

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed BOUDIAF



Faculté de Chimie - Département de Chimie Organique Industrielle
Laboratoire des sciences, technologie et Génie des Procédés - LSTGP

MEMOIRE

De fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat LMD

Domaine : Sciences et technologie - ST **Filière :** Génie des Procédés – GP

Parcours : Chimie Industrielle Environnementale – CIE

Thème

*Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'Oued Fodda et
valorisation en tant que matériau de construction*

Présenté par :

-Benasla Mohammed

Sous la direction de :

-Pr BENAMARA Lakhdar Promoteur

-Pr HADJEL Mohammed Co-encadreur

USTOMB

USTOMB

Membre du jury :

2014-2015

Created with

Remerciements

Tous mes remerciements et ma gratitude à mes encadreurs Mr L.Benamara et Mr M.Hadjel pour leurs orientation et leurs conseils si judicieux,

Mes vifs remerciement aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

A tous mes enseignants sans exception.

Mes remerciements les plus distingués pour le personnel du complexe CERAL et précisément Mr Lotfi. Mr Kamel et M^{me} Nadia

En fin j'adresse mes remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma très Chère Mère, qui avec son amour et sa patience m'a donné le meilleur d'elle même. A mon Père, qui avec sa sagesse a su m'épauler et m'orienter vers l'aboutissement de mes études. A mes frères Ahmed, Houari, Khaled, à ma sœur Sorya, Houaria, Fatima et Houria.

À mon très cher ami Hamza et à toute sa famille,

A Mr Farhat et sa famille,

A mes, fidèle amis : Djilali, Amine, Yacine, Mohamed et Benali

Une spéciale dédicace à Mr Dandani Mahfoud .

Résumé

La retenue du barrage de l'Oued Fodda est soumise à une forte Sédimentation en raison des volumes considérables d'apports solides transportés chaque année par les rivières surtout lors des fortes crues. C'est ainsi, qu'un volume de 103.10^6 m³ de vase s'est déposé réduisant ainsi sa capacité à moins de 45 % [1]. Afin de prolonger la «durée de vie» de cet ouvrage, le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable malgré les énormes quantités de vases extraites par les vannes de fond du barrage et qui ne trouvent aucune application et leur stockage pose actuellement un problème qui menace l'environnement. Dans cet article, nous allons faire une étude basée sur des analyses physiques, chimiques et minéralogiques de la vase prélevée dans la retenue du barrage de l'Oued Fodda. Les résultats des analyses obtenus vérifient bien les normes d'une argile utilisée pour la fabrication de céramique.

Mots clés : barrage, sédimentation, vase, dragage, valorisation.

Abstract

The dam of Oued Fodda is subject to high sedimentation due to the large volumes of sediment load transported by rivers each year especially during heavy floods. Thus, a volume of 103.10^6 m^3 of mud is deposited and reducing its capacity to less than 45% [1]. To prolong the "life" of this dam, the dredging of the reservoir has become an indispensable solution despite the huge amounts of vessels extracted by the bottom gates of the dam and finds no application and storage poses a problem now threatening the environment. In this article, we will conduct a study based on physical, chemical and mineralogical analysis of mud taken from the dam of Oued Fodda. The analysis results obtained satisfy the standards of good clay used for the manufacture of ceramics.

Keywords: Dam; Sedimentation; Mud; Dredging; Valorization

Created with



nitro PDF[®]

professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

المخلص:

يتعرض سد واد الفضة الى ترسب عالي نظرا للكميات الكبيرة للرواسب المنقولة و المحمولة من الأنهار سنويا و خاصة خلال الفيضانات الغزيرة حيث بلغ حجم الطمي الراسب في السد الى 103 مليون متر مكعب مما خفض في نسبة قدرة تخزين السد الى أقل من 45 % لتمديد المدة الزمنية لإستغلاله أصبح جرفه حلا لا غنى عنه على الرغم من الكميات الهائلة من الرواسب المستخرجة من الأبواب السفلية للسد و التي تسبب حاليا مشكلة تهدد البيئة و ذلك لعدم إستغلالها و تثمينها .

في هذه المذكرة ركزنا على دراسة الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و المعدنية للطمي المستخرج من سد واد الفضة و كانت نتائج التحاليل التي تم الحصول عليها جيدة و مطابقة لمعايير الطين المستخدم في صناعة السيراميك .

كلمات البحث:

السد-الترسب-الطمي-الجرف-التثمين

LISTE DES FIGURES

- Figure (I.1):** Classification des Sédiments par Taille selon l'échelle de Wentworth
- Figure (I.2):** Cycle altération –transport – sédimentation (Philippe Joey 2005)
- Figure (I.3):** Processus sédimentaires (P. Deslauriers et J. Couveignes 2001)
- Figure (I.4):** Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986) cite par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C
- Figure (I.5):** Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [N.PROULHAC, KER LANN 2006]
- Figure (I.6):** Les différentes phases du tassement (d'après Migniot 1989). [Cite par A. SEMCHA 2006]
- Figure (I.7):** Classification de transport solide
- Figure (I.8):** mode d'envasement
- Figure (I.9):** Diagramme érosion-transport-sédimentation d'après HJULSTROM (1935) cite par (Philippe .J 2005)
- Figure (I.10):** schématisation de la bathymétrie par nivellement (N.PROULHAC, KER LANN 2006)
- Figure (I.11):** Schématisation de la bathymétrie par échosondeur
- Figure (I.12):** Représente de façon schématique la disposition de "l'hydro aspirateur"
- Figure (I.13):** Drague à benne de verantius 1595
- Figure (I.14):** Drague à godets de F.X d'Arles de ligniere 1760
- Figure (I.15):** Récapitulatif des différents types de dragues mécaniques. [Roland Boutin 2000]
- Figure (I.16):** Les dragues hydrauliques. [Roland Boutin 2000]
- Figure (I.17):** Représentation des volumes extraits selon la technique de dragage utilise [PROULHAC .N, KERLANN 2006]
- Figure (II.1) :** les principaux barrages en Algérie
- Figure (III.1):** Une couche d'argile dans un bassin de lagunage
- Figure (III.2):** Coupe type d'un ouvrage routier (d'après CETE, 2000)
- Figure (V.1) :** Localisation d'échantillon prélevé
- Figure (V.2) :** La courbe granulométrique (pourcentage des tamisats entre 99 et 100 %)
- Figure (V.3) :** la courbe granulométrique finale de la vase de l'Oued Fodda
- Figure (V.4) :** Couple (ω_L , I_p) de la vase du barrage de l'Oued Fodda placé dans le diagramme de plasticité de Casagrande

Figure (V.5) : Abaque de l'indice de plasticité

Figure (V.6) : Cellule de Couette cylindrique

Figure (V.7) : La géométrie Cône-Plan

Figure (V.8) : Rhéogramme d'un fluide Newtonien

Figure (V.9) : Courbes d'écoulement des principales catégories de fluides sans contrainte critique

Figure (V.10) : Rhéogramme enregistré par un rhéomètre à contrainte imposée

Figure (V.11) : Rhéogramme enregistré par un rhéomètre à vitesse de cisaillement imposée

Figure (V.12) : la viscosité de la vase de l'Oued Fodda à l'état fluide en fonction de la concentration volumique

Figure (V.13) : Analyse minéralogique qualitatif par diffraction des rayons X

Figure (V.14) : MEB de la vase de l'Oued Fodda

Figure (VI.1) : Contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse

Figure (VI.2) : Viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement

Figure (VI.3) : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la température

Figure (VI.4) : MEB du matériau de l'Oued Fodda fritté à 1000°C

Figure (VI.5) : Variation de l'écart de longueur en fonction de la température

Figure (VI.6) : Variation de l'écart de largeur en fonction de la température

Figure (VI.7) : Variation de la perte au feu en fonction de la température

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1): Les plus simples définitions des faciès d'après Allen (cite par Boutin, 2000)

Tableau (II.1) : le taux d'envasement des barrages en Algérie

Tableau (II.2) : Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010

Tableau (II.3) : vase évacuée par le dragage 1992

Tableau (IV.1) : Evolution de la lame d'eau

Tableau (IV.2) : Apports total annuel du barrage de l'Oued Fodda

Tableau (IV.3) : Evolution du débit Q pendant le temps

Tableau (IV.4) : Diminution du débit régularisé Q durant le temps

Tableau (IV.5) : Analyse chimique des eaux-teneurs en mg/litre

Tableau (V.1) : résultats de l'analyse granulométrique par tamisage de la vase de l'Oued Fodda

Tableau (V.2) : Les valeurs de Hr en fonction de la densité du mélange

Tableau (V.3) : Résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie

Tableau (V.4) : Transformation des pourcentages

Tableau (V.5) : paramètres granulométriques de la vase de l'Oued Fodda

Tableau (V.6) : classification du sol en fonction de l'indice de plasticité

Tableau (V.7) : Les groupes d'activités théoriques proposés par Skepton.

Tableau (V.8) : Modèles rhéologiques décrivant l'écoulement de fluides à contrainte critique

Tableau (V.9) : La composition chimique de la vase du barrage de l'Oued Fodda

Tableau (VI.1) : Composition chimique de la matière première utilisée par CERAL

Tableau (VI.2) : Composition chimique de la matière première proposée

Tableau (VI.3) : Résistance à la flexion des carreaux crus et sec en N/mm²

LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES

γ_w :	Poids volumique de l'eau (Kg/cm^3)
γ_s :	Poids volumique des grains solides (Kg/cm^3)
w_s :	Poids volumique sec (Kg/cm^3)
ω :	Teneur en eau (%)
w_h :	Poids humide de l'échantillon en (g)
V_s :	volume absolu des grains solides
D :	Diamètre de la particule en m
R :	Densité du mélange (eau + sol) lue sur le densimètre
R_w :	Densité de l'eau (lecture de référence) / $R_w=1.005$
P :	Pourcentage des particules
D_{50} :	Diamètre moyen des grains
S_0 :	Indice de classement des sédiments
S_K :	Indice d'asymétrie
V_B :	Valeur au bleu de méthylène
W_L :	Limite de liquidité (%)
W_P :	Limite de plasticité (%)
I_P :	Indice de liquidité
I_C :	Indice de consistance
C_U :	Coefficient d'uniformité
C_C :	Coefficient de courbure
C_V :	Coefficient de consolidation
σ :	Contrainte normale (KPa)
τ :	Contrainte tangentielle (KPa)
φ :	Angle de frottement ($^\circ$)
C :	Cohésion (KPa)

$\dot{\gamma}$: Vitesse de cisaillement (S^{-1})

M : Moment résistant ($N.m$)

ω_0 : Vitesse de rotation du mobile (tr/min)

η : Viscosité ($Pa.s$)

R_f : Résistance à la flexion

R : Retrait longueur

r : Retrait largeur

Created with

TABLE DES MATIRES

Introduction générale	1
Premiere partie	
CHAPITRE I: Généralité sur les sédiments	
I-1 Introduction	3
I-2 Principaux types des sédiments	3
I-3 Les Processus de Transport et de sédimentation	5
I-4 Causes et Origine de L'envasement	5
I-5 Définition de la vase	7
I-6 Composition des vases	8
I-7 Processus de décantation et de tassement des vases	10
I-8 Les modèles d'estimation de l'envasement	15
I-9 Les moyens de lutte de contre l'envasement	18
I-10 Conclusion	28
CHAPITRE II: L'envasement des barrages en Algérie	
II-1 Introduction.....	29
II-2 Importance du phénomène d'érosion en Algérie.....	29
II-3 Capacité et localisation	30
II-4 Réduction de la capacité de la retenue.....	31
II-5 Obturation des organes de vidange	32
II-6 Sécurité de l'ouvrage	32
II-7 Moyens de lutte contre l'envasement utilisé en Algérie	33
II-8 Conclusion	37
CHAPITRE III: Les domaines de valorisation des sédiments	
III-1 Introduction	38
III-2 Utilisation comme fertilisant des terres agricoles	38
III-3 Utilisation de la vase comme matériau de construction	40
III-4 Utilisation dans la fabrication de verre	44
III-5 Utilisation de la vase dans les techniques routières	45
III-6 Conclusion.....	47
Deuxième partie	
CHAPITRE IV: Présentation du barrage de l'Oued Fodda	
IV-1 Situation et objectif	48
IV-2 Périmètre de l'Oued Fodda.....	48
IV-2-1 Ouvrages constitutifs.....	48
IV-2-2 Historique du barrage.....	48
IV-2-3 Equipements et fonctionnement	49
IV-2-4 Utilisation.....	49
IV-3 Hydrologie.....	50
IV-3-1 Caractéristiques physiques du bassin versant	50
IV-3-2 Données climatologiques	50
IV-3-3 Pluviométrie	50
IV-3-4 Etude des apports	51
IV-3-5 Etude de régularisation.....	52
IV-3-6 Evaporation	52
IV-3-7 Qualité chimique des eaux	52
IV-3-8 Apports solides.....	53

Created with

IV-4 Géologie	53
IV-5 Conclusion	55
CHAPITRE V: Etude des caractéristiques de la vase de l'Oued Fodda	
V-1 Introduction	56
V-2 Localisation de l'échantillon étudié	56
V-3 Caractéristiques physiques et géotechniques de l'échantillon étudié	57
V-3-1 Propriétés physiques	57
V-3-1-1 Phase liquide	57
V-3-1-2 Phase solide	57
V-3-1-2-1 La teneur en eau	57
V-3-1-2-2 Masse spécifique des grains solides	58
V-3-1-2-3 Analyse granulométrique	59
V-3-1-2-4 Diamètre moyen des grains d_{50}	69
V-3-1-2-5 L'indice de classement S_0	69
V-3-1-2-6 L'indice d'asymétrie S_K	69
V-3-1-3 Valeur au bleu de méthylène	70
V-3-2 Propriétés géotechniques	72
V-3-2-1 La limite de liquidité (WL)	73
V-3-2-2 La limite de plasticité (ω_p)	74
V-3-2-3 L'indice de plasticité (I_p)	75
V-3-2-4 L'indice de liquidité (I_L)	76
V-3-2-5 L'indice de consistance (I_c)	76
V-3-2-6 Diagramme d'activité	76
V-4 Les caractéristiques rhéologiques	77
V-4-1 Contrainte de cisaillement	78
V-4-2 Déformation et vitesse de cisaillement	78
V-4-3 Les différents comportements rhéologiques	78
V-4-4 Les rhéogrammes	79
V-4-5 La rhéométrie	79
V-4-6 Systèmes de mesure	79
V-4-6-1 Rhéomètre de type "couette cylindrique"	79
V-4-6-2 Rhéomètre de type "Cône/Plan"	80
V-4-7 Principe de fonctionnement du rhéomètre	80
V-4-8 Modèles rhéologiques	81
V-4-8-1 Fluides à contrainte critique	82
V-4-8-2 Fluides sans contrainte critique	82
V-4-8-3 Fluides thixotropes	83
V-4-9 Commentaire	84
V-5 Caractéristiques minéralogiques	85
V-5-1 Principe de la diffraction des rayons X	85
V-5-2 Commentaires	85
V-6 Les analyses chimiques	87
V-7 Conclusion	88
CHAPITRE VI: Valorisation de la vase dans le domaine des carreaux de sol en céramique	
VI-1 Introduction	89
VI-2 Présentation de la société CERAL	89
VI-3 Technologie de fabrication des carreaux de sol en céramique	89
VI-3-1 Matière première	89
VI-3-2 Préparation de la matière première	90

VI-3-3 Pressage du carrelage	90
VI-3-4 Nettoyage	91
VI-3-5 Séchage	91
VI-3-6 Emaillage	92
VI-3-7 Transport	94
VI-3-8 Cuisson.....	94
VI-3-9 Contrôle de qualité.....	95
VI-3-10 Contrôle de nuance.....	95
VI-3-11 Mise en carton et en palette.....	95
VI-4 Essais et tests effectués en laboratoire	95
VI-4-1 Essais en laboratoire sur les matières premières	96
VI-4-2 Essais physiques-céramiques sur produit final	97
VI-5 Préparation du mélange en matière première	99
VI-5-1 Calcul du taux de la vase à utilisé dans la formulation.....	99
VI-5-2 Préparation de la barbotine à testé	101
VI-6 Tests physico céramiques.....	102
VI-7 Résultats des tests physico-céramiques et discussion	103
VI-8 Conclusion.....	109
Conclusion générale	110
Références bibliographiques	111
Annexes	

Created with



INTRODUCTION GENERALE

Created with

Introduction Générale

Ces dernières années, l'envasement des barrages en Algérie devient de plus en plus inquiétant et fréquent [2]. Plus de 32.10^6 m³ de vase se déposent chaque année au fond des retenues. Le barrage de l'Oued Fodda n'a pas échappé à ce problème, puisqu'il est envasé actuellement à plus de 45% de sa capacité initiale (ANBT, 2003) [3]. C'est pourquoi il est d'une extrême urgence de procéder aux travaux de dragage afin de sauver cet ouvrage. Le dragage lui-même pose deux problèmes : économique dont le coût de l'opération est très élevé. L'autre problème c'est bien l'impact des sédiments évacués par la drague sur la faune et la flore d'un côté et sur la géométrie du cours d'eau en aval d'un autre côté. Mais devant la grande quantité de vase rejetée en aval du barrage de sérieux problèmes d'environnement sont apparus [4]. Il serait alors plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation rationnelle de la vase qui peut être valorisée dans le domaine des matériaux de construction en particulier la céramique [5]. Dans cette étude, nous avons mené une série d'analyses physiques, chimiques et minéralogiques sur un échantillon de vase prélevé dans la retenue du barrage de l'Oued Fodda pour la valoriser.

Ce travail permet d'étudier le comportement mécanique du sédiment de dragage du barrage de l'Oued Fodda situé à 180 km au nord Ouest d'Alger de superficie de 228 Hm³ et de sa valorisation. Le bassin hydrographique Chélif Zehrez là où se trouve le barrage est classé parmi les zones les plus menacé par l'envasement dans le monde. Selon l'étude bathymétrique effectuée en 2003 par l'Agence Nationale des Barrages et Transfert (ANBT); l'ouvrage perd annuellement un volume de 6.11 Hm³.

Après 70 ans de sa mise en eau, le barrage de l'Oued Fodda a perdu environ de 102 Hm³, soit un taux de 45%. Si on suppose que l'envasement a continué de 2003 à ce jour avec la même fréquence, le volume de la vase actuel est environ de 139 Hm³. Le dragage du barrage de l'Oued Fodda donc devient une opération prioritaire pour récupérer le volume perdu. Mais devant la grande quantité de vase rejetée en aval de barrages dragués, de sérieux problèmes d'environnement sont apparus. L'étude des sédiments récupérés contribue dans la résolution de ces problèmes, d'un côté minimiser le coût élevé de l'opération de dragage et de l'autre côté régler les problèmes liés à l'environnement.

L'objectif de cette étude est le traitement des sédiments de dragage en vue de les utiliser comme matériau de construction.

Cette étude se divise en cinq chapitres.

Le premier chapitre présente un rappel sur les sédiments des barrages et la difficulté posée par les sédiments rejetés lors des opérations de dragage.

Le deuxième chapitre est une présentation de l'état d'envasement des barrages en Algérie.

Le troisième chapitre présente les domaines de valorisation de la vase de dragage des barrages

Le quatrième chapitre s'intéresse à la zone d'étude, on y trouve les caractéristiques hydrologiques, climatologiques et géologiques du bassin versant du barrage de l'Oued Fodda.

Le cinquième chapitre est consacré d'une part à l'étude des caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et rhéologiques de ces sédiments et d'autre part à la discussion des résultats qui nous permet de confirmer notre choix.

Le sixième chapitre est une description de la méthodologie d'utilisation des sédiments comme un matériau de construction. La démarche de valorisation envisagée, s'appuie sur des choix de préparation et de formulations simples.

Et finalement notre travail sera terminé par une conclusion générale contenant l'essentiel des résultats trouvés ainsi que les perspectives pour les futures recherches.

PREMIER PARTIE:

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

Created with

 **nitro** PDF[®] created with **professional**
 **nitro** PDF[®] download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES SÉDIMENTS

Created with

 **nitro** PDF[®] created with **professional**
download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

I- Généralité sur les sédiments

I-1 Introduction [6]

Les sédiments est un ensemble d'éléments déposés par l'eau, le vent, la glace qui proviennent de l'usure des continents, c'est à dire de la destruction de roches ou d'être vivants. La destruction se fait par des mécanismes physiques produisant la fragmentation des matériaux et des réactions chimiques donnant des solutions de lessivage (altération chimique). Les éléments solides sont déplacés sous l'effet de la gravité, souvent par l'intermédiaire d'un fluide transporteur (eau, glace), et sous l'effet des variations de pression atmosphérique qui produisent les vents. Les éléments en solution sont transportés par l'eau.

- une partie des produits de destruction peut s'accumuler momentanément sur place, sans être transportée, et constitue alors une couche d'altération ou éluvion.
- les débris, dans leur majeure partie, sont déplacés puis déposés, généralement dans l'eau, pour former un sédiment détritique (alluvions au sens large). Les éléments en solution qui précipitent, sous avec intervention des êtres vivants, forment un sédiment d'origine chimique ou biochimique.

I-2 principaux types des sédiments [7]

Il est important dans le cadre de notre étude de classer les sédiments selon leur taille, c'est-à-dire leur diamètre apparent (diamètre minimal de la sphère entourant le sédiment) par exemple, selon l'échelle de Wentworth (voir figure (I.1)). On peut distinguer 3 grands types de sédiments:

- Les galets et les gravillons qui proviennent de l'embouchure des fleuves torrentiels ou de l'érosion des falaises.
- Le sable dont la taille du grain varie de quelques dizaines de micromètres à 2 millimètres, produit ultime de l'érosion des roches cristallines par les fleuves et les glaciers disparus.
- Les limons et les vases dont la taille du grain est inférieure 60 micromètres.

Cette distinction provient de la particularité des vitesses de chute de ces sédiments. En effet, les sables correspondent à la zone intermédiaire entre les vases pour lesquelles la

résistance hydrodynamique varie proportionnellement à la vitesse de chute, c'est-à-dire tombent en régime laminaire et les galets qui tombent en régime turbulent.

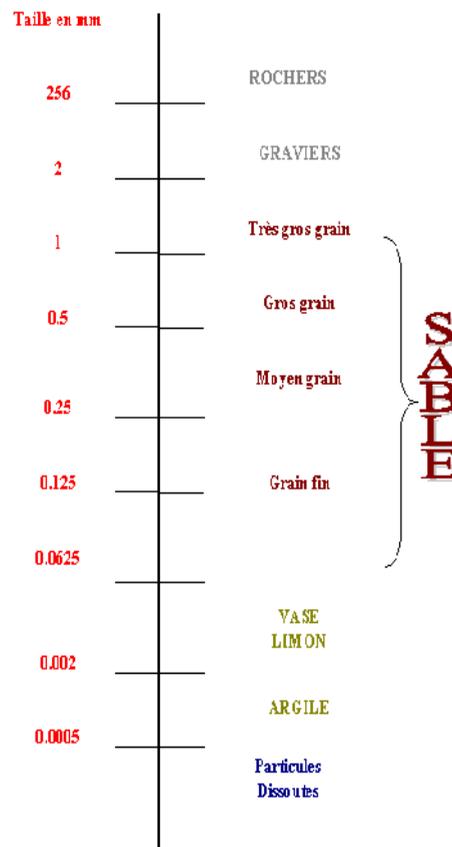


Figure (I.1): Classification des Sédiments par Taille selon l'échelle de Wentworth

D'autre part, il faut distinguer 2 configurations de sédiments :

- a) Les Sédiments Cohésifs

La cohésion des sédiments a un effet significatif sur l'érosion des sédiments et résulte de la présence d'argile (même en faible proportion: 5 à 10 % du total des sédiments déposés). Les particules ont tendance à former des conglomérats dans lesquels les flocons sont liés entre eux par de fortes forces électrostatiques

- b) Les Sédiments Non Cohésifs

Les sédiments non cohésifs contiennent des sédiments de grosse taille, non soumis à des forces d'interactions leur permettant de bouger indépendamment les uns des autres. Ils incluent le sable et les limons.

I-3 Les Processus de Transport et de sédimentation [8]

La désagrégation et l'altération des matériaux rocheux fournissent une matière meuble désorganisée et peu résistante, qui peut être entraînée par la gravité et les agents d'érosion. Les principaux agents d'érosion sont : l'eau, la glace et le vent. En particulier, les eaux courantes vont transporter la matière meuble jusqu'à une nouvelle situation d'équilibre où une sédimentation va s'effectuer : voir figure (I.3).

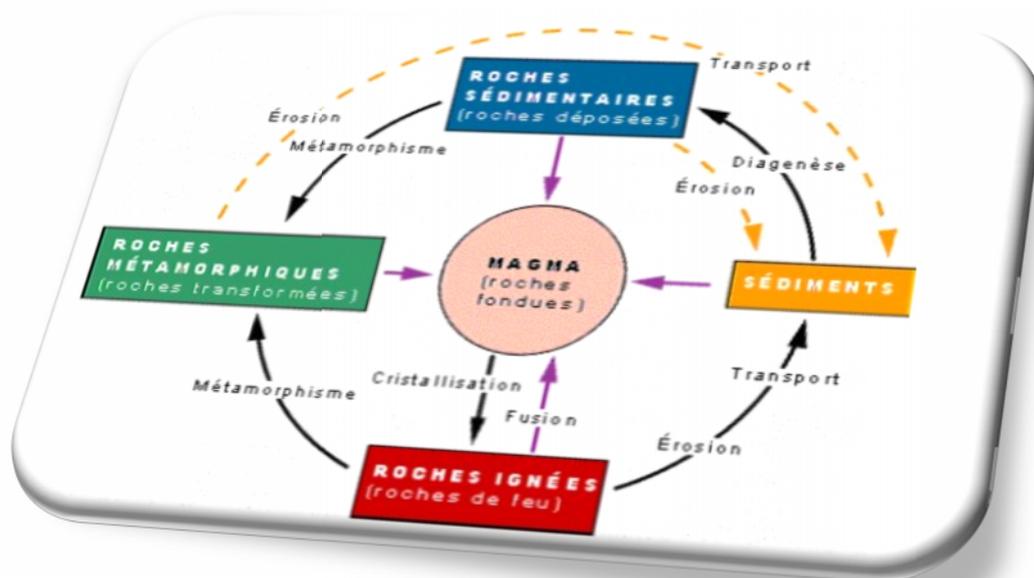


Figure (I.2): Cycle altération –transport – sédimentation (Philippe Joey 2005)

Les sédiments ainsi formés seront d'abord des alluvions, c'est-à-dire le dépôt est parfois situé très loin de la partie d'origine de ses éléments. Les alluvions sont susceptibles de se transformer ensuite, par cimentation naturelle, en roches sédimentaires détritiques indurées. L'histoire de la terre étant longue et complexe, ce processus de cycle (altération-transport-sédimentation) peut se reproduire plusieurs fois au cours des temps géologiques : voir figure (I.2).

Le faciès des sédiments sera lié à ses conditions de dépôt, en milieu marin, en milieu lagunaire, en milieu lacustre. Les principaux processus de formation et d'évolution des matériaux sédimentaires.

I-4 Causes et Origine de L'envasement [9]

L'envasement est un phénomène dont la dynamique est régulière et homogène. Les dépôts s'effectuent de façon linéaire le plus souvent homogène sur le fond des retenues. Cet envasement des retenues et des estuaires est lié directement aux phénomènes de l'érosion où

Created with

les processus de ce phénomène ont des définitions diverses, suivant les auteurs. Nous avons retenu la définition qui combine l'arrachement (creusement de la surface du sol, dégradation et altération des roches), le transport et le dépôt de matériaux.

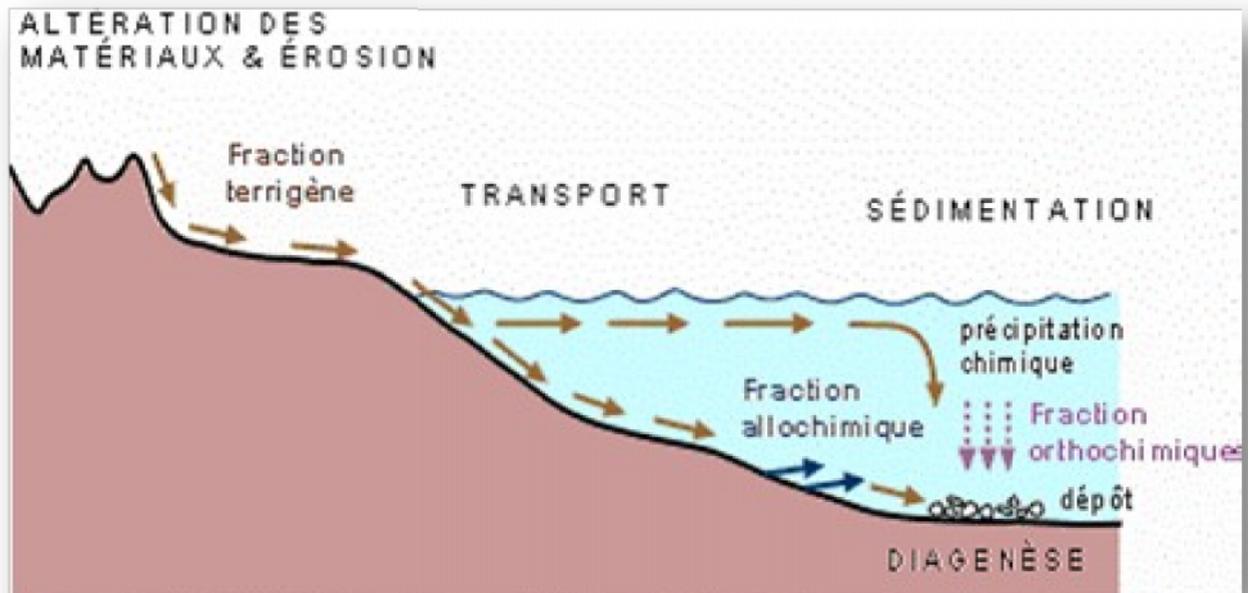


Figure (I.3): Processus sédimentaires (P. Deslauriers et J. Couveignes 2001)

L'origine de l'envasement se trouve dans le dépôt de particules solides, minérales et organiques sur le lit du cours d'eau. Elles sont transportées, par charriage, en suspension ou par ruissellement, pour se déposer dès que le débit du cours d'eau faible.

L'érosion, le transport de matériaux et la sédimentation constituent les trois termes de l'évolution géodynamique de la croûte terrestre conduisant à une pénéplanisation des reliefs montagneux sur l'ensemble du globe. Les agents de l'érosion qui sont principalement la pluie, le ruissellement et le vent, ainsi que des facteurs qui vont conditionner les quantités de particules arrachées: caractéristiques des pluies, des sols, de la végétation, de la topographie et enfin les activités humaines.

La définition de l'érosion suivant la trilogie «creusement, transport et accumulation des matériaux» conduit à imaginer un système fluvial idéal comprenant 3 zones:

1. La zone 1 : correspond à la zone de production des matériaux (amont).
2. La zone 2: est celle des transferts des matériaux arrachés en zone 1 (cours d'eau).
3. La zone 3 : couvre les sites des dépôts de ces matériaux (retenues et estuaires).

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 où accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie.

I-5 Définition de la vase

I-5-1 Qu'est-ce qu'une vase ? [10]

Le nom de vase (mot emprunte 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).

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes. La Figure (I.4) donne un exemple de passage de remblai de l'autoroute A10 sur une épaisseur importante de la vase.

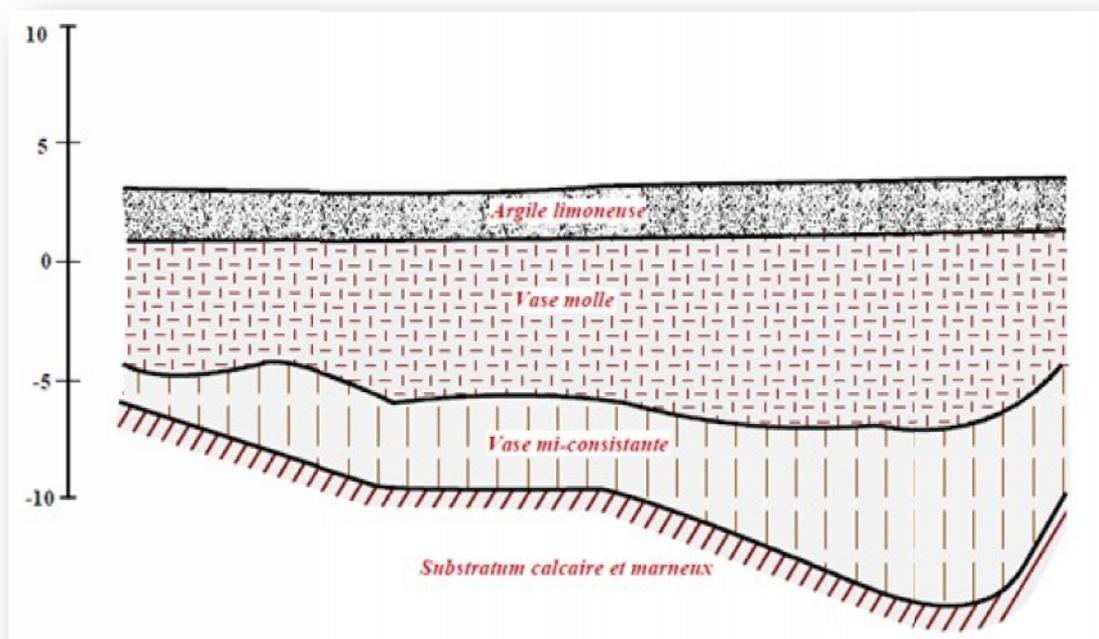


Figure (I.4): Traversée de la vallée de la Charente par l'autoroute A10 (Scetauroute, 1986)

cite par Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C

Created with



nitro PDF

professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

I-5-2 La définition proposée par Migniot [9]

«Les vases sont des sédiments complexes qui couvrent une gamme étendue de particules inférieures à 40 microns mais peuvent contenir une quantité notable d'éléments sableux» : voir tableau (I.1). Les différentes classes de sédiments interviennent rarement seules.

On définit alors différents faciès lithologiques qui varient encore avec les auteurs et les pays.

Tableau (I.1): Les plus simples définitions des faciès d'après Allen (cite par Boutin, 2000)

Dénomination	Caractéristique
Sable	Plus de 80 % d'éléments supérieurs à 50 μm
Sable vaseux	De 20 à 80 % d'éléments supérieurs à 50 μm
Vase	Plus de 80 % d'éléments inférieurs à 50 μm

I-6 Composition des vases

I-6-1 Structure physico-chimique des vases

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases.

IL y a quatre éléments principaux constitues Les vases :

1. La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
2. La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
3. la fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques).
4. Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 μm , il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 μm . [10]

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie : voir figure (I.5). [11]

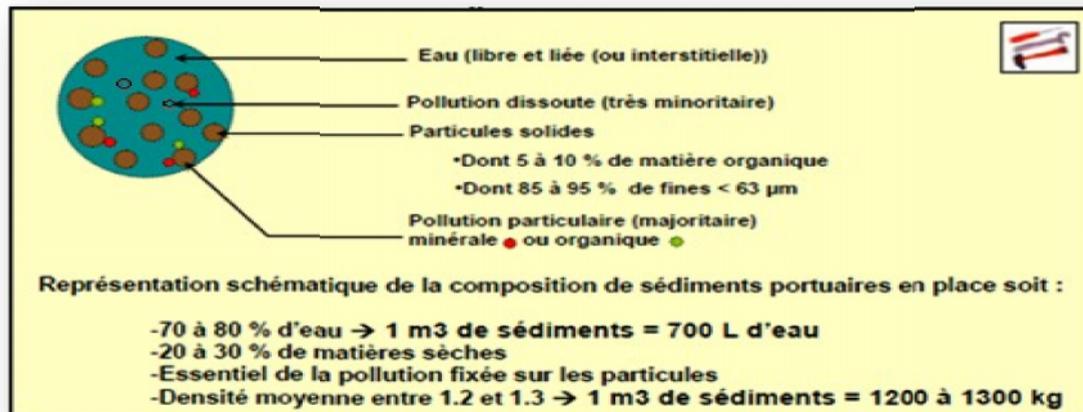


Figure (I.5): Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [N.PROULHAC, KER LANN 2006]

I-6-2 Rhéologie des vases [12]

L'étude rhéologique des vases permet de déterminer des paramètres importants pour préciser leur comportement sédimentaire sous une action hydrodynamique. L'un des paramètres définissant le mieux de caractère liquide, plastique ou solide, d'une vase, est la rigidité initiale.

Les vases à l'état liquide se comportent en écoulement laminaire comme des fluides dont les paramètres sont indépendants du temps de cisaillement. On peut utiliser les modèles rhéologiques à un, à deux ou à trois paramètres.

La loi d'écoulement s'écrit $\tau = F(G)$

τ : est la contrainte de cisaillement

G: la vitesse de déformation.

Les vases et d'autres mixtures homogènes sol/eau (argile-eau, silts-eau) sont des composés d'eau et de grains de sol dont les dimensions moyennes sont comprises entre environ 1 et 80 μm . Elles se comportent comme un ensemble si la concentration est élevée, et ayant dans ce cas des propriétés des corps viscoplastiques. Elles peuvent être transportées en régime laminaire, transitoire et turbulent. Par contre les mixtures hétérogènes contenant des particules grosses dont les dimensions moyennes sont supérieures à environ 80 μm . sable/eau, galet/eau, se comportent comme des systèmes biphasique et ne peuvent en général être transportées qu'en régime turbulent. Le cisaillement rhéologique ne dépendant pas du temps, leur comportement est influencé surtout par la concentration moyenne (C_v).

C_v : la concentration moyenne

I-7 Processus de décantation et de tassement des vases

I-7-1 Pourquoi une retenue s'envase-t-elle ? [13]

Une retenue de barrage est une zone d'eau calme où les courants sont atténués, c'est-à-dire la présence de la retenue entraîne des hauteurs d'eau temporaires pour les rivières qui s'y jettent et qui deviennent propices au dépôt de sédiments dans des zones d'eau relativement calme.

De plus, une retenue joue le rôle d'entonnoir vis-à-vis des masses d'eaux provenant des bassins versants, auquel s'ajoute un effet de stagnation des eaux dans un espace semi clos. Elle est donc un territoire privilégié pour le dépôt des particules fines, et joue à l'évidence le rôle de piéger la vase. Les processus physico-chimiques de floculation, agrégation et de décantation participent aussi à l'accumulation des sédiments sur le fond. La caractérisation physico-chimique des sédiments est donc primordiale pour la compréhension des phénomènes de sédimentation et de transport des sédiments, c'est-à-dire les propriétés physico-chimiques du cours d'eau ont également une influence sur la sédimentation.

D'après les théories de sédimentation de [KYNCH 1952] et de consolidation de [GIBSON 1967], le tassement des vases peut se subdiviser en deux phases : la première phase, c'est la sédimentation en l'absence des contraintes effectives σ' et la deuxième c'est la consolidation qui commence quand ces contraintes σ' apparaissent.

D'après [MIGNIOT 1989] qui a étudié en laboratoire simultanément les processus de sédimentation et de tassement de plus de 30 vases d'origines diverses. Le suivi de l'évolution de la concentration moyenne d'un culot de tassement en fonction du temps lui permet de distinguer d'une façon générale plusieurs phases : voir figure (I.6)

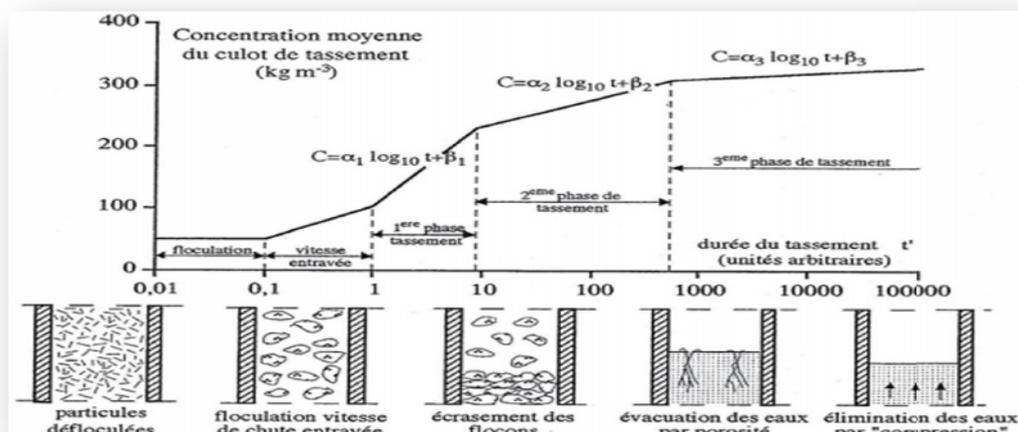


Figure (I.6): Les différentes phases du tassement (d'après Migniot 1989). [Cite par A. SEMCHA 2006]

La courbe donnant la concentration moyenne du culot de tassement en fonction du logarithme du temps permet de distinguer plusieurs phases successives :

1. Le temps de floculation, de quelques minutes en moyenne: c'est-à-dire au début du processus, les particules élémentaires constituant la vase vont s'agglomérer pour former des agrégats dont la vitesse de chute est nettement plus importante que celle des particules à l'état individuel, c'est la floculation qui dure quelques minutes en moyenne.
2. La chute des flocons à vitesse entravée : Ensuite, on observe successivement la chute des flocons à vitesse entravée.
3. Phase01 : La première phase de tassement avec l'élimination d'une partie d'eau interstitielle libre (écrasements des flocons).
4. Phase02 : La deuxième phase de tassement, plus lente, correspond à l'évacuation de l'eau par les porosités.
5. Phase03 : la troisième phase de tassement très lente, se traduit par un arrangement de la structure du dépôt et une perte d'eau des couches adsorbées.

Si ces différentes phases du phénomène de tassement sont toujours observées, on doit aussi signaler que chaque matériau a sa propre courbe de tassement qui dépend également des conditions initiales.

En état de consolidation, la vase aura des caractéristiques différentes selon ses propriétés et le milieu dans lequel s'effectue le tassement. Ce sont les paramètres suivants qui influent ces propriétés :

1. Les dimensions des particules : d'après Mignot, dans la formule du tassement en fonction du temps : $C = \alpha \log t + \beta$

C: Concentration de la suspension (kg/m³)

α : Le coefficient dépend du diamètre des grains: c'est une fonction décroissante avec le diamètre $\ll d \gg$ des particules pour toutes les phases du tassement.

- Phase de décantation des flocons : $\alpha = 0,01 + 0,05 d$
- Phase d'élimination des eaux interstitielles : $\alpha = 0,01 + 0,015 d$
- Phase d'élimination des eaux fixées aux micelles : $\alpha = 0,01 + 0,001 d$

2. Le milieu aqueux : les éléments chimiques dissous dans l'eau, ont une influence variable sur le tassement des particules en suspension.

β : Le coefficient qui dépend de l'état du milieu aqueux (salinité)

3. Les conditions initiales de sédimentation : pour apprécier l'influence des conditions initiales, les deux paramètres surveillés sont :

- La vitesse de tassement : Des mesures des vitesses de chute en eau calme en fonction de la concentration [MIGNOT, THORN, SANCHEZ] ont montré que pour des concentrations faibles la vitesse de chute augmente régulièrement avec la concentration, mais à partir d'une certaine concentration (de l'ordre de 5 à 10 kg m⁻³, selon les sédiments qui ont été étudiées), la vitesse de chute commence à diminuer quand la concentration augmente.
- Le tassement final : Les paramètres influents sont la hauteur et la concentration en particules à l'état initial. Plus ces deux paramètres sont élevés plus le tassement final est important, mais plus la vitesse est faible, le mouvement ascendant de l'eau drainée permettant la consolidation, est gêné.

Les matières organiques : leur présence est limitative du tassement, par la formation de gaz lors de leur décomposition qui perturbent la concentration des dépôts.

$$C = C_0 h_0 / \rho_s h_t$$

C₀: Concentration initial (kg/m³),

h₀ : hauteur initiale,

ρ_s : Masse volumiques des sédiments.

h_t : hauteur du culot à l' instant t.

4. La présence de sable : elle favorise de façon générale le tassement. Le drainage de l'eau se fait plus facilement lorsque des grains sont dispersés dans les sédiments. (C'est à dire les possibilités d'évacuation de l'eau interstitielle contenue entre les particules solides). La perméabilité est augmentée par leur présence.

I-7-2 Distribution des sédiments dans la retenue du barrage [14]

La distribution des sédiments sur un bassin versant et de transport spécifique dans les fleuves regroupent deux processus différents. Ces deux notions permettent de distinguer d'une part les processus de détachement et de transport de matériaux du sol avant leur entrée dans le système "rivière" et d'autre part leur transport dans la rivière elle même. Les taux de particules transportées vont à leur tour être régis par de nombreux facteurs dont la vitesse de l'eau, les caractéristiques du lit, la granulométrie des particules.

Les particules ainsi transportées par le cours d'eau ne refléteront qu'en partie les phénomènes d'érosion sur les versants puisqu'une partie des sédiments arrachés au bassin pourra se déposer (éventuellement temporairement) entre les sources d'érosion et l'exutoire du bassin de drainage. D'autre part, l'érosion des berges pourra contribuer à la charge en suspension mesurée dans le cours d'eau tandis que la présence de lacs, réservoirs entraînent

une sédimentation des particules mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides se sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue?

On sait que ce phénomène complexe dépend de certains paramètres tel que:

- La forme géométrique de la retenue : petite, grande, «canal ». «lac »
- La profondeur de la retenue.
- L'apport solide de la retenue.
- La pente du fond de la retenue.

A l'état naturel les oueds transportent progressivement des quantités importantes de sédiments, Soit par charriage (bed load): ils concernent les matières minérales en phase solides plus particulièrement les plus gros éléments. Ces particules roulent sur le fond ou se déplacent par saltation ou glissement.

Soit par suspension (suspended) : Le transport en suspension est en général constitué de matériaux fins, argiles et colloïdes et quelquefois de silts, de se déplacer sans toucher le fond du lit : voir figure (I.7)

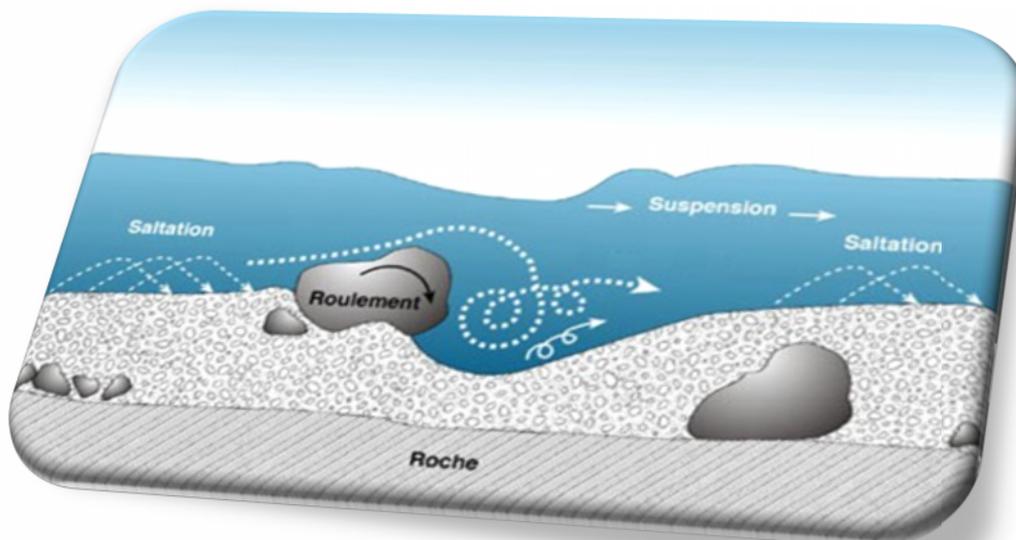


Figure (I.7): Classification de transport solide

Les eaux chargées de matériaux fins forment un courant de densité qui s'écoule sur le long de la retenue et transportent ainsi la vase jusqu'au pied du barrage. D'après DUQUENNOIS. H (1952-1957) la formation des courants de densité dans une retenue est conditionnée par deux paramètres :

1. Un apport solide important «concentration élevée» dans la retenue,

2. Un écoulement torrentiel à l'entrée de la retenue «Le court d'eau principal présente une forte pente». Ces écoulements peuvent se faire : Au dessous «Underflow», Au dessus «Overflow», à travers «Interflow». Dans ce trajet, les sédiments se déposent, des plus grandes particules aux plus petites, de l'amont vers l'aval de la retenue : voir figure (I.8).

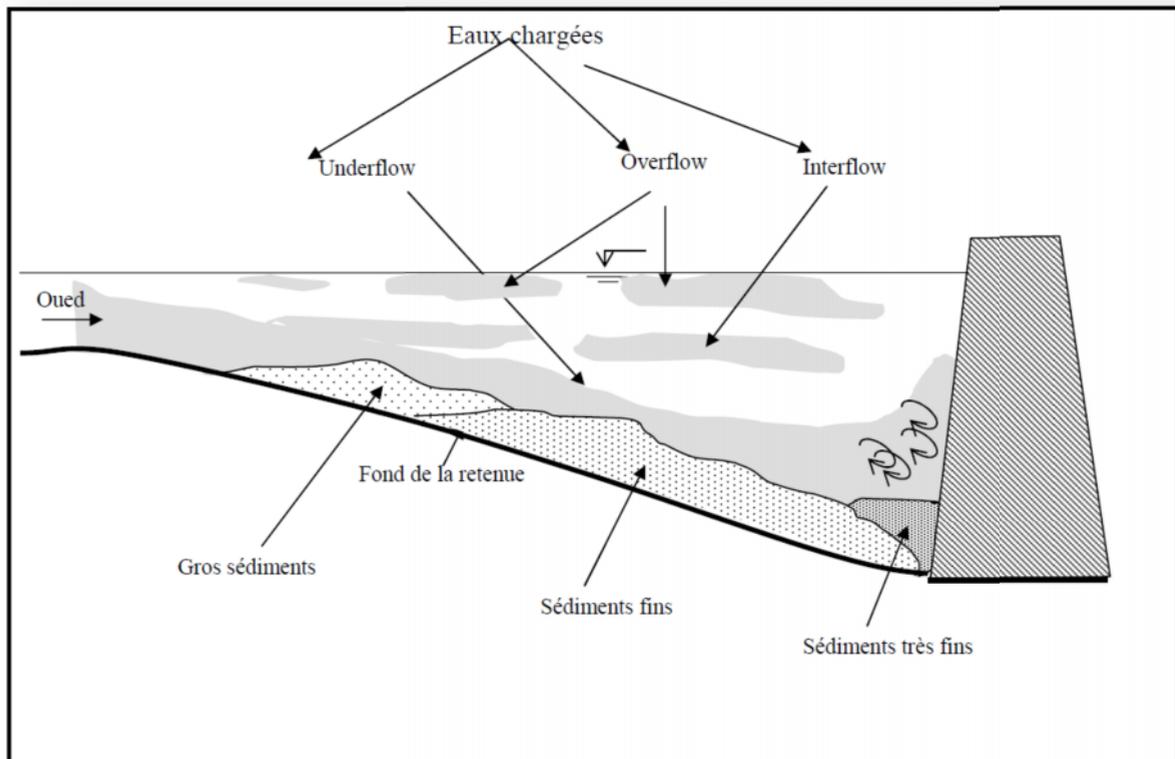


Figure (I.8): mode d'envasement

Les différents mécanismes de l'envasement dépendent du type de retenues (morphologie) et les conditions de sédimentation existant à l'amont de la retenue (érosion et transport solide). La morphologie de chaque retenue est déterminée par son état antérieur. Par ailleurs, la forme de la retenue, la circulation de l'eau, et les apports solides ont une grande influence sur la nature et la vitesse de l'alluvionnement de la retenue. La nature des matériaux déposés (la taille, forme, concentration, vitesse de chutes et densité des particules jouent un rôle important), la présence ou l'absence de stratification, et la cohésion du dépôt solide dépendent surtout des mécanismes de sédimentation et des formes de l'écoulement qui conduira à la décantation.

Le diagramme de Hjulstrom résume les conditions de transport, de dépôt et de mise en suspension des particules en fonction de leur taille et la vitesse du courant .pour qu'une

particule sédimente, la vitesse du courant doit descendre sous un seuil critique et plus la particule est petite, plus la vitesse doit être basse : voir figure (I.9).

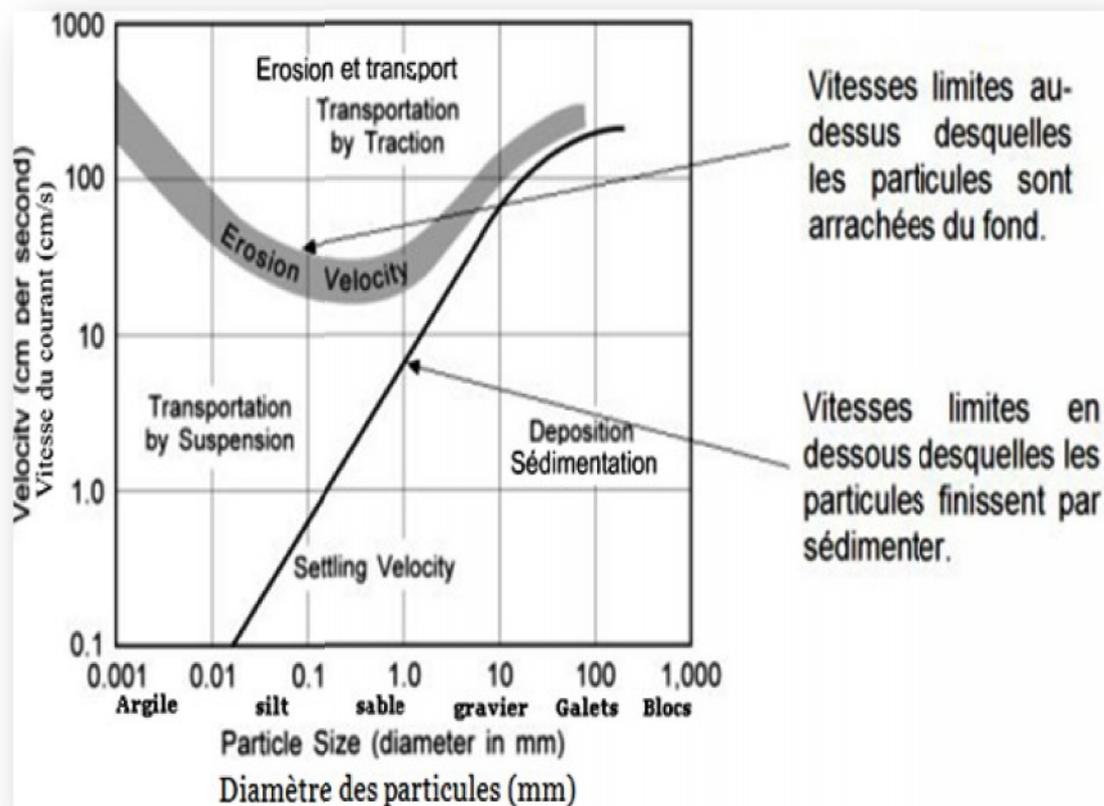


Figure (I.9): Diagramme érosion-transport-sédimentation d'après HJULSTROM (1935) cite par (Philippe .J 2005)

I-8 Les modèles d'estimation de l'envasement

I-8-1 Comment évaluer le volume de l'envasement? [15]

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venantes se déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. On distingue deux méthodes de mesure

I-8-2 Bathymétrie par nivellement [11]

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiments et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu. Il ya plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrie par nivellement, on prend quelques exemples :

- a. La première méthode de bathymétrie par nivellement est réalisée à l'aide d'un instrument de mesure gradué, à partir du bord et préférentiellement à partir d'une

embarcation si les conditions le permettent. Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vases par enfoncement, soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux, une résistance plus soutenue permet d'apprécier le haut du substrat. Les mesures sont composées de profils en travers qui pour être représentatifs, doivent être judicieusement localisés et dénombrés. La définition du volume extrait ou à retirer est établie par extrapolation entre deux profils à partir du produit entre la section envasée et la distance : voir figure (I.10).

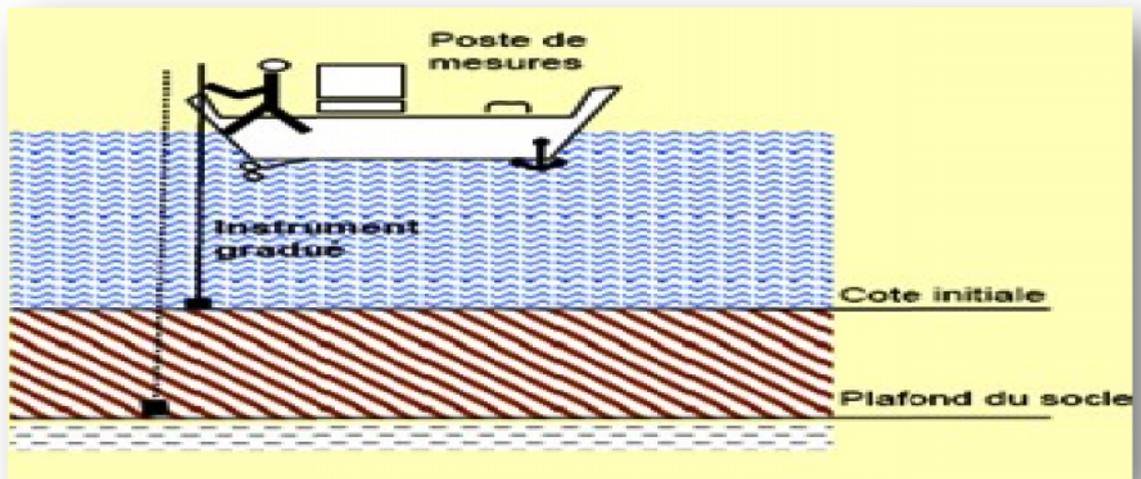


Figure (I.10): schématisation de la bathymétrie par nivellement (N.PROULHAC, KER LANN 2006)

b. la seconde méthode de nivellement est à l'aide d'une mire sur une embarcation et d'une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée laser), la hauteur d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond dur sont obtenus : voir photo (I.1). Le relèvement s'effectue point par point selon un profil transversal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément fonction de la largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par extrapolation des profils transversaux. Il est nécessaire de prendre en compte la cote de l'eau, d'avoir un positionnement précis des profils pour tenir compte des particularités du terrain. Le nivellement n'est généralement pas précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L$$

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carres.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Photo (I.1): Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre)

I-8-3 Bathymétries par sondeurs: «Echosondeur bathymétrique» [16]

Le dernier appareil à mesurer la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Cette sonde de l'écho, le type moderne a été inventé pour la première fois dans les années de la Première Guerre mondiale sur les sites physicien français Angeevin. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés.

Bathymétrie par sondeurs : voir figure (I.11) : Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre. (Un point de sonde = couple (distance, angle) Pratiquement mesure (t, θ) et exploitation (y, z)).

Deux approches pour estimer (t, θ) : Mesure de l'instant d'arrivée à angle fixe, mesure de l'angle en fonction du temps d'arrivée.

A l'aide des nouvelles technologies de sondeurs, cette technique peut-être utilisable dans une hauteur d'eau restreinte. Cette technique s'applique à partir de sondeurs mono ou multi-faisceau.

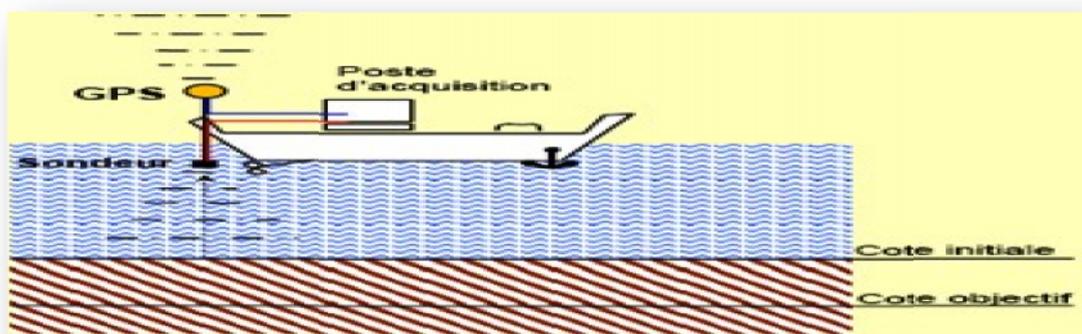


Figure (I.11): Schématisation de la bathymétrie par échosondeur

Created with

Les moyens d'utiliser pour les lèves Bathymétriques par échosondeurs:

- Une embarcation pneumatique semi rigide.
- Une station de référence.
- Un sonar avec une fréquence de 200khz.
- Un GPS portable avec un récepteur GPS RTK 6502.
- Un PC portable avec le logiciel DTM 2000.
- Une barre d'étalonnage.

Au début du travail, l'hydrographe étalonne l'échosondeur par la barre d'étalonnage à différentes profondeurs. Il valide ainsi la profondeur du transducteur et la vitesse de propagation des signaux ultrasonores dans l'eau du barrage. La distance entre profils est choisie en fonction du terrain par le logiciel de guidage DTM 2000. Le long d'un profil, les données sont émises en continu mais l'enregistrement se fait toutes les deux (2) secondes. La direction des profils, généralement perpendiculaire aux rives, est choisie par l'hydrographe qui calcule le cap et navigue à cap constant. Durant le levé, il arrive de constater des formes de fond particulières sur les profils (des hauts fonds ou des fosses). Dans ce cas on procède à un balayage plus serré. Après le traitement des données par des logiciels, l'hydrographe peut établir les plans bathymétriques.

I-9 Les Moyens de lutte contre l'envasement

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb, d'ici à 2025, connaîtront des problèmes aigus d'eau. Autant, dès maintenant, penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement, beaucoup d'efforts ont été déployés par les services de l'hydraulique dans la lutte contre l'envasement, plusieurs solutions sont proposées:

I-9-1 La conservation des sols [2]

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

A. L'implantation de structures anti-érosion.

B. 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 des thalwegs, 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, qui sont des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source.

Ci-après la photo (I.2) fournis quelques exemples de seuils de sédimentation en gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin versant du barrage BAKHADDA en vue de réduire la torrencialité du réseau hydrographique par la réalisation d'un nombre déterminé de ces ouvrages sur le même affluent.



Photo (I.2) : Seuils de sédimentation en Gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin Versant du barrage BAKHADDA

Si le bassin versant en question n'est pas très grand, les effets de la conservation des sols se feront sentir très rapidement. D'après certaines expériences réalisées aux ETATS-UNIS, on peut réduire l'érosion des sols de jusqu'à 95 % en employant, exclusivement les méthodes traditionnelles de culture.

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 dans le territoire national. Les couts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

B-1. Le reboisement, restauration des sols, confection de banquettes, plantation des cultures suivant les courbes de niveau et fixation des berges des oueds « Le revêtement des berges pour réduire leur érosion».

D'après les services de l'AEP au ministère des Ressources en eau, le reboisement, c'est une action préventive. 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 Beni Haroun, 7200 km². Il y a également, ajoute-t-il, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter. Pour 2010, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations. [17]

B-2. La réalisation des barrages de décantation à l'amont [2] : 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 crée par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques. L'exemple en Algérie, c'est le cas du barrage de BOUGHEZOUL situé à la ville de MEDEA qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib, Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

B-3. La réalisation des barrages de chasses [2] : Le barrage de chasse transforme les faibles débits, en provenance de l'oued en ondes à grand débit au moyen des vannes de fond qui provoquent d'un courant de densité. Le rendement des opérations de soutirage peut être augmenté par la création d'ondes de crues artificielles provenant d'un barrage de chasse réalisé à l'amont du barrage à protéger. (Les spécialistes déconseillent le recours à ce procédé (chasse) dans les pays arides et semi-arides suite au temps important de remplissage de l'ouvrage.) La méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que barrage du 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.

I-9-2 Le soutirage des courants de densité [2]

Une méthode pratique qui consiste à évacuer les sédiments drainés par les courants de densité sur le fond de la retenue en utilisant des pertuis de vidange (vannettes de dévasement ou vanne de fond) du barrage. Les opérations de chasses et le soutirage des courants de densité doivent être maîtrisés afin d'arriver à évacuer le maximum de vase avec un minimum d'eau.

En Algérie, D'après Remini, 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 cout et surtout de la présence des courants de densité 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'Ighil Emda 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.

I-9-3 la surélévation des digues [21]

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.

I-9-4 Extraction par siphonnement [19]

La méthode d'évacuation des sédiments par un siphon à un barrage a été envisagée pour la première fois par Jandin, au siècle dernier. 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 Djidiowia en Algérie. 1,4 x 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. Une turbine installée près de l'embouchure du tuyau, et actionnée par l'écoulement dans le tuyau, était reliée à un appareil à roues coupantes près de la prise d'eau du tuyau, qui était conçu pour remuer les sédiments. Hannover (1974) a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro aspirateur" proposée par Jandin 80 ans auparavant : voir figure (I.12). 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.

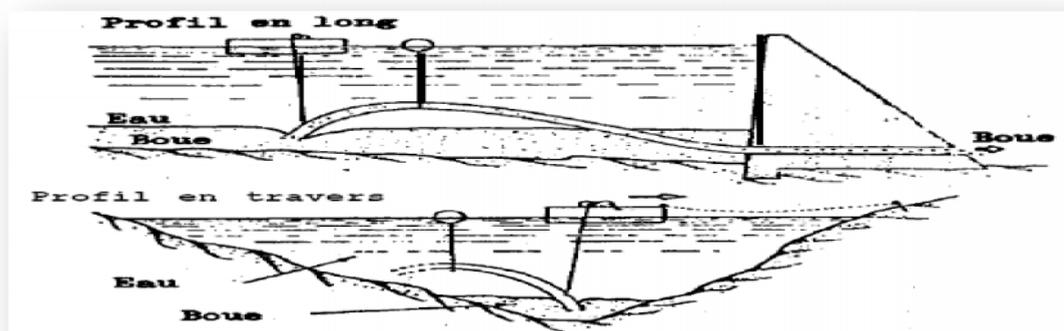


Figure (I.12): Représente de façon schématique la disposition de "l'hydro aspirateur".

I-9-5 le dragage des barrages

I-9-5-1 Qu'est ce qu'une opération de dragage ? [2]

Le dragage est une opération ayant pour objet le prélèvement de matériaux, notamment boues, limons, sables 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.

D'après Musa 1981 «dans sa thèse» : définit les dragages comme étant «des terrassements effectués sous l'eau avec des engins flottants au moyen de procédé mécanique ou par aspiration» en fait, les procédés peuvent être mécaniques, hydrauliques ou pneumatiques. Cette définition correspond assez bien à l'idée que l'on se fait aujourd'hui du dragage dans notre environnement très industrialisé.

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.

Un nombre important de barrages ont été récupérés par la technique de dragage et leur durée de vie se trouvent prolonger de plusieurs années.

I-9-5-2 Histoire de dragage [20]

D'après Gower G.L (1968) les premières techniques de dragage ont été développées au néolithique par les communautés vivant dans les vallées du Nil, de l'Euphrate, du Tigre et de l'Indus. Ces civilisations ont en effet développé des techniques pour récupérer les terres fertiles des estrans et irriguer les terres arides potentiellement fertiles par des réseaux de canaux. Ces techniques sont à l'origine de l'essor des premières civilisations agricoles.

Plusieurs références historiques relatent la réalisation de travaux hydrauliques durant les quatre premiers millénaires avant Jésus-Christ en Mésopotamie et en Égypte.

Les sumériens qui vivaient dans les marais du sud de la Mésopotamie (4000 ans av J.C) ont construit un réseau dense de canaux pour lutte contre les crues. Cette époque connaît également en Egypte, la réalisation du premier canal reliant le Nil et la mer rouge sous le règne de Darios d'après linszen et oostrebaan, ce canal a donné lieu à des travaux exécutés sous l'eau qui correspondent bien à une activité de dragage.

Ces premières formes de dragage ont été menées à bien à l'aide d'outils simples certainement inspirés des équipements utilisés pour manier l'eau.

D'après [Cooper, H.R 1974] [21], des méthodes sophistiquées existaient en orient bien avant l'époque romaine. Le dispositif, mu par la force humaine ou animale est constitué d'une chaîne tournante équipée de palettes qui entraînent l'eau dans une sorte de toboggan placé sous la chaîne : voir figure (I.14). Cette technique toujours utilisée de nos jours notamment au Cambodge. Le moulin à vase utilisé en Hollande au XVIe siècle après J.C fonctionne sur le même principe.

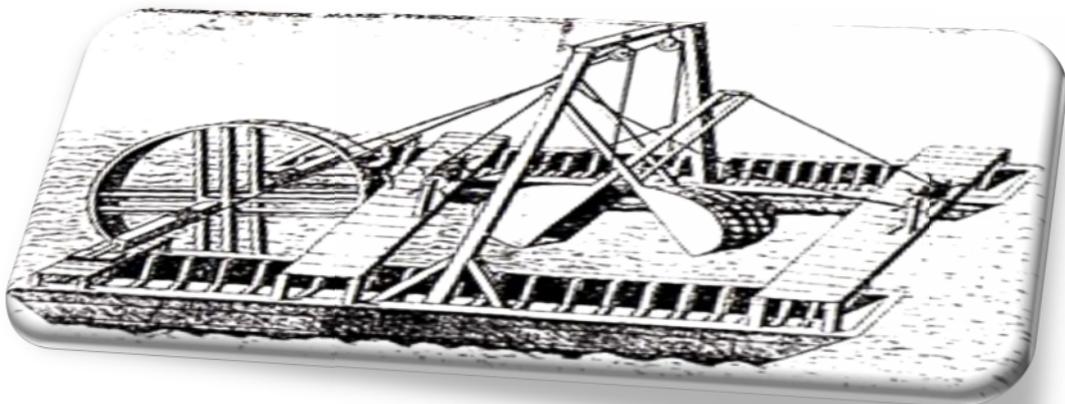


Figure (I.13): Dragage à benne de verantius 1595

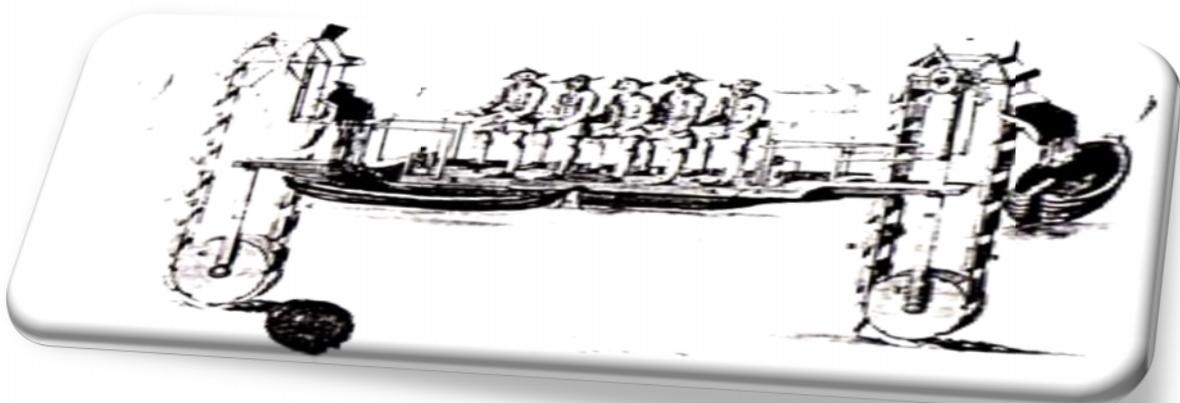


Figure (I.14): Dragage à godets de F.X d'Arles de ligniere 1760

L'occupation de l'Espagne par les arabes du VIII^e au XI^e siècle permit d'importants transferts de connaissances de l'orient à l'occident .les auteurs [COOPER 1974] évoquent notamment :

- L'invention de la benne à l'origine des dragues à benne actuelles : voir figure (I.13)
- La maîtrise de l'énergie du vent pour propulser les bateaux et faire fonctionner des moulins à l'eau.
- La roue à eau.

La première drague autonome utilisant le principe de l'agitation est utilisée en 1435 après J.C pour nettoyer le port de Middleburgh en Nouvelle Zelande [Cooper, 1974], il s'agit du «Krabbehaar» navire à voile équipé de herses réglables.

C'est aux Etats-Unis que se développent dans un premier temps les dragages dits hydrauliques utilisant les pompes centrifuges. La première drague aspiratrice équipée d'un puits à déblais, la «général Moultrie » est utilisé pour draguer le port de charleston en 1855, après cette date, le technique de dragage est progresse par des moyens utilisant la vapeur et l'hélice qui sont devenues des méthodes sophistique.

Le XX^e siècle fait à son tour progresser les techniques de dragage, le moteur à vapeur est remplacé par le moteur diesel. Les commandes électriques et pneumatiques se généralisent. L'électronique et informatique s'installent à bord des unités afin d'améliorer les rendements et la précision des travaux.

I-9-5-3 La nécessité des opérations de dragage [21]

D'après LINSSEN 1977, Les facteurs qui poussent à envisager le dragage sont liés soit à des considérations hydrauliques, soit à l'entretien et à la restauration du milieu. Le dragage peut avoir les objectifs suivants :

- Procéder à des travaux d'excavation sous l'eau dans les retenues des barrages «la récupération de la capacité de stockage».
- Extraire les sédiments immergés tel que sable, gravier, argile, les métaux précieux et les agents fertilisants.
- La navigation gênée ou rendue impossible par l'envasement : Entretien et approfondir les voies navigables.
- nettoyer des fonds pollués.
- Améliorer ou maintenir la capacité de débit des cours d'eau en augmente les profondeurs naturelles.

I-9-5-4 Les types de dragages [11]

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

- Entretien : sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation
- Aménagements sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigable
- L'approfondissement : sont commence lorsqu'il devient nécessaire d'adapter le seuil de navigation et prolonger la durée de vie des barrages, les travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragages importants.

I-9-5-5 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 êtres recensées :

I-9-5-5-1 Les dragages mécaniques [20]

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 : voir figure (I.15).

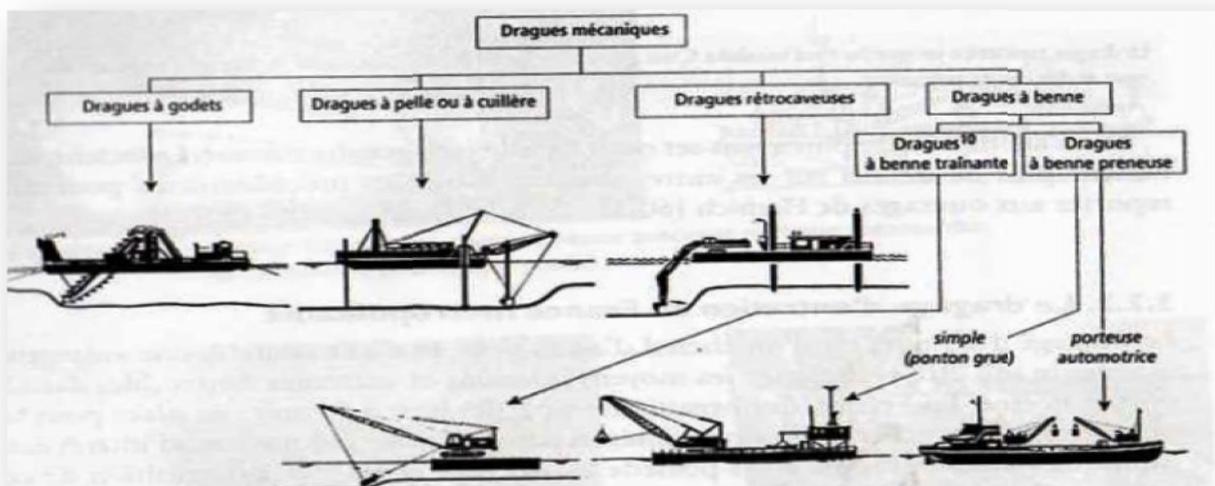


Figure (I.15): Récapitulatif des différents types de dragues mécaniques. [Roland Boutin 2000]

I-9-5-5-2 Les dragages hydrauliques [20]

Ils réalisent par des dragues désagrégatrices et aspiratrices : voir figure (I.16). 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 %. Vis-à-vis des volumes extraits : l'une des principales différences entre les dragages mécaniques et hydrauliques est constituée par les volumes extraits et les dilutions des sédiments en place. Dans les faits, alors que les engins mécaniques ne remanient que faiblement le sédiment (foisonnement 10 %), les dragages par aspiration impliquent une dilution par 3 à 10 volumes d'eau pour un volume de sédiment en place. Schématiquement, les proportions draguées se présentent sous la forme suivante : voir figure (I.17).

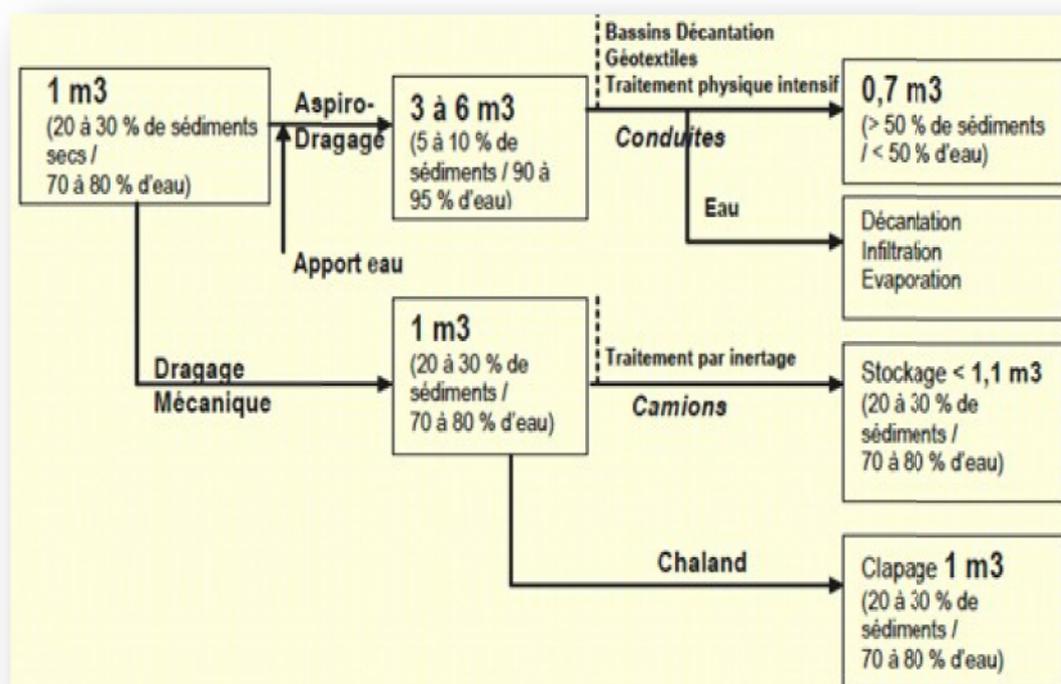


Figure (I.16): Les dragages hydrauliques. [Roland Boutin 2000]

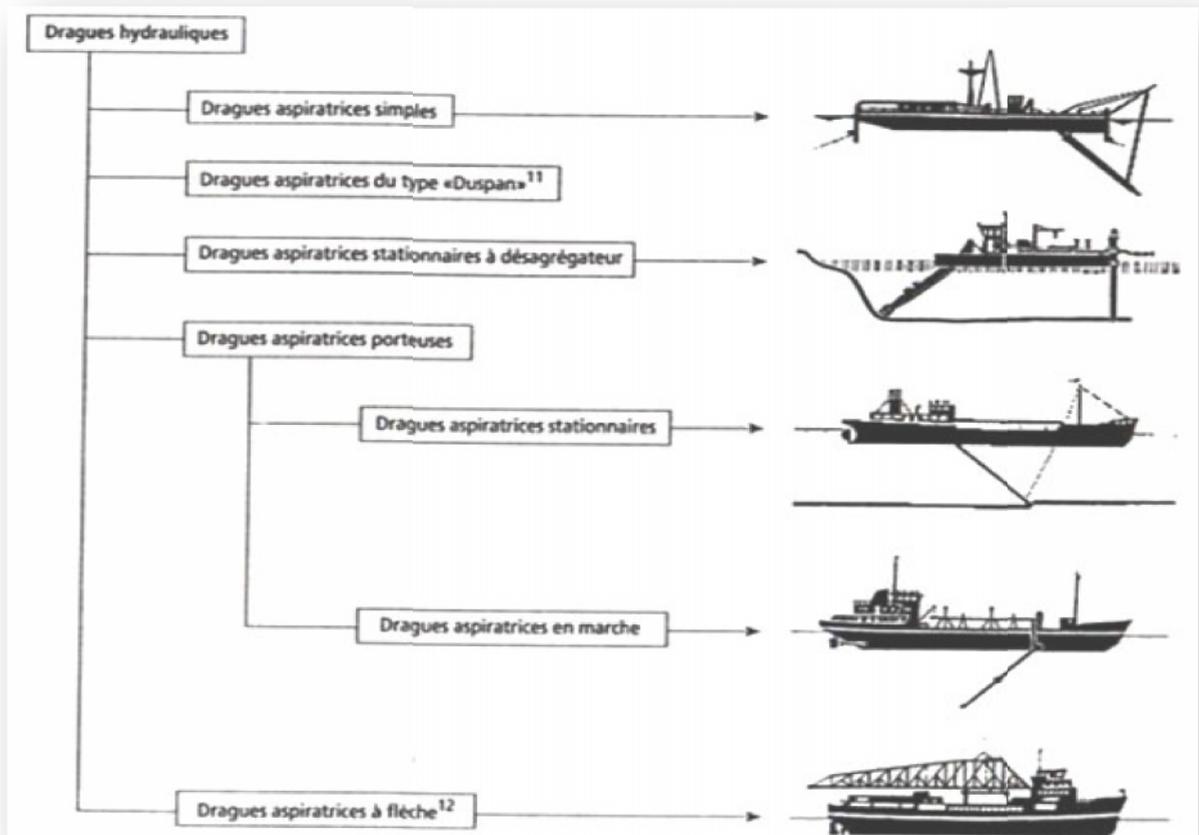


Figure (I.17): Représentation des volumes extraits selon la technique de dragage utilisée
[PROULHAC .N, KERLANN 2006]

I-9-5-5-3 Les dragages à l'américaine [22]

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.

I-10 Conclusion

A la fin de ce premier chapitre, l'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à l'aval du barrage, il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydraulique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. En Algérie la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause de phénomène de l'envasement, Ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle. Le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable pour prolonger la durée de vie de cet ouvrage, L'envasement de la retenue augmente d'une année à l'autre. Le volume de la vase dragué dans le barrage de l'oued fouda représente près de 82.10^6 m^3 . En raison de ces quantités considérables, la valorisation de ces vases du dragage demeure un véritable enjeu.

CHAPITRE II

L'ENVASEMENT DES BARRAGES EN ALGÉRIE

Created with

 **nitro** PDF[®] created with **professional**
 **nitro** PDF[®] download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

II- L'envasement des barrages en Algérie

II-1 Introduction [23]

L'Algérie enregistre une pluviométrie moyenne annuelle évaluée à 100 milliards de m³ sur lesquels les eaux de ruissellement ou écoulements superficiels représentent environ 12,5 milliards de m³, le reste des précipitations se partage entre évaporation et infiltration dans le sol. Aujourd'hui, l'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation totalisant une capacité de 4,5 milliards de m³ et permettant de régulariser un volume annuel de 2 milliards de m³ utilisées pour l'A.E.P., l'industrie et l'irrigation. Or du fait de l'érosion assez sensible (pluie de courte durée, de forte intensité, absence du couvert végétal et relief assez jeune ...), l'Algérie perd annuellement une capacité estimée à 20 millions de m³ par le dépôt des sédiments dans les retenues. La majorité des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'années. 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.

Nous avons abordé dans cette étude, l'importance de l'envasement dans les retenues de barrages en Algérie, et la mise en évidence du rôle joué par la dégradation du bassin versant amont dans ce comblement, les problèmes posés par ce phénomène sont abordés à partir d'exemples Algériens. La réduction de la capacité de la retenue et l'obturation des organes de vidange sont des menaces qui pèsent lourdement sur la rentabilité des infrastructures hydrotechniques quand ce n'est pas sur la sécurité même de l'ouvrage.

Dans de nombreux pays du monde, 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 onéreuse. 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 péril de l'économie du projet.

II-2 Importance du phénomène d'érosion en Algérie [24]

A l'instar des pays de la méditerranée, et en particulier ceux du sud, l'Algérie n'est pas épargnée par l'érosion dont l'intensité varie d'une région à une autre. Elle est plus ressentie à l'ouest du pays avec un taux de 47% suivie de la région centre avec 27% et l'Est avec 26%.

Le phénomène de l'érosion prend son origine de la sécheresse, des feux de forêts et du défrichement avec un degré moindre le surpâturage et les cultures inappropriées.

II-4 Réduction de la capacité de la retenue [23]

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement: chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.

La quantité de sédiments déposés dans les barrages Algériens : voir tableau (II.1) était évaluée à 560.10^6 m^3 en 1995 soit un taux de comblement de 12,5 %; elle sera de 650.10^6 m^3 en l'an 2000, soit un taux de comblement de 14,5 %. A titre d'exemple, la capacité initiale du barrage de Ghrib (Médéa) était de 280.10^6 m^3 en 1939 et n'était plus que de 109.10^6 m^3 en 1977. Une projection a été faite pour l'an 2010, d'où il ressort que certains barrages comme par exemple ceux du Fergoug et de Zardézas finiront par périr si ces dispositions radicales ne sont pas prises.

Tableau (II.1) : le taux d'envasement des barrages en Algérie

Région	Nombre de Barrages	Capacité initiale (Hm3)	Date Dernier levé Bathymétrique	Capacité dernier levé (Hm3)	Envasement moyen annuel (Hm3)	Envasement dernier levé (Hm3)	Taux d'envasement %
Ouest	13	1204,88	2004	1015,16	9,14	189,72	15,75
Cheliff	16	2209,40	2005	1639,39	23,77	573,01	25,94
Centre	12	1576,50	2005	1549,03	3,57	27,49	1,74
Est	23	2754,00	2004	2 586,40	11,38	167,60	5,31
Total	64	7744.78		6786,98	47,86	957,82	12,37/14,11

Les barrages de l'Oued Fodda, Gheub, Bouhanifia, K'sob et Foum el Gherza ne pourront plus garantir les quantités d'eau potable et d'irrigation nécessaires : voir tableau (II.2).

Tableau (II.2) : Capacités de certains barrages Algériens en l'an 2010

Barrages	Capacité initiale (10^6 m^3)	Quantité de vase en 2010 (10^6 m^3)
Fergoug	18	31
Zardezas	31	37
Oued El Fodda	228	82
Ghrib	280	227
K'sob	11,6	11,1
Foum El Gherza	47	39,5

Nous avons étudié l'évolution de la capacité utile de l'eau en fonction de la hauteur dans les retenues des barrages de Bouhanifia, Foum el Gherza, Oued Fodda, Fergoug.

a) Barrage de Fergoug

L'envasement de la retenue du barrage de Fergoug I (ancien barrage: 1885-1926) a réduit la capacité utile de 27.10^6 m^3 à 14.10^6 m^3 durant les 31 ans d'exploitation, soit un volume de vase égal à 13.10^6 m^3 .

Concernant la retenue du barrage de Fergoug actuel, la capacité utile se trouve ainsi réduite de 17.10^6 m^3 en 1970 12.10^6 m^3 en 1973 et à 4.10^6 m^3 en 1985, ce qui représente respectivement un volume de vase de 5 et 13.10^6 m^3 équivalent en définitif à un taux de comblement de 80 % ce qui a amené les services concernés à dévaser le barrage à partir de l'année 1986, par le procédé de dragage.

b) Barrage de Foum el gharza

La sédimentation accélérée de la retenue a été évidente dès le début de la réalisation du barrage, le batardeau amont ayant été complètement comblé en deux ans (1948-1950); par la suite, elle a provoqué une montée rapide du toit de vase, soit plus de 35 mètres en 40 années d'exploitation qui représente un volume de vase égal à $18,5.10^6 \text{ m}^3$. Nous estimons la capacité de la retenue en 1995 à 24.10^6 m^3 , soit un comblement de plus de 50 %.

c) Barrage de l'Oued Fodda

Du fait de l'envasement intensif qui affecte la retenue de l'Oued Fodda, la capacité initiale évaluée à 228.10^6 m^3 en 1932 s'est retrouvée à 130.10^6 m^3 en 1986 et 112.10^6 m^3 en 1994. Le toit de la vase près des vannettes est à environ 36 mètres du fond, soit un taux de comblement évalué à 50 % en 1994.

d) Barrage de Bouhanifia

C'est dans le but de réduire la vitesse de comblement et ainsi prolonger la durée de vie du barrage de Fergoug que le barrage de Bouhanifia a été réalisé à l'amont.

Malheureusement ce barrage s'est retrouvé face à une sédimentation accélérée qui a réduit sa capacité de 73 à 47.10^6 m^3 durant la période 1940-1986, soit une vitesse moyenne de sédimentation égale à $0,56.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Nous estimons le dépôt des sédiments à 31.10^6 m^3 en 1995, soit un volume d'eau restant de 42.10^6 m^3 et un taux d'envasement de 42 %.

II-5 Obturation des organes de vidange [23]

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond. Le cas du barrage de l'Oued Fodda (Chleff) peut servir d'exemple: en effet, la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 et elle se trouve maintenant sous plus de 40 mètres de vase; toute opération de vidange de la retenue est de ce fait impossible.

Un autre cas à signaler pourrait être celui du barrage de Foum el gharza(Biskra) où la vanne de fond a été bloquée de 1982 à 1989.

II-6 Sécurité de l'ouvrage [23]

Indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir, l'envasement pose celui de la stabilité de l'ouvrage: on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur. La densité de la vase peut atteindre 1,6. A titre d'exemple, pour le barrage des Zardézas, les services concernés ont diminué le volume de l'eau claire de 9.10 m en 1990 uniquement pour assurer la sécurité de l'ouvrage: bien évidemment, cela s'est fait au détriment de l'approvisionnement de la population de la ville de Skikda et du périmètre du Safi-saf, Le volume régularisé qui était de 20.10^6 m^3 s'est trouvé réduit à environ 10.10^6 m^3 .

Un autre exemple à signaler est celui du barrage de Fergoug I. La commission chargée de déterminer les causes de la rupture survenue en 1927 a noté dans son rapport:

{ Avant la rupture, le débit évacué par le déversoir a été si élevé qu'il a du régner près du barrage un courant qui a contrarié la décantation de la vase, de telle sorte que pendant cette période, la partie supérieure de la digue située au dessus des dépôts, était soumise non pas à la poussée de l'eau, mais à celle plus forte, d'un liquide plus lourd dont on n'a pas pu déterminer la teneur en vase.

II-7 Moyens de lutte contre l'envasement utilisé en Algérie [23]

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'abondons 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:

A) 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 67000 ha/an. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

B) Réalisation de barrage de décantation [23]

Il existe un cas en Algérie, c'est le cas du barrage de Bougezoul 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 m^3 de vase. Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

C) Surélévation des barrages : Photo (II.2) [24]

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.



Photo (II.2) : Méthode de surélévation des barrages

Created with

➤ Barrage du Hamiz (wilaya de Boumerdes)

Barrage construit en 1879 en vue de l'irrigation du périmètre de Mitidja est. L'envasement accéléré de la retenue a permis à l'administration en 1883 de surélever de 7 m pour porter sa capacité à 23.10^6 m^3 .

➤ Barrage des Zardézas

Il a été mis en eau en 1945, sa hauteur de 37 m lui permet d'assurer un volume de $14,9. 10^6 \text{ m}^3$. Du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passée de $7,5.10^6 \text{ m}^3$ en 1974. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12, 5 m de plus). Le volume ainsi obtenu est de $31 10^6 \text{ m}^3$.

➤ Barrage de K'sob

Barrage de capacité de $11,5.10^6 \text{ m}^3$ 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 4.10^6 m^3 . En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43 m (15 m de plus) pour porter sa capacité à 31.10^6 m^3 .

D) Chasses dites à l'Espagnole [23]

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.

E) Soutirage des courants de densité [23]

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

➤ Barrage d'Ighil Emda

Le barrage d'Ighil Emda est de capacité $156 10^6 \text{ m}^3$ à la cote 532 m au-dessus du niveau de la mer. Il a été mis en eau en 1953.

Notons que près de 50 % de vases ont été soutirés grâce au système de soutirage à savoir sur $88.773.564 \text{ m}^3$ d'apports solides jusqu'à l'année 84. Seulement $45.657.458 \text{ m}^3$ ont réussi à se décanter et se consolider alors que $43.1 16.10^6 \text{ m}^3$ ont été soutirés.

➤ Barrage de l'Oued Fodda

Il a été mis en service en 1932 avec une capacité initiale de 228 M de m^3 . Devant la progression de l'envasement de la retenue et ce qui a entraîné le blocage de la vanne de fond, le barrage a été percé de 04 vannettes de dévasement (opérationnelles en 1961). Ce système a permis d'évacuer de 1961 jusqu'à 1993 environ 12 M de m^3 de vase.

➤ Barrage de Foum El Gherza

Grâce à la vanne de fond $600 000 \text{ m}^3$ de vase ont été évacuées de 1989 jusqu'à 1993. Notons que de 1982 jusqu'à 1989, la vanne a été bloquée par la vase.

F) Dragage des barrages [24]

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 Foum-El-Gherza: voir Photo (II.3).

La première opération de dévasement en Algérie, a commencé en 1957 et a concerné

Created with

le barrage de Cheurfas (W.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



Photo (II.3) : 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.3) résume le volume total de vase extrait du barrage de Fergoug jusqu'à 1992.

Tableau (II.3) : 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

G) Reprise de barrage [24]

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:



Reprise du barrage Fergoug (Mascara) mise en service en 1871 avec un volume de 30.0 hm³ et remplacé en 1970 par un nouveau barrage d'une capacité de 18.0 hm³.



Reprise du barrage Cheurfas I (Mascara) mis en service en 1882 avec une capacité de 14.4 Hm³ et remplacé en 1992 par le barrage Cheurfas II, d'une capacité de 82.0 hm³

H) Valorisation des vases [24]

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(Bouira) : voir Photo (II.4), 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.

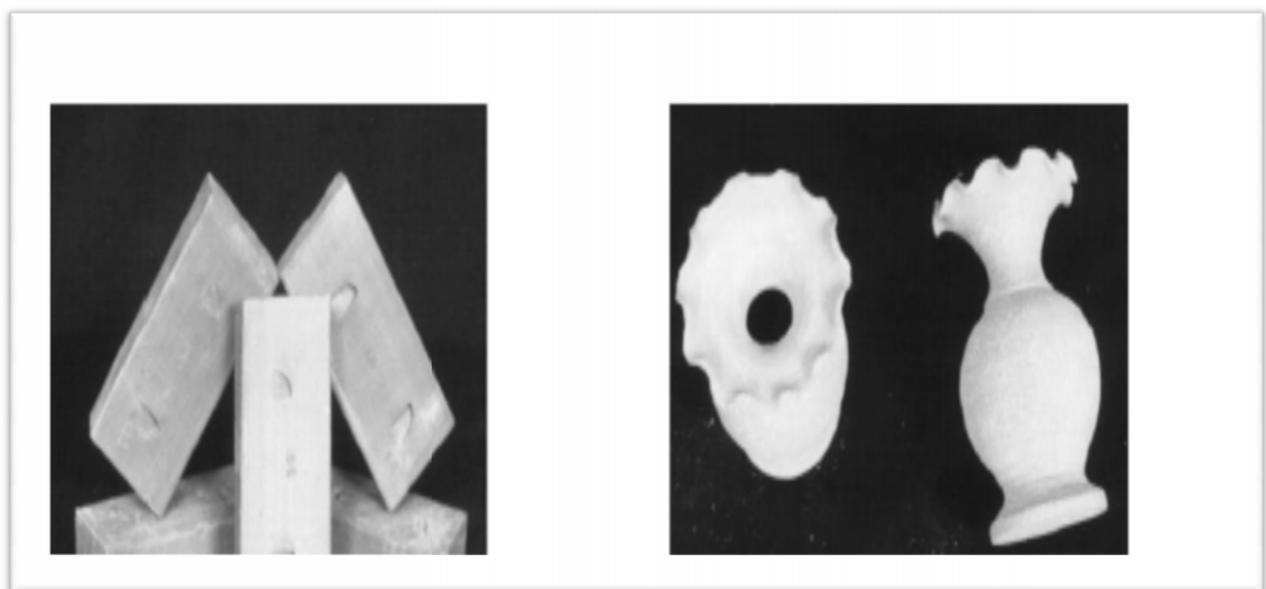


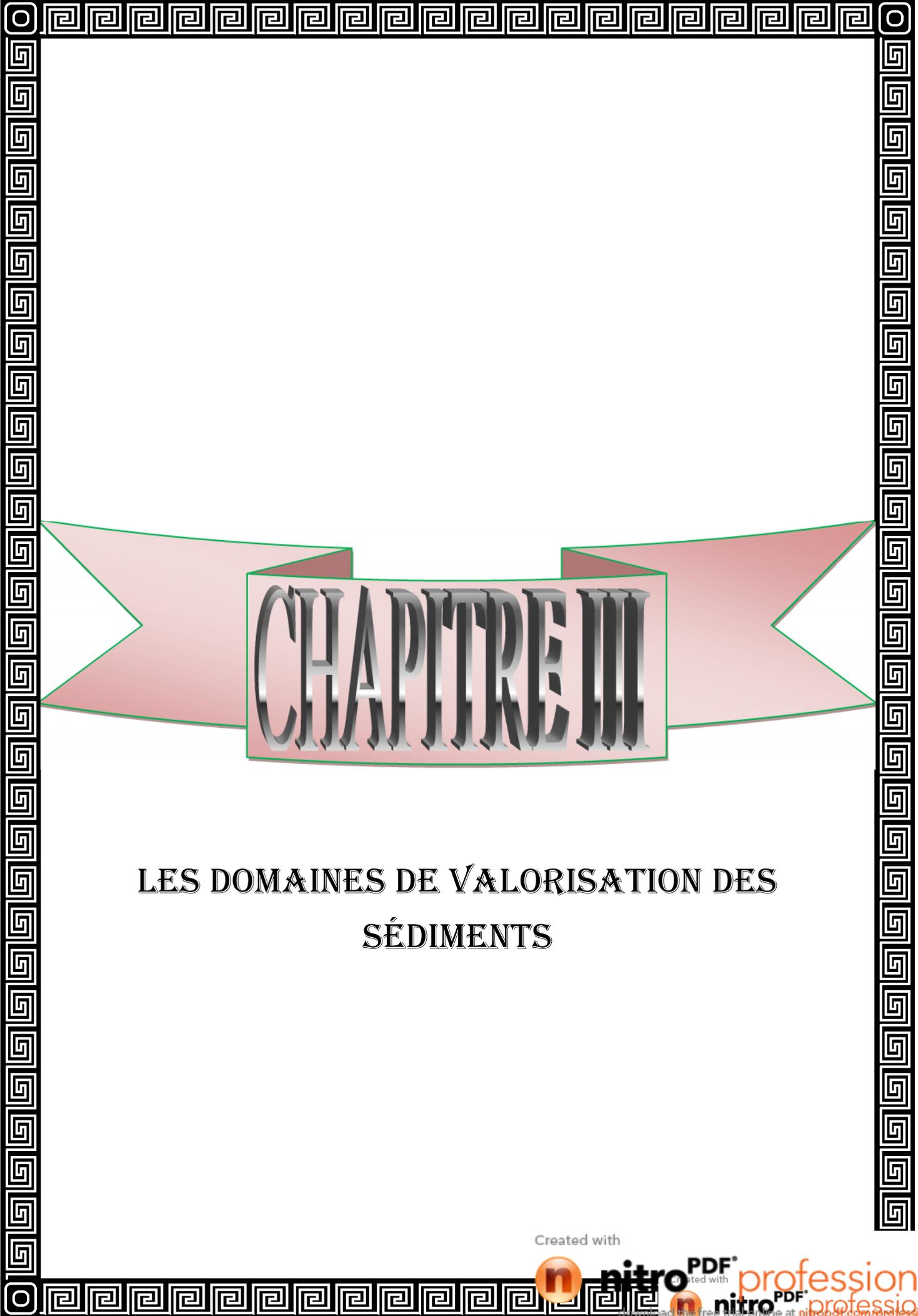
Photo (II.4) : Briques et récipients à base de la vase du barrage Lakhel (Bouira)

II-8 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

LES DOMAINES DE VALORISATION DES SÉDIMENTS

Created with

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

III- Les domaines de valorisation des sédiments des barrages (La vase)

III-1 Introduction [25]

Des travaux de dévasement gigantesques ont été entrepris dans plusieurs barrages algériens en l'occurrence le barrage de Fergoug (ouest algérien) mais se sont avérés destructeurs de l'environnement puisque des quantités considérables de vase sont déversées dans la nature portant un préjudice écologique incontournable. C'est pour cette raison qu'il faut tirer la sonnette d'alarme et sensibiliser les chercheurs à étudier tous les aspects chimiques, physiques, minéralogiques et mécaniques de la vase draguée des barrages afin d'en tirer profit dans le domaine des matériaux de construction par souci d'économie et contribuer ainsi à la préservation de l'environnement. Compte tenu des énormes volumes dragués des barrages algériens, plusieurs chercheurs se sont penchés sur la gestion et le devenir des boues de dragage. Cette gestion qui commence toujours par une phase de caractérisation a pour objet de déterminer les propriétés qui permettent de préciser les vocations ultérieures du produit. Dans un esprit de développement durable et pour une bonne gestion de l'environnement, plusieurs domaines pour l'utilisation de la vase en tant que matière première et non plus comme déchet ont été ciblés notamment le génie civil et l'agriculture.

III-2 Utilisation comme fertilisant des terres agricoles

III-2-1 Introduction

Plusieurs études ont été élaborées dans ce domaine. A titre d'exemple, en 2002, Labiod [26] a mis en évidence une possibilité d'utiliser la vase du barrage de Fergoug et celle de Bou Hanifia comme fertilisant des terres agricoles.

Selon Vilain 1987[27], un bon sol cultivé est composé de 96 à 98% de la matière minérale et de 1 à 3% de la matière organique. Cette dernière joue un rôle très important dans l'équilibre du bilan hydrique du sol: diminue l'infiltration rapide de l'eau d'irrigation vers le bas de la zone racinaire, diminue aussi la remontée capillaire des eaux et l'évaporation pendant les périodes du manque d'eau et garde une humidité par sa caractéristique d'emménagement de l'eau.

L'ajout de la vase de barrage à un sol avec sa caractéristique argileuse et fine permettra de corriger la granulométrie et la porosité. La vase est caractérisée aussi par une richesse en matière organique (jusqu'à 18%) donc elle peut être utilisée comme fertilisant des terres pauvres (Belhadri M., 1997) [28].

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

III-2-2 Les amendements minéraux: [29]

a) Les amendements calco-magnésiens:

Ces amendements sont riches en calcaire et en magnésium. Ils ont trois intérêts: augmenter le pH, améliorer la structure du sol (création du complexe argilo-humique grâce au pont calcium ou magnésium) et maintenir un taux de calcium correct.

Chaque année, une quantité importante de calcium disparaît:

- Les légumes captent du calcium et ces légumes seront transportés du jardin à la cuisine pour être dégustés! Cette quantité de calcium contenue par les légumes ne revient donc pas dans le sol (on parle d'exportation).
- Le lessivage du calcium par l'eau de pluie.
- L'action décalcifiante est acidifiante de certains engrais (ammoniacaux NH_4).

On distingue les produits crus et les produits cuits

- Les produits crus sont obtenus par broyage. Les roches sont réduites en poudres plus ou moins fines. Par exemple: calcaire broyé, craie, dolomie, lithothamne,
- Les produits cuits sont obtenus par calcination (les roches sont brûlées). Par exemple chaux vive, chaux éteinte, cendres de chaux... En général, les produits cuits ont une action plus rapide que les produits crus. De plus, l'efficacité dépend de la finesse de broyage, car les petites particules sont plus facilement dissoutes dans l'eau du sol.

III-2-3 Amendements à base d'argile:

Utilisés sur les terres sableuses pour améliorer la texture, augmenter la cohésion des particules et la capacité de rétention en eau. Plusieurs produits apportent de l'argile: de l'argile pure (kaolinite, bentonite), les roches d'origine volcanique (basalte volcanique, vermiculite) riches en oligo-éléments (magnésium) et silice, la marne (mélange d'argile et de calcaire), les vases d'eau douce. Il faut 9 à 15kg/m² d'argile pur pour augmenter le taux d'argile du sol de 3 à 5%.

III-2-4 Amendements à base de sable:

Utilisés sur les terres argileuses afin de les alléger et augmenter leur perméabilité. On peut utiliser des sables de diverses origines: sable de rivière, sable de

Created with

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

carrière, sable coquillé. Utiliser des sables grossiers afin d'éviter de boucher les pores du sol. Il faut 15 à 30kg/m² de sable pour augmenter le taux de sable du sol de 5 à 10%.

III-3 Utilisation de la vase comme matériau de construction

III-3-1 Utilisation de la vase dans la fabrication de ciment [30]

Les chercheurs de plusieurs universités dans le monde collaborent entre eux pour pouvoir construire à bon marché à partir des déchets naturels ou industriels ou à partir d'autres matériaux locaux en abondance tels que la pouzzolane naturelle de Béni-Saf, les fines calcaires des carrières ou encore les boues de dragage utilisés partiellement en substitution au ciment conventionnel.

La production du ciment Portland, le plus commun des matériaux de construction, a un coût énergétique élevé, calciné à de hautes températures, sa production coûte chère et dégage des gaz à effet de serre portant un énorme préjudice à l'environnement. Le besoin d'un produit de substitution est urgent, la réduction des coûts d'un logement est cependant liée à la baisse des matériaux de construction. Le ciment à base de ces additions fournit une solution opportune.

Les blocs en béton d'argile expansée sont produits pour l'essentiel selon la même technique que les blocs en béton de granulats courants (voir Béton de granulats courants).

Les granulats sont simplement remplacés par de l'argile expansée de manière à abaisser la masse volumique et la conductivité thermique.

L'argile expansée est fabriquée à partir de billes d'argile broyée auxquelles on fait subir une cuisson à une température de 1100 à 1200 °C. La combustion des composants naturels de l'argile ou des composants organiques ajoutés produit des gaz responsables de l'expansion des billes, avec formation d'une structure finement poreuse à l'intérieur de celles-ci et d'une peau relativement dure en surface.

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

Le phénomène de l'envasement des barrages en Algérie constitue un enjeu d'envergure nationale. Ces barrages se transforment beaucoup plus en réceptacles de vase que d'eau. A cet effet, Les possibilités d'utilisation des sous produits issus des opérations de dragage sont réelles et touchent de nombreuses applications. La fraction solide des vases des barrages constitue un matériau économique local très attractif du fait de sa granularité fine économisant les étapes coûteuses de concassage et tamisage dans les applications en Génie Civil. L'utilisation de ces matériaux en tant que matière première contribue souvent à la protection de l'environnement des sites suite au rejet des matériaux dragués. Il s'est avéré que les caractéristiques physico-chimique et minéralogique de la fraction solide des vases extraites du barrage de Fergoug ont montré plusieurs voies pour leur utilisation et leur exploitation entant que matière première et non comme déchet stocké dans la nature.

III-3-2 Couche étanche pour un bassin de lagunage : Figure (III.1)

Les bassins de décantation d'une station d'épuration par lagunage nécessitent une étanchéité pour éviter l'infiltration des eaux usées vers les eaux souterraines et la pollution de la nappe par la suite. Pendant la réalisation et après l'étape de terrassement et l'évacuation des déblais, ces bassins sont couverts par les rouleaux de géomembrane.

Ce dernier est imperméable mais coute très cher. L'utilisation de la vase de barrages peut servir à minimiser le cout de réalisation et jouer le même rôle d'étanchéité des bassins de décantation qu'un tapis en géomembrane.

Le même cas pour les centres d'enfouissement techniques ou ce qu'on appelle les décharges public. Les déchets sont remblais dans des bassins qui doivent être étanches pour protéger les eaux souterraines.

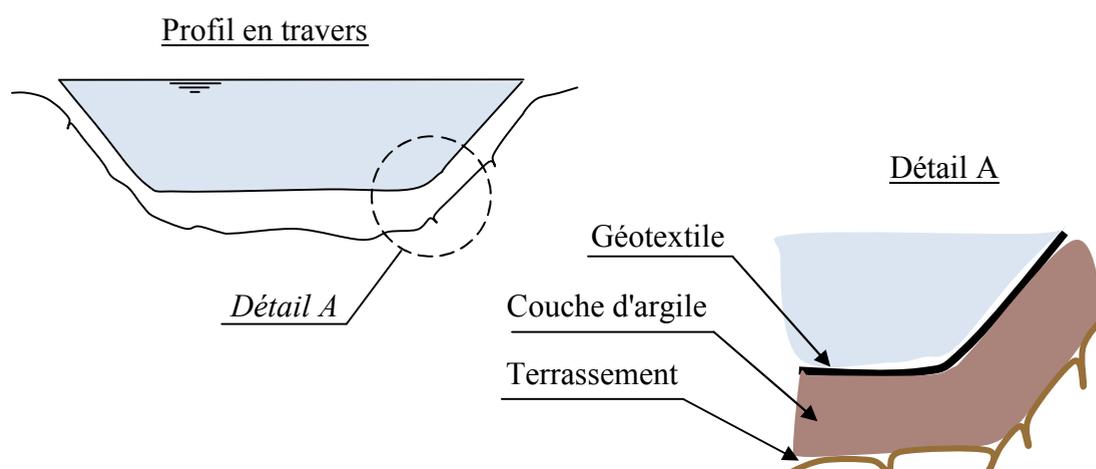


Figure (III.1): Une couche d'argile dans un bassin de lagunage.

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

III-3-3 Utilisation dans l'industrie des matériaux rouges (voir Photo (III.1))



Photo (III.1): Briques et tuiles

Les matériaux rouges sont essentiellement les briques, les tuiles : voir photo (III.1), les éléments pour planchers, les conduits de fumée, les bardages, les carreaux rustiques, ... etc. Les mélanges de production des matériaux rouges sont composés de l'argile, sable, calcaire, feldspath et d'autres ajouts.

Comme la nature de la vase de la plus part des barrages est une argile, elle peut être utilisé comme matière première dans l'industrie des matériaux rouge. Selon sa composition minéralogique et chimique, la vase est utilisée seule ou en la mélangeant avec une autre argile.

Une étude a été effectuée par Boualem R., 2004[31], sur deux échantillons de la vase du barrage de Bouhanifia. Une comparaison avec l'argile utilisée dans la fabrication de la brique, il a pu constater que les résultats issus des analyses chimiques et minéralogiques effectuées sur la vase prélevée au niveau de la retenue du barrage sont bien conformes aux normes internationales de la fabrication des briques.

Une autre étude a été réalisée par le même auteur Boualem R. en 2006, sur la possibilité de l'utilisation de la vase de 11 barrages les plus envasé en Algérie : voir figure(III.2) dans les différents domaines de fabrication des matériaux rouges. Des

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

échantillons de vase prélevés au niveau des vannes de fond de ces barrages ont fait l'objet de cette étude. La figure suivante donne la répartition des barrages étudiés dans les quatre bassins hydrographiques.

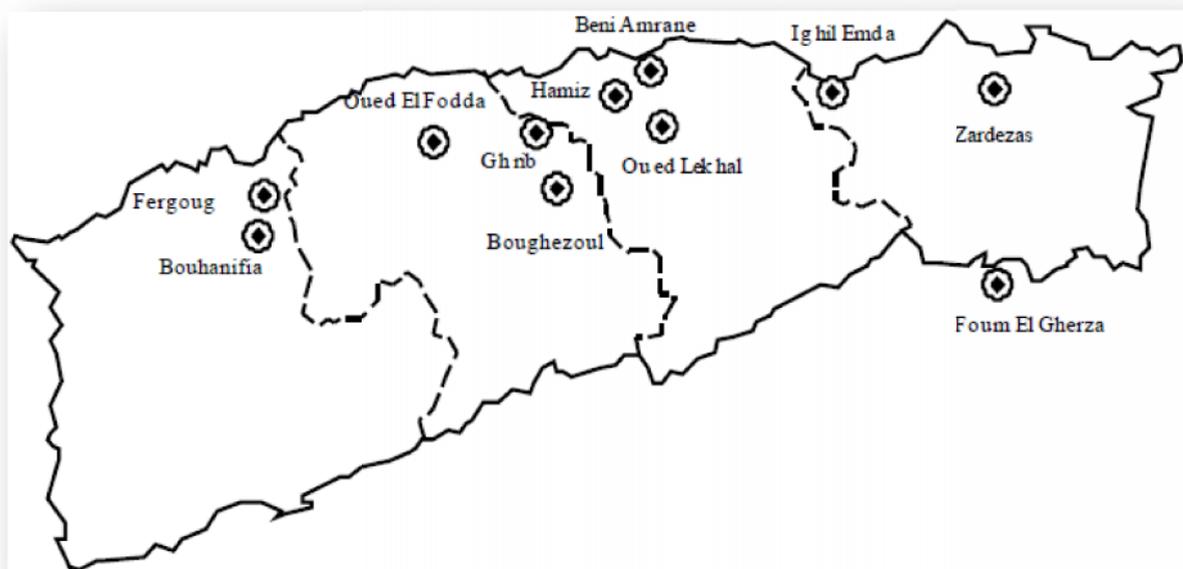


Figure (III.2): Répartition des barrages étudiés par Prof. Boualem R. 2006.

La préparation des échantillons de briques pleines a été réalisée dans plusieurs laboratoires de briqueteries d'Alger. Les deux matières (vase et argile) ont été traitées séparément (séchage à l'air libre, broyage dans un broyeur à bille, puis tamisage au moyen d'un tamis de 1mm). Après ce traitement, des pâtes céramiques plastiques sont préparées à la main.

Chaque pâte préparée est soumise au façonnage dans une étireuse (façonnage par étirage). Les échantillons de briques semi-finis sont soumis à deux modes de séchage successifs (séchage naturel puis séchage dans l'étuve à 105 - 110°C). Les briques sèches sorties de l'étuve ont été cuites dans un four tunnel à une température de cuisson de 900°C pendant 32 heures et 30 minutes.

Après la comparaison entre les résultats des analyses chimiques de l'argile jaune utilisée comme matière première pour la fabrication des produits rouges et celle de la vase des barrages étudiés, il ressort qu'ils ressemblent bien à celle de l'argile jaune.

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

III-4 Utilisation dans la fabrication du verre



Photo (III.2): Le verre

Une argile n'est utilisable dans la fabrication du verre : voir photo (III.2) que si ses composants varient entre les limites admissibles suivantes E.Olivier,T2 (technologie des matériaux de construction):

SiO₂	35 à 85 %
Al₂O₃	9 à 25 %
Fe₂O₃	3 à 9 %
CaO	0 à 25 %
MgO	0 à 5 %
Na₂O	1 à 5 %
K₂O	1 à 5 %
TiO₂	0.3 à 2 %

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

III-5 Utilisation de la vase dans les techniques routières (Photo (III.3)):

Une route repose sur un remblai, qui est soit la terre d'origine (limons de plateaux...), soit un matériau apporté. Des sables peuvent être utilisés comme remblais, mais les caractéristiques techniques sont précises. En effet, la valeur de l'IPI « **Indice de Portance Immédiate** » est un facteur indispensable à considérer pour cette utilisation. Un **IPI d'au minimum 10 est exigé pour le remblai**, un **IPI de 15 pour la partie supérieure du remblai**, dite partie supérieure des terrassements (PST), qui doit posséder les qualités suffisantes pour permettre la mise en place de la couche de forme au dessus du remblai (Figure (III.2)).

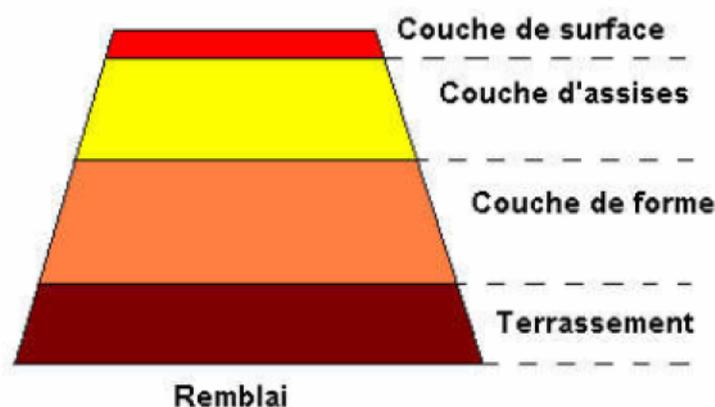


Figure (III.2): Coupe type d'un ouvrage routier (d'après CETE, 2000)

En théorie, Les sables de l'estuaire subissant un fort remaniement lors du dragage devraient présenter **une faible traficabilité** (DDE-CETE, 2000). La traficabilité peut se définir comme l'aptitude d'un matériau à supporter le trafic des engins de chantier. [32]

Les sables de dragage de la brèche appartenant à la classe B1 possèdent un IPI de 22, ce qui autorise l'utilisation des sédiments de dragage en remblais routier et en PST sans traitement particulier (liant) et contredit l'hypothèse précédente. Les sédiments devront simplement être compactés. **De la chaux (2 à 3 %) sera cependant ajoutée afin de neutraliser les argiles et la matière organique présentes dans les sédiments.** En effet, un traitement à la chaux vive va modifier l'état hydrique du remblai en abaissant la teneur en eau, et aussi neutraliser les argiles et la matière organique présentes dans le sédiment.

Les sables de dragage déposés dans la chambre de dépôt, ont un IPI de 7,9. Ainsi, un **arrosage abondant et un compactage** de ces sables seraient indispensables

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

pour obtenir un **Indice de Portance Immédiate d'au minimum de 10 pour un remblai**. Ces opérations devront sûrement être complétées par un **traitement (chaux) pour obtenir un IPI satisfaisant (d'au moins 10) et limiter la sensibilité des sédiments à l'érosion**. Ce faible IPI pourrait s'expliquer par l'absence d'éléments fins dans les sédiments (3 %). [33]

Au niveau de **l'engainement**, les sédiments de dragage sont plus fins et devront être compactés, subir un traitement à la chaux ou n'être utilisés que pour des remblais de faible épaisseur. Des études supplémentaires seraient à réaliser sur ces sédiments plus fins et plus vaseux que ceux de la brèche.



Photo (III.3): Couche de remblai de vase de dragage

Chapitre III Les domaines de valorisation des sédiments

III-6 Conclusion

Au lieu de rejeter la vase issue du dragage dans le milieu naturel comme un déchet, on la donne une valeur par la réutiliser comme matériau de construction dans le domaine de réalisation de:

- Barrages en terre, digues de protection et retenues collinaire.
- Bassins pour les stations d'épuration par lagunage.
- Centre d'enfouissement techniques (CET).

La vase peut être utilisée aussi comme une matière première dans l'industrie des matériaux rouges. Plusieurs études sont élaborées dans ce domaine sur des échantillons de vase des barrages envasés dans le nord du pays notamment celle du barrage de Bouhanifia élaborée par Boualem R. en 2004.

La réutilisation de la vase vise deux objectifs: éviter les problèmes d'ordres écologiques posés par le rejet des sédiments dans la nature d'un coté et de faire l'économie par la vente de cette vase aux entreprises de réalisation des projets qui nécessite l'argile comme un matériau de construction et aux usines de fabrication de la brique et la céramique qui nécessite l'argile comme une matière première dans l'industrie des ces matériaux.

L'objectif de notre étude est d'analyser la vase du barrage de l'Oued Fodda, déterminer les caractéristiques physiques, rhéologiques, chimiques et minéralogiques de cette vase. Sur la base des résultats trouvés, on déterminera le domaine de valorisation de la vase étudiée.



CHAPITRE IV

PRÉSENTATION DU BARRAGE DE L'OUED FODDA

Created with

 **nitro** PDF[®] created with **professional**
 **nitro** PDF[®] download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

DEUXIEME PARTIE:

ETUDE

EXPERIMENTALE

Created with



nitro PDF[®]
Created with

professional
nitro PDF[®]
professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

IV- Présentation du barrage de l'Oued Fodda

IV-1 Situation et objectif

La mobilisation des ressources hydrauliques des surfaces qui assurent les besoins des périmètre du Chéllif ainsi que le périmètre de Mina en eau d'irrigation et en eau potable pour les agglomérations de Berrouaghia , Tiaret et Relizane sont constituées d'une infrastructure de plusieurs grands barrages réservoirs tel que le barrage de Ghrib, de l'Oued Fodda, de Sidi Yaccoub, Bakhada, Sidi M'Hamed Ben Aouda, Gar-Gar, Hraza et celui d'Ouled Melouk.

La vallée du Chéllif, orientée d'Est en Ouest, est constituée d'une série de cuvettes ; d'amont en aval, on trouve 3 périmètres successifs :

- le périmètre du haut-Chéllif (barrage du Ghrib) ;
- le périmètre du moyen Chéllif (barrage de l'Oued Fodda) ;
- le périmètre du bas Chéllif.

IV-2 Périmètre de l'Oued Fodda

IV-2-1 Ouvrages constitutifs

Les ouvrages essentiels du périmètre sont :

- Le barrage de prise de Pontéba sur le Chéllif a été construit en 1868. Il se trouve à l'aval du confluent de l'Oued Fodda. Il permet de dériver dans la zone Ouest du périmètre une partie des eaux des barrages du Ghrib et de l'Oued Fodda.
- Le barrage réservoir de l'Oued Fodda (appelé aussi barrage steeg), il assure la régularisation inter annuelle des eaux.
- Le barrage de prise des portes de fer, construit en béton précontraint en 1938 à l'aval du barrage, son rôle est d'assurer la continuité des débits d'irrigation pendant les arrêts journaliers de l'usine hydroélectrique placée à l'amont.

IV-2-2 Historique

Le barrage de l'Oued Fodda a été construit sur l'Oued de même nom. Il a été mis en service en 1932, après plusieurs études établies et obstacles rencontrés, dont on peut citer :

- La stratigraphie du site, E.Ficheur (1911), fut le premier a indiqué l'emplacement du barrage en trois possibilités, l'un au confluent des oueds : Fodda et Bou-rourou, les deux autres légèrement en amont du barrage réalisé ;
- Le premier emplacement fut jugé par M. Lugeon (1920), comme s'appuyant sur les massifs calcaires beaucoup trop perméables pour que le barrage puisse se remplir ;
- Le problème des risques d'origine sismique et des risques d'envasement fut posé en 1924 au géologue A. Brives ;

-Le marché d'exécution fut approuvé le 18 février 1926, le projet a été accepté par l'entreprise Dufour ;

-En 1928 la construction a été commencée ;

-Un incendie détruisit les installations de chantier en 1929 ;

-En 1931, les travaux sont repris par l'entreprise Campegnon-Bernard.

En résumé, les entreprises ayant participé aux travaux sont :

-L'entreprise Dufour pour les études et le début de la construction ;

-L'entreprise Campegnon-Bernard pour la fin de la construction et tous les aménagements sauf pour la vanne de prise d'eau ;

-La société Escher Wyss met en place la vanne de prise d'eau ;

-La société « les travaux souterrains » pour l'étanchéité des fondations.

IV-2-3 Equipements et fonctionnement

Le barrage de l'Oued Fodda est équipé de :

-121Km de conduites forcées construit en béton précontraint dont 45Km conduites principales et 76Km conduites secondaires ;

-124Km canaux principaux et secondaires ;

-185Km d'anciens canaux principaux et secondaires.

De ce barrage, il part un canal principal, se départageant à l'aval du village El-Karimia, ces canaux assurent l'alimentation de la zone Est du périmètre et une conduite forcée se départageant à l'amont du village de l'Oued Fodda, ces canaux assurent l'alimentation de la zone Ouest du périmètre (Monographie du barrage de l'Oued Fodda, 1984).

IV-2-4 Utilisation

Ayant une capacité de 228 millions de m³, le barrage de l'Oued Fodda assurait un débit régularisé garant de 70 millions m³ en 1966.

Les superficies irriguées sont :

- 6000 ha pour la zone Est ;
- 13000 ha pour la zone Ouest.

Les cultures sont essentiellement des agrumes, des cultures maraichères, des fruits, du fourrage artificiel et du coton.

L'équipement est complété par une usine au pied du barrage de l'Oued Fodda pour l'exploitation de l'énergie hydraulique (elle fut arrêtée en 1965 pour cause d'envasement).

De cette dernière, il part en deux lignes de 60Kv :

-Une vers Relizane ;

-Une vers El-Khemis ;

-Et une ligne de 30Kv pour les services auxiliaires et l'alimentation du barrage.

Sur deux années de fonctionnement, la production moyenne est de 13.6 millions de KWh.

IV-3 Hydrologie

IV-3-1 Caractéristiques physiques du bassin versant

La surface du bassin versant est de 800Km², sa longueur est de 48Km, son altitude varie entre 280 et 1985 m, l'altitude moyenne est de 838 m. Le relief est vigoureux, son coefficient de ruissellement moyen est de 22 %. Selon Chaumont (1920), trois zones sont distinguées pour ce bassin :

Le massif jurassique de l'Ouarsenis, qui alimente surtout Oued Sly ;

La zone des formations détritiques du Flysch et des marnes, qui couvre presque la totalité du bassin occidental et septentrional avec une érosion et une tendance au glissement important ;

Le haut bassin entaillé dans le marno-calcaire qui a pour conséquences des ruissellements intenses.

Au total, on a 55% de terrains crétacés et 45% de terrains essentiellement marneux. Le pourcentage de reboisement d'environ 30%, est faible pour une région au relief abrupt. La forêt se trouve d'ailleurs localisée dans les terrains crétacés qui sont les plus résistants à l'érosion.

IV-3-2 Données climatologiques

Le climat de type méditerranéen, s'échelonne du semi-aride pour les parties basses au sub-humide pour les sommets dépassant 1100 m.

La température moyenne annuelle est d'environ 15 °C, avec température minimale = -10 °C et maximale= +44 °C.

IV-3-3 Pluviométrie

Les annuaires hydrologiques d'Algérie donnent pour le bassin versant une pluviométrie moyenne annuelle de 554.6 mm : voir tableau (IV.1), calculée par la méthode de Thiessen à partir des observations des stations pluviométriques voisines, sur une période de 20 ans.

Tableau (IV.1) : Evolution de la lame d'eau

	Altitude (m)	Pluviométrie annuelle (mm/an)
El Attaf	165	708
Oued Fodda	500	468
Kherba	229	460
Oued Sly	115	363
Tissemsilt	889	417
Teniet El Haad	1100	611
Borj Bounaama	900	697

IV-3-4 Etude des apports

L'apport moyen annuel de l'Oued Fodda est de $82.8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Depuis 1942, l'apport annuel maximum enregistré a été de $8.24 \times 10^7 \text{ m}^3$ (1997-1998), l'apport minimum a été de $1.17 \times 10^7 \text{ m}^3$ (1996-1997), la plus forte crue connue a été estimée à $400 \text{ m}^3/\text{s}$: voir tableau (IV.2).

En appliquant la formule de Glindotti, on obtient les résultats suivants :

- Tous les 10 ans : une averse de 87 mm/24h, débit de crue de $308 \text{ m}^3/\text{s}$; ($26.6 \text{ hm}^3/24\text{h}$)
- Tous les 100 ans : une averse de 139 mm/24h, débit de crue de $711 \text{ m}^3/\text{s}$; ($61.4 \text{ hm}^3/24\text{h}$)
- Tous les 1000 ans : une averse de 180mm/24h, débit de crue de $1204 \text{ m}^3/\text{s}$; ($104 \text{ hm}^3/24\text{h}$).

Tableau (IV.2) : Apports total annuel du barrage de l'Oued Fodda

Année	Apports total annuel (10^6 m^3)
1990-1991	149
1991-1992	159
1992-1993	30
1993-1994	114
1994-1995	112
1995-1996	59
1996-1997	11.7
1997-1998	82.4
1998-1999	51.9
1999-2000	142
2000-2001	142
2001-2002	48.6
2002-2003	48.6
2003-2004	48.6
2004-2005	122
2005-2006	35.3
2006-2007	70.2
2007-2008	70.2
Moyenne	82

IV-3-5 Etude de régularisation

L'étude des apports et leur distribution établie d'après le graphique de la loi de Gibrat-Galton permet de déterminer les probabilités de respecter le débit garanti Q à l'utilisateur, et les probabilités de manque d'eau. En tenant compte de l'envasement de la cuvette (2.66 millions de m³ par an) et pour une capacité de retenue de 1.43 × 10² millions de m³, le débit régularisé garanti Q diminue annuellement : voir tableau (IV.3).

Tableau (IV.3) : Evolution du débit Q pendant le temps

Année	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Q	70	68	64	60	54.5	49	35

IV-3-6 Evaporation

A partir des observations de 3 années (2004-2007), l'évaporation moyenne annuelle a été estimée de 6.5 × 10⁶ m³, les mesures directes par bac Colorado donnent les résultats mentionnés dans le tableau (IV.4).

Tableau (IV.4) : Diminution du débit régularisé Q durant le temps

Année	Hauteur totale d'évaporation sur le plan d'eau libre (mm)	Volume totale d'évaporation seule sur la retenue (hm ³)
2004-2005	1.27 10 ³	8.09
2005-2006	1.26 10 ³	7.35
2006-2007	1.119 10 ³	6.94

IV-3-7 Qualité chimique des eaux

Les eaux de ruissellement sont relativement peu chargées en moyenne de 800mg/litre pour l'eau à la sortie du barrage.

La teneur la plus forte est celle des ions SO₄= 350mg/litre : voir tableau (IV.5).

Tableau (IV.5) : Analyse chimique des eaux-teneurs en mg/litre

Date	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	CO ₃	PH	Degré Hydro	Résidu sec mg/l
17/11/2000	97	33	118	108	340	77	7.5	40	845
17/11/2001	94	52	113	127	390	70	7.5	45	866
16/02/2002	100	48	128	128	396	81	7.5	45	860
25/11/2003	95	33	104	112	331	65	7.5	35	780
22/08/2004	65	48	105	102	337	58	7.5	36	745
03/07/2007	102	28	101	102	315	61	7.5	37	757

IV-3-8 Apports solides

La capacité est le principal indicateur de valeur d'un réservoir, notamment en Algérie où les apports solides sont très irréguliers d'une année à l'autre. Le volume régularisé pour un barrage est lié à la capacité et au niveau de défaillance admis. Si la capacité est réduite du fait de l'envasement, cela entraîne une diminution soit du volume fourni annuellement, soit du niveau de garantie de l'approvisionnement avec toutes les conséquences que cela peut avoir. Pour le barrage de l'Oued Fodda, la capacité initiale qui était de 228 millions de m³, n'est plus que 143.2 millions de m³ en 1964, n'est que 111 millions de m³ en 1975, n'est que 72 millions de m³ en 1992, n'est plus aujourd'hui que 102.85 millions de m³ (2011) après procédure de dragage.

On constate donc un envasement moyen annuel de 2.66 millions de m³. Ces chiffres ont été fournis par les stations de mesure demeurant avant tout, des ordres de grandeur des appréciations quantitatives des débits liquides et solides, avec cependant une certaine marge de précision. Les mesures de débit solide ne concernent généralement que le matériau fin en suspension, la charge grossière (charriage de fond) la plus délicate à évaluer, demeure soit inconnue, soit estimée empiriquement.

IV-4 Géologie**IV-4-1 Introduction**

Le taux d'envasement du barrage dépend essentiellement de la nature des roches constituant le bassin versant. Le barrage est construit dans le massif calcaire du Koudiat Larouach, comprenant les Djbèles Akbet Mali (628 m) ; Arfa(623m) et Taksebt (642m).

IV-4-2 Stratigraphie et Faciès

La série de cet anticlinal (Gourinard, 1946) comprend les termes suivants, mis en évidence dans la coupe ci-jointe en figure (IV.1) en annexe I :

-Les calcaires « inférieurs », bleus en gros bancs (50 à 70 cm) à cassure un peu spathique, ils sont compacts et durs. On distingue deux horizons a et b, celui du haut (b) étant caractérisé par la présence de rognons siliceuse inter stratifié.

-Les calcaires « intermédiaires », d'une puissance de 100 m, ils se présentent en bancs plus minces de l'ordre de 15 cm, bien réglés. La cassure est bleue, mais à l'affleurement, ils sont recouverts d'une patine rouille.

-Les calcaires « supérieurs », d'une puissance de 150 m, ils sont formés de bancs de 20 cm d'épaisseur, durs, bien stratifiés, parfois séparés par de minces lits de marnes blanchâtres très calcaires.

-La couche rouge : cette couche est d'une puissance de 50 m, elle est constituée de marnes durcies et esquilleuses. La coloration n'est pas uniforme. On trouve des parties vertes, se distinguant des parties rouges par le degré d'oxydation du fer.

-Le jurassique « supérieur et néocomien », d'une puissance de 200 m, il est formé de couches homogènes avec alternance de marnes et de calcaires marneux grisâtres.

-Le post-néocomien : il est constitué essentiellement de marnes schistoïdes noires avec des bancs quartzites et de calcaires intercalés.

Le terme « Flysch » a été improprement attribué à ce dernier faciès, car les bancs gréseux sont en nombre très restreints et discontinus.

IV-4-3 Tectonique

L'anticlinal du Koudiat Larouah est constitué par un pli postérieur du dépôt de la couverture créacée. L'axe de cet anticlinal est orienté d'Est en Ouest. Il fait surgir de la couverture post-néocomienne les faciès décrits ci-dessus, fortement érodés par les Oueds et Bou Rourou.

Le soulèvement de ce pli, plus important vers l'Ouest, donna lieu à deux réseaux de failles :

-Un réseau Nord-Sud, constitué par la faille Ouest présente une grande hauteur de sol (180 m environ) et la faille Est, moins profonde mais plus longue.

-Un réseau Est-Ouest, constitué essentiellement par les failles concernant le versant Nord de l'anticlinal, donnant lieu à un relief en gradin caractéristique. Le flanc sud de l'anticlinal a réagi plastiquement.

IV-4-4 Etude sismique

La mise en eau donna lieu en 1933 à de fréquents ébranlements du sol, comparables à des secousses sismiques. Une étude de la compagnie générale de géophysique recherche les causes de ces secousses.

-D'une part, par analyse chimique et électrique d'eaux de résurgence, la compagnie voulut vérifier la possibilité qu'auraient les eaux de retenue d'atteindre une éventuelle couche de trias sous-jacente et par dissolution des sels, de créer des vides dont le comblement par éboulement serait à l'origine des secousses.

-D'autre part, par une étude sismique, on détermina la forme des secousses et la position des centres d'ébranlement.

Il résulte de ces études que les secousses présentent la forme d'un choc bref a périodique et à front raide, incompatible avec une hypothèse d'éboulement dont la forme serait nécessairement moelle.

Il est à noter que le barrage n'a subi aucun désordre fatal lors du séisme du septembre 1954, ni à celui d'octobre 1980.

IV-5 Conclusion

Le barrage de l'Oued Fodda qui est alimenté par un bassin versant de 800Km² dispose en principe d'un apport important permettant un remplissage annuel sans difficulté.

A partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril, la rivière débitait des volumes quelques fois dépassant les valeurs moyennes mensuelles, il arrivait même que la retenue atteignait la côte des plus hauts niveaux avant le mois d'avril.

Depuis 1981 que le régime de l'Oued a changé brusquement, ce changement ayant pour cause principale le bouleversement brutal des conditions climatologiques. Il fut constaté durant l'hiver précédent que les averses créatrices des crues ne se sont pas manifestées. Les pluies qui s'abattaient sur le bassin versant étaient fines et de courtes durées.

A titre d'exemple, durant l'année 82 / 83, la capacité était de l'ordre de 375.8 mm de pluie sur une moyenne annuelle de 474 mm soit 79%, quant aux apports, ils étaient vraiment faibles $4.93 \times 10^7 \text{ m}^3$ sur $8.40 \times 10^7 \text{ m}^3$ équivalent à un apport légèrement supérieur à 1 / 2 du volume moyen annuel d'après la direction centrale d'exploitation (bilan de critique de l'année hydrologique 82 / 83). Sur ce barrage, les écoulements d'amont sont perturbés par une sécheresse qui dévie depuis deux ans.

Durant l'année hydrologique 1983, il a été possible de réaliser un gain de l'ordre de 10.53 millions de m³ stocké dans la retenue.

Du fait des soutirages, ce taux a subit un abaissement progressif, car aussi l'évaporation de la retenue avec $4.72 \times 10^6 \text{ m}^3$ se situe à 10% de l'apport annuel. Par conséquent les besoins en eaux pour l'irrigation n'ont été satisfaits qu'à moins de moitié.

Par ailleurs l'envasement de la réserve qui atteint la moitié en quarante ans d'exploitation a fortement diminué la capacité de stockage qui était à l'origine de 228 hm³. La cause essentielle de cet envasement rapide de la retenue du barrage provient de la nature des caractéristiques de son bassin versant formé de roches tendres avec un couvert végétal mince et dégradé par l'homme.

CHAPITRE V

ETUDE DES CARACTÉRISTIQUES DE LA VASE DE L'OUED FODDA

Created with

V- Etude des caractéristiques de la vase de l'Oued Fodda

V-1 Introduction

L'utilisation de la vase de barrage dans n'importe quel domaine, nécessite une étude détaillée sur des échantillons prélevés sur site. Cette étude est basée sur les résultats de plusieurs analyses d'identification.

Le présent chapitre a pour but d'étudier les caractéristiques physiques, chimiques, minéralogiques et rhéologiques de la vase de l'Oued Fodda. Sur la base des résultats trouvés, on déterminera le domaine de valorisation du sol étudié.

V-2 Localisation de l'échantillon étudié

L'échantillon de vase qui fait l'objet de notre étude a été recueilli à 3 m en amont de la digue du barrage de l'Oued Fodda : voir figure (V.1), le prélèvement a été fait par la technique suivante : **Méthode de la benne preneuse** : voir photo (V.1)



Photo (V.1) : benne preneuse

Figure (V.1) : Localisation d'échantillon prélevé

Une **drague à benne preneuse** [34] est en fait une grue montée sur un ponton, lui-même stabilisé par des béquilles. Au bout du câble de levage est fixée une benne preneuse formée de deux grappins à mâchoires, ressemblant à la gueule d'un dinosaure. La benne prend les sédiments en s'enfonçant grâce à son poids et à l'action des mâchoires. Elle permet de ramener une quantité suffisante de sédiments (quelques centaines de grammes) pour effectuer des analyses granulométriques en laboratoire. La surface ainsi échantillonnée est d'environ 4 dm^2 .

Au contact du fond, le contrepoids tombe sur le système de déclenchement et entraîne la rotation de la mâchoire et la fermeture de la benne. Le sédiment ainsi piégé est peu perturbé et non lessivé. Il donne lieu à une première interprétation visuelle (Garlan T., 2004).

V-3 Caractéristiques physiques et géotechniques de l'échantillon étudié

Les particules élémentaires des sédiments fins ont des dimensions et formes très variées de type sable fin, limons et argile qui contribuent fréquemment à réduire la rentabilité d'une installation en imposant des travaux très onéreux d'entretien.

La connaissance des propriétés physiques chimiques et géotechniques des particules élémentaires très diverses qui constituent ces sédiments fins, ainsi que les caractéristiques du milieu aqueux qui les imprègnent sont nécessaires pour connaître la nature de cette vase déposées dans la retenue.

V-3-1 Propriétés physiques

Une substance est constituée d'un sol et de l'eau dont leurs caractéristiques influent directement sur le comportement du mélange (sol-eau).

Une étude approfondie de cette mixture homogène qui est composée de proportions très variables dont les dimensions des grains ne dépassent pas les 100 μ , doit tenir compte des interactions de ces deux phases.

V-3-1-1 Phase liquide (eau)

Elle est caractérisée par :

Sa masse volumique $\rho_W = 1000 \text{ kg/m}^3$

Sa viscosité : $\eta = 0.001 \text{ Pa.s}$ pour $t^\circ = 20^\circ\text{C}$.

V-3-1-2 Phase solide

La phase solide se caractérise par sa masse spécifique γ_S ainsi de leur répartition granulométrique.

V-3-1-2-1 La teneur en eau (ω)

La teneur en eau naturelle (ω) pour un certain volume de sol est le rapport du poids de l'eau au poids de la matière sèche. Elle se calcule par dessiccation de l'échantillon et s'exprime en % telle que :

$$\omega(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (V-1)$$

Où :

w_h : Poids humide de l'échantillon en (g)

w_s : Poids sec de l'échantillon en (g)

La teneur en eau de la vase étudiée est égale à 40.85%.

V-3-1-2-2 Masse spécifique des grains solides γ_S (g/cm³)

Le poids spécifique des grains solides est déterminé par l'essai au pycnomètre : voir photo(V.2), γ_S est le quotient du poids de ses grains solides par leur volume absolu v_s qui se calcul d'après la formule :

$$V_S = \frac{[W_2 - W_1 - (W_4 - W_3)]}{\rho_w} \dots\dots\dots (V-2)$$

Avec :

W1 : poids du pycnomètre vide (g).

W2 : poids du pycnomètre avec l'eau distillée après dégazage (g).

W3 : poids du sol (g).

W4 : poids du l'ensemble (pycnomètre, sol et l'eau distillée après dégazage) (g).



Photo (V.2) : pycnomètre vide

Note :

Le poids volumique de l'eau γ_w est fonction de la température (exemple à $t=20^\circ, \gamma_w=0.9982 \text{ g/cm}^3$).

Donc en calculant le poids de l'échantillon (w_s) tel que :

$$W_s = W_3 - W_1 \dots\dots\dots (V-3)$$

On obtient le poids spécifique des grains solides γ_s en (g/cm^3)

$$\gamma_s = W_s / V_s \dots\dots\dots (V-4)$$

γ_s : poids spécifique des grains solides (g/cm^3).

W_s : masse du sol sec.

V_s : volume absolu des grains solides.

L'échantillon de la vase de l'Oued Fodda a des valeurs du poids spécifique qui varient entre 2.5 et 2.67 g/cm^3 la valeur moyenne des essais de notre échantillon est de 2.5 g/cm^3 .

V-3-1-2-3 Analyse granulométrique



Photo (V.3) : les tamis dans l'ordre décroissant



Photo (V.4) : les tamis dans l'étuve

L'analyse granulométrique caractérise les granulats en déterminant la répartition des grains constituant le sol suivant leurs tailles. Elle consiste à partir d'un échantillon de sol pesé à déterminer en poids la distribution des grains constituant le sol suivant leurs

dimensions au moyen des tamis étagés. Cette détermination se fait par le tamisage sous l'eau pour les éléments inférieurs à 500 μ m et par la sédimentométrie pour les éléments inférieurs à 80 μ m.

Une analyse granulométrique est caractérisée par :

-Un coefficient d'uniformité ou coefficient de Hazen : $C_u = d_{60}/d_{10}$ (V-5)

Avec : d_y diamètre du tamis laissant passer y% du matériau tamisé.

-Si $C_u < 2$ \longrightarrow Le sol présente une granulométrie uniforme (serrée)

-Si $C_u > 2$ \longrightarrow Le sol présente une granulométrie étalée.

-Un diamètre nominal d_{50}

-Un coefficient de courbure $C_c = (d_{30})^2 / d_{60} \cdot d_{10}$ (V-6)

V-3-1-2-3-A Analyse granulométrique sous l'eau

❖ **Prise et préparation de l'échantillon :**

Le poids de l'échantillon W soumis à l'essai est fonction de la dimension maximale D des éléments les plus gros, on prend : $200 D < W < 500 D$ Avec : W : exprime en grammes et D : exprime en mm.

Cette limitation du poids à pour but : d'une part de réaliser l'essai sur une fraction suffisamment importante et représentative du sol, d'autre part d'effectuer des tamisages successifs avec une quantité limitée d'éléments dans chacun des tamis employés. Dans notre cas ; nous avons un sol fin et le tamisage se fait sous l'eau.

Le poids de l'échantillon est de 500 g.

❖ **Mode opératoire :**

- Constituer la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de haut vers le bas après avoir peser d'eux vide : voir photo (V.3).
- Mettre l'échantillon dans le tamis supérieur.
- On mouillée l'échantillon.
- Compléter le tamisage à l'aide d'un pinceau pissette.
- Récupérer les particules se trouvant dans le fond qui ferme la colonne.
- Mettre les tamis dans l'étuve sous une température de 105°C pendant une durée de 24 heures : voir photo (V.4).
- On pèse les tamis avec les refus.

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage de la vase de l'Oued Fodda sont regroupés dans le tableau(V.1) ci-dessous :

Tableau (V.1) : résultats de l'analyse granulométrique par tamisage de la vase de l'Oued Fodda

N°	Ouverture des mailles (mm)	Refus (g)	Refus (%)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
01	4.000	0,50	0,10	499,50	99,90
02	2.500	0,40	0,08	499,10	99,82
03	0.630	0,20	0,04	498,90	99,78
04	0.500	0,00	0,00	498,90	99,78
05	0.400	0,00	0,00	498,90	99,78
06	0.315	0,00	0,00	498,90	99,78
07	0.200	0,20	0,04	498,70	99,74
08	0.160	0,20	0,04	498,50	99,70
09	0.125	0,40	0,08	498,10	99,62
10	0.100	0,00	0,00	498,10	99,62

La courbe granulométrique est représentée dans la figure (V.2). La courbe ne représente pas bien l'échantillon parce que 99.62 % des particules a passé par le tamis 0.10 mm. Pour bien suivi le pourcentage des tamisât à travers la série des tamis utilisé, nous avons tracé cette courbe dont la valeur minimum sur l'échelle du pourcentage est 99 %. Cette courbe est représentée sur la figure (V.2).

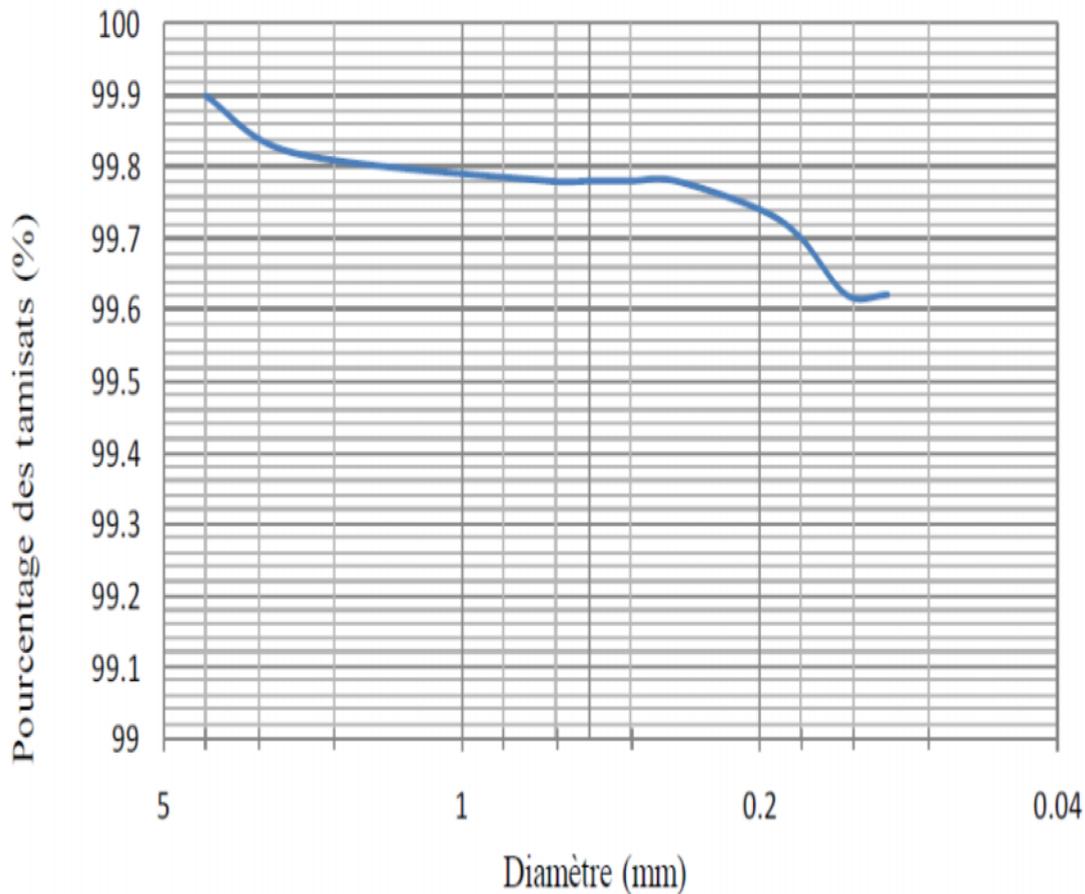


Figure (V.2) : La courbe granulométrique (pourcentage des tamisats entre 99 et 100 %)

❖ Conclusion :

Suivant les résultats qu'on a trouvée par l'analyse granulométrique de la boue du barrage de l'Oued Fodda, on peut conclure que c'est un sol fin telle que les dimensions de plus de 99 % de la masse de l'échantillon analysée est inférieure à 0.10 mm. Autrement dit, seulement 1.9 g par 500 g (la masse totale de l'échantillon) a une dimension supérieure à 0.1 mm. C'est pour cela qu'on peut rien dire sur la classification de ce sol ni tracer la courbe granulométrique sans passer par l'analyse granulométrique par sédimentométrie qui sera l'objet du travail pratique suivant.

V-3-1-2-3-B Analyse granulométrique par sédimentométrie

❖ Mode opératoire :

- L'échantillon de vase est tamisé par voie humide de 0.4 à 0.8 mm.
- Recueillir dans un bac l'eau de lavage contenant les éléments inférieurs à 0,08 mm.
- On laisse décompter, puis on siphonne au maximum l'eau devenue claire, sans entraîner de fines.
- On porte en suite le bac dans une étuve pour éliminer l'eau par évaporation.
- Peser une quantité de tamisât sèche, et la mettre dans un récipient de l'agitateur mécanique, c'est de 30g + 250 cm³ de défloculant.
- Laisser imbiber 15 à 18h.
- On passe l'échantillon dans un récipient de l'agitateur mécanique pendant 5 minutes.
- On verse le mélange dans une éprouvette de 1L, la suspension ainsi préparée, le volume est complété par adit d'eau distillée puis on agite rigoureusement l'ensemble à l'agitateur manuel pendant 1 heure environ.
- On note l'heure à laquelle à cesse l'agitation et on introduit dans l'éprouvette un densimètre.
- On prépare dans une autre éprouvette un témoin constitue la solution précédemment préparée (250 cm³ de la solution d'hexametaphosphate).
- On déclenche le chronomètre ce qui définit le but de la sédimentation.
- A chaque mesure on note la densité et température aux temps suivants :

30sec, 1min, 2min, 4min, 10min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 24h : voir photo (V.5)



Photo (V.5) : les mesures de sédimentation à différents temps

Created with



nitro PDF

professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

❖ Les calculs :

1- La viscosité dynamique en N.s/m (η) : il est calculé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{1.79}{1+0.03368 T+0.00022 T^2} \dots\dots\dots (V-7)$$

Avec :

T : la température

2-Diamètre de la particule en m (D) : il est calculé par la formule suivante :

$$D = \sqrt{\frac{18\eta H_r}{t \times (\gamma_s - \gamma_w)}} \dots\dots\dots (V-8)$$

Avec :

η : La viscosité dynamique

H_r : la distance entre le plan d'eau et le centre de gravité du densimètre sachant que Pour chaque lecture R, on tire à partir du tableau (V.2) ci-dessous la valeur H_r .

t : temps de chute

γ_s : Poids volumique des grains solides sachant que γ_s de notre échantillon est de 2.5 g /cm³

γ_w : Poids volumique de l'eau sachant que $\gamma_w=1.005$ g /cm³

Tableau (V.2) : Les valeurs de Hr en fonction de la densité du mélange

R	Hr pour T > 2 mn en cm	Hr pour T < 2 mn en cm
1.000	18.78	19.49
1.001	18.46	19.17
1.002	18.14	18.85
1.003	17.82	18.53
1.004	17.50	18.21
1.005	17.15	17.57
1.006	16.86	17.41
1.007	16.54	17.25
1.008	16.22	16.93
1.009	15.90	16.61
1.010	15.58	16.29
1.011	15.26	15.97
1.012	14.94	15.65
1.013	14.62	15.33
1.014	14.30	15.01
1.015	13.98	14.69
1.016	13.66	14.37
1.017	13.34	14.05
1.018	13.02	13.73
1.019	12.70	13.41
1.020	12.38	13.09

3-Le pourcentage des particules (P) : il est calculé par la formule suivante :

$$P = \frac{100 \times V}{W_S} \times \frac{\gamma_S \times \gamma_W}{\gamma_S - \gamma_W} (R - R_W) \dots\dots\dots (V-9)$$

Avec :

V : Volume du mélange eau+échantillon

W_S : Poids de l'échantillon / W_S=20g pour un volume du récipient V=1000 ml

γ_S: Poids volumique des grains solides

γ_W: Poids volumique de l'eau

R : Densité du mélange (eau + sol) lue sur le densimètre

R_w : Densité de l'eau (lecture de référence) / R_w=1.005

P : Pourcentage des particules

Les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie de la vase de l'Oued Fodda sont regroupés dans le tableau (V.3) ci-dessous :

Tableau (V.3) : Résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie

Temps	R (densité)	Hr (cm)	T (°C)	η (Pascal.sec)	D (mm)	P (%)
30 sec	1.013	15.33	17	1094.04	0.0084	67.97
1 min	1.013	15.33	17	1094.04	0.0059	67.97
2 min	1.0125	15.49	17	1094.04	0.0042	63.72
4 min	1.0125	15.49	17	1094.04	0.0030	63.72
10 min	1.012	14.94	17	1094.04	0.0019	59.47
15 min	1.012	14.94	17	1094.04	0.0015	59.47
30 min	1.0115	15.10	17.5	1080.41	0.0011	55.22
1 hour	1.011	15.26	17.5	1080.41	0.0008	50.98
2 hours	1.010	15.58	17.5	1080.41	0.0005	42.48
4 hours	1.008	16.22	17.5	1080.41	0.0004	25.49
24 hours	1.005	17.18	17.5	1080.41	0.0002	0.00

❖ La courbe granulométrique finale :

La courbe granulométrique finale représentée sur la figure (V.3) présente les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage sous l'eau et celle-ci par sédimentométrie dans la même courbe.

Les pourcentages des tamisats trouvés par la sédimentométrie sont proportionnels aux granulats de $\varnothing < 0.1\text{mm}$ qu'on doit les transformer pour qu'ils soient proportionnels à la masse totale de l'échantillon : voir le tableau (V.4) suivant :

Tableau (V.4) : Transformation des pourcentages

D (mm)	P _{498, 10g} (%)	m (g)	P _{500g} (%)
0,0087	63,72	317,38	63,48
0,0061	65,84	327,96	65,59
0,0043	63,72	317,38	63,48
0,0030	63,72	317,38	63,48
0,0019	59,47	296,23	59,25
0,0015	59,05	294,11	58,82
0,0011	55,22	275,07	55,01
0,0008	50,98	253,91	50,78
0,0005	42,48	211,59	42,32
0,0004	25,49	126,95	25,39
0,0002	4,25	21,16	4,23

❖ Remarque :

Il n'existe pas une grande différence entre les pourcentages des tamisats proportionnels aux granulats qui ont une dimension $< 0.1\text{ mm}$ et les pourcentages proportionnels à la masse totale de l'échantillon.

Plus de 50 % des éléments de dimension < 0.08 mm; selon la classification des sols LPC, la boue du barrage de l'Oued Fodda est une argile, un limon ou une argile limoneuse. La classification exacte se fait après la détermination des limites d'Atterberg : la limite de liquidité WL et la limite de plasticité WP.

V-3-1-2-4 Diamètre moyen des grains d_{50}

C'est un diamètre déterminé à partir de l'analyse granulométrique par sédimentométrie. Il représente le diamètre du tamis (ou de la passoire) à travers laquelle 50 % du poids de l'échantillon passerait.

V-3-1-2-5 L'indice de classement S_0

Selon Rivière (1977) et à partir des paramètres classiques : la médiane (d_{50}), les quartiles (d_{25} et d_{75}), les indices caractéristiques d'un sédiment sont :

$$S_0 = (d_{75}/d_{25})^{0.5} \dots\dots\dots (V-10)$$

On a les variations suivantes :

- Si $S_0 < 2$sédiments très bien classés
- Si $2 < S_0 < 2.6$sédiments bien à moyennement classés
- Si $S_0 > 2.6$sédiments mal à très mal classés

V-3-1-2-6 L'indice d'asymétrie S_K

Il exprime la symétrie par rapport à la médiane

$$S_K = (d_{25}.d_{75})^{0.5}/d_{50} \dots\dots\dots (V-11)$$

Dans le cas où :

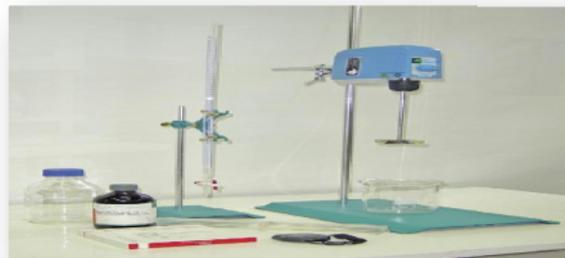
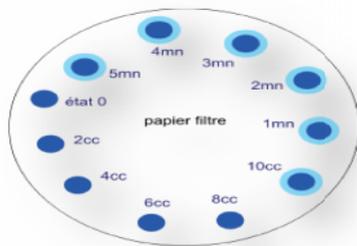
- $S_K > 1$ → courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du coté fin
- $0.7 < S_K < 1$ → courbe à tendance symétrique, le mode pouvant coïncider avec le diamètre moyen
- $S_K < 0.7$ → courbe dissymétrique avec décalage et classement maximum du coté grossier.

Ces paramètres présentés ci-dessus sont regroupés dans le tableau (V.5) suivant :

Tableau (V.5) : paramètres granulométriques de la vase de l'Oued Fodda

Diamètre (µm)	Etat	Paramètre de la vase (µm)
Diamètre maximum		400
D₅₀	Etat naturel	68
	Etat dé floculé	40
D₂₅	Etat naturel	55
	Etat dé floculé	20
D₇₅	Etat naturel	75
	Etat dé floculé	60
S₀	Etat naturel	1.17
	Etat dé floculé	1.73
S_K	Etat naturel	0.90
	Etat dé floculé	0.70

V-3-1-3 Valeur au bleu de méthylène:



On appelle valeur de bleu des sols VBS exprime la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée pour 100g de sol.

L'essai consiste à introduire dans un échantillon des quantités croissantes de bleu de méthylène, par doses successives jusqu'à ce que les particules argileuses en soient saturées. Le sol adsorbera d'autant plus de bleu de méthylène que la quantité d'argile qu'il contient est importante.

Le bleu de méthylène est injecté dans un bain aqueux contenant la prise d'essai, en observant le comportement d'une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre. La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide incolore. L'excès de bleu clair persistant autour du dépôt central.

Selon la norme française FN P 94-064, on distingue les valeurs suivantes:

- $VBS \leq 0.2$: Sols sableux (sol insensible à l'eau)
- $0.2 < VBS \leq 2.5$: Sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau)
- $2.5 < VBS \leq 6$: Sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne)
- $6 < VBS \leq 8$: Sols argileux
- $VBS > 8$: Sols très argileux

Chapitre V **Etude des caractéristiques de la vase de l'Oued Fodda**

Cet essai est une mesure indirecte de la surface spécifique des grains solides par adsorption d'une solution de bleu de méthylène et en colorant l'adsorption.

Après chaque ajout pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque une création d'une tache.

L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante se produit à la périphérie de la tache.

La valeur du bleu (V_B) est donnée par la relation suivante :

$$V_B = \frac{\text{Nombre de cm}^3 \text{ de solution}}{\text{Poids de la prise}} \times 10 \dots\dots\dots (V-12)$$

La surface spécifique totale est donnée par :

$$S.S.T = \frac{V_B}{100} \times \frac{N}{373} \times 130 \times 10^{-20} \dots\dots\dots (V-13)$$

Donc $S.S.T=21V_B \dots\dots\dots (V-14)$

Avec :

$V_B/100$: fraction en % du bleu (<2 μ m)

N : nombre d'Avogadro=6.023 10^{+23}

373 : masse moléculaire de bleu de méthylène en gramme

130 10^{-20} : surface en cm^2 d'une molécule d'eau

Pour notre travail

$$V_B = \frac{170}{30} = 5.66 \dots\dots\dots (V-15)$$

$S.S.T=21 \cdot 5,66=118.86\text{m}^2/\text{g}$

D'après la norme française FN P 94-064 notre échantillon est un sol limoneux argileux.

V-3-2 Propriétés géotechniques

Le comportement d'un sol varie dans des proportions importantes en fonction de sa teneur en eau. Il a été constaté qu'en faisant décroître progressivement la teneur en eau d'un sol fin, ce dernier se présente sous trois états de consistance.

A-Etat liquide

Le mouvement relatif des différentes particules est aisé. Le sol se comporte comme un fluide pour une valeur élevée de teneur en eau. Sa cohésion faiblit, car il ne résiste pratiquement pas à un effort de cisaillement, il tend à s'écouler et à se niveler suivant une surface horizontale, c'est la boue.

B-Etat plastique

La teneur en eau diminue, le sol acquit une cohésion plus importante, il est soumis à de faibles charges, il se déforme largement sans se rompre, sa plasticité est due à l'existence des forces de liaison créées par l'eau absorbée entre les grains.

C-Etat solide

Le sol a un comportement d'un solide, l'application d'un effort n'entraîne que de faibles déformations. Cet état peut lui-même être séparé en deux états :

1-Etat solide avec retrait

La déformation du corps est beaucoup plus faible, il perd de son eau interstitielle tout en se contractant d'une valeur appréciable.

2-Etat solide sans retrait

C'est un état où presque toute l'eau absorbée a disparue. Le volume sec égal au volume humide.

On peut représenter ces différents états comme suit :

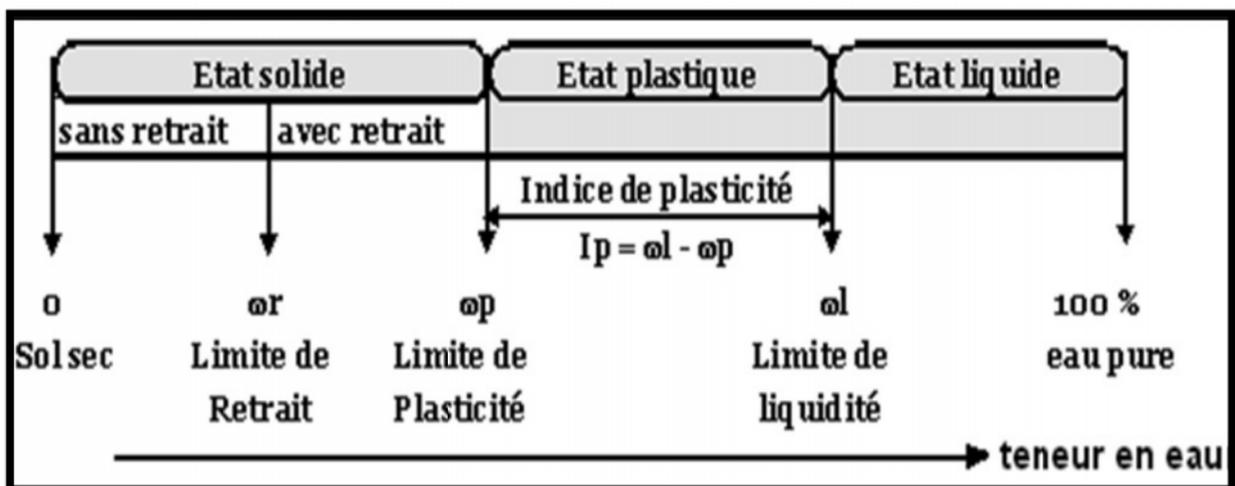


Schéma (V.1): la position relative des limites de la consistance

Created with

Pour bien préciser ces états, le suédois « **Atterberg** » a proposé à l'aide de son appareil de Casagrande trois limites exprimées par des teneurs en eau en pourcentage :

V-3-2-1 La limite de liquidité (ω_l)



Photo (V.6) : Appareil de casa-grande

C'est la limite qui sépare l'état liquide de l'état plastique, c'est la teneur en eau pour laquelle les deux lèvres d'une rainure faite sur une pâte placée dans une coupelle, arrivent à se joindre sur une longueur d'un centimètre sous l'influence d'un nombre déterminé de choc (25 coups).

La méthode analytique Nous permettre de calculer la teneur en eau de liquidité, elle se présente sous la formule suivante :

$$\omega_l = \omega \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121} \dots\dots\dots (V-16)$$

N : nombre de coups.

ω_l : limite de liquidité [%]

ω : teneur en eau [%].

❖ Mode opératoire

-On prendra un échantillon d'environ 60g (fraction du sol qui passe au tamis 0,5 mm) dans une coupelle lisse, à l'aide de la spatule on répartit au 2/3 la pâte dans la coupelle.

-On trace une rainure avec l'outil à rainurer en prenant soin de la maintenir perpendiculairement à la surface.

-On soumet la coupelle à des chocs réguliers (à l'aide de la boîte de Casagrande) : voir photo (V.6) au rythme de 2 coups par second. La hauteur étant réglée à une hauteur de 1.0 cm à l'aide d'une calle.

-On note le nombre de coups nécessaires pour avoir une fermeture de la rainure sur une longueur de 1 cm.

-On prélève un échantillon de chaque côté des lèvres de rainure et au voisinage de lieu où elles se sont fermées.

-Les échantillons ainsi prélevés sont placés dans des boîtes à pétri et étuvés afin de déterminer la teneur en eau.

La limite de liquidité de notre échantillon est égale à 47.54%.

V-3-2-2 La limite de plasticité (ω_p)

Elle correspond au passage de l'état plastique à l'état solide. Elle est définie par la teneur en eau d'un petit rouleau de sil qui se brise en petits tronçons lorsque son diamètre atteint 3 mm. On calcule limite de plasticité ω_p avec la relation suivante :

$$\omega_p = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \dots\dots\dots (V-17)$$

Avec :

ω_p : limite de plasticité(%).

W1 : poids d'échantillon humide (g).

W2 : poids d'échantillon sec (g).

❖ Mode opératoire

-La limite de plasticité est la teneur en eau pour laquelle, ces rouleaux se brisent en petits tronçons.

-On étale le reste de la pâte sur une plaque de verre à l'aide d'une spatule pour la dessécher.

-On forme à l'aide de la paume de la main sur les plaques de verres des rouleaux de diamètre 3 mm et de 10 à 15 de longueur.

La limite de plasticité de notre échantillon est égale à 22.80% : voir figure (V.4).

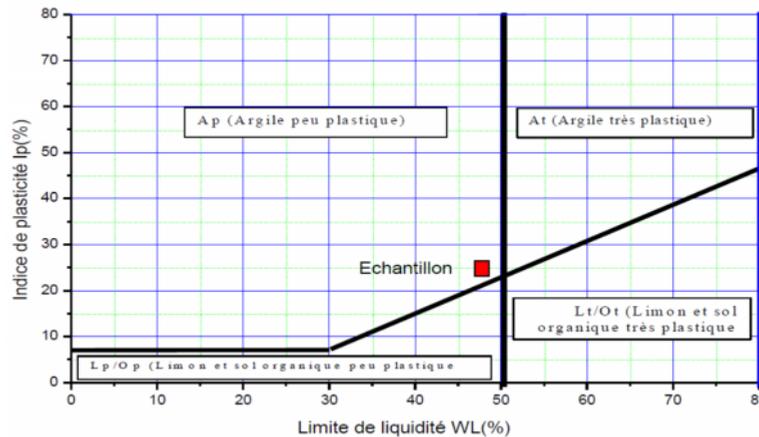


Figure (V.4) : Couple (ω_L , I_p) de la vase du barrage de l'Oued Fodda placé dans le diagramme de plasticité de Casagrande

V-3-2-3 L'indice de plasticité (I_p)

L'indice de plasticité est défini par la différence entre les deux limites de plasticité et de liquidité.

$$I_p = \omega_L - \omega_p \dots \dots \dots (V-18)$$

L'indice I_p permet de caractériser le sol du point de vue plastique. On peut donner la classification suivante :

Tableau (V.6) : classification du sol en fonction de l'indice de plasticité

L'indice de plasticité I_p	Degré de plasticité
$I_p > 20$	Sol très argileux
$20 < I_p < 10$	Sol argileux
$I_p < 4$	Sol maigre
$I_p = 0$	Sol exempt d'argile.

On utilise le graphe de plasticité I_p en fonction de la teneur en eau ω pour retrouver le caractère et le type de sol ; c'est ce que l'on appelle le diagramme de Casagrande : voir figure (V.5).

Diagramme de Casagrande

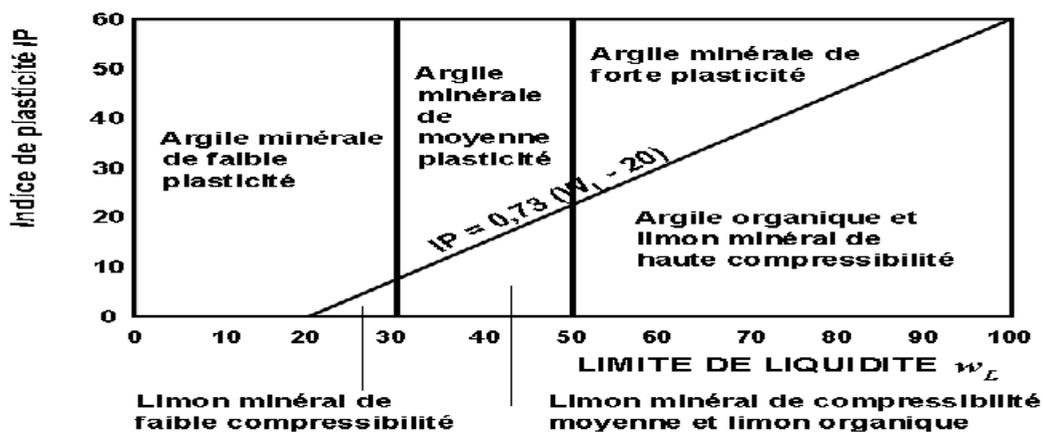


Figure (V.5) : Abaque de l'indice de plasticité

L'indice de plasticité de notre échantillon est égal à 24.74%.

V-3-2-4 L'indice de liquidité (I_L)

Cet indice permet de positionner l'état du sol cohérent par rapport aux limites de liquidité et de plasticité. Il se définit par

$$I_L = \omega - \omega_p / \omega_L - \omega_p \dots \dots \dots (V-19)$$

Où : ω : teneur en eau naturelle de l'échantillon

L'indice de liquidité de notre échantillon est égal à 0.73%.

V-3-2-5 L'indice de consistance (I_c)

$$I_c = 1 - I_L \dots \dots \dots (V-20)$$

- Note : Si I_c > 1 ou I_L < 0 → Le sol est à l'état solide
 Si 0 < I_c < 1 ou 0 < I_L < 1 → Le sol est à l'état plastique
 Si I_c < 0 ou I_L > 0 → Le sol est à l'état liquide.

L'indice de consistance de notre échantillon est égal à 0.27%.

V-3-2-6 Diagramme d'activité

Selon Skepton 1953, l'activité d'un sédiment est définie par l'expression suivante:

$$A_C = \frac{\text{Indice de plasticité}}{\text{Pourcentage en particule inférieur à 2 } \mu\text{m}} \dots \dots \dots (V-21)$$

Tableau (V.7) : Les groupes d'activités théoriques proposés par Skepton.

Activité	0	0.5	0.75	1.25	2.0
Groupe	Inactive	Normale	Active	Très active	
Minéraux	Kaolinite Halloysite Illite	Attapulgite Sméctite	Attapulgite Sméctite	Sméctite riche en Na	

V-3-3 Commentaires

Le poids volumique des grains solides γ_s de la vase étudiée varie de 2.5 à 2.67 g/cm³. D'après Jaques L. 2006, γ_s est au dessous de 2.6 g/cm³ pour les sols organiques et il est plus de 2.7 g/cm³ pour les sols métallifères. On constat alors qu'il existe un certain taux en matière organique dans la vase étudié.

L'analyse granulométrique effectuée a donné la courbe granulométrique représentée dans la figure (V.3) pour notre échantillon dont le diamètre maximum est 400 μ m et 95% de la masse est passée par le tamis 100 μ m. D'où il s'agit d'un sol très fin avec une composition moyenne de 25% sable, 13% limon et 62 argile. Le diamètre médiane équivalent à 50 % de la vase est de 40 μ m à l'état dé floclé, 68 μ m à l'état naturel et l'indice d'asymétrie moyen est inférieur à 0.7 à l'état dé floclé et 0.90 à l'état naturel, ce qui veut dire que la courbe granulométrique est dissymétrique vers les particules fines et absence, d'un autre coté et d'après Caquot et Kérisel, si $C_u > 2$: la granulométrie est dite étalée. Ce qui justifié par la pente de la partie médiane de la courbe granulométrique pour notre échantillon analysé.

Selon la classification des sols fins de Casagrande : voir figure (V.5), la vase est classée comme un sol argileux. Les sols argileux sont caractérisés par une plasticité selon la teneur en eau. La limite de liquidité est la teneur en eau équivalente au nombre des coups 25 dans le graphe: $W_L = 47.54$ %. La limite de plasticité moyenne est : $W_p = 22.80$ %

Le test du bleu de méthylène a été fait sur l'échantillon étudié, dont la masse du sol est 30 g passée par le tamis 80 μ m et ajoutée dans 500 ml d'eau distillée. La solution du méthylène est préparée à une concentration de 10 g/l. Le résultat de VBS de notre échantillon est de 5.66 donc selon la norme française FN P 94-064, la vase du barrage de l'Oued Fodda est un sol limono-argileux de plasticité moyenne.

V-4 Les caractéristiques rhéologiques

Le terme rhéologie signifie étude de la déformation et de l'écoulement de la matière. Cette discipline est très présente dans l'industrie. Par le faite que tous produits industriels nécessitent l'écoulement de la matière.

Il est donc indispensable de maîtriser le comportement rhéologique du corps considéré afin d'en obtenir l'application voulue.

La rhéologie comporte trois axes d'études:

- La rhéologie expérimentale: détermination expérimentale des relations de comportement entre contraintes et déformations.
- La rhéologie structurale: explication du comportement rhéologique des matériaux à partir de leur structure.
- La rhéologie théorique: la modélisation mathématique du comportement des matériaux.

V-4-1 Contrainte de cisaillement

La contrainte de cisaillement est la grandeur dynamique fondamentale en rhéologie. Au cours d'un mouvement de cisaillement, deux couches successives au contact l'une de l'autre se déplacent relativement l'une par rapport à l'autre.

Il apparait à l'interface de ces deux couches des forces de frottement qui s'exercent tangentiellement à la surface de la couche, elles sont appelées force de cisaillement.

$$\tau = \frac{dF}{dS} \dots\dots\dots (V-22)$$

V-4-2 Déformation et vitesse de cisaillement

La déformation et la vitesse de cisaillement constituent les grandeurs cinématiques fondamentales en rhéologie. La définition de la déformation de cisaillement est présentée dans le cas particulier le plus simple d'un mouvement de cisaillement présentant une symétrie plane. Le matériau est cisailé entre deux plans parallèles, l'un mobile et l'autre fixe.

V-4-3 Les différents comportements rhéologiques

V-4-3-1 Comportements newtoniens

Le rapport le plus simple entre l'effort de cisaillement et le cisaillement évaluent pour un fluide est constant ou directement proportionnel.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \dots\dots\dots (V-23)$$

Dans ce cas, la constante de proportionnalité μ est désignée sous le nom de la viscosité newtonienne. La courbe d'écoulement est donc une ligne droite passant par l'origine.

V-4-3-2 Comportements non newtoniens

Un fluide non newtonien est un fluide qui ne peut pas être entièrement caractérisé par la simple relation (V-23); parce que la viscosité n'est plus constante, mais dépend du cisaillement.

V-4-4 Les rhéogrammes

Les rhéogrammes sont les courbes qui traduisent graphiquement l'équation rhéologique d'état du matériau. La représentation la plus courante consiste à exprimer la variation de la contrainte de cisaillement avec celle de la vitesse de cisaillement. La détermination de ces paramètres permet entre autre d'obtenir la viscosité du fluide étudié.

V-4-5 La rhéométrie

La rhéométrie a pour but de réaliser des testes en appliquant des contraintes ou de vitesse de cisaillement, qui permet de déduire les propriétés rhéologiques. Un rhéomètre est habituellement un moteur solidaire d'une pièce de révolution coaxiale à une autre pièce laissée fixe, qui peut exercer un couple force sur un matériel et mesure exactement sa réponse avec du temps ou réciproquement, il peut imposer une contrainte et mesure le couple en résultant.

V-4-6 Systèmes de mesure

V-4-6-1 Rhéomètre de type "couette cylindrique"

C'est l'un des types de cellules de mesure le plus fréquemment utilisée et c'est également celui qui a été utilisé au cours de cette étude pour mesurer la viscosité de l'argile. L'échantillon étudié est emprisonné entre deux cylindres coaxiaux, l'un plein de rayon R_1 qui tourne à la vitesse angulaire ω (le rotor) et l'autre creux de rayon R_2 (le stator) et immobile : voir figure (V.6). Tous les deux sont de hauteur h .

La caractérisation du comportement rhéologique de la substance cisailée est obtenue par la détermination de la courbe $(\tau, \dot{\gamma})$ à partir des valeurs de couples fourni par le rhéomètre qui sont respectivement le moment résistant M et la vitesse de rotation du mobile ω_0 . En régime d'écoulement laminaire uniforme, on calcule aisément la contrainte de cisaillement à la paroi d'un cylindre:

$$\tau = \frac{M}{2\pi R^2 h} \dots\dots\dots (V-24)$$

Par contre la détermination du gradient de vitesse $\dot{\gamma}$ (vitesse de cisaillement) est donné par:

$$\dot{\gamma} = r \frac{d\omega}{dr} \dots\dots\dots (V-25)$$

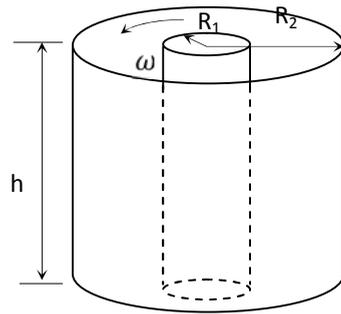


Figure (V.6) : Cellule de Couette cylindrique

V-4-6-2 Rhéomètre de type "Cône/Plan"

Elle est constituée d'un disque plan inférieur (le stator) et d'un cône supérieur de même rayon R (le rotor). Le cône et le disque sont coaxiaux. Le cône est tronqué, ce qui permet de stabiliser le mouvement du plan par rapport au cône. L'angle du cône est noté φ . Le cône supérieur tourne autour de l'axe de révolution vertical avec une vitesse angulaire ω .

Tout l'échantillon est soumis à un gradient de vitesse uniforme décrit par l'équation suivante:

$$\dot{\gamma} = \frac{r}{h} \omega = \frac{\omega}{\text{tg}(\varphi)} = \frac{\omega}{\varphi} \dots \dots \dots (V-26)$$

La contrainte peut être calculée par:

$$\tau = \frac{3M}{2\pi R^3} \dots \dots \dots (V-27)$$

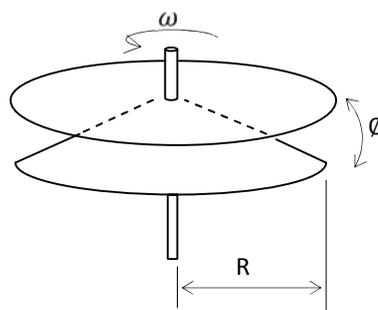


Figure (V.7) : La géométrie Cône-Plan

V-4-7 Principe de fonctionnement du rhéomètre

Les rhéomètres peuvent fonctionner soit à contrainte imposée, soit à taux de cisaillement imposé. Dans le premier cas, l'appareil impose un couple C et mesure la vitesse de rotation ω résultante. Il en déduit ensuite, selon la géométrie, la contrainte et le gradient de vitesse grâce aux relations théorique. Pour fonctionner à taux de cisaillement imposé,

l'appareil impose un couple, mesure la vitesse de rotation et ajuste le couple à la vitesse dérivée.

Par ailleurs, le rhéomètre permet d'effectuer:

- Soit des mesures en balayage: le taux de cisaillement (respectivement la contrainte) imposée varie et on mesure l'évolution de la contrainte (respectivement du cisaillement) en fonction du paramètre imposé.
- Soit des mesures en régime permanent: la contrainte ou le taux de cisaillement imposé est constant et on mesure l'évolution de la viscosité en fonction du temps.

Pour des mesures en balayage, l'appareil impose par exemple une contrainte pendant un temps t_1 puis mesure le cisaillement pendant un temps t_2 . Au total, le fluide est donc cisailé à une contrainte pendant le temps $t_1 + t_2$.

V-4-8 Modèles rhéologiques

L'écoulement des fluides newtoniens est le cas le plus simple que l'on puisse trouver, dans ce cas, la vitesse et la contrainte de cisaillement sont reliés par une loi linéaire, la pente de la droite obtenue en traçant le rhéogramme est la viscosité du fluide.

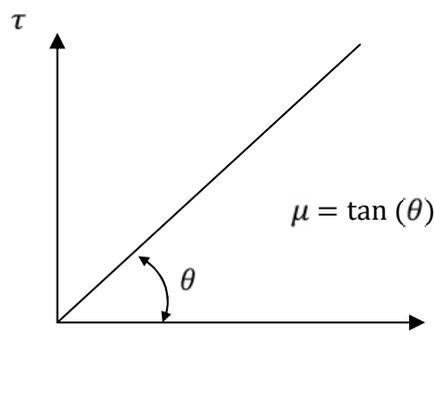


Figure (V.8) : Rhéogramme d'un fluide Newtonien

Toute fois des fluides présentent des comportements non newtoniens qui font appel à l'utilisation de modèles rhéologiques plus complexes pour décrire leurs comportements en écoulement.

V-4-8-1 Fluides à contrainte critique

Cette catégorie de fluides ne s'écoule pas avant qu'il leur soit appliqué une contrainte de cisaillement minimale. Le tableau (V.8) récapitule les principales lois d'écoulements rhéologiques utilisées pour décrire le comportement de tels fluides.

Tableau (V.8) : Modèles rhéologiques décrivant l'écoulement de fluides à contrainte critique.

Bingham	$\tau = \tau_B + \mu_B \dot{\gamma}$
Herchel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n$
Casson général	$\tau^n = \tau_c^n + (K \dot{\gamma})^n$
Casson	$\tau^{1/2} = \tau_c^{1/2} + (K \dot{\gamma})^{1/2}$

V-4-8-2 Fluides sans contrainte critique

La figure (V.9) présente les courbes d'écoulements des deux principales catégories des fluides sans contrainte critique, à savoir les fluides rhéofluidifiants (ou pseudo-plastiques) et les fluides rhéoépaississants (ou dilatants).

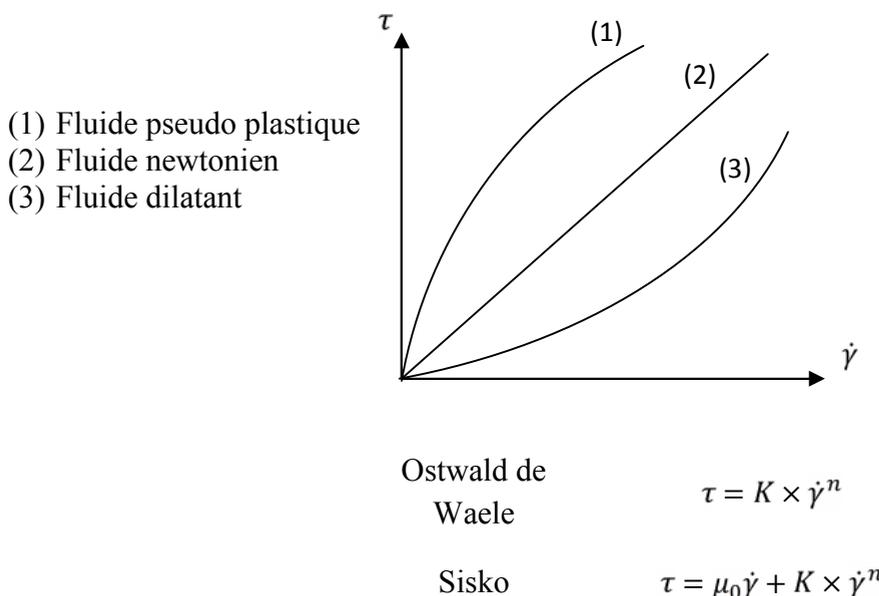


Figure (V.9) : Courbes d'écoulement des principales catégories de fluides sans contrainte critique

Parmi ces modèles d'écoulements, la loi d'Oswald de Waele est la plus communément utilisée. Dans ce modèle, K est appelée la consistance du fluide et l'écart de l'exposant n (ou indice d'écoulement) à l'unité ($0 < n < 1$) traduit la non perfection visqueuse du fluide considéré.

Les fluides dilatants obéissent également à une loi puissance d'Ostwald mais avec $n > 1$, la viscosité apparente croît avec la vitesse de cisaillement qui augmente. Cette catégorie de fluides est beaucoup plus rare que les fluides pseudo-plastiques, elle se rencontre essentiellement pour des suspensions à forte teneur en matière solide (concentrations volumiques supérieures à 50 %).

Ce type de comportement peut avoir pour origine une transition ordre-désordre entre les particules constitutives du fluide, pour les plus faibles vitesses de cisaillement, les particules sont plus ou moins alignées alors que pour les plus fortes valeurs de vitesse de cisaillement, elles sont dispersées aléatoirement, ce qui induit une viscosité qui augmente lorsque le désordre s'installe au sein du fluide.

V-4-8-3 Fluides thixotropes

La consistance de tels fluides dépend aussi bien de la vitesse de cisaillement. Dans ces conditions, la viscosité apparente n'est plus fixée pour une valeur donnée de la contrainte ou de la vitesse de cisaillement mais dépend également du paramètre temps. Ainsi l'écoulement d'un matériau peut être facilité par une agitation préalable de l'échantillon à étudier. La méthodologie utilisée pour déterminer le caractère thixotrope de fluide consiste le plus souvent en l'application d'un cycle de cisaillement montée-palier-descente (cisaillement croissant-décroissant) : voir figures (V.10)/(V.11).

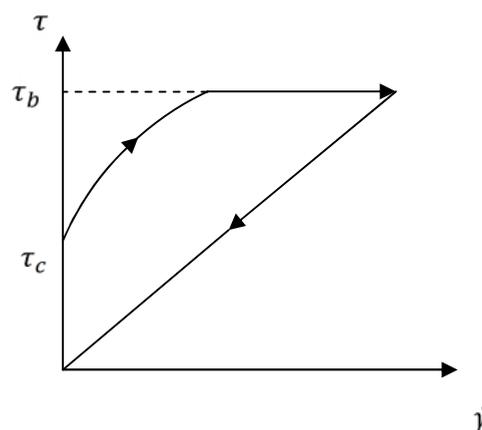


Figure (V.10) : Rhéogramme enregistré par un rhéomètre à contrainte imposée

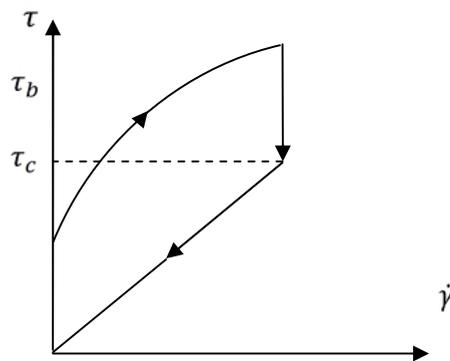


Figure (V.11) : Rhéogramme enregisté par un rhéomètre à vitesse de cisaillement imposée

V-4-9 Commentaire

Les caractéristiques rhéologiques de la vase à l'état fluide, mélangée avec de l'eau est en fonction de la concentration en matière solide tel que la densité, la viscosité et le seuil d'écoulement. L'appareil Engler nous permette de mesurer la viscosité de la vase pour des différentes concentrations et tracer par la suite la variation de la viscosité en fonction du taux en matière solide.

Les résultats sont donnés dans la figure (V.12). La viscosité augmente linéairement jusqu'à la concentration 8%. La viscosité continue à augmenter avec une fréquence supérieure à la première partie. L'intersection des deux lignes est correspondant à la concentration limite à partir de la quelle la vase varie d'un fluide newtonien à un fluide non newtonien.

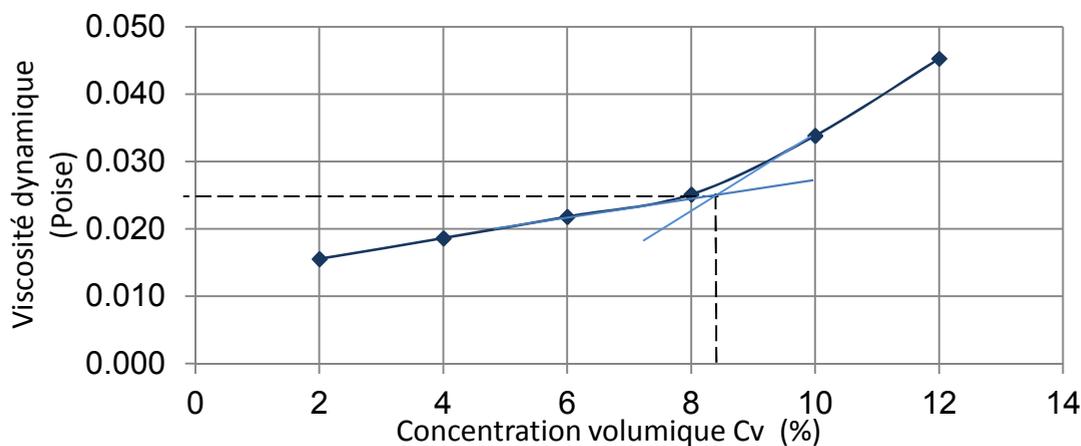


Figure (V.12) : la viscosité de la vase de l'Oued Fodda à l'état fluide en fonction de la concentration volumique

La concentration $C_{v_{lim}}$ consiste à déterminer le passage du comportement newtonien au comportement Non Newtonien cette concentration est obtenue a partir des mesures faites sur le viscosimètre Engler donnant la courbe $v=f(C_v)$ $C_v=8.4\%$

V-5 Les caractéristiques minéralogiques

Les caractéristiques minéralogiques de la vase sont déterminées par la diffraction des rayons X dans le département de chimie de L.T.P.O d'Oran et par microscopie électronique à balayage.

V-5-1 Principe de la diffraction des rayons X

Il consiste à appliquer un rayonnement de la longueur d'onde des rayons X ($0,1 < L < 10$ nm) sur un échantillon de sol ($< 0,063$ mm). Le rayonnement pénètre le cristal, il y a absorption d'une partie de l'énergie et excitation des atomes avec émissions de radiations dans toutes les directions. Les radiations émises par des plans atomiques qui sont en phases vont engendrer un faisceau cohérent qui pourra être détecté.

La condition pour que les radiations soit en phase s'exprime par la loi de Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \dots\dots\dots (V-28)$$

Avec:

- n : Ordre de la diffraction ;
- λ : Longueur d'onde ;
- d : Distance de deux plans réticulaire en Å° ;
- θ : Complément de l'angle d'incidence ;

Cette relation montre qu'il suffit de mesurer les angles de Bragg (θ) pour déterminer les dimensions et la forme de la maille élémentaire du cristal. Les amplitudes des ondes réfléchies permettent de déterminer la structure atomique du motif et donc de connaître l'identité et la proportion des composants cristallisés de l'échantillon étudié.

V-5-2 Commentaire

La figure (V.13) présente le résultat de la diffraction par rayons X de la vase du barrage de l'Oued Fodda. Elle se compose dans sa grande partie en minéraux argileux tels que la kaolinite et l'illite. Les pics de la courbe indiquent l'existence d'autres minéraux tels que le quartz, la calcite et l'anatase.

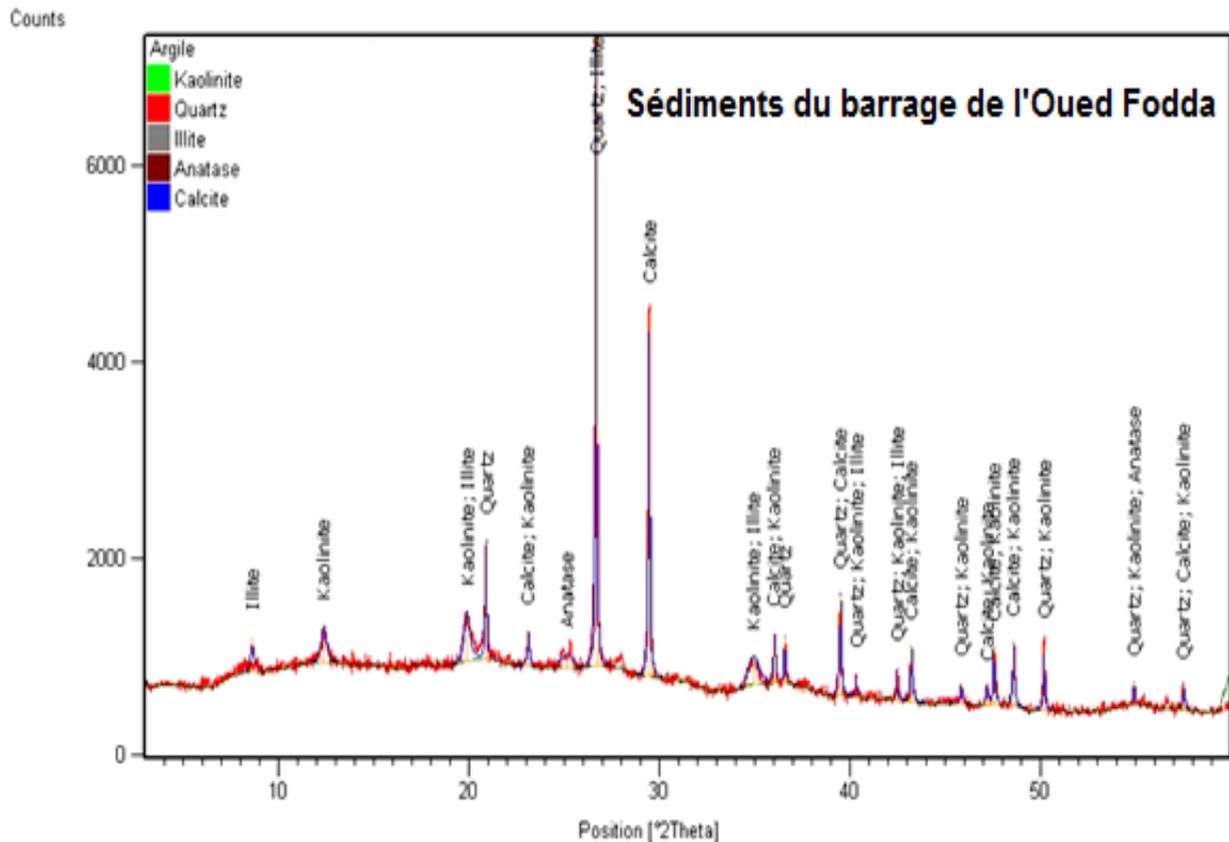


Figure (V.13) : Analyse minéralogique qualitatif par diffraction des rayons X

La microscopie électronique à balayage de la vase de l'Oued Fodda (figure V.14) permet de présenter l'organisation générale des minéraux argileux. Cet échantillon se présente sous forme d'agrégat, c'est-à-dire en petits lots des particules juxtaposées. Les minéraux ont les caractéristiques suivantes :

- Quartz : se présente sous forme de grands cristaux ;
- Kaolinite : se présente sous formes des plaquettes hexagonales qui peuvent avoir parfois certaines déformation telle que des elongations ou parfois altérations ;
- Illite : se présente sous forme de fines particules équidimensionnelles.

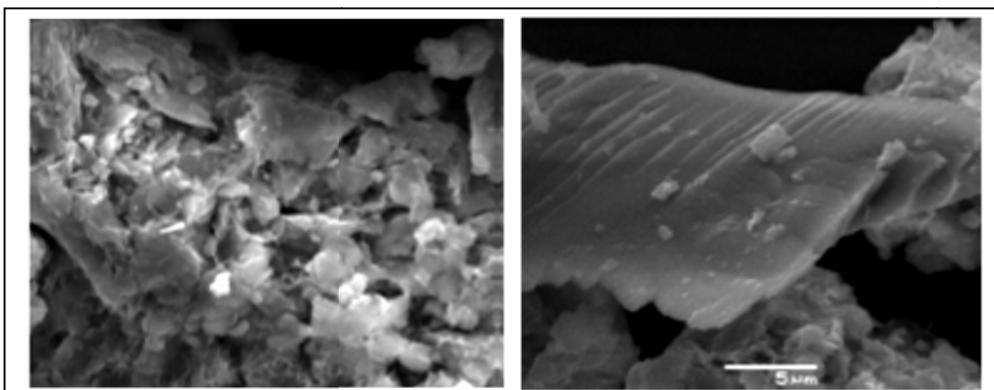


Figure (V.14) : MEB de la vase de l'Oued Fodda

V-6 Les analyses chimiques

Les analyses chimiques ont le but de déterminer la composition quantitative de la vase en oxydes et confirmer les résultats de l'analyse minéralogique.

La caractérisation chimique de la vase de l'Oued Fodda a été réalisée par Fluorescence X sur une poudre sèche au laboratoire de la cimenterie de Zahana-Mascara en utilisant l'appareillage Spectromètre 1480 – Philips : voir Photo (V.7), elle admet la détermination de la matière organique, et d'autres éléments principaux issus de l'analyse chimique. Les résultats sont récapitulés dans le tableau (V.9).



Photo (V.7) : Appareil Spectromètre 1480 – Philips

Tableau (V.9) : La composition chimique de la vase du barrage de l'Oued Fodda

Caractéristiques	Vase de l'Oued Fodda(%)
SiO₂	46.37
Al₂O₃	13.73
Fe₂O₃	5.76
CaO	11.87
MgO	1.64
Na₂O	0.37
K₂O	1.48
TiO₂	0.67
PAF	17.90

La vase est composée d'un pourcentage important de silice, de l'ordre de 46.37% et de 13.73% d'alumine. Ces deux oxydes confirment l'analyse minéralogique de la vase et l'existence de la kaolinite et l'illite qui sont des minéraux argileux composés principalement des feuilletes de l'alumine et de silice.

Le pourcentage de la perte au feu est remarquable, de l'ordre de 17.90% justifié par la présence de la matière organique et un pourcentage de chaux de 11.87%.

V-7 Conclusion

Le but de ce chapitre est de l'étude des caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques de la vase du barrage de l'Oued Fodda. L'analyse granulométrique effectuée permet de classer la vase comme un sol fin avec une composition moyenne de 25% sable, 13% limon et 62% argile.

Les limites d'Atterberg de la vase sont:

- Une limite de liquidité de 47.54%.
- Une limite de plasticité de 22.80%.

Selon la classification des sols fins de Casagrande : voir figure (V.5), la vase est classée comme un sol argileux. Les sols argileux sont caractérisés par une plasticité selon la teneur en eau. Une proportion de 8% de la matière solide est la limite de passer à un fluide newtonien à un fluide non newtonien.

L'analyse minéralogique d'un échantillon de la vase présente la composition de cette dernière en minéraux argileux tel que la kaolinite et l'illite qui justifie la plasticité de la vase et quelques portions de quartz et de calcite. La minéralogie est complétée par une analyse chimique pour identifier la composition en oxydes.

La vase est composée principalement de 46.37% d'alumine, de 13.73% de silice qui vient de la kaolinite et l'illite. Le taux du carbonate est de 11.87% qui justifie le taux de la perte au feu élevé de l'ordre de 17.90%. Ce taux de PAF est dû aussi à la teneur en matière organique.



CHAPITRE VI

VALORISATION DE LA VASE DANS LE DOMAINE DES CARREAUX DE SOL EN CÉRAMIQUE

Created with

 **nitro** PDF[®] created with **professional**
 **nitro** PDF[®] download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

VI- Valorisation de la vase dans le domaine des carreaux de sol en céramique

VI-1 Introduction

D'après les caractéristiques physiques, rhéologiques, minéralogiques et chimiques de la vase déterminées dans le chapitre précédant, les sédiments du barrage de l'Oued Fodda peuvent être réutilisés dans le domaine de la fabrication des matériaux rouges et spécifiquement la céramique.

L'objet de ce chapitre est de confirmer ce résultat par des tests de type physico céramique à l'usine CERAL (Céramique Algérienne).

VI-2 Présentation de la société CERAL

CERAL l'expression du savoir faire crée en 1987situé à une distance de 15 Km à l'Est d'Oran (Algérie) dans la zone industrielle de Hassi Aneur, céramique algérienne ceral n'a cessé de se développer grâce à un programme d'expansion ambitieux lui permettant aujourd'hui d'atteindre une capacité journalière de production de 8 000 m² de carreaux de sol et qui sera portée à 12 000 m² avec la mise en fonction d'une nouvelle ligne de production début 2014.dans le cadre de sa stratégie de développement et afin de consolider sa position sur le marché national, l'entreprise s'est engagée à partir de 2010 dans un vaste programme de modernisation et de restructuration. Ceral dispose d'une large gamme de produits en formats 33cm x 33cm et 45 cm x 45 cm, en différentes typologies notamment (marbrés, rustiques, reliefs,...) tout en poursuivant l'introduction de nouveaux modèles, tous placés sous le signe du confort et d'esthétique

VI-3 Technologie de fabrication des carreaux de sol en céramique [35]

VI-3-1 Matière première

Les principales matières premières utilisées dans la fabrication de la céramique pour la construction et le carrelage sont :

- **Argile ou terre** : mélange plastique et apte à prendre la forme désirée
- **Grés** : Ce sont des produits à masse réfractaire, additionnée, éventuellement de chamotte et dont l'ossature présente des grains plus ou moins gros. Les produits de grés présentent des performances exceptionnelles (résistance mécanique à l'érosion et aux agents chimiques).
- **Schiste** : Roche de constitution très variable, caractérisé par une texture feuilletée résultant d'une forte compression, de contraintes tectoniques ou du métamorphisme.

VI-3-2 Préparation de la matière première



Le mélange de matière première passe dans un broyeur qui réduira en pâte humide (barbotine) de grains plus ou moins fins en fonction du type de produit le mélange de terre et de matière première.

La barbotine est introduite dans des buses placées à l'intérieur de la chambre de séchage, au moyen d'une pompe à piston à haute pression ajustable. A l'extrémité des buses, la barbotine est nébulisée en fines particules et tombe dans un contre courant d'air chaud qui vient du générateur. De cette manière le séchage est presque immédiat et la poudre formée tombe au fond où elle est évacuée par une vanne tournante. L'air humide est aspiré par un ventilateur à travers un groupe de cyclones, où les petites quantités de poudre fine qu'il contient encore sont collectées, puis l'air est rejeté dans l'atmosphère au travers de filtres.



La poudre peut être obtenue à la granulométrie et humidité résiduelle requises, en réglant la pression de la pompe, le diamètre des buses, la température et le débit de l'air.

VI-3-3 Pressage du carrelage



La poudre obtenue lors de l'atomisation et injectée dans un moule qui lui donnera le format désiré. A l'intérieur du moule la presse agit avec une charge qui peut aller jusqu'à 5000 tonnes.

La plaque ainsi obtenue a déjà une résistance qui peut lui permettre d'être transportée et de passer aux différentes étapes de la fabrication.

VI-3-4 Nettoyage



Le ramasseur de presse a la fonction de réceptionner les carreaux qui sortent du moule de la presse, de les parachever, basculer, brosser puis de les envoyer à la phase successive de séchage.

Il est constitué d'un tapis roulant mobile et emboîtable avec commande mécanique pour laisser libre l'accès au moule de la presse, un basculeur universel qui bascule les batteries de carreaux à 180° et de deux groupes de brosse pour le lissage des carreaux. Un jeu de racleurs de parachèvement est disponible en option.

VI-3-5 Séchage



Les carreaux sont chargés sur des balancelles à rouleaux, qui après avoir été soumises au premier stade de séchage, sont enveloppées dans un fort courant d'air chaud humide, mélangé à de l'air chaud sec. Dosant convenablement les deux airs, nous avons abouti à un bon séchage. Par des fentes placées à l'horizontale dans la tour du séchoir, l'air est équitablement distribué sur tout le plan de chargement de la balancelle. Le deuxième stade, auquel les carreaux seront soumis, consiste en un fort courant d'air sec

Created with

autorisant une humidité en sortie du produit qui change de $0 \pm 0,5$ %. Le troisième et dernier stade est celui qui donne la température aux carreaux requise pour l'émaillage. Les températures sont contrôlées et affichées par des appareillages thermorégulateurs appropriés. Le fonctionnement complet de la machine est géré au moyen de l'automate programmable.

VI-3-6 Emaillage

Plusieurs techniques d'émaillage sont appliquées en fonction du type de produit que l'on veut obtenir :

1. Émaillage à sec

La particularité de cette technique est celle d'appliquer l'émail à n'importe quel endroit du carreau dans une quantité et des couleurs définies électroniquement selon un programme graphique sélectionné qui s'affiche sur un écran en dotation. Avec les systèmes de gestion électronique, on peut donc décorer les carreaux de façon CENTRÉE, c'est à dire tous égaux, en mode RANDOM à savoir avec des décors différents mais contrôlés sur des carreaux qui transitent rapidement sur la ligne.



L'image graphique exécutée peut être modifiée. On peut modifier : le graphisme, les couleurs, la quantité d'émail déposée pour chaque couleur en variant ainsi la tonalité. Le format du carreau est aussi enregistré, par conséquent le changement de format ne requiert pas le remplacement ou le réglage d'organes mécaniques. Le programme contenant toutes les données concernant la graphique, le format, la quantité et les couleurs est enregistré sur un support magnétique commun qui permet, à tout moment, de modifier le programme en cours en quelques secondes en reproduisant parfaitement le décor déjà exécuté précédemment. La décoration s'obtient à travers l'utilisation d'une série de buses pilotées numériquement par l'ordinateur qui lit la graphique et les autres paramètres de production. La machine est disponible avec des sorties de 1 à 4 couleurs. L'application des couleurs à l'intérieur d'une seule machine permet de les fixer en une seule fois à la sortie.

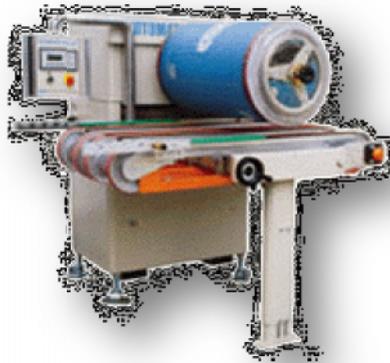
2.Émaillage humide



Avec cette technique, le carreau passe sous des buses qui propulsent de l'émail liquide. Il peut y avoir plusieurs buses successives ou en parallèle pour enrober la céramique d'émail afin d'obtenir les différents effets souhaités.



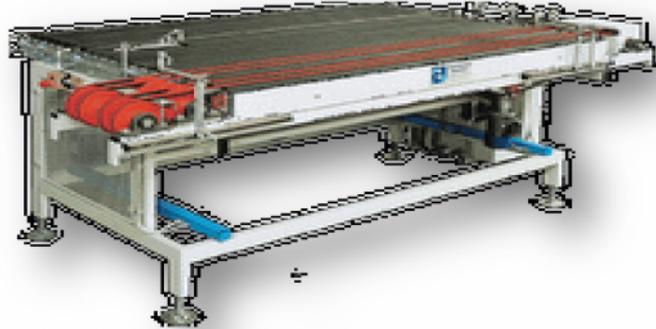
3. Sérigraphie



La sérigraphie est utilisée plus particulièrement dans la fabrication de décor. Le principe est d'appliquer plusieurs émaux en fonction des couleurs. Le carreau passé sous un film qui ne laisse passer qu'aux endroits souhaité l'email. Avec ce principe, le carrelage peut passer dans plusieurs machines successivement.

VI-3-7 Transport

Sur l'ensemble du processus de fabrication, le transport des carreaux se fait par des systèmes de tapis roulants.



VI-3-8 Cuisson



Se fait par des fours rotatifs ;

Ces fours ont été conçus sur la base des exigences spécifiques du produit et de l'installation et sont dotés de toutes les solutions technologiques en mesure de garantir d'excellents niveaux de qualité productive et de fiabilité. Les caractéristiques principales sont :



- possibilité de cuire des carreaux émaillés et non émaillés, mono cuisson et bi-cuisson, grès cérame et applications en troisième cuisson, température de cuisson jusqu'à 1.300°
- faibles consommations d'énergie,
- installation de combustion dotée de brûleurs testés selon des paramètres particulièrement sévères et qui peuvent travailler aussi bien en atmosphère réductrice qu'oxydante en garantissant toujours un produit cuit uniformément,
- les rouleaux sont actionnés avec des engrenages coniques à dents droites garantissant la plus grande fiabilité et des coûts d'entretien réduits,
- il ne nécessite aucun type de fondation,
- il est adapté à tous les types de format à partir de 100 x 100 mm jusqu'à 1000 x 1000 mm.



VI-3-9 Contrôle de qualité

Les carreaux sont testés un à un pour leurs résistances, et leur format. Si un carreau ne correspond pas à la norme pour les différents tests de résistance mécanique, il est automatiquement détruit. Par contre si le format dépasse les normes, il sera déclassé dans une catégorie de choix inférieure.



VI-3-10 Contrôle de nuance



Le contrôle de la nuance est la seule opération qui demande de la main d'œuvre bien qu'il existe des systèmes de contrôle par caméra. En effet, ce contrôle délicat est difficilement réalisable automatiquement car il demande une grande finesse. Les nuances sont dues à la cuisson. Une variation de quelques degrés de même que le degré d'humidité de l'air ambiante peuvent modifier la couleur de la céramique

VI-3-11 Mise en carton et en palette

A la fin de la chaîne se trouvent des robots pour la mise en palette. Ces robots sont reliés au système informatique qui transmet les informations pour chaque paquet d'environ 1 m² de carrelage. En fonction des choix (qualité des produits) et des nuances le robot mettra le paquet sur l'une ou l'autre des palettes qui se trouvent dans la zone de travail.

La dernière opération, lorsque la palette est pleine, un gerbeur la prendra pour la housser et la mettre automatiquement en place dans le stock.

VI-4 Essais et tests effectués en laboratoire:

Les essais et les analyses sont exécutés généralement dans le laboratoire de l'usine pour choisir les matières premières et effectuer un contrôle pendant la production.

Pour chaque nouvelle livraison de matière première utilisée pour la composition de la pâte, il faut tester les propriétés céramiques du matériau conformément à la méthode d'essai standard de laboratoire. Comme un grand écart entre le standard et les valeurs de la nouvelle livraison compromettrait la qualité de la pièce, il faut la refuser et la rendre au fournisseur.

Voici les essais et les analyses auxquels les matières premières doivent être soumises :

- Contenu d'humidité : l'échantillon de chaque matériau brut utilisé pour la composition de la pâte est pris dans l'entrepôt pour déterminer le contenu d'humidité. En fonction de ce résultat, le poids et la forme du lot seront gérés par le laboratoire dans le broyeur à boulets.

- Essai sur le format et l'apparence ;
- Analyse chimique quantitative, exécutée à l'aide d'un spectromètre informatisé à rayons x (XRF);
- Analyse minéralogique qualitative, exécutée à l'aide d'un diffractomètre informatisé à rayons x (XRD);
- Contrôles physiques-céramiques après la cuisson : après le broyage les matériaux individuels sont pressés à l'aide d'une presse hydraulique de laboratoire, séchés puis cuits dans un four à rouleaux. Les échantillons cuits sont testés en fonction des paramètres physiques et céramiques principaux.

Tous les essais exécutés en laboratoire sur les matériaux bruts doivent être effectués de la même manière notamment la préparation des échantillons et la cuisson (à la température de production).

VI-4-1 Essais en laboratoire sur les matières premières:

1. Contenu d'humidité:

Peser avec soin la quantité de poudre à contrôler avec une approximation de 0,1g (A). Mettre l'échantillon dans un sécheur pendant au moins 4 heures afin d'atteindre un poids constant, le peser de nouveau le plus vite possible avec une approximation de 0,1g (B). Calculer le pourcentage d'humidité libre sur le poids de masse séchée avec une approximation de 0,1 pour cent, comme suit :

$$\text{Humidité libre (\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \dots\dots\dots (\text{VI-1})$$

2. Essai de format:

Un échantillon pesé représentatif de chaque matériau brut séché est dissout dans l'eau en remuant. Ensuite la barbotine obtenue est passé à travers un tamis de 80 microns et le résidu est séché puis pesé. Le pourcentage de résidu est donné à travers la formule :

$$\text{Résidu (\%)} = \frac{A}{B} \times 100 \dots\dots\dots (\text{VI-2})$$

Ou

A: poids résidu en g,

B: poids initial de l'échantillon séché en g.

3. Analyse chimique quantitative:

On utilise généralement un spectromètre à rayons x. La méthode d'analyse se base sur la préparation d'échantillons en fusion appelés "perles". La fusion de chaque matériau est réalisée en ajoutant quantités pesées exactement de $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7 - \text{V}_2\text{O}_5$ (Oxyde de vanadium).

L'analyse est exécutée à travers l'exposition à un flux de radiations. L'évaluation de la concentration de chaque oxyde se base sur l'intensité de l'impulsion envoyée par l'oxyde après l'exposition aux rayons x (émission de fluorescence). Le spectromètre est relié à un ordinateur programmé de façon appropriée pour convertir l'intensité des impulsions en pourcentage de chaque oxyde.

4. Analyse minéralogique:

On utilise généralement un diffractomètre à rayons x. L'analyse se base sur le principe suivant : un courant de rayons X monochromatiques frappe les mailles cristallines qui se trouvent dans la poudre et donne un rayon diffraction seulement dans certains angles particuliers qui sont caractéristiques de chaque minéral présent dans l'échantillon examiné.

Les rayons sont ensuite rassemblés par un compteur, convertis en impulsions électriques, convenablement amplifiés et enregistrés par un stylo sur un rouleau de papier qui tourne en synchronisme avec la rotation du compteur. On obtient ainsi un diffractogramme avec les crêtes relatives de diffraction typiques pour chaque minéral présent. A partir des mesures de diffraction à rayons x et de calculs (analyse rationnelle) basés sur une analyse chimique, on peut obtenir une composition minéralogique cotée.

VI-4-2 Essais physiques-céramiques sur produit final:

Les caractéristiques suivantes seront déterminées après la cuisson :

- Absorption d'eau,
- Retrait,
- Couleur,
- Perte au feu,
- Coefficient de dilatation thermique,
- Anomalies possibles.

Bien évidemment, il faut comparer les données obtenues avec celles de l'échantillon original de la même matière première; s'il y a de grandes différences, il faut changer la composition de la pâte.

On peut effectuer les mêmes essais avec des matières premières non plastique en ajoutant, si nécessaire, quelques matériaux plastiques (toujours le même) pour préparer les échantillons.

Le directeur du laboratoire doit toujours examiner les résultats et suggérer de changer la composition si nécessaire. Il doit être informé sur les changements à effectuer et décider de lancer une composition modifiée. Dans la pratique, la plupart des matières premières variables sont les argiles, il faut donc les contrôler très bien et plus souvent.

a) Absorption d'eau:

Les carreaux sont pesés, immergés dans l'eau portée à ébullition et cuits pendant deux heures ; ils restent dans l'eau encore quatre heures, sont essuyés avec un chiffon humide puis pesés de nouveau. Voici la formule pour calculer le pourcentage d'absorption d'eau :

$$E (\%) = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \dots\dots\dots (VI-3)$$

Où :

P₂: poids final du carreau (après l'absorption),

P₁: poids de départ du carreau (avant l'absorption).

b) Retrait linéaire:

Les échantillons sont mesurés seulement après la cuisson et le retrait est calculé sur la différence de dimension en fonction de la cavité du moule. Voici la formule de calcul du pourcentage de retrait linéaire :

$$S (\%) = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100 \dots\dots\dots (VI-4)$$

Où :

D₁: dimensions de la cavité du moule,

D₂: dimensions du carreau après la cuisson.

c) Dilatation thermique:

L'essai est réalisé avec un dilatomètre, un instrument offrant une mesure précise des variations dimensionnelles dues à l'augmentation de la température. L'instrument devrait permettre de déterminer la dilatation thermique de l'échantillon céramique conformément au Standard Européen EN 103 et International ISO 10545-8.

On prend un échantillon de matière première cuit, sa longueur peut varier entre 30 et 40 mm (indiquée normalement dans le manuel d'instruction du dilatomètre). L'échantillon repose dans récipient d'échantillon d'alumine ou silice fondue, rigidement relié au corps du transducteur à l'intérieur du four.

L'échantillon est placé dans le four à la température ambiante et la température augmente à une vitesse constante jusqu'à environ 1000°C. La tige d'alumine reste dans le récipient de l'échantillon et touche la sonde du transducteur.

Le contrôleur reçoit les informations sur la température à partir du thermocouple et envoie les signaux de contrôle au relais d'état solide de sorte que le four chauffe selon la valeur programmée.

La tige se déplace avec l'échantillon qui s'étend ou se contracte et déplace ainsi le cœur du transducteur. Le coefficient linéaire de dilatation thermique est défini comme suit :

$$\alpha_{T_0}^{T_1} [10^{-6} / ^\circ C] = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times \frac{1}{T_1 - T_0} \dots\dots\dots (VI-5)$$

Où : T₀: initiale température,

T₁-T₀: plage de températures où le coefficient est calculé,

L₁: mesure de l'échantillon en mm, relevé à la température T₁,

L₀: mesure initiale de l'échantillon relevé à la température T₀.

VI-5 Préparation du mélange en matière première

Le choix de la composition du mélange en matière première est confirmé par des tests physico céramiques. Ce mélange est utilisé pour la fabrication des carreaux de sol en céramique doit répondre à certains exigences et normes. Il s'agit de passer une quantité de ce mélange par les différents étapes de fabrication et vérifier les paramètres de contrôle de qualité du produit final à savoir le retrait, l'absorption, la perte au feu et la résistance à la flexion.

VI-5-1 Calcul du taux de la vase à utilisé dans la formulation

La société CERAL Hassi Ben Okba (Oran, Algérie) utilise comme matière première un mélange de 12% argile, 17% de Grès, 71% de Schiste.

La composition chimique de chaque élément est donnée dans le tableau (VI.1) le même pourcentage, on aura un taux de la silice et de l'alumine dans la composition chimique du mélange inférieure à celui de la composition initiale (celle préparée par l'argile de Ain Franine).

Par contre que le taux de la chaux et la perte au feu est supérieur. Cette différence peut créer des défauts dans le produit final au niveau de la couleur, le retrait, l'adsorption et surtout la résistance.

Pour rattraper cette différence en composition chimique du mélange, on a proposé une autre formulation avec laquelle on s'approche à la formulation initiale. Cette fois ci, on utilise la vase du barrage de l'Oued Fodda avec un taux de 13%, le grès 16% et un taux de schiste de 71% (Voir le tableau VI.2).

Le mélange de la matière première proposé en utilisant la vase du barrage de l'Oued Fodda permet de diminuer la perte au feu de 17.90% au 6.45% pour un taux de référence de 5.58%. Il reste toujours loin de celui de la formulation initiale mais il est dans les normes.

L'avantage de la formulation proposée est d'utiliser un pourcentage de 13% de la vase. Le choix du pourcentage des matières premières doit être confirmé par des analyses et des tests physico céramique toute en comparant les résultats trouvés aux normes et exigences de l'industrie des carreaux de sol en céramique.

Tableau (VI.1) : Composition chimique de la matière première utilisée par CERAL

Oxydes	Argile de Ain Franine (12%)		Grès (17%)		Schiste (71%)		Total de la matière première utilisée par CERAL(%)
SiO₂	53.03	6.36	61.99	10.53	64.38	45.70	62.59
Al₂O₃	14.70	1.76	15.72	2.67	16.97	12.04	16.47
Fe₂O₃	5.80	0.69	3.45	0.58	7.16	5.08	6.35
CaO	4.65	0.55	6.23	1.05	0.26	0.18	1.78
MgO	2.75	0.33	1.57	0.26	1.46	1.03	1.62
Na₂O	0.95	0.11	2.86	0.48	1.19	0.84	1.43
K₂O	1.84	0.22	2.46	0.41	2.89	2.05	2.68
TiO₂	0.74	0.08	0.45	0.07	0.90	0.64	0.79
PAF	11.65	1.39	5.12	0.87	4.68	3.32	5.58

Tableau (VI.2) : Composition chimique de la matière première proposée

Oxydes	Vase de l'Oued Fodda (13%)		Grès (16%)		Schiste (71%)		Total de la matière première proposée(%)
SiO₂	46.37	6.02	61.99	9.91	64.38	45.70	61.63
Al₂O₃	13.73	1.78	15.72	2.51	16.97	12.04	16.33
Fe₂O₃	5.76	0.74	3.45	0.55	7.16	5.08	6.37
CaO	11.87	1.54	6.23	0.99	0.26	0.18	2.71
MgO	1.64	0.21	1.57	0.25	1.46	1.03	1.49
Na₂O	0.37	0.04	2.86	0.45	1.19	0.84	1.33
K₂O	1.48	0.19	2.46	0.39	2.89	2.05	2.63
TiO₂	0.67	0.08	0.45	0.07	0.90	0.64	0.79
PAF	17.90	2.32	5.12	0.81	4.68	3.32	6.45

VI-5-2 Préparation de la barbotine à testé:

La vase du barrage concassée jusqu'à qu'elle passe par le tamis de 2mm pour faciliter le broyage puis séchée dans l'étuve à une température de 105°C pendant 48 heures idem pour les autres composantes (grès et schiste) afin d'éliminer l'humidité initiale. Après on a pris une quantité de 1000g de mélange en matière première pour préparer les 2 types de barbotine comme suit :

A-Le mélange en matière première pour préparer la barbotine de CERAL (1000g): 710g de schiste, 170g de grès et 120g d'argile de Ain Franine.

B- Le mélange en matière première pour préparer la barbotine proposée (1000g): 710g de schiste, 160g de grès et 130g de vase de l'Oued Fodda.

Ensuite on a mis dans un bécher de 2000ml le mélange de la matière première de CERAL et dans un autre bécher le mélange de la matière première qui contient la vase de l'Oued Fodda et on a ajouté un volume de 400ml d'eau de gâchage et 4,2g de défloculant (Tripolyphosphate de sodium) dans les deux béchers après on a mis chaque mélange dans un broyeur à bille pendant une durée de 2 heures. Le temps de broyage est limité par la viscosité, la densité de la barbotine produite et le pourcentage du refus d'un tamis de 80 micro mètre. A la fin on a obtenu deux types de liquide homogène appelé barbotine.

Les mesures rhéologiques ont été effectuées sur un rhéomètre à contrainte imposée [36] appelé HAAKE RheoStress 600. La géométrie du rhéomètre est en cylindre coaxial.

Toutes les mesures ont été effectuées à température ambiante (20°C). Le HAAKE RheoStress 600 est conçu pour le rhéologue créatif qui utilise son rhéomètre dans un environnement de recherche. Grâce à sa modularité, le RheoStress 600 peut être rapidement adapté à de nouvelles exigences, il dispose de plusieurs géométries de mesure d'un Régulateur de température et d'un logiciel appelé RhéoWin pour la mesure et l'exploitation complet de tous les modes de mesure. Il permet de commander le RheoStress 600 et de traiter les données de mesure sous forme de graphe ou de tableau numérique.

VI-6 Tests physico céramiques:

Le choix de la composition du mélange en matière première est confirmé par des tests physico céramiques. Ce mélange est utilisé pour la fabrication des carreaux de céramique et il doit répondre à certaines exigences et normes.

Il s'agit de passer une quantité de ce mélange par les différentes étapes de fabrication et vérifier les paramètres de contrôle de qualité du produit final à savoir le retrait, l'absorption, la perte au feu et la résistance à la flexion.

A) Préparation des carreaux éprouvette:

Les tests physico céramiques sont effectués sur des éprouvettes sous forme des carreaux de 55x110 mm² largeur x longueur et d'épaisseur de 6 mm. Ces carreaux sont préparés par la même barbotine testée dans le rhéomètre RS.

La barbotine est séchée, broyée et tamisée par un tamis de 1mm. La poudre produite est utilisée pour fabriquer les éprouvettes à l'aide d'une presse hydraulique qui exerce une pression verticale de 100 bar. La poudre doit être avoir une humidité initiale qui varie entre 4.2 à 5.5% comme une condition d'un bon pressage. Nous avons préparé deux types des carreaux éprouvette: carreaux préparés par la composition de la vase du barrage de l'Oued Fodda et d'autres carreaux préparé par la poudre atomisée prélevée à partir de l'usine qui est préparée par l'argile de Ain Franine et à l'aide d'une presse de mesure de la résistance à la flexion, nous avons testé pour chaque type, trois éprouvettes cru; directement après le pressage dont l'humidité est de 4.89% et trois d'autres éprouvettes sec; séché à l'aide de l'étuve sous une température de 105°C et pendant 5 heures.

Pour avoir un produit final confort aux normes et exigences internationale (ISO 13006) [37] des carreaux éprouvette secs sont passés par un four au niveau de laboratoire de l'usine CERAL pour les températures maximales de cuissons: 800, 900 et 1000°C. D'autres carreaux sont passés par le four tunnel dans la ligne de production de l'usine dont la température maximale de la cuisson est de 1100°C.

Le but de varier la température maximale de cuisson est de déterminer son influence sur les paramètres physiques du carreau tel que la résistance à la flexion, l'écart de longueur et de largeur et la perte au feu.

Pour chaque température, nous avons utilisé trois carreaux secs préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda dont l'humidité est environ de 1.2% et trois autres préparé par

l'argile de Ain Franine. Si l'humidité du carreau à l'entrée du four dépasse 2% une transformation brusque de l'eau interstitielle de l'état liquide à l'état gazeux engendre l'explosion du carreau.

VI-7 Résultats des tests physico-céramiques et discussion

Sur les figures (VI.1) et (VI.2), nous avons représenté en abscisse le gradient de vitesse de cisaillement en abscisse et en ordonnée la contrainte de cisaillement. Les différentes mesures sont traitées à l'aide d'un logiciel du rhéomètre RS 600.

Nous avons testé deux barbotines: une préparée par l'argile de Ain Franine utilisée dans l'usine CERAL et une autre préparée par la vase du barrage de l'Oued Fodda dont le but est de comparer le comportement rhéologique et l'écoulement sous l'application d'une vitesse variable en mesurant la contrainte équivalente pour chaque vitesse.

La variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse est linéaire pour les deux mixtures mesurée. Ils obéissent au model linéaire de Bingham avec un coefficient de corrélation qui s'approche beaucoup à un. Il est de l'ordre de 0.93 pour la barbotine de CERAL et de 0.94 pour la barbotine de la vase du barrage de l'Oued Fodda. Les équations des deux courbes de tendance sont:

- Barbotine de CERAL : $y = -0.7714 \dot{\gamma} + 20.677$ (VI-6)

- Barbotine de l'Oued Fodda : $y = -0.3935 \dot{\gamma} + 12.472$ (VI-7)

La contrainte du seuil de la barbotine de l'Oued Fodda est inférieure à la contrainte du seuil de la barbotine de CERAL, ça veut dire que la première (celle de l'Oued Fodda) s'écoule mieux dans le circuit à partir des bacs de stockage de la barbotine jusqu'aux injecteurs de l'atomiseur en passant par les pompes à pistons.

Donc, la barbotine de la vase du barrage de l'Oued Fodda s'écoule avec moins de risque de colmatage des conduites et un bon rendement des pompes. Cela est confirmé par la variation de la viscosité tracé dans la figure (VI.2), dont la barbotine préparée par la vase est moins visqueuse que celle préparée par l'argile de Ain Franine avec les mêmes concentrations est pour chaque vitesse de cisaillement appliquée.

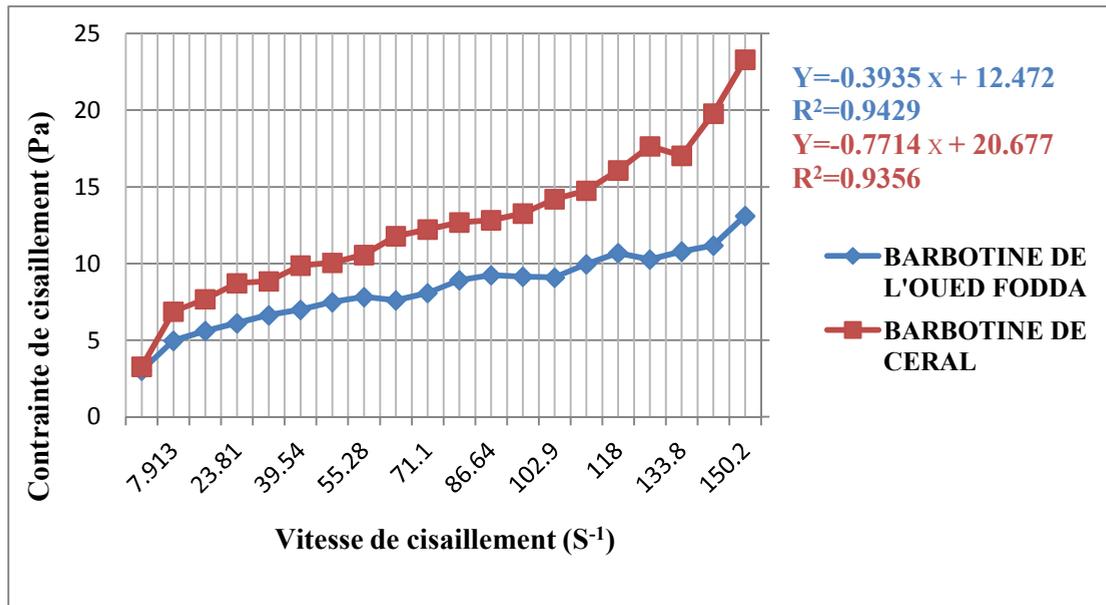


Figure (VI.1) : Contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse

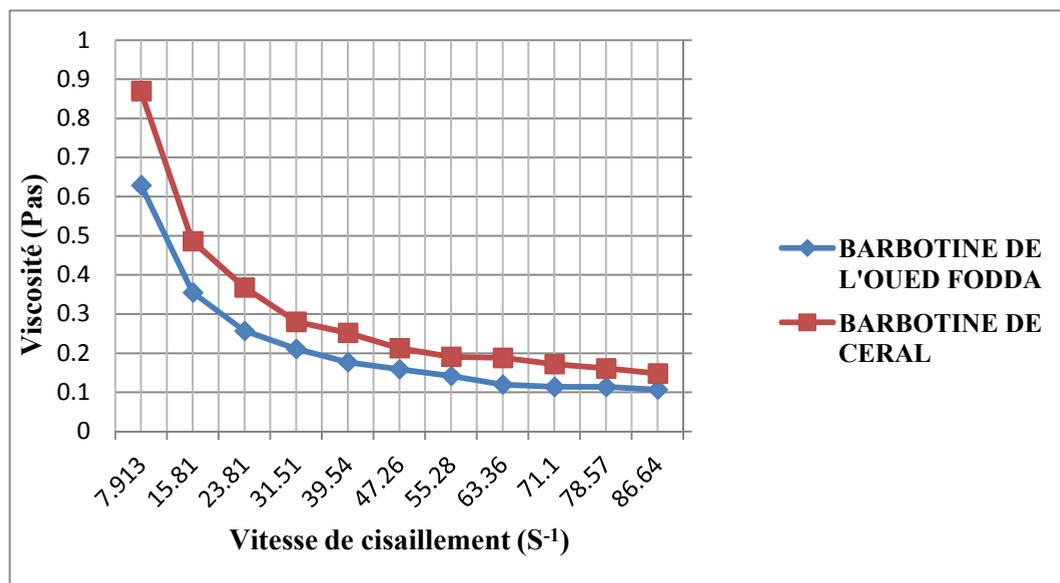


Figure (VI.2) : Viscosité en fonction de la vitesse de cisaillement

La figure (VI.3) présente une comparaison entre la résistance à la flexion des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda et celle des carreaux préparés par l'argile de Ain Franine. Cette comparaison est effectuée sur des carreaux crus, secs et après cuisson à la température de 1100°C. Suivant les résultats trouvés la résistance à la flexion des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda est proche à celle de Ain Franine pour les différentes températures de cuisson.

Elle est au dessous de la limite inférieure (170 Kg/cm^2) pour la température 800°C , elle bonne pour les températures 900°C , et elle est au dessus de la limite supérieure de la norme avec une résistance moyenne de 280 Kg/cm^2 à la température 1000 et 1100°C dont la norme exige seulement une résistance de 245 Kg/cm^2 . Plus la température de cuisson augmente plus que le carreau produit résiste bien à la flexion, dans notre cas, et suivant les résultats trouvés, une température de 1000°C est suffisante pour avoir un carreau qui répond aux normes et exigences internationale ISO 13006. Les résultats de la résistance à la flexion des carreaux crus et secs sont présentés dans le tableau (VI.3). Les carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda ont donné une résistance crue moyenne de 2.03 N/mm^2 et une résistance sèche moyenne de 6.1 N/mm^2 .

Tableau (VI.3) : Résistance à la flexion des carreaux crus et sec en N/mm^2

		Oued Fodda	Ain Franine
Cru	1	1.7	2
	2	2.6	2.8
	3	1.8	2
Sec	1	5.5	5.7
	2	6.6	6.9
	3	6.2	6.3

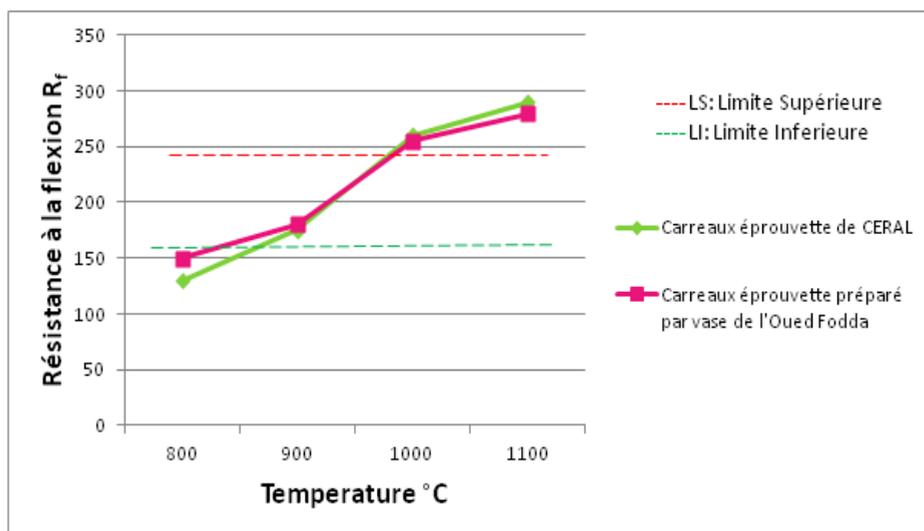


Figure (VI.3) : Variation de la résistance à la flexion en fonction de la température

Les autres carreaux préparés par l'argile de Ain Franine ont donné une résistance crue moyenne de 2.26N/mm² et une résistance sèche moyenne de 6.3 N/mm². Le comportement des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda est très bon vis-à-vis le pressage et le séchage. Nous avons trouvé des résultats acceptables en comparant par les carreaux préparé par l'argile de Ain Franine (celle utilisé dans l'usine CERAL). Le produit de CERAL résiste mieux à la flexion que le produit de l'Oued Fodda mais les deux sont dans la marche des exigences demandés et suivant la norme internationale.

La microscopie électronique à balayage du mélange fritté à 1000°C (figure (VI.4)) révèle une structure hétérogène, avec des pores dont la taille peut atteindre 2 à 3 µm. L'assemblage quartz-liquide silicaté est toujours entouré d'espaces vides. A cette échelle d'observation, il ne semble pas y avoir d'autres minéraux présents dans la matrice. On observe aussi des grains distincts de tailles variables correspondant probablement à du quartz et à une masse vraisemblablement amorphe.

L'image MEB révèle un nombre plus important de grains distincts tandis que la densité des pores à grand diamètre a considérablement diminué. C'est sans doute cette répartition homogène de pores et de grains qui confère à ce matériau une meilleure résistance à la flexion. La matrice liquide renferme toujours du quartz et les pores sphériques semblent grossir avec la température de cuisson.

L'écart de longueur (figure (VI.5)) augmente en fonction de la température, il est au dessous de la limite minimale de la norme ISO 13006 pour la température 1100°C.

L'écart de largeur (figure (VI.6)) augmente aussi en fonction de la température.

La perte au feu ou la différence en poids du carreau (figure (VI.7)) diminue en fonction de la température de la cuisson pour les deux types des carreaux.

Pour la déformation il est bien clair que celle de l'Oued Fodda perd une longueur de 0.47% et une largeur de 0.38% par contre que les carreaux de CERAL perd que 0.45% en longueur et de 0.35% en largeur. Cette différence est justifiée par le taux de la perte au feu qui est presque identique dans les 2 types de carreau sachant que le taux de perte au feu dans le carreau préparé par la vase du barrage de l'Oued Fodda est de 7.6% dont l'autre carreau de CERAL a un taux de perte au feu de 7.2%. La température de cuisson 1000°C a donné des carreaux de bonne qualité de point de vue déformation le long de la longueur et de la largeur.

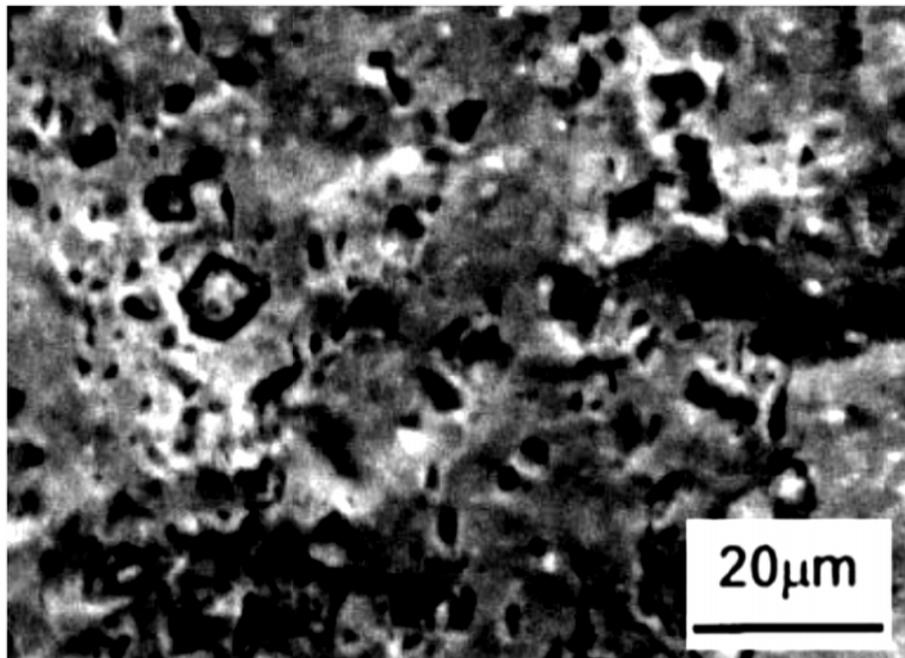


Figure (VI.4) : MEB du matériau de l'Oued Fodda fritté à 1000°C

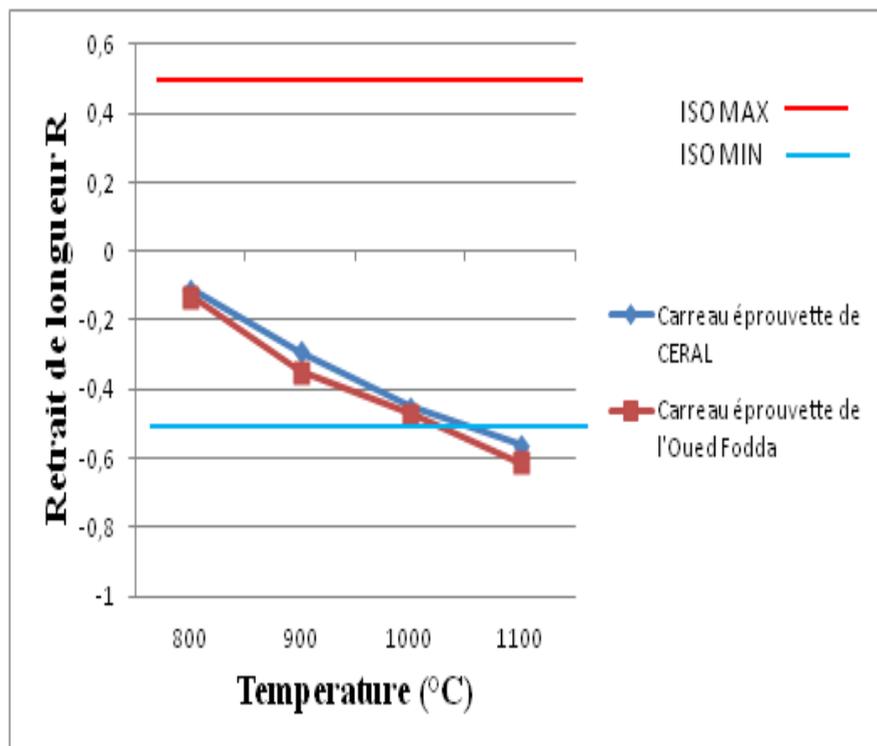


Figure (VI.5) : Variation de l'écart de longueur en fonction de la température

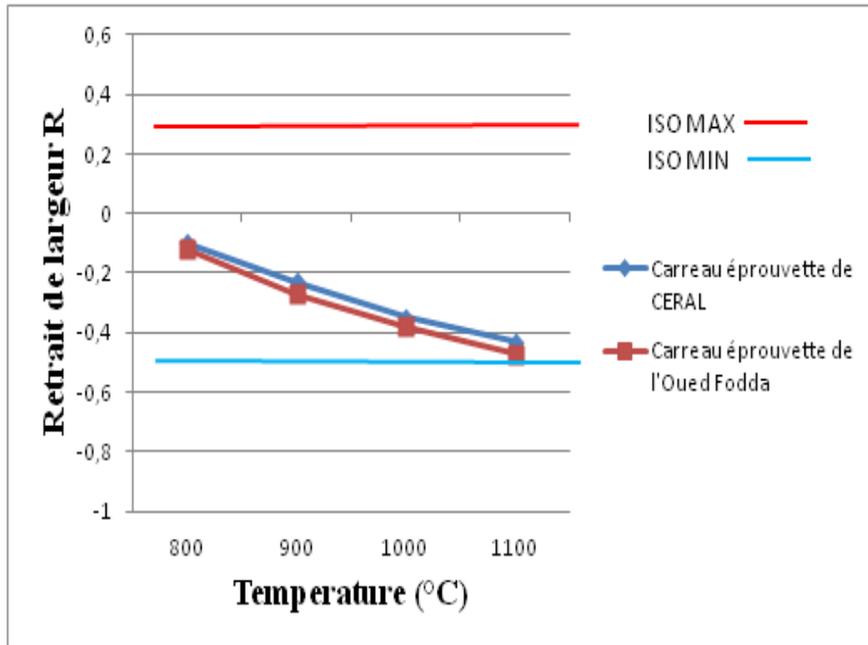


Figure (VI.6) : Variation de l'écart de largeur en fonction de la température

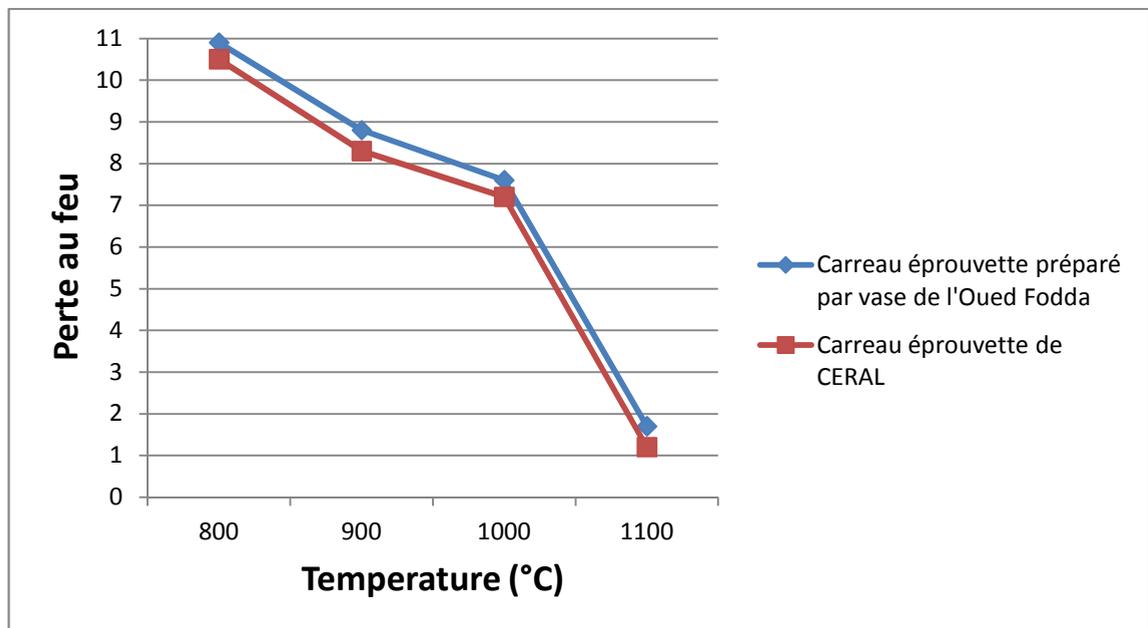


Figure (VI.7) : Variation de la perte au feu en fonction de la température

VI-8 Conclusion

Les analyses chimiques de la vase confirment qu'elle est utilisable dans la fabrication de la céramique jusqu'à un taux de 13%. Ces analyses sont complétées par des rhéologiques afin d'identifier l'écoulement de la barbotine préparée par la vase dans le broyeur et à travers le circuit jusqu'à l'arrivée à l'atomiseur, là où la barbotine est transférée en poudre pour le pressage par la suite.

Le comportement rhéologique de la barbotine préparée par la vase est identique à celui de la barbotine préparée par l'argile de Ain Franine, les deux sont obéies au model Herschel Bulkley.

Les résultats obtenus représentés dans la figure (VI.3) nous montrent que la résistance à la flexion augmente en fonction de la température jusqu'à la valeur maximale qui est de 1100 °C où on a obtenu une valeur de résistance à la flexion de 280 kgf/cm². Cette valeur est proche à celle du mélange initiale commercialisé ($R_f=290$ kgf/cm²).

Nous avons aboutit à ce qu'on a projeté dans notre travail qui est l'utilisation de cette vase dans l'industrie de la céramique. Ce travail peut être développé par des essais physico céramique pour industrialiser le produit.

CONCLUSION

Created with



nitro PDF[®]
Created with

professional
PDF[®]

download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

CONCLUSION Générale

Des quantités importantes de vase sont évacuées périodiquement en aval du barrage de l'Oued Fodda par les vannes de vidange de fond du barrage, ce qui provoque de sérieux problèmes d'environnement. Le traitement et l'étude de la vase en vue de sa valorisation dans le domaine des matériaux de construction et plus particulièrement les carreaux de sol en céramique ont donné de très bons résultats. Les analyses chimiques de la vase confirment qu'elle est utilisable dans la fabrication des carreaux de sol en céramique jusqu'à un taux de 13%. Ces analyses sont complétées par des essais rhéologiques afin d'identifier l'écoulement de la barbotine préparée par la vase dans le broyeur et à travers le circuit jusqu'à l'arrivée à l'atomiseur, là où la barbotine est transférée en poudre pour le pressage par la suite.

Le comportement rhéologique de la barbotine préparée par la vase est identique à celui de la barbotine préparée par l'argile de Ain Franine, les deux sont obéies au modèle Herschel Bulkley.

L'argile de Ain Franine est utilisée comme matière première dans la fabrication des carreaux de sol en céramique au niveau de l'usine CERAL situé à une distance de 15 Km à l'Est d'Oran (Algérie) dans la zone industrielle de Hassi Aneur. Le produit final doit répondre à certaines exigences et normes pour qu'il trouve sa place dans le marché à savoir les dimensions, le poids, l'absorption et la résistance à la flexion.

Des éprouvettes sous forme de petits carreaux de dimension 55x110 mm² ont été préparées par deux types de mélanges: un basé sur l'argile de Ain Franine et un autre basé sur la vase du barrage de l'Oued Fodda. Les carreaux préparés par la vase du barrage ont confirmé la possibilité d'utiliser la vase dans la fabrication des carreaux de sol en céramique.

Références bibliographiques

Created with



nitro PDF[®]
Created with

professional



nitro PDF[®]

professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

bibliographie

[1]	B. REMINI, J.M. AVENARD : Evolution de l'envasement dans le barrage de Foug El Gherza, p. 98-105,2001.
[2]	B. REMINI, J.M. AVENARD, A. KETTAB : Livre de l'envasement des barrages pages 5 à 89,1997
[3]	Le barrage de Oued Fodda, Agence du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez .Available from http://www.abh-cz.com/dz/Eau/barrages/brgouedfodda.htm
[4]	L. BENAMARA, K. OUHBA, A. HAMWI : Élaboration d'une pouzzolane de synthèse à partir des sédiments de barrage, <i>Environnement & technique journal</i> , p.40-44,330 (2013)
[5]	A.MEZENCEVOVA, N.N. YEBOAH, S.E BURNS, L.F. KAHN, K.E. KURTIS : Utilization of Savannah Harbor river sediment as the primary raw material in production of fired brick, <i>J. Envir. Manag.</i> p.128-136, 113 (2012)
[6]	J.BEAUCHAMP : Sédiments et roches sédimentaires. Available from https://www.u-picardie.fr/~beaucham/cours-sed/sed-1.htm
[7]	J.BEAUCHAMP : Les milieux de sédimentation. Available from https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours-sed/sed-2.htm
[8]	P. JOEY : Cours de géologie appliquée au génie civil chapitre 02 : notions de pétrographie, 2005.
[9]	D. TESSIER : Recherches expérimentales sur l'organisation des particules dans les argiles. Application à l'étude de 4 pâtes argileuses « calciques » en voie de dessiccation. Thèse pour l'obtention du diplôme d'ingénieur CNAM. Laboratoire de géologie appliquée, 1975.
[10]	N. PROULHAC, K. LANN : Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde .Bassin d'Arcachon, 2006.
[11]	B. BEKHTI, M. ERRIH, M. SIDI ADDA : Modélisation de la sédimentation dans les retenues de barrages en Algérie (barrage Es-Saada), <u>Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 23, Numéro 1, 38-47, Janvier-Février-Mars 2012.</u>
[12]	MARTIN, ANGULO : <u>Dynamique des sédiments fins en milieu marin et agitation portuaire</u> .Mémoire d'Habilitation à diriger des Recherches par Martin de l'université de Caen, France, 2000.
[13]	H. CHANSON, P. JAMES : Teaching Case Studies in Reservoir Siltation and Catchment Erosion, Tempus publication the University of Queensland, Brisbane, Australia, 1998.

[14]	M. NETO : Scenarios de gestion de boues de dragage de cours d'eau : rôle des bactéries dans la mobilité des polluants métalliques. Thèse doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Lyon, 2007.
[15]	L. Xavier, J-M. AUGUSTIN : A Measurement Quality Factor for Swath Bathymetry Sounders. Journal of Oceanic Engineering, 35(4), 852-862, 2010.
[16]	B-A. ABDELLATIF, F. BAILLOT, K. MENOUERI et al : Document de « la faim de l'eau » la boue dans les barrages, Le magazine des journalistes scientifiques. Université Saad Dahleb de Blida, 2006.
[17]	M. KASSOUL, A. ABDELGADER, M. BELORGEY : Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, Volume 10, numéro 3, 1997, p. 339-358, Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), ISSN : 0992-7158, 1718-8598.
[18]	P. STEVAN BRUCK : Document « méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs Contribution au Programme Hydrologique Internationale PHI – II Project Janvier 1986. »
[19]	B. ROLAND : Livre de dragage et rejets en mer les produits de types vase p.153, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN : 2859783369,9782859783365, pp 307,2000.
[20]	COOPER, H. R : Practical Dredging And Allied Subjects. Glasgow: Brown, Son and Ferguson, p.434, 1974.
[21]	LINSSEN : Rapport final de la commission internationale pour l'étude des effets du dragage et de l'évacuation des produits de dragage sur l'environnement : bulletin de l'association internationale permanente de navigation, annexe au bulletin N°27, p.99, 1977.
[22]	G.SCHNEIDER : Le curage des sédiments des cours d'eau. Le courrier de l'environnement de l'INRA (France) ,2005.
[23]	B.REMINI : L'envasement des barrages quelques exemples algériens.
[24]	A. MANSER : Erosion et envasement des barrages.
[25]	B. REMINI, Z. LABIOD, M. BELAREDJ : Traitement de la vase du barrage de Bouhanifia en vue de sa valorisation. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, pp.7-12, Juin 2004.
[26]	Z. LABIOD : « Valorisation des boues de curage du barrage de Bouhanifia », 2 ^{ème} séminaire national sur les ressources en eau, centre universitaire de Mascara (Algérie), 21 & 22 Avril 2002.
[27]	M. VILAIN : La production végétale. Les composantes de la production. Ed 13ème, p.478, 1997.

[28]	M. BELHADRI : Caractérisation et valorisation de la vase du barrage de Sidi Yaccoub. Mémoire pour obtenir un diplôme de magister en hydraulique d'Université Hassiba Benbouali de Chlef, 1997.
[29]	S. DEBLAY : Les amendements organiques, éditions CNPR, 1997.
[30]	N. BELAS, O. BELARIBI, A. MEBROUKI, N. BOUHAMOU : Valorisation des sédiments de dragage dans les bétons, <i>INVACO2 : Séminaire International, innovation & valorisation en génie civil & matériaux de construction</i> . Rabat – Maroc / 23-25, Novembre 2011.
[31]	B. REMINI : Valorisation de la vase des barrages quelques exemples algériens. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, pp.75-89, Juin 2006.
[32]	P.FREY, M. HOFMANN : Valorisation de la terre crue comme matériau de construction, UE - ENAC 2013 - EPFL - Learning from vernacular - terre crue.
[33]	R. LAFITE, A. DELOUIS, S. SAMSON : Etude des possibilités de valorisation des sédiments sableux de dragage d'entretien de l'estuaire du port Autonome de Rouen, Avril-Aout 2007.
[34]	P. PICOMATA : Travaux de mise à niveau de l'infrastructure portuaire du port de commerce de Porto-Vecchio : Travaux de dragage et de déroctage. Anteagroup, rapport n°67554/C, 12 septembre 2012.
[35]	Fabrication du carrelage. Available from https://sites.google.com/site/laceramiqueunepassion/fabrication-du-carrelage
[36]	L. HAMMADI, A. PONTON, M. BELHADRI : Rheological study and valorization of waste sludge from wastewater treatment plants in the dredging operation of hydraulic dams, <i>Energy Procedia Journal</i> , p.302-309, 6 (2011).
[37]	A. ZIMMER, C-P.BERGMANN : Fly ash of mineral coal as ceramic tiles raw material. <i>Waste Management Journal</i> , p.59-68, 27 (2007)