale	83
Références Bibliographique	84

Chapitre I : Généralité sur les barrages .

Figure I.1 : Barrage K'sob (d'après : www.soudoud-dzair.com).

Figure I.2 : Les éléments constitutifs d'un barrage.

Figure I.3 : Barrage en terre homogène avec tapis drainant.

Figure I.4 : Barrage en terre à noyau étanche.

Figure I.5 : Barrage en terre à masque .

Figure I.6 : Barrage en béton.

Figure I.7 : Barrages à contrefort et à voute multiple.

Figure I.8: Une carte montrant quelques barrages en Algérie .

Chapitre II :L'envasement des barrages.

Figure II.9:Seuil de sédimentation en gabions et en pierres sèches.

Figure II.10 : Schématisation de la disposition de l'hydro-aspirateur.

Figure II.11 : Dagues à pelle ou à cuillère.

Figure II.12 : Dragues rétro caveuses.

Figure II.13:Dragues aspiratrices simple.

Figure II.14 : Méthode de surélévation des barrages.

Figure II.15 : Drague activant dans la retenue du barrage Foum-El-Gherza (Biskra).

Figure II.16 : Briques et récipients à base de la vase du barrage Lakhel (Bouira).

Chapitre III : La valorisation des sédiments

Figure III.17 : Origine des sédiments dans l'environnement aquatique [MAE, 07][Schneider, 2001].

Figure III.18 : Les différentes couches d'une chaussée (Pouteau, 2004).

Figure III.19: Photo d'une coupe-type de chaussée.

Figure III.20 : Approche méthodologique de valorisation des sédiments de dragage en techniques routières.

Figure III.21 : Blocs de bétons réalisés avec des sédiments non-immérgeables traités (droite : Port de Dunkerque , gauche : Rade de Toulon).

Figure III.22 :Briques et tuiles.

Figure III.23 :Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments.

Figure III.24 : Processus de fabrication des briques à base de sédiments [Samara, M., et al, 2009].

Figure III.25 : Brique à base de sédiment de Savannh (Mezencevoca, et al, 2012).

Chapitre IV: Le barrage de K'sob

Figure IV.26 : Carte de situation géographique.

Figure IV.27 : Carte de localisation des grands ensembles du Nord de l'Algérie.

Figure IV.28 : Les 5 bassins hydrographiques.

Figure IV.29 : Situation géographique du bassin versant du K'sob.

Figure IV.30 : Vue sur le barrage K'sob lors de sa construction.

Chapitre V: Valorisation en travaux routiers

Figure V.31 : Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature.

Figure V.32 : Extraction en couche (SETRA).

Figure V.33 : Extraction frontale (source : SETRA).

Figure V.34 : Criblage (source SETRA).

Figure V.35 : Criblage (source SETRA).

Figure V.36 : Aération (source SETRA).

Figure V.37 : Traitement à la chaux (source CETE).

Figure V.38 : Traitement à la chaux (source CETE).

Figure V.39 : Traitement réactifs (source SETRA).

Figure V.40 : Compactage (source : SETRA).

Figure V.41 : Hauteur du remblai (source SETRA).

Chapitre VI Caractérisation géotechnique

Figure VI42 : Appareillage la masse volumique.

Figure VI43 : Les éprouvettes de la masse volumique.

Figure VI44 : Appareillage d'analyse granulométrique (tamisage).

Figure VI45 : Essai Analyse granulométrique (par sédimentation).

Figure VI46 : Appareillage de limites d'Atterberg.

Figure VI47 : Etaler la pâte dans la coupelle.

Figure VI48 : Pratique la rainure dans la pâte.

Figure VI49 : Prélèvement d'un échantillon.

Figure VI50 : Formation des rouleaux.

Figure VI51 : Obtention de la limite de plasticité.

Figure VI52 : L'appareille de pénétration Cône.

Figure VI53 : Enfoncement du cône.

Figure VI54 : Prélèvement d'un échantillon.

Figure VI55 : Essai au bleu de méthylène.

Figure VI56 : Test positif.

Figure VI57 : Moule Proctor.

Figure VI58 : Appareil de poinçonnement.

Figure VI.59 : Imbibition des essais de C.B.R.

Figure VI60 : Appareille de cisaillement direct.

Figure VI61 : L'appareil œdométrique.

Figure VI62: Préparation de l'échantillon.

Figure VI63:L'échantillon à la fin de l'essai.

Chapitre VII: Résultats et interprétations

Figure VII.59. La courbe de la limite de liquidité.

Figure VII.60. Détermination de la limite de liquidité.

Figure VII.61.La courbe d'analyse chimique de l'argile étudiée.

Figure VII.62. La courbe de matière organique.

Figure VII.63. La courbe de essais analyse granulométrique.

Figure VII.64. La courbe de l'essai Proctor normale.

Chapitre II :L’envasement des barrage.

Tableau II.1 : Vase évacuée par le dragage 1992.

Chapitre IV: Le barrage de K’sob.

Tableau IV.2 : Quelques caractéristiques morphométriques du B.V du K’sob.

Chapitre V: Valorisation en travaux routiers .

Tableau V.3 : Classe A-sols fins.

Tableau V.4 : Classe C-Matériaux rocheux (évolutifs et non évolutifs).

Tableau V.4 : Classe R - Matériaux rocheux (évolutifs et non évolutifs).(suite)

Tableau V.5 : Classification générale des sols organiques et sous-produits industriels (classe F).

Tableau V.6 : Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai.

Chapitre VII: Résultats et interprétations .

Tableau VII.7. Détermination de la masse volumique des particules solide.

Tableau VII.8. Les résultats de l’essai de pycnomètre.

Tableau VII.9. Détermination de la limite de liquidité.

Tableau VII.10. Détermination de la limite de plasticité.

Tableau VII.11. Les résultats des essais d’Atterberg.

Tableau VII.12. Détermination de la limite de plasticité par pénétration à cône.

Tableau VII.13. Les résultats de l’essai de bleu de méthylène.

Tableau VII.14. Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.

Tableau VII.15.Résultats d'analyse chimique de l’argile étudiée.

Tableau VII.16.Teneur en matière organique.

Tableau VII.17. Résultats des essais analyse granulométrique.

Tableau VII.18. Les résultats de l’essai Proctor normale.

Résumé

Le dépôt des barrages est un phénomène naturel qui affecte pratiquement tous les réservoirs dans le monde, mais à un taux de précipitation qui varie d'un endroit à l'autre. Malheureusement, l'Afrique du Nord est le lieu où l'envasement des barrages a les valeurs les plus élevées de la planète. L'Algérie perd un volume annuel de 32 millions de mètres cubes d'eau sur un volume total de 5,2 milliards de mètres cubes sur 114 barrages en fonctionnement.

Ce mémoire vise à étudier la possibilité de récupérer les sédiments qui ont été dragués du barrage de K'sob (au nord-est de la ville de M'sila en Algérie et l'un des nombreux barrages inondés) dans le domaine de la géotechnique routière : les couches du remblai et les couches de formes ont été étudiées.

Après avoir passé en revue de la littérature sur les barrages et les problèmes de sédimentation, la deuxième partie de ce travail consiste à déterminer les propriétés physiques, chimiques, environnementales et géotechniques des sédiments qui ont été dragués du barrage de K'sob. Les résultats obtenus permettront de démontrer la faisabilité de l'utilisation des sédiments dragués du barrage de K'sob dans les remblais et les couches de formes.

Mots clés :

Caractérisation géotechnique ; Valorisation ; Barrage K'sob ; Sédiments de dragage ;
Technique routière

ABSTRACT :

The dams deposit is a natural phenomenon that affects particularly the tanks in the world but at a precipitation rate that varies from place to another. Unfortunately, north of Africa is where dams' siltation has the highest value in the planet. Algeria loses an annual volume of 32 million cubic meters of water out of a total volume of 5.2 billion cubic meters of 114 dams in operation.

This memoir aims to study the possibility of recovering the sediments which have been dredged from K'sob dams (northeast of M'sila city in Algeria and one of the many flooded dams) in roads geotechnical domains. The backfill and the substrate layers were studied on. After reviewing the literature on dams and sedimentation issues, the second part of this work is to determine the physical, chemical, and environmental and geotechnical properties of the sediments that have been dredged from K'sob dams.

The obtained results make it possible to demonstrate the feasibility of using the sediments dredged from the K'sob dams in the backfill and the substrate.

Keywords:

Geotechnical characterization; Valuation; K'sob Dam; Dredging sediments; Road technique.

ملخص

يُعبر ترسب السدود ظاهرة طبيعية تتشرف عليها على جميع الخزانات في العالم لوكن بعمق عدل طولها يصل من 10 إلى 20 كم، شامالينفوريها هي الخزان الذي يصل طوله من 32 متر إلى 114 متر من السدود على العالم فيم على هذا الكوكب خسرت جزائر حجم سنوي يبلغ 32 مليون متر مكعب من المياه من إجمالي حجم 5.2 مليار متر مكعب من أصل 114 مليار المتر المكعب في السنة.

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة إمكانية إعادة الترسيب التي يتم بجهود من سد كسوب شامال شرق بلدة لامسويل في الجزائر واحد السدود الجديدة التي غمدها التي هدف من مجال المحفوظية : لطريق تمت دراسة بطقات الردم والريزة .

يتشمل الجزء الثاني من هذا العمل في تحديد الخسائر في طبيعة والكمية التي تبقى في الوادي والحقائق التي تتسبب في حدوثها من سد كسوب ستوضح النتائج التي يتم حصولها جدياً استخدام الترسيب المجرى من سد كسوب في السدود والريزة .

الكلمات المفتاحية:
التوصيف الجيوتقني، تقييم، سد قصب، رواسب التجريف، تقنيات الطريق.

*Introduction
générale*

Introduction générale

Ces dernières années, l'inondation des barrages en Algérie est devenue de plus en plus inquiétante et fréquente. Chaque année, plus de 32 106 mètres cubes de limon sont déposés au fond des bassins. Le barrage de K'sob à M'sila n'a pas échappé à ce problème, car il est actuellement inondé de limon plus que sa capacité initiale. C'est pourquoi il est absolument indispensable de procéder à des travaux de dragage afin de sauver cette structure. L'étagère elle-même pose deux problèmes : économique et son coût est très élevé. Un autre problème est l'effet des sédiments évacués par la falaise sur la flore et la faune d'un côté et sur la géométrie de la vallée vers le cours d'eau de l'autre côté. Cependant, comme une grande quantité de limon était rejetée en aval de la vallée, de graves problèmes environnementaux se sont posés. Il serait donc judicieux de conduire à une réflexion sur l'utilisation rationnelle de l'argile qui pourrait être évaluée dans de nombreux domaines. Dans cette étude, nous avons effectué une série d'analyses physiques et chimiques sur un échantillon de limon prélevé dans le réservoir du barrage de K'sob.

Ces travaux permettent d'étudier le comportement mécanique des sédiments dragués du barrage de K'sob situé à Wadi al K'sob, au nord-est de la commune de M'sila, à une quinzaine de kilomètres au nord de la ville de M'sila. Le dragage du barrage de K'sob devient un processus prioritaire pour récupérer le volume perdu. Cependant, face à la grande quantité de limon rejetée en aval des barrages dragués, de graves problèmes environnementaux sont apparus. L'étude des sédiments récupérés contribue à résoudre ces problèmes, d'une part, à réduire le coût élevé du processus de dragage et d'autre part, à résoudre les problèmes liés à l'environnement. Le but de cette étude est de traiter les sédiments dragués pour une utilisation pour la caractérisation géotechnique et l'évaluation dans les travaux routiers.

Cemémoire est divisé en deux parties précédées par une introduction générale. La première partie fournit un contexte général et bibliographique sur la situation géographique et les caractéristiques générales des dépôts de barrage en général, divisée en trois chapitres différents. Il décrit la deuxième partie, qui est la partie expérimentale et statistique, consacrée à la présentation des essais de caractérisation des barrages et des sédiments étudiés, et est également divisée en trois chapitres.

Enfin, après le septième chapitre, nos travaux se terminent par une conclusion générale qui contient l'essentiel des résultats trouvés, une section de références bibliographiques.

Chapitre I :
***GENERALITES SUR
LES BARRAGES***

I.1-Introduction :

Les barrages sont les plus grandes installations d'eau exécutées sur des rivières à courant permanent ou des vallées saisonnières afin de stocker leur eau, de réguler son débit, de prévenir les dangers d'inondations et de sécheresses, d'utiliser l'eau pour produire de l'énergie électrique propre, de compenser la pénurie d'eau potable et les usages domestiques, l'industrie, le tourisme, l'agriculture irriguée et d'organiser la navigation fluviale et gouverner l'environnement.

Il y a des barrages qui sont installés à une hauteur relativement petite sur les plages afin de prévenir les risques de marée comme c'est le cas aux Pays-Bas, car ils sont installés sur les grandes rivières afin de parer aux risques d'inondations et de protéger les basses terres habitées environnantes. On les appelle : les barrages de protection.



Figure I.1 : Barrage K'sob (d'après : www.soudoud-dzair.com).

I.2- Les éléments constitutifs de barrage :

Le barrage pourra comprendre plusieurs éléments constitutifs parmi les suivants : Tranchée parafouille ; marnes inférieures ; molasses ; marnes intercalaires ; étanchéité ; paroi moulée ; tapis étanche ; alluvions du Michelbach ; tour de prise ; matériaux de transition ; alluvions propres ; enrochement ; noyau ; alluvions sales ; alluvions propres ; tapis drainant ; puits de décompression.

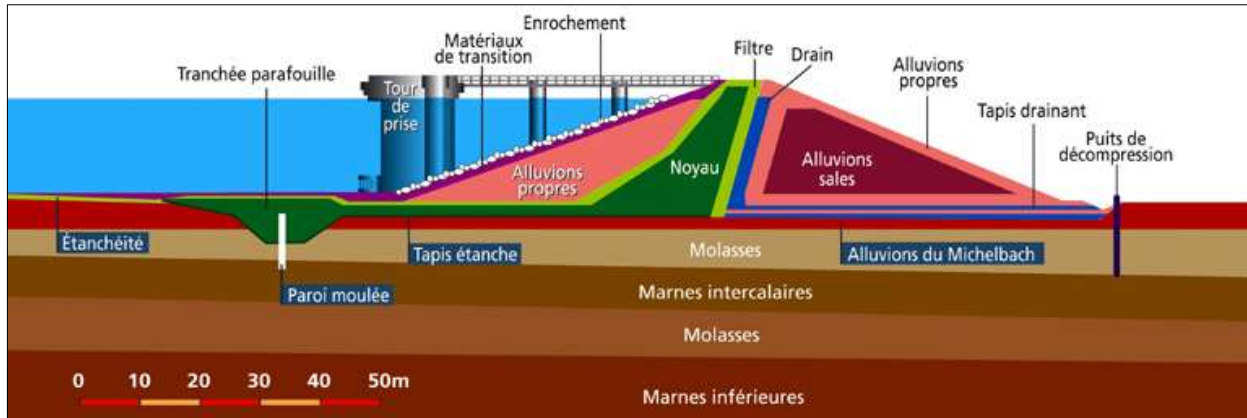


Figure I.2 : Les éléments constitutifs d'un barrage.

I.3- Les différents types de barrages :

I.3.1- Les barrages en remblai :

Les barrages en terre compactés peuvent être divisés en trois principaux types :

- les barrages homogènes ;
- les barrages à noyau étanche ;
- et les barrages à masque amont.

A. Barrage en terre homogène :

Un barrage en terre homogène est le type de barrage le plus simple et, sans aucun doute, le plus ancien (Figure I.3). Il consiste à construire en travers du lit de la rivière un massif en terre dont les pentes sont assez douces pour assurer la stabilité et la terre assez imperméable (typiquement de l'argile) pour éviter ne passe au travers du barrage.

Les parements peuvent comprendre des banquettes intermédiaires appelées risbermes, ce qui améliore encore la stabilité et facilite la surveillance et l'entretien.

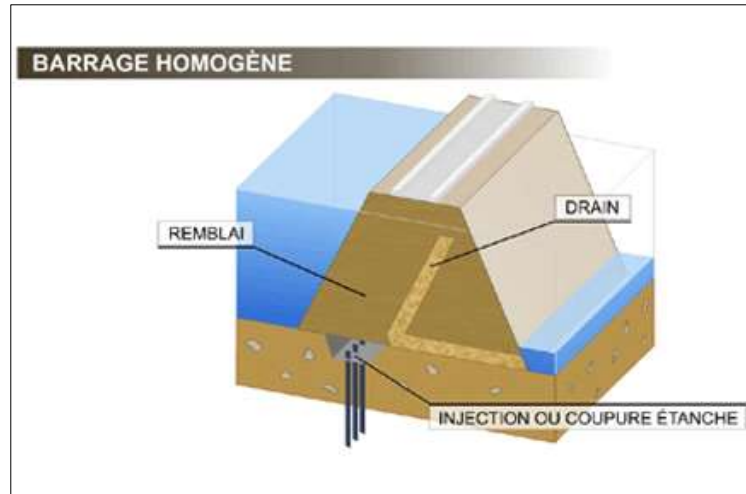


Figure I.3 : Barrage en terre homogène avec tapis drainant.

Les concepteurs doivent se prémunir contre deux dangers potentiels :

- Ces ouvrages résistent mal à une submersion prolongée importante et par conséquent on doit prévoir une revanche suffisante (notamment pour éviter la submersion par les vagues) et prendre des marges supplémentaires pour l'évacuation des crues.
- La circulation inévitable de l'eau au travers du barrage fait courir des risques d'érosion interne (entraînement des particules du matériau par l'écoulement) et il convient de s'y prémunir par un choix judicieux des matériaux et une mise en soignée [1].

B. Les barrages en terre à noyau :

Si la quantité des matériaux imperméables disponibles sur site est insuffisante pour réaliser tout le corps du barrage, on opte pour un ouvrage à zones avec un noyau en argile assurant l'étanchéité. (Figure I.4) La stabilité du massif sera assurée par des zones perméables appelées recharges.

L'inconvénient, est la nécessité de séparer par des filtres de transition les différentes zones. Pour les ouvrages importants, les matériaux grossiers de recharges sont plus résistants que les matériaux argileux, ce qui permet de construire des talus plus raides et de contrôler mieux les écoulements dans le corps du barrage.

Notons que le noyau étanche peut être vertical ou incliné et parfois remplacé par un diaphragme en béton au ciment ou bitumineux [1].

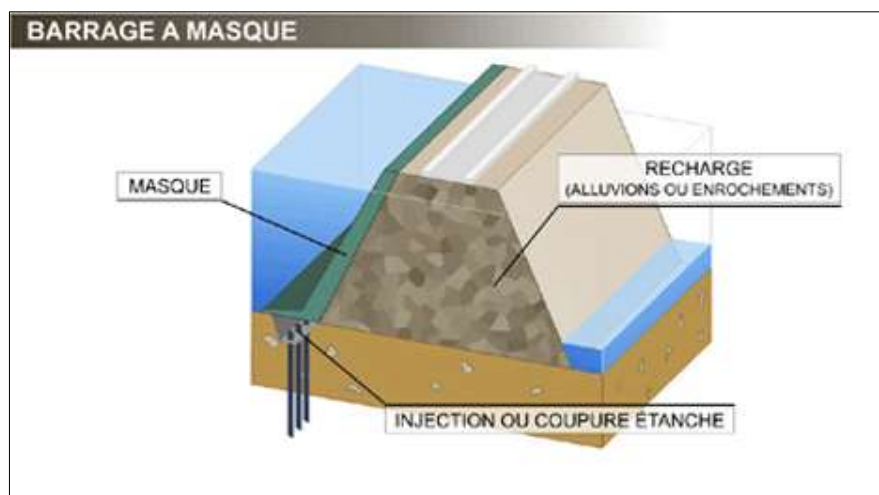


Figure I.4 : Barrage en terre à noyau étanche.

C. Les barrages en terre à masque :

Les barrages en terre à masque sont des remblais perméables avec un écran imperméable appelé masque placé sur le parement amont. (Figure 1.5)

Le corps du barrage est construit avec un matériau qui assure l'étanchéité (béton, produits bitumineux ou géomembrane) doit être peu déformable et pouvant assurer la stabilité au glissement de l'ensemble de l'ouvrage.

La présence de ce masque sur le parement amont présente un double avantage de pouvoir faire des réparations en cas de dégradation du masque et de permettre de faire des vidanges rapides sans risque de glissements[1].

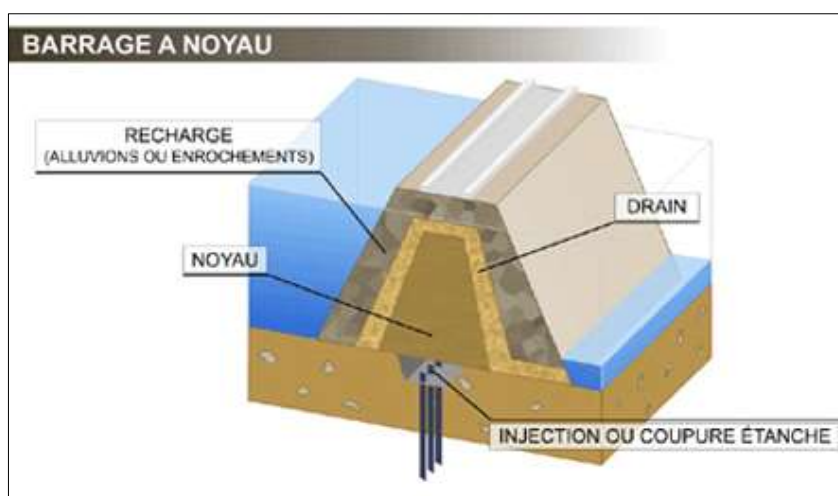


Figure I.5 : Barrage en terre à masque.

I.3.2- Les barrage en béton :

L'avantage du béton est notamment d'autoriser l'édification d'ouvrages plus résistants. Il en existe deux principaux types :

- les barrages-poids ;
- et les barrages-voûtes.

S'y ajoutent les barrages à contrefort et à voûtes multiples, variantes des deux premiers.

A. Barrage-poids :

Comme son nom l'indique, ce type de barrage oppose son poids à l'eau pour la retenir. En fonction des propriétés de résistance du matériau, la forme triangulaire à l'aval de l'ouvrage s'est peu à peu imposée[2].

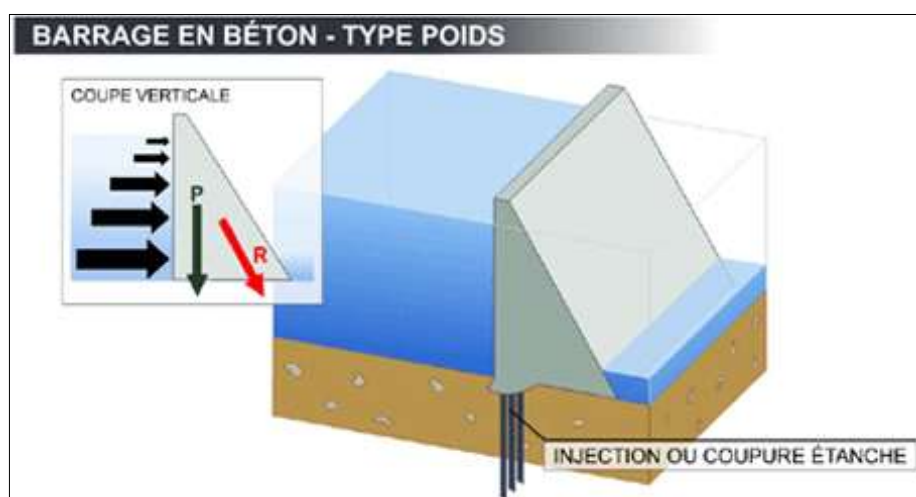


Figure I.6 : Barrage en béton.

B. Barrage-voûte :

Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids.

On pourrait comparer sa forme à celle d'un pont couché sur l'un de ses côtés, et qui chargerait de l'eau au lieu de véhicules. L'effort de résistance est ainsi en partie reporté par l'arc

central sur les rives, permettant de construire des ouvrages moins volumineux, à performance égale.

En revanche, les fondations, sur lesquelles se reporte une grande partie de l'effort, doivent posséder des caractéristiques mécaniques élevées afin de supporter celui-ci[2].

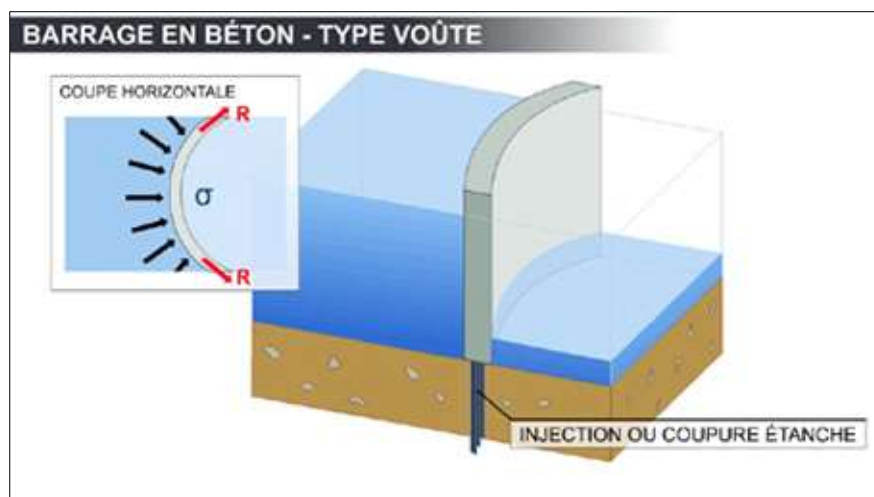


Figure I.7 : Barrages à contrefort et à voûte multiple.

Les autres formes de barrages voûtes sont des variantes des deux premiers types. Le barrage à contrefort est ainsi un barrage poids allégé de l'intérieur. Le barrage à voûtes multiples, quant à lui, repose sur des appuis intermédiaires, lorsqu'une trop grande portée sépare les deux d'un cours d'eau.

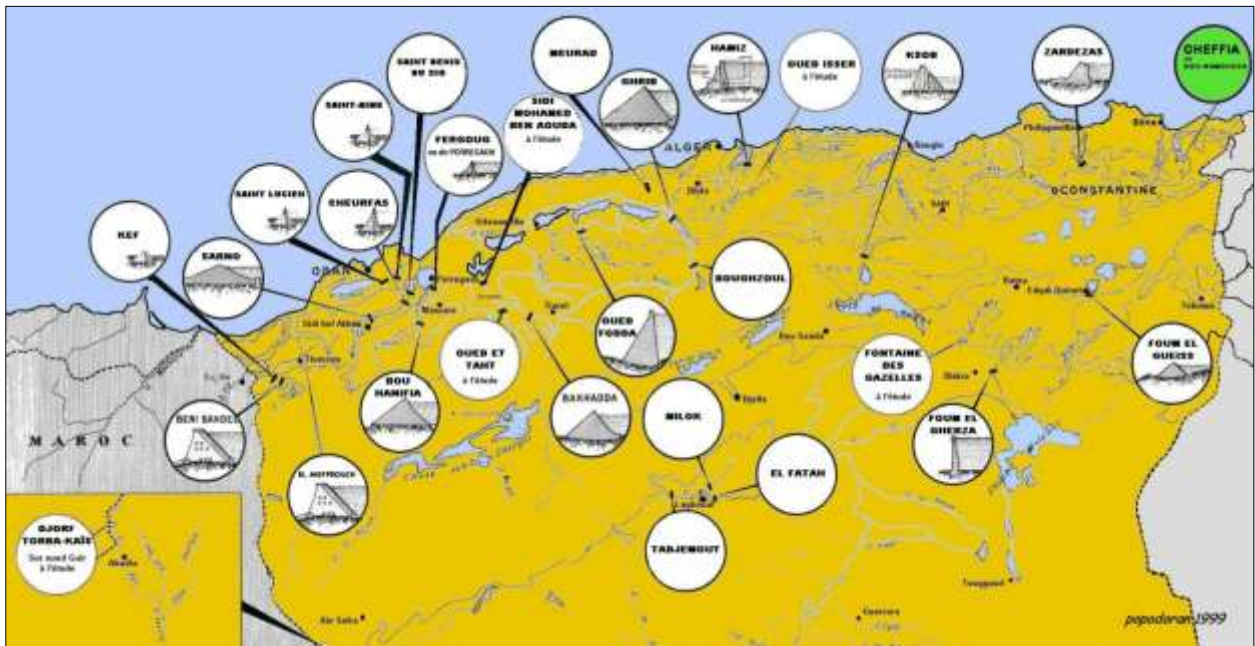
I.4- Barrages en Algérien :

Malgré la sensibilité du problème de l'eau en Algérie, les gouvernements successifs ont depuis l'indépendance, malgré l'importance nécessaire de ce secteur vital, n'était pas attachée aux programmes nationaux de développement ; car il négligeait la construction de barrages, la principale installation de stockage d'eau, ce qui augmentait l'accumulation de problèmes et entraînait des retards préjudiciables à l'économie nationale et à la création de nombreux harcèlements de population. La peine est estimée à 250 sites adaptés à la construction de barrages en Algérie en théorie.

Le nombre de barrages achevés jusqu'en 2000 s'élevait à seulement 110 barrages, dont 15 ont été achevés avant l'indépendance et sont pour la plupart de petits et moyens barrages, dont 50 grands barrages d'une capacité supérieure à 10 millions de m³, le volume total de stockage est de

4,908 milliards m³, mais la taille moyenne du stock disponible au cours des dix années Dernière estimé à 1,75 milliard m³, seulement l'équivalent de 40% de la capacité totale théorique d'emballage en raison des conditions climatiques (sécheresse) et du problème des barrages boueux.

Des travaux sont également en cours sur un programme de création de 22 nouveaux barrages d'une capacité totale théorique de 7 milliards de m³. Tandis que des études sont en cours pour préparer un projet pour 52 autres barrages à l'avenir.



.Figure I.8: Une carte montrant quelques barrages en Algérie.

I.5- Conclusion :

Les barrages sont des ouvrages destinés à retenir l'eau. L'eau retenue forme un lac. Elle permet de produire de l'électricité. En effet, cette eau est libérée dans une conduite forcée. Grâce à la pression et à la vitesse qu'elle acquiert, qui est d'autant plus importante qu'elle doit franchir une grande différence d'altitude, l'eau permet de faire tourner des turbines, qui actionnent des alternateurs. Ces derniers transforment l'énergie mécanique en électricité[3].

Chapitre II :
L'ENVASEMENT
DES BARRAGES

II.1- Introduction :

Depuis plusieurs décennies, la demande en eau dans le bassin méditerranéen est en forte augmentation, en 1995 la demande en eau représentait déjà 54 % des ressources en eau exploitables [4]. Pour faire face à une demande toujours croissante, l'homme a comme principale choix le recours à l'eau stockée soit naturellement dans les aquifères, soit artificiellement dans les barrages. Pour de multiples raisons, la priorité a souvent été donnée aux barrages. Cela peut s'expliquer par des conditions hydrogéologiques trop mal connues ou peu favorables, mais aussi par la réalisation conjointe d'un autre objectif comme la protection contre les inondations ou la production d'électricité[5].

Les bassins-versants du Maghreb sont très nombreux et leurs conditions environnementales (topographie, géologie, végétation) changent rapidement sur de faibles distances. Avec un climat qui va de semi-aride à aride, l'Afrique du Nord a peu de grands fleuves et une part importante de l'écoulement transite par des rivières non permanentes. L'implantation des barrages dans des contextes très variés explique que leur durabilité doit d'abord être analysée au cas par cas, tout comme les mesures prolongeant leur vie.

Le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être coûteuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en danger de l'économie du projet[6].

II.2 -Définition de la vase :

Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant

alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries, ...etc.) [7].

II.3- La causes et l'origine de l'envasement :

Il ressort dans les processus de l'érosion que l'eau en est le principal agent moteur. Elle est la cause première de l'altération des roches qui donnent des particules, du détachement et de l'arrachement des agrégats. L'énergie cinétique développée par le ruissellement permet l'enlèvement des agrégats détachés, le creusement du sol et le transport des matériaux qui sont déposés ou accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie[7].

II.4- La lutte contre l'envasement :

Les barrages servant à l'adduction en eau potable ou à l'irrigation des cultures, il était donc vital de prendre des dispositions pour les sauvegarder et allonger leur durée de vie au maximum.

Parmi les mesures prises on peut citer : Le reboisement, la restauration des sols, la formation de banquettes, la plantation de végétation à longues tiges. En Algérie, à l'amont du barrage de Bouhanifia (Wilaya de Mascara), ont poussé des tamaris devenus avec le temps de véritables pièges à sédiments. Les services des forêts ont initié des programmes coûteux pour protéger les bassins versants. Des barrages de décantation ont été réalisés en amont des barrages importants visant à retenir une partie de la vase[8].

II.4.1- La conservation des sols :

Comme moyen de minimiser la pénétration de matériaux solides dans une retenue, deux méthodes de conservation des sols sont utilisées pour freiner l'érosion :

- l'implantation de structures anti-érosion ;
- l'aménagement des bassins versants et des cours d'eau.

Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle, et l'aménagement de cours d'eau : En créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent. Ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source.

La figure 9 fournit un exemple de seuil de sédimentation en gabions et en pierres sèches en vue de réduire la torrentialité du réseau hydrographique par la réalisation d'un nombre déterminé de ces ouvrages sur le même affluent[7].



Figure II.9:Seuil de sédimentation en gabions et en pierres sèches.

Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares dans le territoire national. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

II.4.2- Le reboisement :

La plantation des cultures suivant les courbes de niveau et fixation des berges des oueds est une action préventive. En Algérie, vingt-sept bassins versants sont concernés par les opérations de reboisement pour protéger les barrages face à l'érosion, comme le bassin versant des Issers (barrage de Beni Amrane) qui fait 3700 km² ou celui de Béni Haroun, 7200 km². Il y a également, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations [7].

II.3.3- La réalisation des barrages de décantation à l'amont:

On peut construire plusieurs types de structures dans le bassin, par exemple, des bassins de rétention ; conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement créé par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques. L'exemple en Algérie, est le cas du barrage de Boughezoul situé à la ville de Médéa qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib, Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24% [7].

II.4.4- La réalisation des barrages de chasses :

En Algérie, La technique du soutirage peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des retenues de barrages en Algérie compte tenu de son faible coût et surtout de la présence des courants dans l'ensemble des retenues. Son rendement peut atteindre 70 % des apports solides totaux entrants dans la retenue, c'est à dire que la durée de vie de l'ouvrage sera augmentée d'un tiers. Le barrage d'IghilEmda est parmi les premiers au monde à avoir été équipé d'un dispositif installé spécialement pour le soutirage des sédiments. La durée de vie de ce barrage est ainsi multipliée par trois [7].

II.4.5- La surélévation des digues :

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage. L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très encourageante.

En Algérie, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de surélévation en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions de m³. Cette technique a été réalisée sur le barrage K'sob. Certainement, cette réserve supplémentaire créée par la surélévation a augmenté la durée de vie de ces ouvrages, mais l'évolution de l'envasement dans le temps croit beaucoup plus rapidement qu'à l'état initial (sans surélévation)[7].

II.4.6- Extraction par siphonnement :

L'ingénieur Jandin a développé et utilisé cette méthode entre 1892 et 1894, pour évacuer des sédiments avec un siphon à travers le barrage de Djidiouiaen Algérie, ainsi 1,4×10⁶ m³ de limons et d'argile ont été évacués en trois ans.

L'appareil de Jandin se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61 cm, avec une capacité d'évacuation de 1,53 m³/s dans des conditions normales d'opération. A partir d'une ouverture dans le bas du barrage, il était relié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1,6 km.

Hannoyer a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro-aspirateur" proposé par Jandin 80 ans auparavant (Figure 10). Un tuyau flexible est relié à la vidange de fond. Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. Il n'y a pas

besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2 km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase[7].

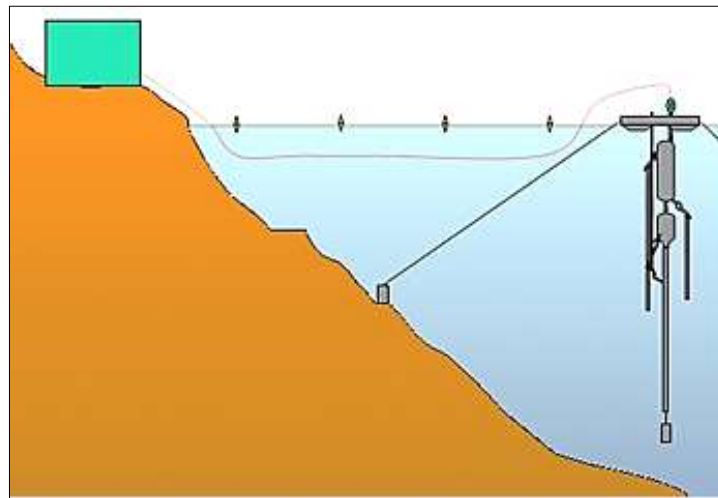


Figure II.10 : Schématisation la disposition de l'hydro-aspirateur.

II.4.7- Le dragage des barrages :

Le dragage est une opération de prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sable, et graviers, au fond d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau à l'aide de moyens mécanique, hydraulique ou pneumatique dans un but d'aménagement ou d'entretien, c'est-à-dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle. Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit.

Le dragage peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau par un déversement de ces produits dans la veine de l'eau, coté aval de la retenue ou sur le rivage.

L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes : Etudes préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage, et traitement, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues.

La première drague utilisée en Algérie en 1957 est la drague réfouleuse « Lucien Dumay ». Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages[7].

A. Les types de dragages :

On distingue trois types de dragages qui diffèrent selon la nature des sédiments à draguer et le type de travail à réaliser :

- *L'entretien* : sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation.
- *L'aménagements* : sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigation.
- *L'approfondissement* : elle nécessite de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragages importants[7].

B. Les techniques de dragage disponibles :

Différentes techniques de dragage ont été développées. Il est courant de classer les équipements de dragage selon leur principe général de fonctionnement. Trois catégories peuvent être recensées :

- **Les dragages mécaniques :**

Ils s'effectuent grâce à des engins à godet qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godets...etc.). L'extraction de sédiments pollués se fait actuellement majoritairement par cette méthode [7]



Figure II.11 : dragues à pelle ou à cuillère.



Figure II.12 : dragues rétro caveuses.

▪ **Les dragages hydrauliques :**

Les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage. Par exemple la technique aspiratrice utilise des pompes centrifuges, aspirant à travers un tube d'élinde, muni d'un embout, appelé bec d'élinde, un mélange eau sédiments. Elles aspirent et refoulent donc les sédiments sous forme de boues liquides dont la teneur en eau varie autour de 85 % (Figure 13).



Figure II.13: Dragues aspiratrices simpl.

▪ **Les dragages à l'américaine :**

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant. Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs kilomètres du lieu de dragage.

Le dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit[7].

II.5- L'envasement des barrages en Algérie :

La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année. Il est rare cependant, que l'on puisse admettre à l'issue d'une période aussi courte, l'abondance d'un aménagement hydraulique particulièrement lorsqu'il s'agit de réservoirs destinés à l'adduction en eau potable ou l'irrigation dont les intérêts socio-économiques justifient une garantie de service illimitée. Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible, de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent, mais aussi et surtout de sauvegarder au maximum l'existence de la retenue en luttant contre ce phénomène, utilisés en Algérie. Nous pouvons citer:

II.5.1- Le reboisement, la restauration des sols la formation des banquettes, la plantation de végétation à longues tiges dans les oueds :

Il est à noter que les tamaris qui ont poussé à l'amont des barrages de Bouhanifia, du Fergoug, de Cheurfas constituent de véritables pièges à sédiments. Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares d'ici l'an 2010. Soit un rythme de réalisation de 67.000 ha/an. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

II.5.2- Réalisation de barrage de décantation :

Il existe un cas en Algérie, c'est le cas du barrage de Boughezoul qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib. Ce barrage a permis de retenir depuis sa création environ 35×10^6 m³ de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 % [9].

II.5.3- Surélévation des barrages :

Cette technique a été réalisée sur cinq barrages : Fergoug, Mefiouch, Bakhada, K'sob, Zardézas. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée[10].



Figure II.14 : Méthode de surélévation des barrages.

- **Barrage de K'sob :**

Barrage de capacité de $11,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pour une hauteur de 32 m construit en 1939 pour l'irrigation du périmètre de K'sob. Du fait de la progression de l'envasement de la retenue, la capacité a été réduite à moins de $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43 m (15 m de plus) pour porter sa capacité à $31 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

II.5.4- Chasses dites à l'Espagnole :

Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que barrage du barrage Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...).

Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées[9].

II.5.5- Soutirage des courants de densité :

Le soutirage des courants de densité a donné des résultats spectaculaires en Algérie. Cette méthode est utilisée aux barrages d'IghilEmda et Oued El Fodda[9].

II.5.6- Dragage des barrages :

A travers l'expérience algérienne, le dragage s'est avéré une solution sûre mise à part les difficultés de mise en dépôt et le coût. Jusqu'à maintenant, l'Algérie a procédé un dragage sur quatre barrages: Cheurfas, Fergoug, Hamiz et Foug-El-Gherza (voir figure II.15). La première opération de dévasement en Algérie, a commencé en 1957 et a concerné le barrage de Cheurfas (Wilaya de Mascara) avec un volume à extraire de 10 hm³. A ce jour 10 barrages ont été concerné par le dévasement.

Avec le programme en cours et celui lancé en 2010, le dévasement aura permis un gain de capacité de 108 hm³. [10].



Figure II.15 : Dragage activant dans la retenue du barrage Foug-El-Gherza (Biskra).

L'Algérie a acquit en 1989 un matériel complexe de dragage à savoir une drague suceuse refouleuse baptisée ((Rezoug Youcef)).

Cette drague, d'un poids total de 300 t est conçue pour refouler à une hauteur de 28 m dans une conduite de 700 mm avec un débit maximum de mixture (vase + eau) de 1600 l/s et pour draguer à une profondeur de 3 à 16 m.

Le tableau (II.1) résume le volume total de vase extrait du barrage de Fergoug jusqu'à 1992.

Tableau II.1 : Vase évacuée par le dragage 1992.

Barrage	Fergoug
Capacité théorique du barrage	18 M de m ³
Capacité avant dévasement	3,9 M de m ³
Volume de vase	14,1 M de m ³
Volume dévasé (d=1,6)	6,5 M de m ³
Profondeur maximale de dévasement	16 m
Quantité d'eau utilisée	7 M de m ³

II.5.7- Reprise de barrage :

La reprise de barrages déclassés n'est pas considérée comme une lutte contre l'envasement mais nous citerons quand même deux cas en Algérie ayant permis un important gain de capacité de stockage[10].



II.5.8- Valorisation des vases :

En Algérie, l'exploitation de la vase pour la fabrication des matériaux de construction peut s'avérer utile vu le déficit en matériaux de construction que connaît le pays.

Une étude (B.Remini 2006) orientée vers l'utilisation de la vase pour la fabrication de la brique a été réalisée sur la vase de onze barrages algériens les plus envasés exemple : barrage Lakhel(Wilaya de Bouira) (figure II.16), et a donné des résultats satisfaisants.

La vase doit être considérée comme un produit bénéfique et non un simple rejet dont les difficultés de stockage posent un problème d'environnement. Valorisée, elle peut être une alternative aux coûts des opérations de dragage[10].

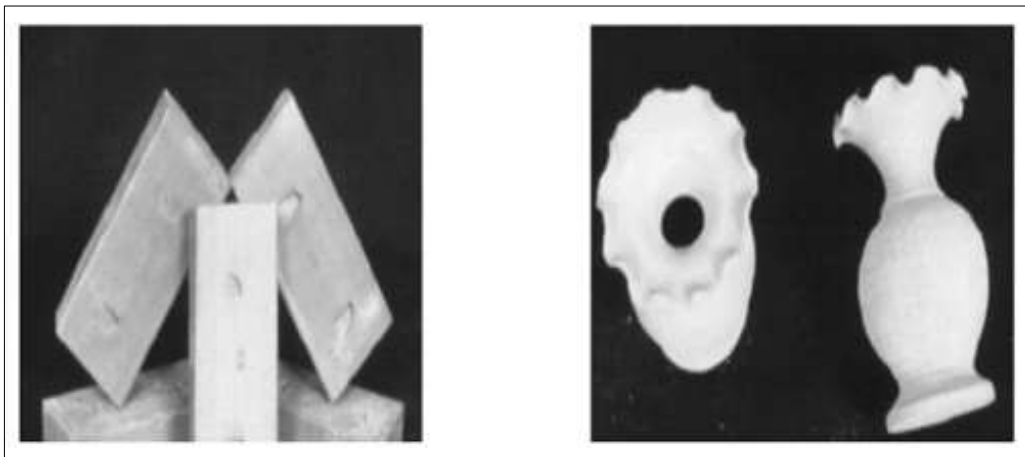


Figure II.16 : Briques et récipients à base de la vase du barrage Lakhel (Bouira).

II.6- Conclusion :

L'importance du transport solide en Algérie se traduit par un comblement rapide des retenues diminuant considérablement leur durée de vie.

Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible de manière à prendre les dispositions économiques et sociales qui s'imposent mais aussi et surtout de développer certaines techniques d'études pour améliorer les méthodes de lutte contre l'alluvionnement.

Notre intention était, dans cette présentation rapide de donner une idée sur l'ampleur de ce phénomène particulièrement spectaculaire en Afrique du Nord. Il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydrotechnique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. Ce phénomène doit être une partie prenante dans la préparation d'un projet de faisabilité d'un barrage en Algérie.

Chapitre III :
**LA VALORISATION
DES SEDIMENTS**

III1- Introduction :

La récupération géotechnique environnementale des déblais de dragage et leur utilisation dans la réalisation de certains travaux d'ingénierie est une voie de plus en plus explorée par les dernières années et constitue donc un domaine de recherche en harmonie avec le concept de développement.

En Algérie, le phénomène d'envasement touche tous les barrages où plus de 32106m³, des sédiments sont déposés chaque année. Il était alors plus approprié de réfléchir à une utilisation de sédiments dragués[11].

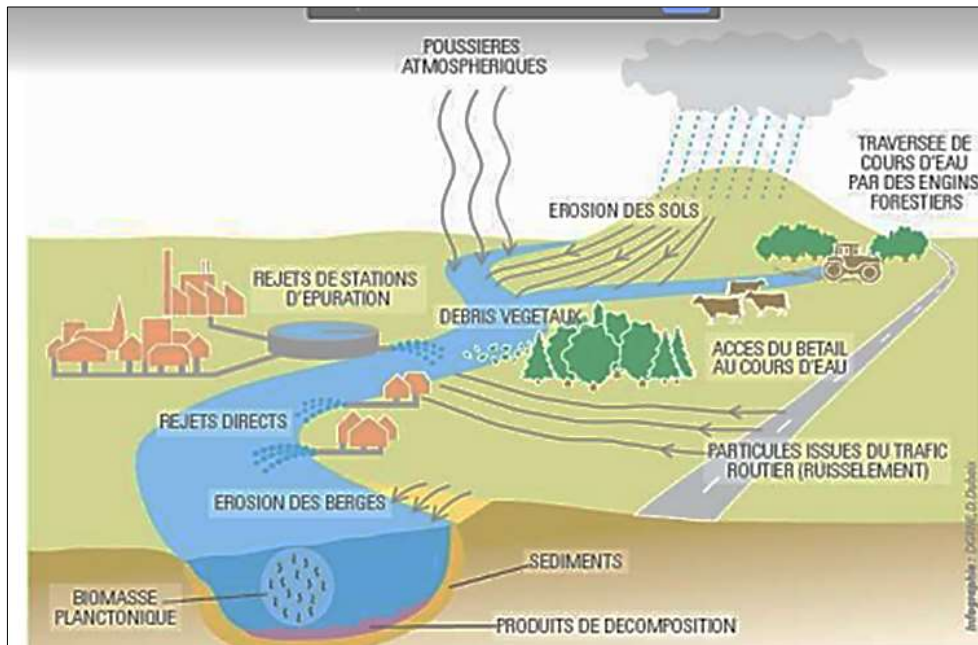


Figure III17 : Origine des sédiments dans l'environnement aquatique [MAE, 07]

III2- Valorisation dans les techniques routières :

Les projets d'infrastructures dans le domaine des travaux publics exigent d'importantes quantités de matériaux. Les matériaux naturels se font rares et coûteux. Confrontées à la nécessité de trouver des granulats en grande quantité et à faible coût, les entreprises routières se sont rapidement mobilisées aux matériaux de recyclage. Ce sujet a été étudié par plusieurs chercheurs. Tous les résultats ont donné des avis favorables sur l'utilisation des sédiments dans la construction des routes. Avant qu'ils soient utilisables, les sédiments doivent être traités pour

que leurs caractéristiques physico-mécaniques soient satisfaisantes vis-à-vis des critères géotechniques de la construction routière. Les sédiments se caractérisent par une importante teneur en eau (jusqu'à 200%), en sels (pour les sédiments marins), en argile, en matière organique et parfois en métaux lourds. Ce sont les principaux facteurs qui empêchent l'utilisation des sédiments sans traitement. Après une identification des caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et environnementales, le potentiel d'utilisation des sédiments bruts en techniques routières est évalué. Pour améliorer les propriétés mécaniques des sédiments[12].

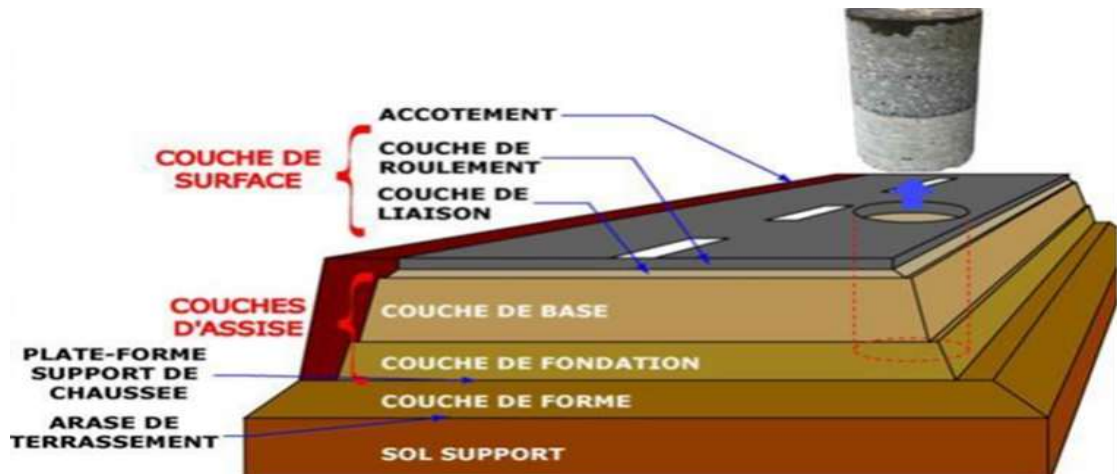


Figure III18 : Les différentes couches d'une chaussée (Pouteau, 2004).



Figure III19: Photo d'une coupe-type de chaussée.

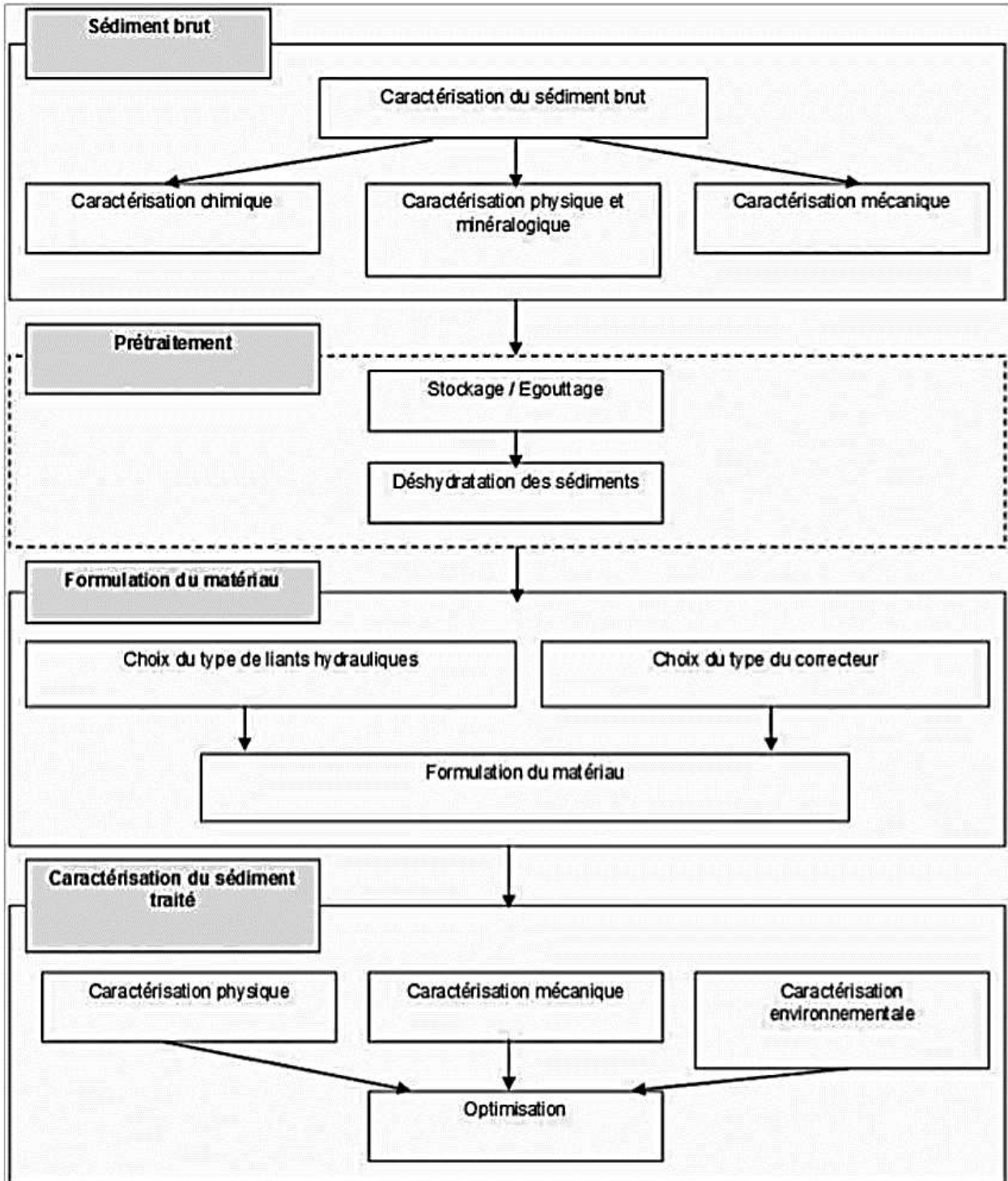


Figure III20 : Approche méthodologique de valorisation des sédiments de dragage en techniques routières.

III.3- Valorisation dans les matériaux de constructions :

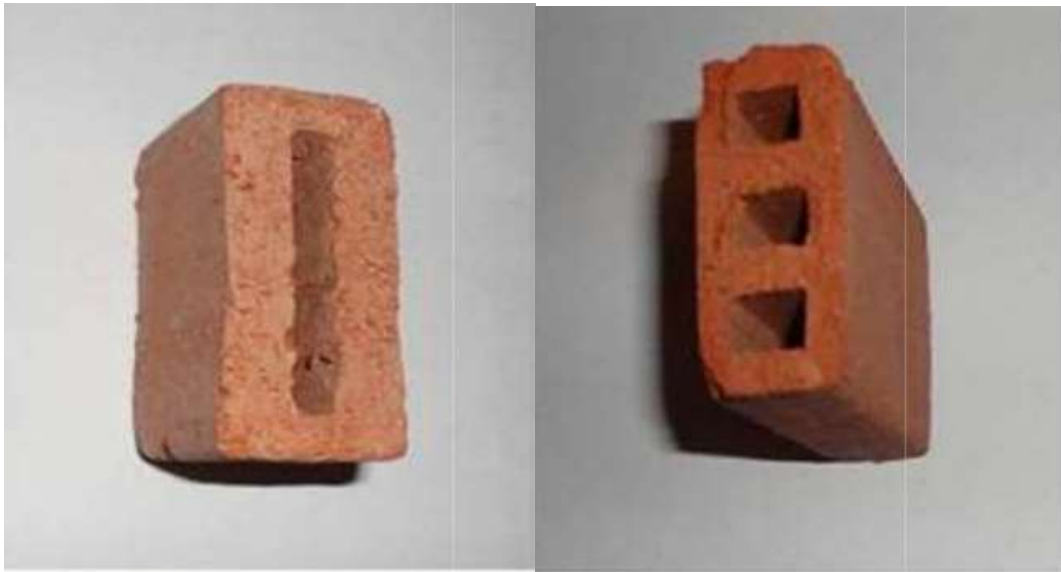
Dans le domaine de génie civil et BTP, les sédiments de dragage peuvent constituer une alternative des granulats produits en carrières et gisements terrestres. Ceci est justifié par la raréfaction et la limitation d'extraction des matériaux nobles, et le souci de développement durable et protection de l'environnement. Ces sédiments peuvent être employés comme matériaux de construction dans les aménagements de routes et ferroviaires, ou la fabrication de ciments, des briques, des agrégats, des carreaux et du béton, ils peuvent également être employés comme remblais, digues, barrages, barrière antibruit ou pour le rechargement des plages ...etc. Chacune de ces utilisations dépend des caractéristiques (physico-chimiques et mécaniques) requises dans le domaine. Parfois une correction granulométrique ou un traitement des sédiments s'avère nécessaire pour répondre aux exigences de l'utilisation[13].



Figure III.21 : Blocs de bétons réalisés avec des sédiments non-immérgeables traités(droite : Port de Dunkerque , gauche : Rade de Toulon)



Figure III. 22: Briques et tuiles.



Sédiment de Larache Sédiment de Tanger

Figure III 23 :Briques fabriquées avec un taux de substitution de 70% de sédiments.

III4- Valorisation dans le domaine agricole :

L'épandage des sédiments sur un sol cultivable est une technique de valorisation très intéressante qui peut enrichir les sols pauvres en éléments nutritifs et améliorer par conséquent sa qualité et son rendement, ou corriger leurs PH et rendre les terres plus adaptées au développement des plantes. Il peut être utile pour améliorer des aires de loisirs, des parcs, des terrains de golf. Alors cette partie nous a été une occasion intéressante pour s'approcher du domaine et toucher la problématique complexe de la gestion des sédiments[13].

III5- Autres domaines de valorisation :

Les sédiments peuvent être réutilisés dans le domaine environnemental en général, par exemple:

III.5-1 amendement du sol:

C'est un procédé qui consiste à couler de grandes quantités de matière, jusqu'à un mètre d'épaisseur, recouvrant un sol érodé ou aride, afin que le sol se développe de lui-même pour obtenir une pelouse permanente en quelques années par exemple. Les sédiments peuvent

également être utilisés comme matériau pour les travaux de terrain dans le contexte du paysage ou pour le remodelage de terres spécifiques, et pour recharger d'anciennes carrières et des fosses de ballast dans le cadre de la restauration du site. Il peut être utile pour créer des espaces industriels, des parcs à thème, développer des voies ferrées ou des routes, ou créer des îles artificielles.

III.5-2 Réhabilitation des sites naturels:

L'une des utilisations possibles des matériaux de dragage est de les réutiliser pour restaurer l'environnement ; Ils peuvent être utilisés, par exemple, pour construction d'habitats aquatiques ou terrestres pour les animaux (oiseaux, poissons.), Ou pour la création de parcs naturels (îles.) Et restauration de zones humides [13].

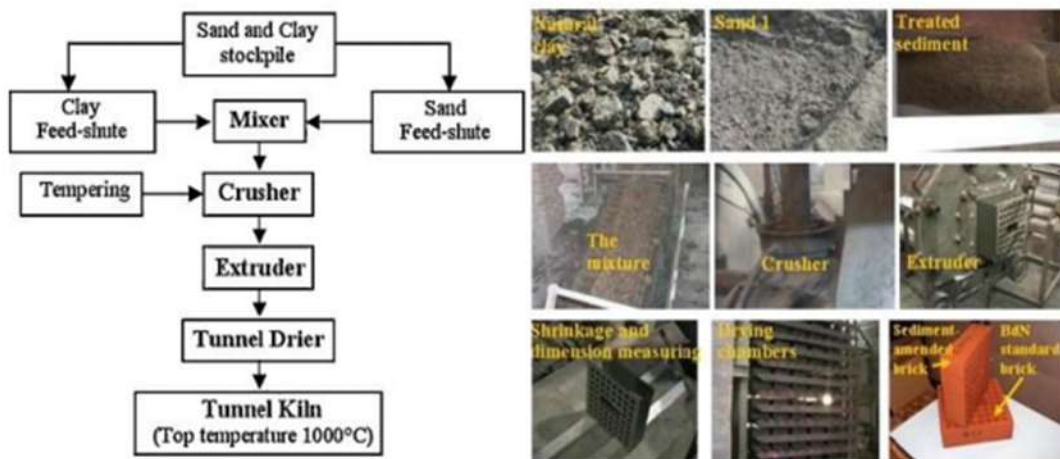


Figure III.24:Processus de fabrication des briques à base de sédiments [Samara, M., et al, 2009].



Figure III.25:Brique à base de sédiment de Savannah (Mezencevoca, et al, 2012).

III6- Conclusion :

Ces sédiments sont potentiellement pollués par les métaux lourds (Hg, Pb, Zn...) et des polluants organiques (PCB, HAP...). Les filières de gestion telles que la valorisation ou l'immersion permettent d'évacuer une partie importante, mais ces voies ne sont pas toujours possibles en raison des risques liés à la toxicité. Ce niveau de contamination reste très variable selon les sites de prélèvement. Vu la complexité de gestion de ces derniers, d'autres pistes d'orientation restent à développer sur le plan de gestion des sédiments dragués mais aussi sur les méthodes de dépollution, l'amélioration de leurs caractéristiques pour l'utilisation dans le domaine de génie civil Généralement [14].

Chapitre IV :
LE BARRAGE DE
K'SOB

IV.1-Introduction :

Le Barrage K'sob est situé au lieu-dit HAMMAN entre les monts de Kef El-Ouerad et Djebel El-Gruon à 15 km au Nord-Est de la ville de M'sila sur la route nationale en direction vers la Wilaya de B.B.A fut construit à cet endroit sur l'oued K'sob entre les années 1934 et 1940 permettant l'irrigation du périmètre agricole de la Commune de M'sila.

Par suite de l'envasement progressif de la retenue, sa capacité initiale de 12 hm³ est tombée à 3 hm³ en 1970, hauteur construite est de 31m.

Pour remédier à cette situation, la surélévation du barrage K'sob a été prévue dans le cadre du premier plan quadriennal.

La surélévation du barrage sur une hauteur de 15 m portera la capacité utile de la retenue à 29,5 hm³ et assurera une régularisation à l'irrigation de 13.000 ha dont 4.250 ha pour la culture intensive (culture maraîchère, arbres fruitiers et fourrage etc....) et 2.000 ha pour la culture de céréales[15].

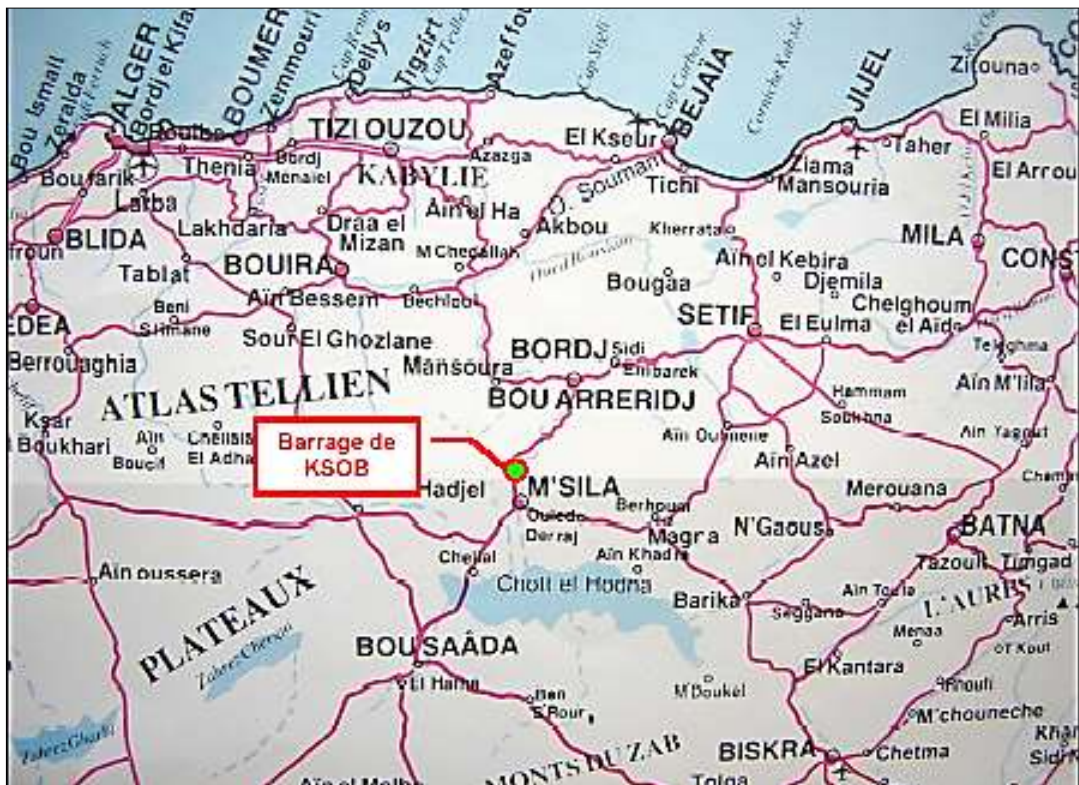


Figure IV.26: Carte de situation géographique.

L'évacuateur de crue se compose de deux (02) pertuis de demi-fond équipés de vannes secteurs actionnées par des vérins, commande hydraulique à la côte 585,10 m. Il est équipé de Trois (03) vannes secteur à surface actionnées par treuil à câble à la côte 597,00 m. Il est équipé aussi de trois (03) vannettes de dévasement DN400 bouchées, et une vanne de dévasement DN1000.

La station d'irrigation (Brise charge) est composée d'un bassin circulaire de 300 m³, d'un flotteur et des modules de débit 2500 l/s.

La vidange de fonds dans le corps de la digue st assuré par deux (02) pertuis comprenant chacun un entonnoir de prise en béton situé à l'amont des voûtes à la côte normale 561,80 m chacun de ces pertuis pouvait évacuer 55 m³/s, équipé aussi de (04) vannettes (évacuation 4×2m³/s) de dévasement DN400 actuellement en service.

Les prises d'eau dans le corps de la digue sont équipées de trois (03) prises d'eau à travers la digue : 02 anciennes prises à la côte 561,80 m et la nouvelle prise à la côte 593,10 m qui permettent le débit sortant de 9,5 m³/s nécessaire à l'irrigation[15].

IV.2- Historique :

Le barrage du K'sob construit de 1934 à 1940, et la surélévation de 1972 à 1976 est à voûtes multiples sur contreforts, encadré de deux culées formant barrage-poids. Il est composé de 42 voûtes s'appuyant sur deux culées poids de rive et sur 41 contreforts dont 30 dans la partie centrale. Ce sont des contreforts à béquilles et 11 sont des contreforts de l'ancien barrage simplement plongé sans béquilles ni précontrainte.

La stabilité latérale est assurée par deux passerelles horizontales superposées et une paroi verticale antisismique reliant entre eux.

Les sommets de tous les contreforts, ainsi que les divers diaphragmes sont renforcés en traversant le barrage de bout en bout ; ce qui lui confère une résistance accrue au tremblement de terre.

IV.3- Bassin versant du K'sob :

Les limites naturelles de l'Algérie sont la Mer Méditerranée au Nord (1200 km de côte), le

tardifs comme le Chélif et le Hodna se sont installés sur ces nappes.

Avant 1962, l'Algérie disposait de 12 barrages. A la fin de l'année 2016 l'Algérie prévoit de construire 32 nouveaux barrages hydrauliques, qui viendront s'ajouter aux 64 déjà en exploitation. Alors, l'Algérie disposera de 96 barrages hydrauliques pouvant mobiliser quelque 9 milliards de m³ d'eau. En 2030, le total de 121 barrages seront exploités.

Dès 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)» pour garantir leur valorisation et durabilité. Ainsi le territoire algérien a été subdivisé en 5 grands bassins versants (Figure IV-23)[16].



Figure IV.28 : Les 5 bassins hydrographiques.

Parmi ces bassins le bassin Algérois-Hodna-Soummam, avec une superficie de 47.588 km². Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellègue à l'Ouest par le bassin Chellif-Zahrez et enfin au Sud par le bassin du Sahara. Il s'étend sur 14 wilayas (6 en totalité et 8 partiellement).

Afin de collecter les eaux de pluie et concentrer les écoulements vers les cours d'eau, le bassin Hodna, situé au sud du bassin Algérois-Hodna-Soummam est un bassin endoréique de 25.843 km² dont le chott El-Hodna constitue son exutoire naturel. Les principaux oueds de ce bassin qui s'écoulent du nord vers le Chott sont : les oueds M'sila, K'sob, El Ham, Soubella, Barika et Bitam. Les oueds Boussaâda et M'cif sont quant à eux les principaux oueds s'écoulant du sud vers le chott.

Le bassin versant du Hodna est le cinquième grand bassin de l'Algérie. Il est situé à 150 km à vol d'oiseau au Sud de la côte méditerranéenne (Golf de Bejaïa). L'altitude des sommets des monts du Hodna diminuant d'Est en Ouest oscille entre 1900 et 1000 m, tandis qu'au Sud quelques sommets situés dans l'atlas saharien atteignent 1200 m. La situation du bassin du Hodna est située entre deux séries de montagnes au Nord et au Sud, organisent le bassin autour d'une cuvette fermée presque plate à 400 m d'altitude et reçoit l'écoulement des eaux superficielles de la région [17].

Le bassin versant du barrage K'sob, s'étale sur une superficie de 1460 km² avec un périmètre d'environ 180 km. Il appartient au grand bassin versant du chott Hodna dont il occupe 41% de la surface (Tableau IV-2). Le coefficient de Graveleuse de ce bassin versant est 1,26 ce qui indique une forme allongée (Figure IV-24).

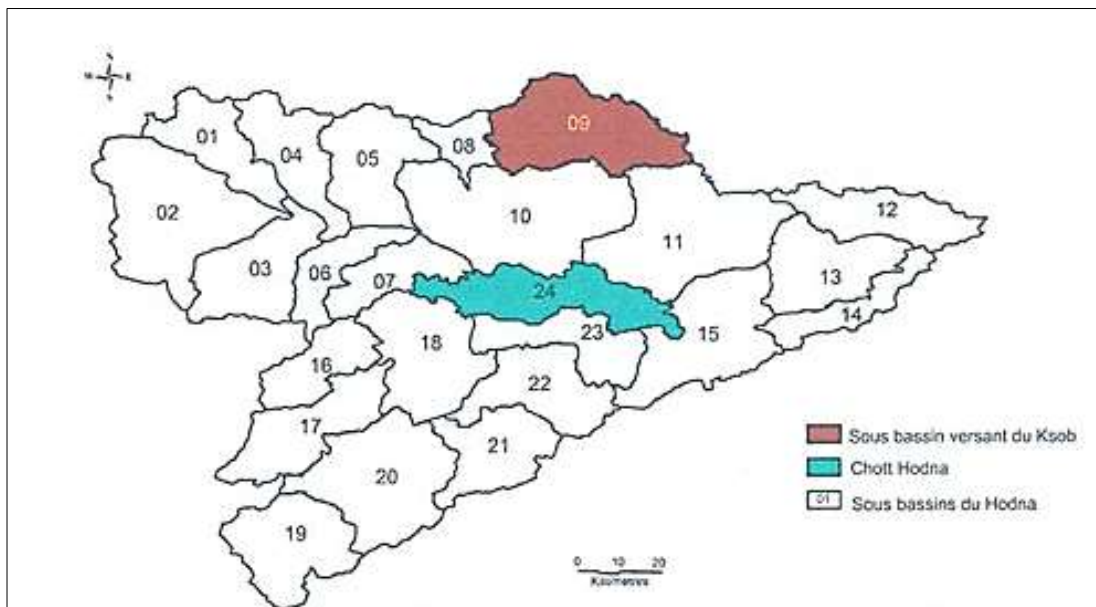


Figure IV.29 : Situation géographique du bassin versant du K'sob.

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales du bassin versant du K'sob :

Tableau IV.2 : Quelques caractéristiques morphométriques du B.V du K'sob.

Caractéristiques morphométriques	Résultats	Unité	Observation
Surface	1460	km ²	
Périmètre	180	km	
Altitude moyenne	1070	m	
Indice de Graveleuses	1,26	-	Forme allongée
Indice de pente globale	0,012	m/km	Relief modéré
Pente moyenne	15,8	m/km	
Capacité initiale	11,6	hm ³	
Surface de plan d'eau	121	Ha	
Altitude max de retenu	590	m	
Hauteur max	46	m	
Superficie du B.V	1460	km ²	
Envasement moyen annuel	0,800	hm ³ /an	
Volume de vase existante	15	hm ³	
Hauteur de l'envasement actuel	27	m	

IV.4-Oued K'sob :

M'sila est la 28ème Wilaya de l'Algérie, elle s'étale sur une superficie de 18.175 km², avec plus d'un million d'habitants. Elle s'éloigne de la capitale Alger de 248 km, avec un climat semiaride et de vocation agro-pastorale. Fondée en 935 la wilaya contient des gisements de calcaire et d'argile et dispose d'un grand réservoir de sable quartzeux dunaire. L'utilisation de ce sable est élargie à la production du plâtre, céramique ainsi que le ciment.

Le Barrage K'sob est situé à « HAMMAN » entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Groun à 15 Km au nord de la ville de M'sila sur la route nationale en direction vers la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il fut construit à cet endroit sur l'oued K'sob entre les années 1934 et 1940 permettant l'irrigation du périmètre agricole de la Commune de M'Sila (Figure IV.25).

Le K'sob est le plus tellien des rivières du Hodna ; son bassin versant s'étend jusqu'à Medjez, station située à environ 8 km. Il pénètre dans la Medjana après avoir franchi des collines éocènes et miocènes. Son affluent, la rivière Oussedjit-Rhedir, né entre 1.700 et 1.750 mètres sur le versant Nord de la montagne Sidi Sahab, traverse le bassin synclinal de Bordj Ghedir, puis une zone de collines burdigaliennes avant de se jeter dans le K'sob. Celui-ci, après le confluent, prend une direction Sud-Ouest et contourne le djebel Maadid dans une vallée encaissée qu'il élargit de ses méandres [18].



Figure IV.30 : Vue sur le barrage K'sob lors de sa construction.

Le barrage assurait dans les années 70 l'irrigation de 13.000 hectares de terres agricoles, unique à l'échelle de la wilaya, ce barrage n'arrose plus aujourd'hui que 4.840 hectares du fait de son envasement avancé.

IV.5-Conclusion :

En raison du climat semi-aride, de la pauvreté en végétation, de la présence parfois de pente abrupte, l'Algérie est très vulnérable à l'érosion des sols qui menace son développement socio-économique.

Dans le bassin versant du K'sob, le transport des sédiments en suspension par les cours d'eau est un phénomène préoccupant en raison de l'envasement à 80% du barrage situé à l'exutoire.

La production des sédiments est très forte en automne au printemps, actuellement, des millions de mètres cubes de sédiments sont dragués chaque année.

Ce grand volume représente un problème à la fois économique, environnemental et écologique[19].

Chapitre V :
***VALORISATION EN
TRAVEAUX
ROUTIERS***

V.1- Introduction :

En Algérie, des projets routiers et autoroutiers aux impacts socio-économiques certains sont en cours de réalisation, parmi lesquels, la réalisation de l'autoroute Est Ouest de 1216 km, la réalisation de près de 1300 km de la rocade des Hauts Plateaux, le parachèvement de la liaison transsaharienne, le développement de la route côtière, la réalisation des 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} rocades Sud d'Alger. Les efforts seront axés pour la clôture des projets qui s'inscrivent dans le programme de désenclavement des régions des Hauts Plateaux et du Grand Sud. Le marché du Bâtiment et Travaux Public bénéficie d'une très forte croissance entretenue par plusieurs plans gouvernementaux d'investissements publics. Les besoins demeurent élevés pour les années à venir, notamment en matière de construction des projets d'infrastructures (aéroport et métro d'Alger, autoroute Est-ouest, réfection des réseaux de transports). A long terme, le Ministère des Travaux Publics compte lancer la construction d'ici 2025 de près de 2700 km de voies autoroutières ou expresses.

Dans le 4^{ème} Colloque International "Sable et Environnement Solutions Alternatives", Alger 2007, les communications présentées par des experts et des spécialistes du domaine, ont porté sur les besoins en matériaux, les études préalables à l'exploitation des gisements marins, la législation et la réglementation du sable de mer et les procédés techniques de valorisation des sédiments de dragage.

Dans ce chapitre, on présente la méthodologie générale de valorisation des sédiments qui a pour but d'utiliser ces sédiments dans une formulation de matériau routier. Les démarches de valorisation envisagée, s'appuie sur des choix de préparation et de formulation simples, Afin de permettre un emploi efficace des sédiments dans une structure de chaussée[20].

V.2- Classification des matériaux selon le GTR :

L'utilisation d'un matériau en couche de chaussée nécessite la connaissance de ses propriétés physiques et géotechniques. La classification peut se faire selon différentes approches.

Le « Guide des Terrassements Routiers, réalisation des remblais et des couches de forme » [GTR] est un guide spécifique aux travaux routiers. Les paramètres d'entrées sont comme

illustré dans la figure V.26. Ils sont essentiellement les caractéristiquement physiques du matériau. Ces paramètres sont la granulométrie, l'activité argileuse et la plasticité du matériau.

Les matériaux sont classés d'après leur nature, leur état et leur comportement.

V.2.1- Classification des matériaux selon leur nature :

La classification des matériaux selon leur nature est présentée ci-dessous de manière synthétique (figure V.26). Elle se divise en trois catégories : les sols, les matériaux rocheux et les matériaux particuliers [21].

V.2.2- Classification des sols :

Elle comporte 4 classes :

- A : sols fins ;
- B : sols sableux et graveleux avec fines ;
- C : sols comportant des fines et des gros éléments ;
- D : sols insensibles à l'eau.

Le tableau synoptique de figure 26 offre une bonne compréhension de la classification en fonction des paramètres de nature :

- I_p indice plastique ;
- VBS valeur au bleu de méthylène du sol ;
- Seuils de granulométries.

La classification est effectuée par ailleurs selon l'état hydrique (sauf classe D) et selon le comportement (sauf classe A). À titre d'exemple est extrait celui de la classe A (tableau 3) [21].

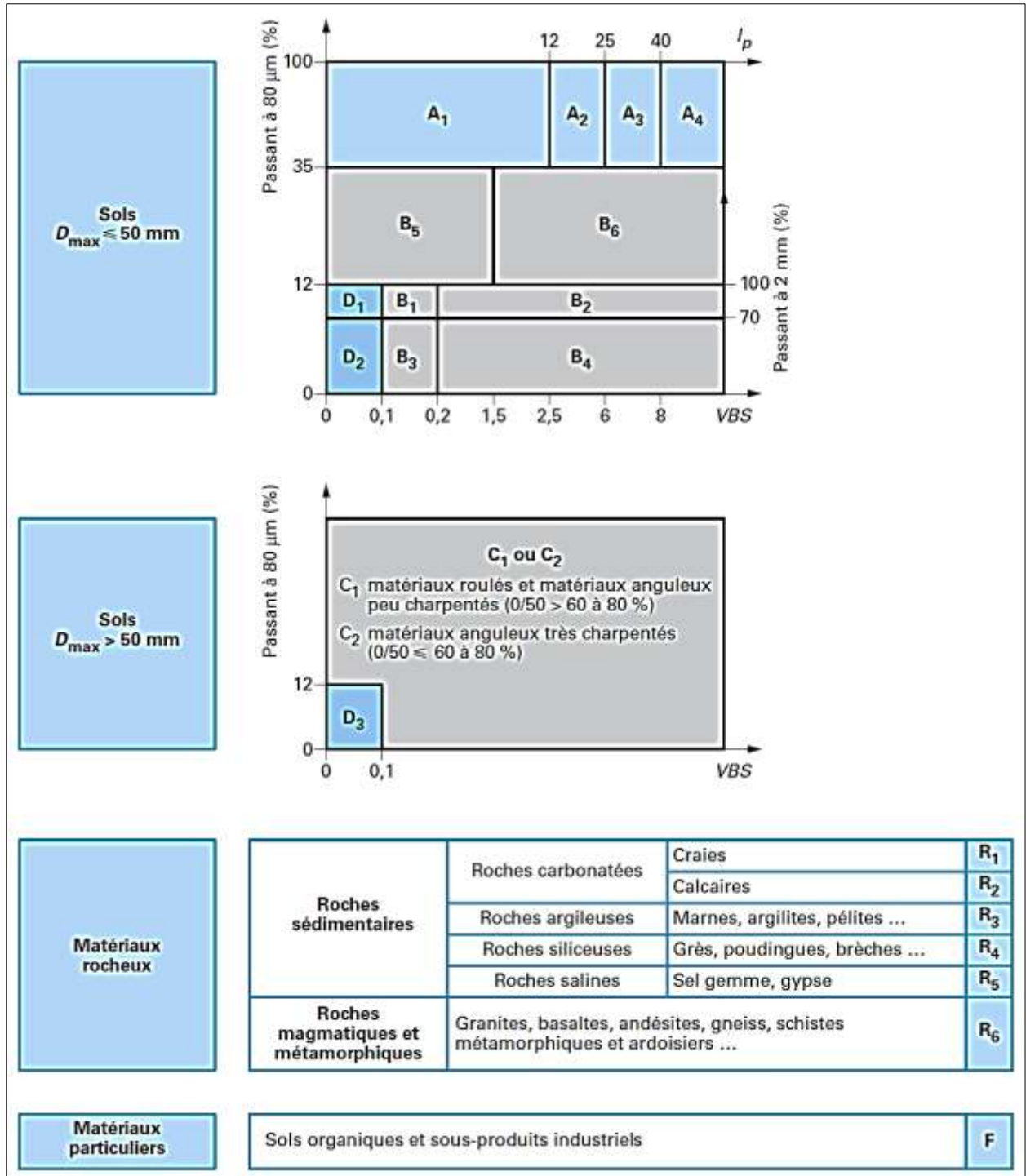


Figure V.31: Tableau synoptique de la classification des matériaux selon leur nature[24].

Tableau V.3 : Classe A-sols fins[24].

Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux (2)	Paramètres et valeurs de seuils retenus (1)	Sous-classe	
$D_{max} \leq 50$ mm et tamis à 80 μ m > 35 %	A sols fins	$vBS \leq 2,5$ ou $I_p \leq 12$	A ₁ Limos peu plastiques, less, silt, alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur W_N est proche de W_{OPN} . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court mais, la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de I_p .	$IPI \leq 3$ ou $W_N \geq 1,25 W_{OPN}$	A ₁ th	
					$3 < IPI \leq 8$ ou $1,10 W_{OPN} \leq W_N < 1,25 W_{OPN}$	A ₁ h	
					$8 < IPI \leq 25$ ou $0,9 W_{OPN} \leq W_N < 1,10 W_{OPN}$	A ₁ m	
					$0,7 W_{OPN} \leq W_N < 0,9 W_{OPN}$	A ₁ s	
						$W_N < 0,7 W_{OPN}$	A ₁ ts
						$IPI \leq 2$ ou $I_c \leq 0,9$ ou $W_N \geq 1,3 W_{OPN}$	A ₂ th
						$2 < IPI \leq 5$ ou $0,9 < I_c \leq 1,05$ ou $1,1 W_{OPN} \leq W_N < 1,3 W_{OPN}$	A ₂ h
						$5 < IPI \leq 15$ ou $1,05 < I_c \leq 1,2$ ou $0,9 W_{OPN} \leq W_N < 1,1 W_{OPN}$	A ₂ m
						$1,2 < I_c \leq 1,4$ ou $0,7 W_{OPN} \leq W_N < 0,9 W_{OPN}$	A ₂ s
						$I_c > 1,4$ ou $W_N < 0,7 W_{OPN}$	A ₂ ts
						$IPI \leq 1$ ou $I_c \leq 0,8$ ou $W_N \geq 1,4 W_{OPN}$	A ₃ th
						$1 < IPI \leq 3$ ou $0,8 < I_c \leq 1$ ou $1,2 W_{OPN} \leq W_N < 1,4 W_{OPN}$	A ₃ h
				$3 < IPI \leq 10$ ou $1 < I_c \leq 1,15$ ou $0,9 W_{OPN} \leq W_N < 1,2 W_{OPN}$	A ₃ m		
				$1,15 < I_c \leq 1,3$ ou $0,7 W_{OPN} \leq W_N < 0,9 W_{OPN}$	A ₃ s		
				$I_c > 1,3$ ou $W_N < 0,7 W_{OPN}$	A ₃ ts		
				Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique.	A ₄ th		
					A ₄ h		
					A ₄ m		
					A ₄ s		

(1) W_N : teneur en eau naturelle, W_{OPN} : teneur en eau optimum Proctor normal, I_c : indice de consistance.
(2) Les paramètres inscrits en gras sont ceux dont le choix est à privilégier.

V.2.3- Classification des matériaux rocheux :

Le tableau synoptique (figure 26) représente aussi, mais de façon beaucoup plus brève, la classification selon la nature des matériaux rocheux.

Il nous est apparu intéressant d'extraire la classification complète de la classe R correspondant à ces matériaux, d'autant plus qu'elle inédite (tableau 4)[21].

Tableau V.4 : Classe C-Matériaux rocheux (évolutifs et non évolutifs).

Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique et le comportement				
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe			
Roches sédimentaires	Roches carbonatées	R ₁ Craie	$\rho d > 1,7$	Craie dense R ₁₁			
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $W_N \geq 27$	Craie de densité moyenne R ₁₂			
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $22 \leq W_N < 27$				
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $18 \leq W_N < 22$				
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $W_N < 18$	R ₁₂ s			
			$\rho d \leq 1,5$ et $W_N \geq 31$	Craie peu dense R ₁₃			
			$\rho d \leq 1,5$ et $26 \leq W_N < 31$				
			$\rho d \leq 1,5$ et $21 \leq W_N < 26$				
	$\rho d \leq 1,5$ et $16 \leq W_N < 21$						
	$\rho d \leq 1,5$ et $W_N < 16$	R ₁₃ ts					
	Roches argileuses	R ₂ Calcaires rocheux divers Exemples : - calcaires grossiers ; - travertins ; - tufs et encroûtements, etc...	Cette classe regroupe l'ensemble de la gamme des matériaux calcaires rocheux. Leurs caractéristiques prédominantes, vis-à-vis de leur utilisation dans des remblais ou des couches de forme, sont la friabilité et éventuellement, pour les plus fragmentables d'entre eux, la gélivité. D'une manière générale, ces matériaux ne sont pas des matériaux rocheux évolutifs et ne posent pas de problèmes particuliers dans leur emploi en remblai. En couche de forme, leur friabilité peut conduire, par attrition ou désagrégation, à la formation de fins pouvant conférer à l'ensemble du matériau un comportement sensible à l'eau sous circulation des engins.	$MDE \leq 45$	Calcaire dur R ₂₁		
				$MDE > 45$ et $\rho d > 1,8$	Calcaire de densité moyenne R ₂₂		
				$\rho d \leq 1,8$	Calcaire fragmentable R ₂₃		
				Roches argileuses	R ₃ Marnes Schistes sédimentaires Argillites Pelites	Les matériaux de cette classe se caractérisent par le fait qu'ils possèdent une structure (le plus souvent carbonatée) plus ou moins résistante, dans laquelle sont emprisonnés, en proportion très variable (entre 5 et 95 % d'après ce qui est généralement admis), des minéraux argileux susceptibles d'être gonflants. Ils se fragmentent plus ou moins à la mise en œuvre, en libérant des fines, plastiques et sensibles à l'eau. La destruction de leur structure peut se poursuivre après la mise en œuvre sous l'action des contraintes mécaniques de l'eau et du gel. Cette évolution se produit d'autant plus, que les matériaux ont été moins fragmentés à la mise en œuvre, et que la granulométrie obtenue à ce stade est homogène. Pour les plus fragmentables d'entre eux (classe R _{3a}), il convient de caractériser l'état de leur fraction 0/50 mm.	$FR \leq 7$ et $DG > 20$
$FR \leq 7$ et $5 < DG \leq 20$							Roche argileuse : peu fragmentable, moyennement dégradable R ₃₂
$FR \leq 7$ et $DG \leq 5$							Roche argileuse : peu fragmentable, peu dégradable R ₃₃
$FR > 7$ et $\left\{ \begin{array}{l} W_N \geq 1,3 W_{OPN} \\ \text{ou } IPI < 2 \end{array} \right.$	Roche argileuse fragmentable R ₃₄						
$FR > 7$ et $\left\{ \begin{array}{l} 1,1 W_{OPN} \leq W_N < 1,3 W_{OPN} \\ \text{ou } 2 \leq IPI < 5 \end{array} \right.$							
$FR > 7$ et $0,9 W_{OPN} \leq W_N < 1,1 W_{OPN}$							
$FR > 7$ et $0,7 W_{OPN} \leq W_N < 0,9 W_{OPN}$							
			$FR > 7$ et $W_N < 0,7 W_{OPN}$	R ₃₄ ts			

(1) Suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande.

Tableau V.4 : Classe R - Matériaux rocheux (évolutifs et non évolutifs).(suite)

Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique et le comportement		
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	
Roches siliceuses	R ₁ Grès Poudingues Brèches	Les matériaux de cette classe peuvent être assimilés à des conglomérats de grains de sable (cas des grès) ou de galets (cas des brèches et poudingues), liés entre eux par un ciment naturel de silice ou de calcaire. La résistance plus ou moins grande de cette cimentation confère à ces matériaux des comportements variables (risques de réarrangements après mise en œuvre lorsqu'ils ne sont pas suffisamment compactés, en particulier). Si ces roches sont très fragmentables, leur évolution ultime s'arrête aux grains élémentaires cimentés. Certaines d'entre elles contiennent également une fraction argileuse suffisante pour leur conférer un comportement voisin des matériaux de la classe R ₂₄ .	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches siliceuses dures	R ₁₁
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches siliceuses de dureté moyenne	R ₁₂
			FR > 7	Roches siliceuses fragmentables	R ₁₃
Roches salines	R ₂ Gypse Sel gemme Anhydrite	Du point de vue mécanique, les matériaux de cette classe s'apparentent à ceux des classes R ₁ et R ₁ , mais en outre ils sont plus ou moins solubles dans l'eau et induisent, de ce fait, dans les ouvrages, des risques de désordre qui seront d'autant plus grands que : - la solubilité du sel soluble est grande ; - sa proportion contenue dans l'ensemble du matériau est élevée ; - la fragmentabilité à la mise en œuvre est faible (grande perméabilité de l'ouvrage).	Teneur en sel { < 5 à 10 % dans le cas du sel gemme (1) ≤ 30 à 50 % dans le cas du gypse (1)	Roches salines peu solubles	R ₂₁
			Teneur en sel { > 5 à 10 % dans le cas du sel gemme (1) > 30 à 50 % dans le cas du gypse (1)	Roches salines très solubles	R ₂₂
Roches magmatiques et métamorphiques	R ₃ Granite, basalte, trachyte, andésite... Gneiss, schistes métamorphiques, schistes andoisiens...	Les matériaux entrant dans cette classe peuvent avoir des caractéristiques mécaniques très différentes ; en particulier, leur fragmentabilité et leur friabilité peuvent varier très largement (de faible à très élevée). Les matériaux de la classe R ₁₁ et la majorité de ceux de la classe R ₁₂ ne s'altèrent pas au sein des ouvrages, sous l'effet des contraintes mécaniques et de l'eau ; mais en revanche, ceux de la classe R ₁₃ ont un comportement voisin des classes R ₂₂ ou R ₂₃ .	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches magmatiques et métamorphiques dures	R ₃₁
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne	R ₃₂
			FR > 7	Roches magmatiques et métamorphiques fragmentables ou altérées	R ₃₃

(1) Suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande.

La première étape consiste à définir la nature pétrographique de la roche.

La deuxième étape, qui étudie le comportement mécanique de la roche et l'incidence de l'état hydrique, est complexe car leurs peuvent être différents durant les phases successives du terrassement.

Les difficultés inhérentes aux matériaux évolutifs sont également à souligner.

Les paramètres utilisés, outre les états hydriques et les masses volumiques (ρ_a : masse volumique apparente d'un échantillon de roche déshydraté), sont :

- Le coefficient Los Angeles(LA) ;
- Le coefficient mico-Deval en présence d'eau (MDE) ;
- Le coefficient de fragmentabilité (FR) ;
- Le coefficient de dégradabilité (DG) ;
- La teneur en éléments solubles (%NaCl, gypse...) limitée au cas des roche solubles ;

- L'indice portant immédiat (IPI) [21].

V.2.4- Classification des sols organique et sous-produits industriels :

Cette dernière catégorie constitue la classe F des sols organique et sous-produits industriels.

Il s'agit de matériaux particuliers dont les critères de possibilité d'emploi sont différents et spécifiques suivant la famille considérée.

Le classement GTR comprend 9 familles. Une définition générale de ces familles est présentée (tableau 5)[21].

Tableau V.5 : Classification générale des sols organiques et sous-produits industriels (classe F).

Famille de matériaux	Symbole	Paramètre(s) considéré(s) comme significatif(s) vis-à-vis du réemploi
Matériaux naturels renfermant des matières organiques	F ₁	Teneur en matières organiques puis examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B ou C.
Cendres volantes silico-alumineuses	F ₂	Rapport entre leur teneur en eau naturelle et leur teneur en eau optimum Proctor normal et valeur de l'IPI à la teneur en eau naturelle.
Schistes houillers	F ₃	Taux de combustion et examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B, C, D ou aux matériaux rocheux.
Schistes des mines de potasse	F ₄	Teneur en NaCl et, pour ceux à faible teneur, examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B ou C.
Phosphogypse	F ₅	Mode d'obtention comportant ou non une neutralisation à la chaux, examen de la granulométrie et de la teneur en eau.
Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères	F ₆	Taux d'imbrûlés et d'éléments solubles, qualité du déferrailage, du criblage et de l'homogénéisation, durée du stockage, présence ou non de cendres volantes de combustion.
Matériaux de démolition	F ₇	Qualité du déferrailage et de l'homogénéisation, présence d'éléments indésirables (plâtres, bois...), granulométrie.
Laitiers de hauts fournaux	F ₈	Caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols B, C, D, ou aux matériaux rocheux.
Autres sous-produits industriels	F ₉	Paramètres à définir à l'appui d'une étude spécifique.

Le GTR définit la classification et des possibilités d'utilisation de ce type de matériaux sur la base de caractéristique géotechnique et, pour certains, suivant leur origine, de caractéristique spécifique.

Il conviendra de vérifier particulièrement les caractéristiques des matériaux pouvant présenter des risques de pollution dans certaines conditions, de façon à éviter toute nuisance à l'environnement, dans le respect des normes en vigueur.

Le classement des matériaux est établi à partir de la prise en compte de paramètres divers adaptés à la famille concernée.

- La teneur en matières organique (%MO) ;
- L'indice portant immédiat (IPI) ;
- Les teneurs en eau naturelle et optimum Proctor normal (w_n et w_{OPN}) ;
- La teneur en chlorure de sodium (NaCl) ;
- La teneur en éléments toxiques solubles ;
- La perte au feu à 500°C (PF) ;
- La granularité définie par le D_{50} ;
- L'évaluation visuelle [21].

V.3-Conditions d'utilisation des matériaux :

V.3.1- Remblais :

Conditions d'utilisation :

Pour chaque classe ou sous-classe de matériaux définie dans la classification du guide technique du SETRA, (réalisation des remblais et des couches de formes-fascicule II), ils sont indiqués les conditions de mise en œuvre à respecter en fonction de la situation météorologique constatée au moment où le matériau est mis en remblai et des conditions d'utilisation[22].

Exemple :

Exemple illustrant les conditions d'utilisation des matériaux en remblais pour un sol de classe A2 (classification GTR).

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI							
A ₁ (états s et ts), A ₂ (états th et h)		1		2		3	
Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai		Code E G W T R C H		
A ₂ h	Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible. La mise en dépôt provisoire et le drainage préalable ne sont habituellement pas des solutions envisageables dans le climat français moyen. Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase-terrassement.	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes		NON	
		-	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage faible		0 0 0 2 0 2 0	
		-	évaporation importante	Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de faible hauteur (≤ 5 m)		0 0 0 0 0 3 1	
		-	évaporation importante	Solution 1 : aération E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)		1 0 1 0 1 2 2	
				Solution 2 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen		0 0 0 2 0 2 0	

Exemple de conditions d'usage (source SETRA)

Le guide technique GTR présente sous la forme de 3 colonnes :

1. les conditions météorologiques durant l'extraction et la mise en en remblai ;
2. les conditions d'utilisation du remblai ;
3. les codes correspondants.

A. Conditions météorologiques :

Situation météorologique durant l'extraction et la mise en remblai :

++ pluies fortes : augmentation importante de la teneur en eau ;

+ pluies faibles : augmentation de la teneur en eau ;

= ni pluie, ni évaporation importante : teneur en eau stable ;

- évaporation importante : diminution de la teneur en eau (température élevée ou temps sec ou vent).

Ces symboles ne correspondent pas à des seuils quantifiables décrivant la situation météorologique (hauteur ou intensité de pluie par exemple) car les effets de la pluie ne sont pas indépendants du vent, de

la température et du sol lui-même. C'est au géotechnicien du chantier qu'il appartient de caractériser la situation météorologique au moment de la mise en œuvre avec tout le « métier » qui s'impose[22].

B. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

7 Rubriques :

Les conditions d'utilisation des matériaux en remblai sont définies en 7 rubriques :

- **E** : Extraction ;
- **G** : Action sur la granularité ;
- **W** : Action sur la teneur en eau ;
- **T** : Traitement ;
- **R** : Réglage ;
- **C** : Compactage ;
- **H** : Hauteur de remblai ;
- **E** : Extraction :

E :**Extraction** :Le mode d'extraction des déblais peut interférer sensiblement sur la qualité des remblais :

- Extraction en couche :L'extraction en couche (épaisseur 0,1 à 0,3 m) permet une bonne fragmentation et un tri relatif des différentes couches de matériaux.



Figure V.32 : Extraction en couche (SETRA).

- Extraction frontale :Pourl'extraction frontale, on observe des effets exactement opposés. Elle offre en plus la possibilité dans des formations stratifiées, de sélectionner le

niveau présentant la meilleure portance pour le réserver à la circulation des engins de transport[22].



Figure V.33 : Extraction frontale (source : SETRA).

G : Action sur la granularité : On distingue deux actions qui permettent d'agir sur la granularité :

- Élimination des éléments :
 - **> 800 mm** : Cette valeur constitue une limite maximum des blocs admissibles dans le corps d'un remblai compte tenu des performances des compacteurs les plus puissants actuellement.
 - **< 250 mm** : Cette valeur constitue la dimension maximale des blocs permettant encore un malaxage du sol avec un agent de traitement.



Figure V.34 : Criblage (source SETRA).

- Fragmentation complémentaire après extraction : Cette modalité s'applique aux matériaux rocheux évolutifs.

Les moyens utilisables pour agir sur la granularité sont variés : pétardage, concassage, utilisation d'engins spéciaux[22].



Figure V.35 : Criblage (source SETRA).

W : Action sur la teneur en eau : 2 grands principes :

- L'aération :



Figure V.36 : Aération (source SETRA).

- L'humidification :



Figure V.37 : Traitement à la chaux (source CETE).

T : Traitement : Le traitement s'effectue :

- avec de la chaux :



Figure V.38. Traitement à la chaux (source CETE).

- avec d'autres réactifs (ciments, cendres volantes, laitiers ou autres sous-produits industriels)



Figure V.39. Traitement réactifs (source SETRA).

Le traitement d'un sol consiste à mélanger différents produits tels que la chaux (éventuellement sous forme de lait de chaux), des liants hydrauliques (ciment, cendres volantes, laitiers, ...) ou des correcteurs granulométriques, pour conférer aux matériaux des performances mécaniques supérieures à celles qu'ils possèdent à l'état naturel, et durables tout au long de la vie de l'ouvrage.

Dans le cas du traitement avec de la chaux ou des liants hydrauliques, il convient :

- de déterminer par une étude de laboratoire le choix du produit de traitement, les dosages nécessaires, pour atteindre les performances mécaniques recherchées et la plage de teneur en eau du mélange sol-liant.
- de s'assurer de la pérennité des liaisons engendrées par le traitement.
- les modalités de traitement pour une couche de forme seront beaucoup plus rigoureuses que celles acceptables pour un traitement en remblai[22].

C : Compactage : Il s'agit d'une donnée qualitative sur le niveau de compactage requis par les différents matériaux. 3 niveaux d'énergie :

- faible ;
- moyen ;
- intense.



Figure V.40 : Compactage (source : SETRA).

H : Hauteur du remblai : L'utilisation des matériaux est fonction de la hauteur du remblai. On considère les remblais :

- de faible hauteur, limités à 5 m
- de hauteur moyenne, limités à 10 m
- de grande hauteur, supérieurs à 10m[22].



Figure V.41 : Hauteur du remblai (source SETRA).

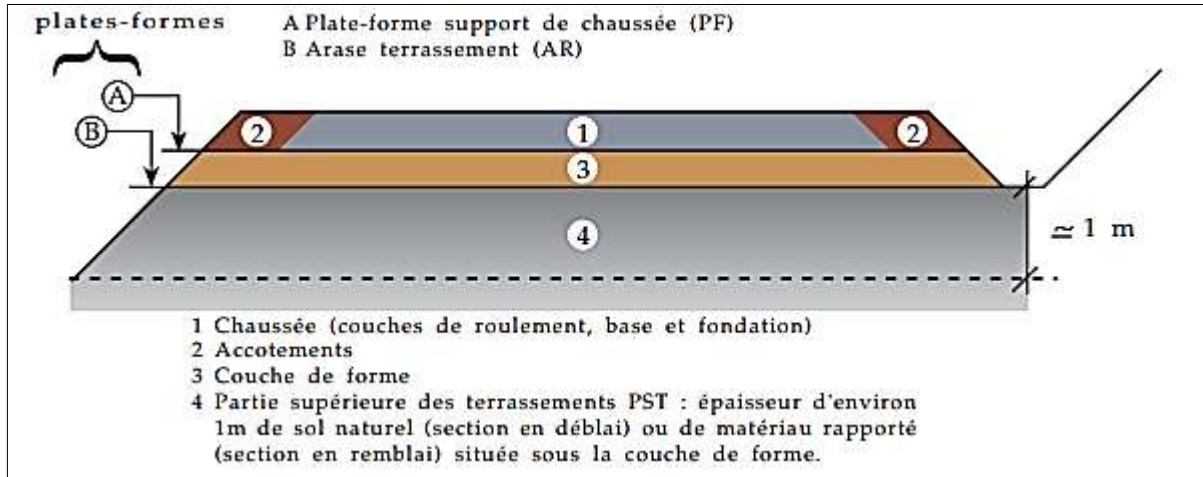
Tableau récapitulatif :

Tableau V.6 : Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai.

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2m)
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination des éléments > 800mm
	2	Elimination des éléments > 250 mm pour traitement
	3	Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Réduction de la teneur en eau par aération
	2	Essorage par mise en dépôt provisoire
	3	Arrosage pour maintien de l'état
	4	Humidification pour changer d'état
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un réactif ou un additif adapté
	2	Traitement à la chaux seule
R Régalage	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	1	Compactage intense
	2	Compactage moyen
	3	Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Remblai de hauteur faible ($\leq 5m$)
	2	Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$)

V.3.2- Conception de la couche de forme :

Structure de chaussée :



Couche de forme :

La couche de forme est une structure permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée.

Plate- forme support de chaussée :

Plate- forme support de chaussée (PF) est la surface supérieure de la couche de forme.

Selon les cas (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic de chantier...) la couche de forme se présentera sous des formes différentes.

Elle peut être :

- Inexistante cas inutile lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises.
- Limitée à l'apport d'une couche de matériaux ayant les caractéristiques nécessaires.
- Constituée d'une superposition de couches de matériaux différents répondant à des fonctions distinctes[22].

V.3- Conclusion :

En fin,les granulats sont les matières premières les plus consommées dans le monde, l'utilisation rationnelle et le développement des matériaux dans le domaine des travaux publics constituent à l'heure actuelle une préoccupation majeure des producteurs et des utilisateurs, principalement dans les domaines de la construction. Ainsi, les objectifs visés ont pour but l'amélioration de la qualité, de la disponibilité et de la diversité des matériaux répondant aux exigences d'utilisation. Il est donc nécessaire et urgent de valoriser les matériaux de substitution, les matériaux locaux, le sédiment de dragage, les sous-produits et déchets existants. Il faut aussi développer davantage les produits nouveaux et innovants[23].

Chapitre VI :
CARACTERISATION
GEOTECHNIQUE

VI1- Introduction :

Le programme expérimental a été réalisé dans deux laboratoires différents et qui sont : le laboratoire du Génie Civil de l'université de M'sila et le laboratoire des Travaux Public du Sud de Boussaâda (W. de M'sila). Ce programme est réparti en deux parties :

Essais d'identifications:

- 1- Analyse chimique ;
- 2- Matières organiques ;
- 3- La masse volumique ;
- 4- Pycnomètre ;
- 5- Analyse granulométrique ;
- 6- Les limites d'Atterberg ;
- 7- L'essai au bleu de méthylène.

Essais Mécaniques :

- 1- Essai Proctor ;
- 2- Essai C.B.R. ;
- 3- Cisaillement à la boîte ;
- 4- Essai œdométrique.

VI2- Essais d'identifications:

VI2.1-Analyse chimiques :

Le but de cet essai est de déterminer la nature chimique des échantillons choisis. Cette étape étant importante dans l'identification des matériaux locaux utilisés en construction.

VI2.2- Matières organiques (XP P 94-047) :

A- Objectif : Le présent document s'applique à la détermination de la teneur massique en matières organiques de la fraction granulométrique inférieure ou égale à 2 mm d'un échantillon de sol ou d'un matériau.

B- Principe de l'essai : L'essai consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température de 450°C et 500°C.

C- Mode opératoire :

- L'échantillon est séché dans l'étuve à 50 °C ;
- Tamiser l'échantillon à 0,08 mm ;
- Prendre 200 grammes de sol ;
- Placer les creusets devant contenir les prises d'essai dans le four à une température comprise 450 °C et 500 °C pendant 3 h au moins ;
- Peser l'échantillon.

VI2.3- Mesure de la masse volumique (NF P 94-053) :

A- But : Par définition la masse volumique d'un corps est sa masse (apparente ou spécifique) par unité de son volume.

B-Appareillage :**Figure VI42 : Appareillage de l'essai de la masse volumique.****C- La masse volumique :**

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, compris les vides contenus dans les grains (volume réel) ($\rho = m / V$).

La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume. Pour un granulat donné, ce rapport est une constante qui est propre aux caractéristiques physiques du granulat. Elle permet alors de caractériser un granulat et d'établir un lien entre sa masse et son volume.

Le volume des grains est appelé le volume absolu et le volume des grains avec l'air est appelé le volume apparent. Puisqu'il existe deux volumes pour désigner un granulat.

La densité des grains solides du sol est donnée directement par la formule :

$$D_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_1 - m_3 - m_2}$$



Figure VI43 :Les éprouvettes de la masse volumique.

VI2.5- Pycnomètre (NF P 94-054) :

A- but : La présente norme a pour objet la détermination, au pycnomètre à eau, de la masse volumique des particules solides de sol.

B- Appareillage :

- Pycnomètre ;
- Volume : 150 ml ;
- Poids : Masse 50 g ;

C-Mode opératoire :

La prise d'essai est introduite dans le pycnomètre. Le pycnomètre est débarrassé de toute particule qui aurait pu adhérer sur sa surface extérieure puis est pesé avec son bouchon (m_2). Le ballon du pycnomètre est ensuite rempli d'eau distillée ou déminéralisée maintenue à la température ambiante. Lorsque le désaéragage est terminé, le bouchon avec son tube repère est placé sur le ballon du pycnomètre. Le remplissage est effectué avec de l'eau distillée ou déminéralisée jusqu'au repère et complété, si besoin, au bout de 30 min. Le pycnomètre est séché et pesé (m_3). Puis le pycnomètre est vidé, nettoyé et rempli d'eau distillée ou déminéralisée jusqu'au repère du

bouchon. Au bout de 30 min, le niveau est à nouveau mis en coïncidence avec le repère. L'ensemble, une fois essuyé, est pesé (m_4).

La masse volumique des particules solides est déterminée à partir de la formule suivante :

$$\rho_s = \frac{\rho_w (m_2 - m_1)}{(m_4 + m_2 - m_1 - m_3)}$$

avec:

m_1 : masse du pycnomètre vide,

m_2 : masse du pycnomètre contenant la prise d'essai,

m_3 : masse du pycnomètre, du sol et de l'eau,

m_4 : masse du pycnomètre plein d'eau,

ρ_w : masse volumique de l'eau conventionnellement prise égale à 1 000 kg/m³.

VI2.6- Analyse granulométrique :

A-Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056) :

Elle a pour but de déterminer la distribution des particules qui forment le squelette des sols en vue de leur classification.

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois séché, au moyen d'une série des tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulé sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse (figure VI39).



Figure VI44 :Appareillage d'analyse granulométrique (tamisage).

B- Analyse granulométrique par sédimentation (NF P 94-057) :

Les particules inférieures à 80 μm séparées du reste du sol par tamisage sont mises en suspension dans de l'eau additionnée d'une défloculation. Les particules sédimentent à différentes vitesses en relation avec leur taille. Au moyen d'un densimètre est mesurée l'évolution dans le temps de la masse volumique de la solution et de la profondeur d'immersion de l'appareil.

La distribution pondérale de la taille des particules est calculée à partir de ces données (figure II-5).

✚ **Appareillage** :Récipient, étuve, les éprouvettes, bac, agitateur manuel, densimètre, chronomètre.

✚ **Mode opératoire** :L'essai s'effectue en quatre étapes qui sont :

▪ **Traitement de l'échantillon de sol :**

- Le tamisât, au tamis de 80 μm de l'échantillon de sol est recueilli avec son eau de lavage dans un bac.
- Le tout est mis à décanter une fois redevenue claire, l'eau du bac est siphonnée sans entrainer d'éléments fins.

- Le bac et son contenu son ensuite placés dans une étuve.
- La prise dans essai égal à $80 \pm 10g$.

▪ **Imbibition de la prise :**

- Introduire de la prise d'essai dans le récipient utilisé avec l'agitateur mécanique.
- Ajouture 500 cm^3 du mélange (garder à la température ambiante).
- Laisser imbiber pendant ou mois 15h à la température ambiante.

▪ **Dispersion à l'agitateur mécanique**

- La prise d'essai et dispersée dans la solution d'eau et dé flocculant ou moyenne et l'agitateur (mécanique 3min à 10000tr/min).



Exécution de l'essai :

- Verser suspension dispersée dans une éprouvette d'essai immédiatement après à la fin de l'agitation mécanique.
- Rincer le récipient et les palettes de l'agitateur avec de l'eau distillée ou déminéralise.
- Compléter par de l'eau distillée ou déminéralisée jusqu'à 2000 cm^3 .
- Agiter vigoureusement verticalement la suspension au moyen de l'agitateur manuel.
- Retirer l'agitateur manuel et déclencher au même temps le chronomètre.
- Plonger le densimètre dans la suspension immédiatement après le déclenchement du chronomètre.



Figure VI45 : Essai Analyse granulométrique (par sédimentation).

VI2.7- Les limite d'Atterberg (NF P94-051):

A- But de l'essai : On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400 μm .

B- Matériels spéciales :

B-1- Pour la limite de liquidité (1^{ère} méthode) et de plasticité :

- Appareil de Casagrande.
- Outil à rainurer.
- Une spatule.
- Surface lisse non absorbante.

B-1- Pour la limite de liquidité (2^{ème} méthode) :

Appareil de pénétration à cône (la masse de la tige + le cône = 240g).



Figure VI46 : Appareillage de limites d'Atterberg.

C- Principe de l'essai :

Les limites d'Atterberg consistent en des teneurs en eau limites qui marquent la transition entre deux états de consistance dans un sol cohérent.

Ces limites permettent de classer les sols selon leur plasticité et sont obtenues de manière empirique à l'aide de méthodes normalisées.

D- Mode opératoire :

D-1- Préparation du sol :

- Brasser l'échantillon du sol ;
- Imbiber le sol dans un bac d'eau 24heures ;
- Tamisé le matériau par voie humide au tamis 0,4mm.
- Après une durée siphonnée l'eau clair du bac;
- L'eau excédentaire est évaporée à une température de 50°.

D-2-Détermination de la limite de liquidité :

D-2-1-Par la méthode de la coupelle de Casagrande selon la norme NF P 94-051 :

- Prendre environ 200 g de sol.
- Malaxer la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte homogène et presque fluide.
- Prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande laide de la spatule.
- Pratiquer une rainure dans cette pâte de telle sorte à la diviser en deux. L'outil à rainurer devra être tenu perpendiculairement à la coupelle.
- Soumettre la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés.
- Arrêter les chocs quand les deux lèvres se rejoignent sur environ 2 cm, noter le nombre de coups N correspondant.
- Prélever des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermé environ 5 g de sol afin d'en déterminer la teneur en eau.
- Homogénéiser le sol et le sécher un peu puis reprendre les opérations. Il faut au moins trois essais avec un nombre de coups croissant et de préférence bien étalée entre 15 et 35.



Figure .VI47 : Etaler la pâte dans la coupelle.



Figure VI48 : Pratiquer la rainure dans la pâte.



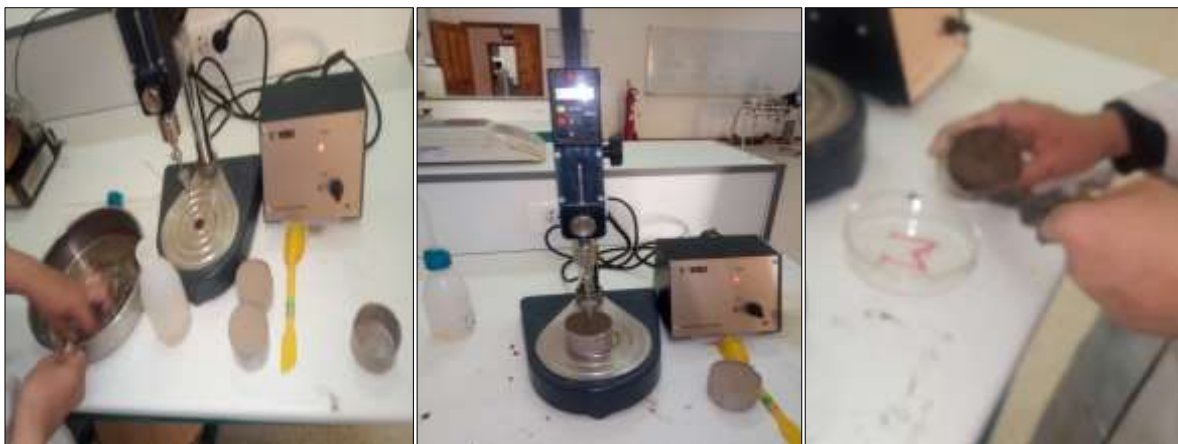
Figure VI49 : Prélèvement d'un échantillon.

D-2-2- Par la méthode de cône de pénétration (NF P 94-052-1) :

*- **Principale de l'essai** :L'essai consisté à mesurer, après un temps fixé, l'enfoncement d'un cône sous son propre poids dans un échantillon remanié.

***- Mode opératoire :**

- Malaxer la pâte sur une surface la lisse pour obtenir une pâte homogène presque fluide ;
- Remplir le récipient normalisé avec une spatule de cette pâte (attention aux bulles d'air) ;
- Araser afin d'obtenir une surface lisse et plane ;
- Ajuster la pointe normalisée à peu près au centre du récipient et pour qu'elle affleure la surface du sol (Légère trace lorsqu'on déplace le récipient) ;
- Repérer la position du cône ;
- Libérer le cône (masse de la tige +le cône =240g) et le laisser s'enfoncer dans le sol pendant $5s \pm 1s$. il se bloque automatiquement en fin de cycle (Figure ...) ;
- Noter sa nouvelle position. L'enfoncement h doit être compris entre 12 et 25 mm ;
- Enlever le cône et faire un prélèvement et mesurer sa teneur en eau ;
- Recommencer les opérations au moins 4 fois avec des teneurs en eau différentes ;
- Pour un gain de temps, vous réaliserez seulement 2 essais du moment que les valeurs obtenues encadrent l'enfoncement de référence 20mm : $h_1 < 20 < h_2$;
- La limite de liquidité (w_p) est la teneur en eau qui correspond à un enfoncement de 20 mm du cône. Elle est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples de valeurs expérimentales (enfoncement, w).La valeur obtenue est arrondie au nombre entier le plus proche.



**Figure VI50 : L'appareille
de pénétration Cône.**

**Figure VI51 : Enfoncement
du cône.**

**Figure VI52 : Prélèvement
d'un échantillon.**

D-3-Détermination de la limite de plasticité selon la norme NF P 94-051 :

- Former une boulette à partir de pâte préparée de la limite de liquidité ;
- Rouler la boulette sur plaque lisse de façon obtenu un rouleau de 10cm de longueur et 3,0mm à ± 5 de diamètre ;
- La limite de plasticité est obtenue lorsque le rouleau se fissure ;
- Prélever la partie fissurée du rouleau et l'introduire dans l'étuve pour déterminer sa teneur en eau ;
- Effectuer plusieurs essais avec des nouvelles boulettes.



Figure VI53 : Formation des rouleaux.

Figure VI54 : Obtention de la limite de plasticité.

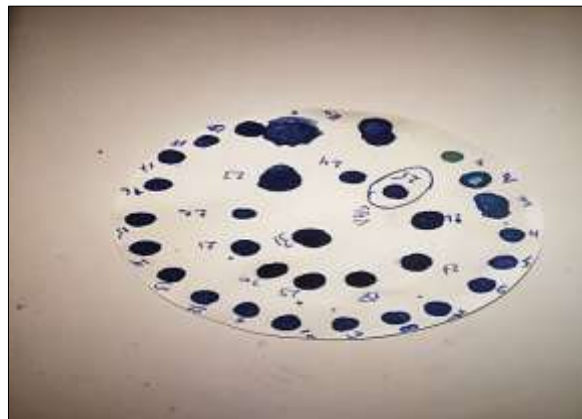
VI2.8- La capacité d'absorption de bleu de méthylène(NF P94-068) :**A- But de l'essai :**

Evaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.



FigureVI55 :Essai au bleu de méthylène.

Le principe de la méthode consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre.



FigureVI56 : Test positif.

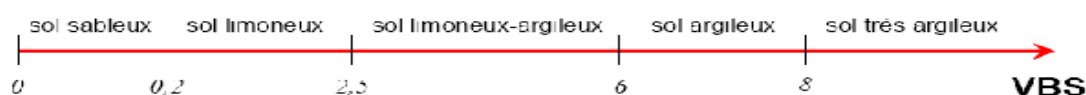
La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu, entouré d'une zone humide incolore. La saturation des fines en bleu, se traduit par la formation d'une auréole bleu clair persistante autour du dépôt central.

L'essai au bleu de méthylène est pratiqué sur les fines (ensemble des grains passant au tamis 80 μm) contenues dans un sol dans le but de révéler leur nature argileuse et de déterminer leur concentration

On appelle valeur au bleu de méthylène d'un sol VBS, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fines.

$$VBS \text{ (g)} = m_{\text{bleu}}$$

Ordre de grandeur :



VI3-Essais mécaniques :

VI3.1- Essais Proctor normal (NF P94-093) :

L'essai Proctor est un essai de compactage réalisé en laboratoire qui a pour but déterminer l'influence de la teneur en eau (w_{optimum} w_{OPN} exprimée en%) d'un matériau sur sa compactibilité (exprimée par la masse volumique sèche ρ_d en g/cm^3 ou t/m^3). Conditions d'essai : Le matériau est porté à différentes teneurs en eau et chacun des mélanges est ensuite compacté par couche dans un moule cylindrique au moyen d'un marteau de dimension et de masse normalisées que l'on laisse tomber librement d'une hauteur normalisée, la masse volumique sèche de l'échantillon ainsi compacté est déterminée pour chaque teneur en eau (figure VI52).



Figure VI57 : Moule Proctor.

VI3.2- Essais de portance C.B.R (NF P 94-078) :

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des force observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements, l'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés.

A- Essai C.B.R immédiat :

Placer l'éprouvette sur la presse en position centrée par rapport au piston de poinçonnement et on procède ou poinçonnement de manière suivant ; Mettre en contact et surface supérieur d'éprouvette vers le piston, à l'aide des dispositifs prévus sur la presse jusqu'à ce que le piston vienne affleurer le matériau. Régler la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant enfoncement du poinçon (figure II.11). Noter les efforts s de poinçonnent pour enfoncements suivant : 0,625 ; 1,25 ; 2 ; 2,5 ; 5 ; 7,5 et 10mm. L'indice de recherché et par conversion la plus grande des de valeurs suivant

$$\text{IPI} = \frac{\text{Effort de pénétration à 2.5 mm d'enfoncement (kN)} \times 100}{13,35}$$

$$\text{IPI} = \frac{\text{Effort de pénétration à 5.0 mm d'enfoncement (kN)} \times 100}{19,93}$$



Figure VI.58 : Appareil de poinçonnement.

B-Essai C.B.R après imbibition :

Après quatre (4) jours d'immersion (± 2 h) on mesure la hauteur de gonflement Δh Indiquée par le comparateur, on extrait l'ensemble hors du bac d'immersion en observant un temps d'égouttage de 15 minutes puis on dépose le trépied, le comparateur, les surcharges et le disque de gonflement. La même procédure que la détermination de l'indice C.B.R immédiat.

La valeur de déformation de l'éprouvette g , exprimé en pourcentage : On suivra la même procédure que celle de la détermination de l'indice C.B.R immédiat disque de gonflement (figure II-10). La valeur de déformation de l'éprouvette g , exprimé en pourcentage : $g \% = [\Delta h/h] \times 100$ On suivra la même procédure que celle la détermination de l'indice de C.B.R immédiat.



Figure VI.59 : Imbibition des essais de C.B.R.

II.3.3- Essai à la boîte de cisaillement directe (NF P 94-071-1) :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi-boîtiers indépendantes dans notre cas le but est de déterminer l'effort de cisaillement et l'échantillon de sol est préparé selon les caractéristiques optimums et sous l'énergie de Proctor normal, L'essai adopté pour le cisaillement est non consolidé non drainé(UU), à une vitesse de 0.6 mm/min. Dans cet essai l'échantillon est constitué d'une plaquette carrée dont les dimensions usuelles sont : 6cm ×6 cm × h = 3 cm.

A- Appareillage :

- Le bâti ; la boîte de cisaillement (une boîte composée de deux parties : une demi-botte ;inférieure fixe et demi-botte supérieure mobile) ;
- Le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette ;
- Le dispositif produisant le déplacement relatif horizontal entre les deux demi-bottes ;
- Le système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps.



Figure VI60 :Appareille de cisaillement direct.

B-Réalisation de l'essai :

L'essai comporte le cisaillement d'au moins trois éprouvettes de mêmes dimensions, préparées dans Les mêmes conditions, cisailées à la même vitesse mais soumises à des efforts verticaux différents (1bar, 2bar et 4bar).

C-Mise en place :

- Placer le piston muni de sa plaque drainante sur le sommet de L'éprouvette ;
- Noter, après fixation du système de mesure de l'effort de cisaillement horizontal (T), et avant application de tout effort, la valeur d'origine du capteur de l'effort (T) ;
- Régler la position du capteur de mesure du déplacement relatif horizontal entre les deux demi-bottes et noter la valeur d'origine ;
- Positionner le capteur de mesure du déplacement vertical du piston par rapport à un repère fixe et noter la valeur d'origine ;
- Appliquer l'effort (N) sur la partie supérieure du piston ;
- Mesurer le déplacement vertical du piston S_h en fonction du temps.

VI3.4- Mesure la cinétique du gonflement:

Le gonflement des sols argileux est un phénomène très lent, en raison de la faible perméabilité des argiles. Il est donc fondamental de commencer l'étude du gonflement par l'étude de la cinétique, c'est-à-dire la relation existante entre la déformation de gonflement et le temps.

Nous avons utilisé pour la détermination du potentiel de gonflement la méthode du gonflement libre, qui se base sur la mesure directe de l'expansion d'un échantillon de sol en utilisant un odomètre. L'échantillon est soumis au seul poids du piston, et mis en contact avec un réservoir d'eau pour assurer la saturation de l'échantillon.

La variation de la hauteur de l'échantillon est mesurée à l'aide du comparateur en fonction du temps jusqu'à ce qu'elle se stabilise (Guiras et Masrouri. 2002). La valeur finale indique la variation relative du volume de l'échantillon, noté ε_g et exprimé en pourcentage.



Figure VI61 : L'appareil œdométrique.

A- Préparation de l'échantillon :

Les essais ont été effectués sur des échantillons remaniés. Après avoir broyé finement le sol, la poudre est mélangée à l'eau de façon homogène. Conservé l'échantillon dans un sac étanche pendant 24 heures pour la diffusion de l'eau, puis compacté sous presse à vitesse lente dans le moule Proctor. La teneur en eau des échantillons est fixée à 11% et leur densité sèche à 1,97 (teneur en eau et densité sèche de l'optimum Proctor) puis séché l'échantillon dans l'étuve à 50°.



Figure VI62 : Préparation de l'échantillon. Figure VI63 :L'échantillon à la fin de l'essai

VI4- Conclusion :

La mécanique des sols est une théorie qui exprime les règles du sol naturel. La mécanique des a un très grand rôle en tant que science de l'ingénieur qui ne peut être comparée qu'à la science de la "résistance des matériaux". Sans connaître les principes de la mécanique des sols à travers les essais de laboratoire que nous avons menés, il est impossible d'obtenir et d'arriver à une conception, installations industrielles modernes, telles que les bâtiments résidentiels, en particulier la construction de routes à plusieurs étages, la construction en terre, la construction de génie hydraulique, comme les barrages en terre, les barrages à eau et les bâtiments de centrales électriques pour la production d'électricité, entre autres.

Chapitre VII :
RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

VII.1. Introduction :

Ce chapitre regroupe l'ensemble des résultats des essais réalisés sur le sol étudié et leur interprétation, qui comporte les essais d'identification (analyse minéralogique, analyses chimique, paramètres d'état, granularité, limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène), les essais mécaniques (Proctor normale). On a comparé nos résultats avec ceux qui sont obtenus par Belkheir (2013) réaliser sur des échantillon pris de la même zone.

VII.2. Essais d'identifications :

VII.2.1. La masse volumique des grains solides :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai La masse volumique des grains solides.

Tableau VII.7. Détermination de la masse volumique des particules solide.

	M	V	ρ_s (g/cm ³)	Moyenne
Essai : 01	50	20	2.5	2.66
Essai : 02	50	19	2.6	
Essai : 03	50	19	2.6	

Le résultat de Belkheir (2013) : ρ_s (Belkheir 2013) = 2.43 g/cm³

$$\rho_s = 2.66 \text{ g/cm}^3 > \rho_s \text{ (Belkheir 2013)} = 2.43 \text{ g/cm}^3.$$

VII.2.2. Pycnomètre (NF P 94-054) :

Tableau VII.8. Les résultats de l'essai de pycnomètre.

N° essai	1 ^{er} essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
M ₀	69	69	69	69
M ₁	89	89	89	89
M ₂	188.4	188.3	188.6	188.5
M ₃	176.06	176.06	176.06	176.06
ρ_s	2.61	2.57	2.68	2.64
Moyenne	2.63			

VII.2.3. Limites d’Atterberg :

Les limites de liquidité et de plasticité, dites limites d’Atterberg ou limites de consistance, sont des paramètres géotechniques destinés à identifier les sols, caractériser leur consistance et permettre de ce fait selon les normes : NFP 94-051 et NFP 94-051-1.

a- La limite de liquidité (selon la norme NF P94-051) :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d’essai de limite de liquidité.

Tableau VII.9. Détermination de la limite de liquidité.

Nombre d'essais	1 ^{er} essai		2 ^{ème} essai		3 ^{ème} essai	
Nombre de coups	16		23		31	
Numéro de la tare	3	4	5	6	7	8
Masse de la tare	51.10	47.36	44.78	43.67	13	13.20
Masse du sol humide+la tare	74.45	72.95	71.94	64.52	45.35	46.72
Masse du sol sec+la tare	66.80	64.6	63.3	57.89	35.48	36.49
Masse d'eau	7.65	7.99	8.64	6.63	9.87	10.23
Masse du sol sec	15.7	17.24	18.52	14.22	22.48	23.29
Teneur en eau	48.7	46.3	46.6	46.6	43.9	43.9
Moyenne	47.5		46.6		43.9	
WL	46					

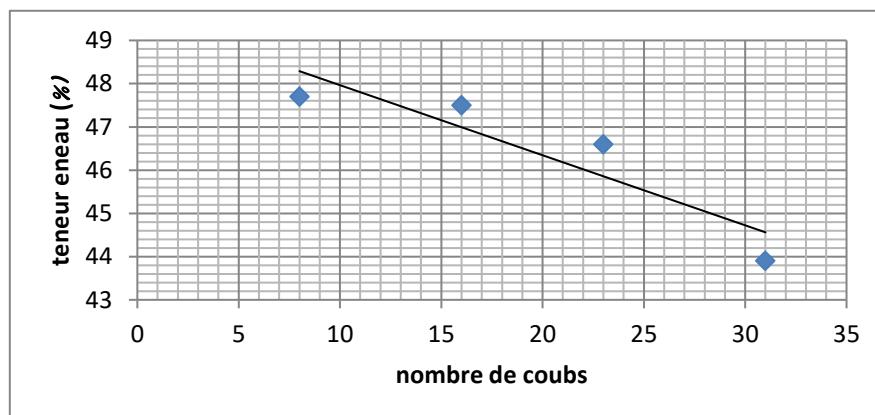


Figure VII.59. La courbe de la limite de liquidité.

b- La limite de plasticité (selon la norme NF P94-051) :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d’essai de limite de plasticité.

Tableau VII.10. Détermination de la limite de plasticité.

	Essai 01	Essai 02	Essai 03
Masse de la tare	47.26	47.54	46.86
Masse du sol humide + la tare	48.65	49.19	48.01
Masse du sol sec + la tare	48.39	48.78	47.78
Masse d'eau	0.26	0.41	0.23
Masse du sol sec	1.13	1.24	0.92
Teneur en eau (%)	23	33.06	25
Moyenne	27.02		

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats des essais des limites d'Atterberg.

Tableau VII.11. Les résultats des essais d'Atterberg.

	w_L (%)	w_P (%)	I_P (%)
01	46	27.02	18.98

[24]	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)
02	25.30	10.98	14.32

La valeur de la teneur en eau obtenue dans le premier test (01) de notre expérience est $W_L = 46\%$, $W_P = 27,02\%$ et $IP = 18,98\%$; Ces valeurs que nous avons obtenues sont très grandes lorsque nous les comparons avec les résultats de BELKHEIR B. (02) ((2013) Influence du traitement par la chaux sur les caractéristiques mécaniques des sédiments de dragage de barrage K'sob. Mémoire de Master, Université de M'sila.) Qui énonce ses valeur $W_L = 25,3\%$; $W_P = 10,98$; $IP = 14,32\%$.

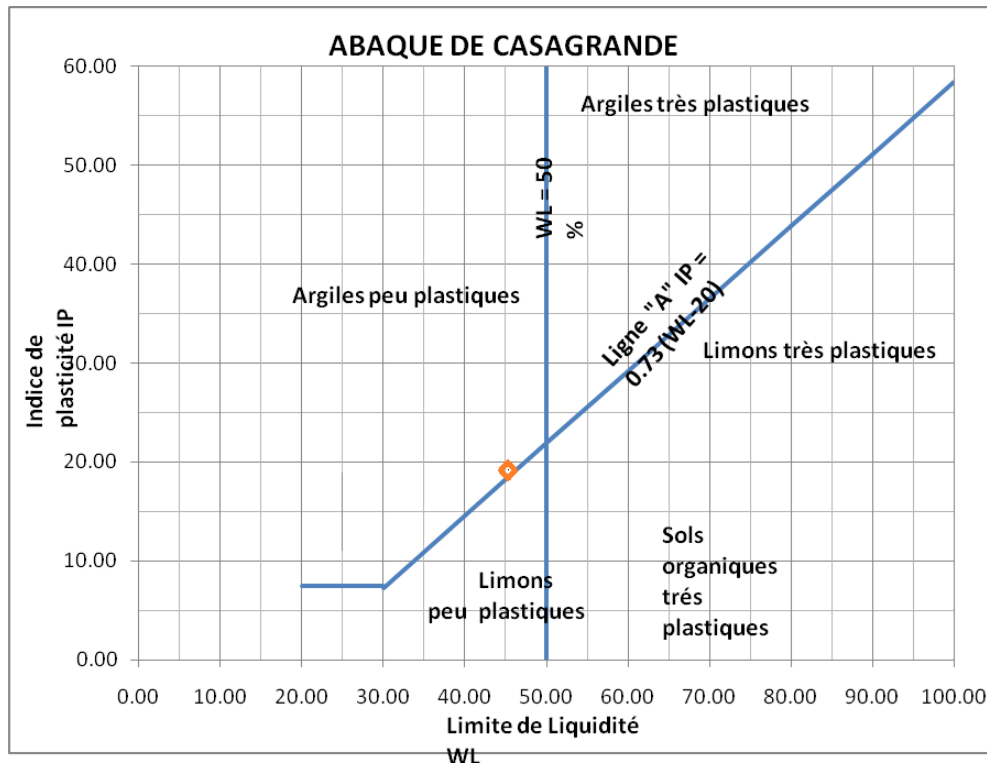


Figure VII.60. Détermination de la limite de liquidité.

c- La limite de liquidité par pénétration à cône (selon la norme NF P94-051-1) :

Le tableau ci-dessous présente la récapitulation des résultats d'essai de pénétration à cône.

Tableau VII.12. Détermination de la limite de liquidité par pénétration à cône.

Nombre d'essais	1er essai	2 ^{ème} essai	3 ^{ème} essai	4 ^{ème} essai
L'enfoncement	30,08	21,66	14,28	16,91
Numéro de la tare	1	2	3	4
Masse de la tare	47,32	47,38	46,86	48,32
Masse du sol humide + la tare	91,63	93,47	80,62	97,33
Masse du sol sec + la tare	81,01	83,18	74,15	86,92
Masse d'eau	10,62	10,29	6,47	10,41
Masse du sol sec	33,71	35,80	27,29	38,60
Teneur en eau	31,5	28,74	23,70	26,96
WL	26			

VII.2.4. La capacité d'absorption de bleu de méthylène VBS :

D'après les résultats obtenus, la valeur de bleu de l'argile est supérieure à 0.08, donc selon la classification de (Hang.1984) et la norme française NF P 11-300 il s'agit d'un sol argileux,

La valeur du bleu du sol est donnée par la formule :

$$VBS = \frac{m}{V}$$

On a réalisé trois (3) essais au bleu de méthylène, les résultats obtenus sont repris dans le Tableau VII.13 :

Tableau VII.13. Les résultats de l'essai de bleu de méthylène.

N° d'essai	Masse du sol (g)	Volume de la solution (cm ³)	VBS (g/cm ³)	Moyenne
Essai 01	40	152	3.80	4.11
Essai 02	40	157	3.87	
Essai 03	40	187	4.67	

VBS (2) = 1.64 g/cm³ [24]

Nous avons constaté dans notre expérience que la valeur de VBS (01) est de 4,11 g/cm³ par rapport à VBS qui a été trouvé dans l'autre expérience (02), qui avait une valeur de 1,64 g/cm³, donc sa valeur est très grande.

Tableau VII.14. Valeur de bleu de méthylène de quelques sols.

Vb (%)	Sols
0.1	sols insensibles à l'eau
0.2	Appariation de la sensibilité à l'eau
1.5	Seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols argileux
2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques 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

VII.3. Les essais mécaniques :

VII.3.1. Essai Proctor :

Le tableau VII.18 résume les caractéristiques des essais du Proctor normal effectués sur le sol témoin étudié.

Tableau VII.18. Les résultats de l'essai Proctor normale.

% d'eau ajouté	12%		16%		20%		24%	
m sol humide + moule (g)	3289		3399		3516		3487	
m du moule (g)	1722		1722		1722		1722	
m du sol humide (g)	1567		1677		1794		1765	
Volume du moule (cm³)	937,38		937,38		937,38		937,38	
ρ_h (g/cm³)	1,67		1,78		1,91		1,88	
ρ_d (g/cm³)	1,42		1,56		1,57		1,48	
N° Tare	A20	A22	IN	A12	L10	K2G	K1G	H
m sol humide + tare (g)	33	45	22	38	52	27	32	60
m sol sec + tare (g)	30	43	20	36	46	24	27	52
m Tare (g)	13	24	09	24	21	09	09	21
m Eau (g)	03	02	02	02	06	03	05	08
m Sol sec (g)	17	19	11	12	25	15	18	31
Teneur en eau w (%)	17.64	10.52	18.18	16.66	24,00	20,00	27,77	25,80
Moyenne W (%)	14.08		17.42		22,00		26,78	

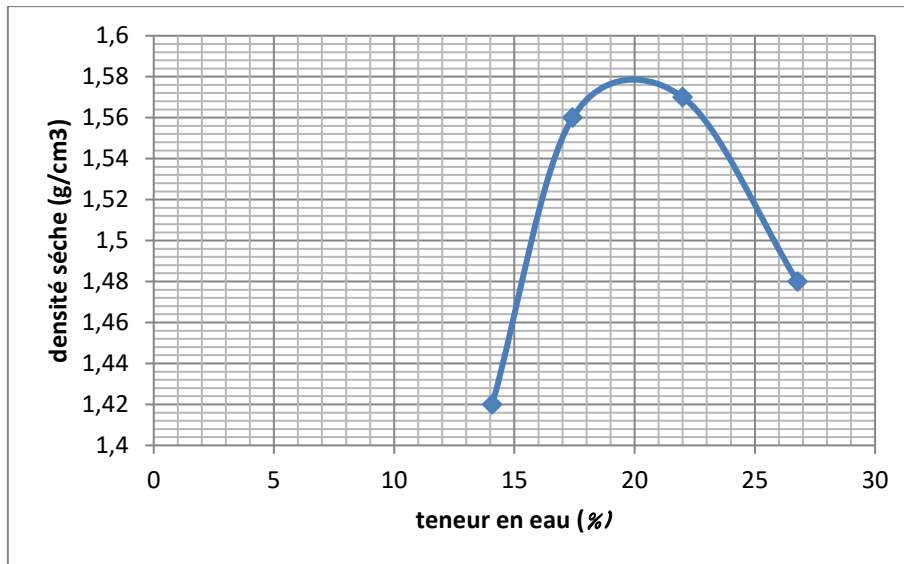


Figure VII.64. La courbe de l'essai Proctor normale.

Le tableau (VII.18) et la courbe (VII.64) présentent les résultats obtenus à partir de l'essai Proctor normal.

La teneur en eau optimum (Proctor normale) : $w_{opt} = 20\%$ et le poids volumique sec maximum à l'optimum (Proctor normale) : $\rho_{d\ max} = 1.58\text{ g/cm}^3$.

(La teneur en eau optimum (Proctor normale) : $w_{opt} = 11\%$ et le poids volumique sec maximum à l'optimum (Proctor modifié) : $\rho_{d\ max} = 1.97\text{ kN/m}^3$ [24]).

De là, nous notons que les résultats La teneur en eau optimum obtenus à partir du test de Proctor normal dans notre expérience sont supérieurs à ceux de l'expérience par rapport à ses valeurs.

$$w_{opt} (01) = 20\% > w_{opt} (02) = 11\%$$

De même, dans le Proctor modifié, on constate que le poids volumique sec maximum à l'optimum :

$$\rho_{d\ max} (01) = 1.58\text{ g/cm}^3 > \rho_{d\ max}(02) = 1.97\text{ kN/m}^3.$$

VII.4.Conclusion :

La vase utilisée dans notre étude est une vase naturelle. Elle vient plus précisément du barrage de k'sob situé dans la wilaya de m'sila à l'est d'Algérie.

L'étape de caractérisation est une étape indispensable pour connaître les propriétés des sédiments, aussi bien d'un point de vue physique, chimique ou minéralogique. Ce n'est qu'à partir de cette connaissance qu'on pourra envisager une voie de valorisation, en prenant en compte la réactivité potentielle des sédiments lorsqu'ils seront introduits dans un matériau de construction. Les analyses physiques effectuées sur des échantillons prélevés du fond du barrage ont donné les résultats suivants : les essais physiques ont donné les valeurs suivantes : le poids volumique des particules solides ($\gamma_s = 26.66 \text{ kN/m}^3$), la limite de liquidité ($w_L = 46\%$), la limite de plasticité ($w_P = 27.02\%$) l'indice de plasticité ($IP = 18.98\%$). Pour l'essai Proctor, la teneur en eau optimum (Proctor normale) : $w_{opt} = 11\%$ et le poids volumique sec maximum à l'optimum (Proctor modifié) : $\gamma_{d \max} = 1.97 \text{ kN/m}^3$.

Ces analyses ont été réalisées au laboratoire géotechnique de l'université de la faculté de Technologie M'sila « Algérie ». Les différents essais de caractérisations physico-chimiques et minéralogiques permettent de classer le sédiment brut selon le GTR 2000 et NF P11-300. Du point de vue granulométrique, les échantillons de sédiment brut se classent en rubrique de sols fins, note classe A avec une proportion en matière organique inférieure à 4.4%, la sous-classe peut être déterminée en fonction de l'activité argileuse (VBS) et du caractère plastique, toute fois les paramètres obtenus entrant en jeu sont contradictoires. Effectivement, la valeur au bleu nous oriente le sédiment vers classe A2, les limites d'Atterberg nous permettent d'identifier le sédiment brut comme la sous classe A3, le GTR a indiqué que des que la valeur de l' IP est entre 12 et 40, il constitue le critère d'identification le mieux adapte. Donc, il est possible de classer noter sédiment brut en sous classe A3.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale :

Les travaux de recherche entrepris dans ce mémoire s'inscrivent dans une problématique de gestion des sédiments de barrages qui représentent un problème économique et environnemental majeur.

La capacité de stockage des barrages est sujette à une réduction progressive au cours du temps. Cette perte de capacité, parfois élevée, dépasse les prévisions de l'alluvionnement de la retenue. La quantification des sédiments piégés se base soit sur les bilans de matière solide à l'échelle d'une retenue, soit sur des levés bathymétriques ou topographiques. Le barrage K'sob qui fut construit entre 1934 et 1940, a vu sa capacité réduite de 53% (étude 2004), à cause d'une pente moyenne de 15,8 %, ainsi que la nature lithologique du bassin versant et la mise en dépôt de la boue de dragage du barrage K'sob, est devenue de plus en plus coûteuse. En 2009, il devient crucial et rend la question relative à leur devenir plus que jamais d'actualité.

La présente étude a été réalisée dans le but de définir une méthodologie pour la gestion des sédiments de dragage en vue d'une valorisation dans le domaine du génie civil. Elle a été établie en premier lieu par élaboration d'un nouveau matériau routier à base de sédiment des barrages dotés pour une utilisation en couche de fondation pour une route.

A partir de ce travail (étude en laboratoire et in-situ), nous avons montré l'efficacité de la méthodologie de valorisation d'un matériau considéré comme déchet. Cette méthodologie intègre un prétraitement dans des bassins de décantation, une réalisation d'un ouvrage routier à base de matériau alternatif. Ceci a rendu la valorisation du sédiment dans le génie civil possible.

Chercheurs et ingénieurs ont étudiés différentes solutions pour rendre ces boues utilisables à grandes échelles dans différentes industries, par exemple leurs utilisations dans la poterie ou la fabrication de brique, ainsi que leurs usages. Il peut être utilisé dans le domaine de l'environnement par exemple amendement des sols et réhabilitation de sites naturels.

Puisqu'il s'agit d'un nouveau matériau alternatif, une étude approfondie des propriétés physiques, chimiques, mécaniques et environnementales des dépôts était nécessaire.

En perspective: la poursuite de notre travail est d'étudier des formulations issues de sédiments de dragage sur les critères mécaniques et environnementaux. La continuité dans cet axe de recherche constitue des horizons nécessitant plus de moyens, ainsi qu'un outil numérique qui peut fournir des résultats appréciables.

*Références
bibliographique*

Références :

[1]	Dr. Ahmed seddiki :not de cour barrage en terre (2019).
[2]	PDF Divers types de barrages.
[3]	TPE Barrages et Energie hydroélectrique.
[4]	Margat, J., &Treyer, S. (2004). L'eau des Méditerranéens: situation et perspectives. PNUE-PAM (No. 158). Plan Bleu, Technical Report Series.
[5]	Pallas, P. (1995). Conjunctive use of surface and groundwater. In: Land and water integration and river basin management. Rome: FAO Land and Water Bulletins.
[6]	Remini, B. (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie: importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.
[7]	Boudjlel, M. (2013). Mémoire Influence du traitement par ciment sur les caractéristiques mécaniques des sédiments du barrage K'sob. Mémoire de Master, Université de M'sila.
[8]	Hadj Sadok, R. (2019). Analyse du cycle de vie des sédiments de dragage. Thèse de Doctorat d'état, Université de Mostaganem.
[9]	REMINI, B. (2000). L'envasement des barrages : Quelques exemples Algériens. Bull. Réseaux Erosion IRD, Montpellier, (20),165-171.
[10]	Manser,A. (undated). Erosion et envasement des barrages réservoirs [online]. ANBT Algérie. (Availableat: http://docplayer.fr/1600124-Erosion-et-envasementdes-barrages-reservoirs.html)
[11]	Serbah, B. (2011). Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda Tiaret. Mémoire de Magister. Université AboubakrBelkaïd – Tlemcen.
[12]	Nouaria, A.(2019). Valorisation des sédiments de barrages Cas du barrage de Ain Dalia (Souk Ahras).Mémoire de Master, l'Université 8 Mai 1945 de Guelma.
[13]	Benaissa, A.(2017)Valorisation de la vase pour l'utilisation dans la technique routière (Sidi Bel Abbes). Thèse de Doctorat, Université DjillaliLiabes.
[14]	Achour, R. (2013). Valorisation et caractérisation de la durabilité d'un matériau routier et d'un béton à base de sédiments de dragage. Thèse de Doctorat, Université de Sherbrooke.
[15]	Word (Barrage K'SOB).

[16]	Bouchedja, A. (2012). La politique nationale de l'eau en Algérie. 10 ^{ème} Conférence Internationale (Euro-RIOB 2012), Istanbul, TURQUIE. 17-19 Octobre 2012.
[17]	Hasbaia, M., Hedjazi, A., & Benayada, L. (2012). Variabilité de l'érosion hydrique dans le bassin du Hodna: cas du sous-bassin versant de l'oued elham. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 1(1), 28-32.
[18]	Despois, J. (1953). Le Hodna (Algérie). Université d'Alger Faculté des lettres et sciences humaines. Volume 2 ; Volume 24 de Publications.
[19]	Benkadja, R., Benhadouga, M., & Benkadja, A. (2013). Quantification des matières en suspension et valorisation des sédiments de dragage à l'échelle d'un bassin semi-aride: Cas du barrage du K'sob (Algérie). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 72(3-4), 523-531.
[20]	Serbah, B. (2011). Etude et valorisation des sédiments de dragage du barrage Bakhadda Tiaret. Mémoire de Magister. Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
[21]	Rossi, P., Gavois, L., & Raoul, G. (2008). Classification des matériaux. Ed. Techniques Ingénieur (C 5 361 – 1).
[22]	Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couches de formes. Site : « https://www.ente-aix.fr/documents/135-geotechnique/4_ConditionsUtilisation/co/cours_1_CdUtilisation.html »
[23]	Houaria, M. (2015). Etude des propriétés physico-chimiques des sédiments du Barrage de Sidi M'Hamed Benaouda (W. Relizane) en vue de leur Valorisation. Mémoire de magister. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
[24]	(BELKHEIR B. (2013) Influence du traitement par la chaux sur les caractéristiques mécaniques des sédiments de dragage de barrage K'sob. Mémoire de Master, Université de M'sila.)

Les norme :

Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un matériau :Méthode par calcination	XP P 94-047
Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire : Méthodes de la trousse coupante, du moule etde l'immersion dans l'eau	NF P 94-053
Détermination de la masse volumique des particules solides des sols : Méthode du pycnomètre à eau	NF P 94-054
Analyse granulométrique : Méthode par tamisage à sec après lavage	NF P 94-056
Analyse granulométrique des sols : Méthode par sédimentation	NF P 94-057
Détermination des limites d'Atterberg : Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau	NF P94-051
Détermination des limites d'Atterberg : Partie 1 : Limite de liquidité - Méthode du cône de pénétration	NF P 94-052-1
Mesure de la capacitéd'adsorption de bleu de méthylèned'un sol ou d'un matériau rocheux : Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un solou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache	NF P94-068
Détermination des référencesde compactage d'un matériau : Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié	NF P94-093

Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat : Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR	NF P 94-078
Essai de cisaillement rectiligne à la boîte : Partie 1 : Cisaillement direct	NF P 94-071-1