

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Maameri de Tizi-Ouzou



Faculté de génie de construction

Département de génie civil

Filière hydraulique

Option ouvrages hydrauliques.

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Thème :

Valorisation de la vase du barrage Taksebt

Présenté par :

Mlle KEDDAM Lamia

Mlle CHEBBINI Melkhir

Encadré par :

Mr KHATTAOUI. M

Mr HADJ HAMOU.A

Membre de jury :

Mr AMOUR.A

Mr DEHMOUS.H

Promotion 2019/2020.

Remerciement

Au terme de ce travail, nous sommes reconnaissantes à notre promoteur Mr **KHATTAOUI Mohammed** et co-promoteur Mr **HADJ-HAMOU Ameziane** et nous leurs offrons un grand respect, et nous tenons à les remercier pour leurs aides, leurs disponibilité et pour leurs orientations.

Nos vifs remerciements aux membres de jury d'avoir accepté d'évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier M^{me} **ALIK. S** la directrice du barrage de Taksebt dont notre travail s'est effectué, ainsi qu'au personnel de cet établissement de nous avoir bien accueillis.

Nos remerciements les plus distingués pour M^{me} **AIT GANA** la responsable de laboratoire mécanique des sols au département de génie civil, pour son aide le long de la réalisation de nos essais, aussi pour Mr **UGUEMAT** pour sa disponibilité, son aide et son encouragement, sans oublier le PDG de laboratoire CETIM de Boumerdes Mr **DAOUDI**.

Que tous ceux qui ont contribué à notre formation, particulièrement le corps enseignant du département de génie civil de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, trouve ici notre profonde reconnaissance.

Nos plus vifs remerciement vont également à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail mais qui ne sont pas cités ici, nous les remercions tous chaleureusement.

Dédicace

Avant tout, nous remercions dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la puissance de pouvoir accomplir ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

- A mes très chers parents, qui m'ont béni par leurs prières, pour leurs sacrifices, encouragement, soutien et amour, que le bon dieu les garde pour nous.
- A mes chers frères et sœurs : Nabil, Billal, Nesrine et Aya, à qui je souhaite beaucoup de réussite dans leurs études.
- A la mémoire de mon très cher grand-père paternel, qui me conseillait et encourageait toujours d'aller plus loin dans mes études, que dieu l'accueille dans son vaste paradis.
- A mes grands-parents maternel, ainsi mes oncles et tantes et toute la famille KEDDAM et AZAZ.
- A tous mes ami(e)s, et toute la promotion Master 2 ouvrages hydrauliques 2019-2020.
- A Tous ceux qui ont contribué de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce travail.

Lamia

Dédicace

Avant tout, nous remercions dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la puissance de pouvoir accomplir ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

- A mes très chers parents, qui m'ont bénie par leurs prières, pour leurs sacrifices, encouragement, soutien et amour, que le bon dieu les garde pour nous.
- A mes chers frères : Boussaad et Younes, à qui je souhaite beaucoup de réussite dans leurs vies.
- A la mémoire de mes grands-parents, que dieu les accueille dans son vaste paradis
- A ma grand-mère maternelle, à qui je souhaite beaucoup de santé et une longue vie.
- A tous mes ami(e)s, et toute la promotion Master 2 ouvrages hydrauliques 2019-2020.
- A Tous ceux qui ont contribué de manière directe ou indirecte à la réalisation de ce travail.

Melkhir

Résumé

En Algérie, le phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages où plus de 32.10^6 m³ de sédiments se déposent chaque année au fond de ces retenues. Diverses opérations de prise en charge des conséquences du dépôt des matières solides au gré des courants sont proposées, mais le problème est loin d'être résolu.

Cette étude s'inscrit dans la recherche d'une méthodologie de gestion de sédiments dragues dans la région de Nord-est Algérien. L'objectif est de proposer des formulations économiquement compétitives et faciles à mettre en œuvre in situ qui permettent une valorisation de ces sédiments dans la fabrication des matériaux rouges précisément la brique. A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physiques, chimiques et minéralogiques sur des échantillons de vase prélevés dans retenue du barrage de Taksebt.

L'analyse minéralogique aux rayons X identifie la composition minérale de la vase composé essentiellement de forte proportion de quartz, et la présence de quelques minéraux argileux tel que la kaolinite, l'illite, et la chlorite.

L'analyse chimique présente le pourcentage des oxydes (66.71% de silice, de 12.32% d'allumine et 4.26% du fer).

La composition chimique et minéralogique de la vase répond aux conditions du choix d'une argile pour l'industrie la brique.

Mots clés : sédiments, dragage, valorisation, barrage, Taksebt, analyses, chimiques, physiques, Minéralogiques, brique.

Abstrat

In Algeria, the siltation phenomenon affects all the dams where more than 32,106 m³ of sediment is deposited each year at the bottom of these reservoirs. Various operations to deal with the consequences of the deposition of solids with the currents are proposed, but the problem is far from being solved.

This study is part a research methodology for the management of dredged sediments in the North-East region of Algeria. The objective is to offer formulations that are economically competitive and easy to use in situ that allow recovery of these sediments in the manufacture of red materials, specifically brick. To this end, we have carried out a series of physical, chemical and mineralogical analyzes on silt samples taken from the reservoir of the Taksebt dam.

The X-ray mineralogical analysis identifies the mineral composition of the compound mud mainly of high proportion of quartz, and the presence of some clay minerals such as kaolinite, illite, and chlorite.

The chemical analysis shows the percentage of oxides (66.71% silica, 12.32% aluminum and 4.26% iron).

The chemical and mineralogical composition of the mud meets the conditions for choosing a clay for the brick industry.

Keywords: sediments, dredging, valuation, dam, Taksebt, analyzes, chemicals, physical, Mineralogical, brick.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : l'envasement des barrages en Algérie.	
I.1.Introduction	2
I.2. Erosion hydrique	2
I.2.1. Définition	2
I.2.2. les différentes formes de l'érosion.....	2
I.2.2.1. Erosion en nappe	2
I.2.2.2. Erosion linéaire.....	3
I.2.3. les principaux agents de l'érosion hydrique	5
I.2.4. les conséquences de l'érosion hydrique	6
I.3. le transport solide.....	6
I.3.1. Définition.....	6
I.3.2. Modes de transport solide.....	6
I.3.3. Les modèles d'estimation de l'envasement	7
I.3.4. Les problèmes causés par l'envasement.....	9
I.4. Conclusion	11
Chapitre II : la lutte contre l'envasement des barrages.	
II.1.Introduction	12
II.2. Moyens de lutte contre l'envasement	12
II.2.1. Les revêtements des berges.....	12
II.2.2. Le soutirage des courants de densité.....	12
II.2.3. La réalisation d'un barrage de chasse	13
II.2.4. La surélévation des digues.....	14
II.2.5. Le dévasement	15
II.3. Conclusion	18

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude.

III.1. Introduction	19
III.2. Situation du site du barrage.....	19
III.2.1. Généralités	19
III.2.2. Caractéristiques générales du barrage.....	20
III.2.3. Les ouvrages annexes	20
III.3. géologie et géomorphologie	21
III.3.1. Géologie	21
III.3.2. Géomorphologie	22
III.4. Pédologie.....	22
III.5. Hydrogéologie.....	22
III.6. Climatologie	23
III.6.1. Les précipitations	23
III.6.2. L'humidité	23
III.6.3.La température	24
III.6.4. Synthèse climatique	24
III.7. la végétation	26
III.7.1. L'étagement de la végétation.....	26
III.8. Conclusion	27

Chapitre IV : les caractéristiques de la vase du barrage.

IV.1. Introduction	28
IV.2. prélèvement des échantillons	28
IV.3.les caractéristiques physiques de l'échantillon.....	29
IV.3.1. Caractéristiques physique	29
IV.3.1.1. Phase liquide (eau).....	29
IV.3.1.2. Phase solide	29

Table des matières

IV.3.2. Caractéristiques granulométriques.....	32
IV.3.2.1. Analyse granulométrique.....	32
IV.3.2.2 les limites d'Aterberg	38
IV.4 : les caractéristiques minéralogiques	39
IV.5 : Caractéristiques chimiques.....	41
IV.5.1 : Analyse chimique par fluorescence X	41
IV.5.2 Perte au feu	42
IV.6.Conclusion	43

Chapitre V : les différents domaines de valorisation

V.1. Introduction	44
V.2. Utilisation de la vase Comme fertilisant des terres agricoles.....	44
V.2.1. Les amendements minéraux.....	44
V.2.2. Amendements à base d'argile.....	45
V.2.3 Amendements à base de sable.....	45
V.3. Utilisation de la vase comme matériau de construction.....	45
V.3.1. Valorisation dans le béton et mortier	45
V.3.2. Utilisation de la vase dans la fabrication de ciment	46
V.3.3.Utilisation de la vase dans la fabrication de céramique	46
V.3.4. Utilisation de la vase dans la fabrication des matériaux rouges.....	46
V.4. Utilisation de la vase dans les techniques routières	49
V.5. Utilisation dans la fabrication du verre	50
V.6.Utilisation comme matériau de construction dans les travaux hydraulique	51
V.6.1. Noyau d'argile d'une retenue collinaire.....	51
V.6.2. Utilisation de la vase comme couche étanche pour un bassin de lagunage.....	52
V.7. Conclusion	53

Chapitre VI : Valorisation de la vase dans le domaine des matériaux rouges(Brique).

VI.1. Introduction	54
VI.2.Définition de la brique	54
VI.3. Types de briques	54
VI.4. Les Matières Premières	54
VI.4.1. Les Argiles.....	55
VI.4.2. La Composition Chimique de l'Argile	55
VI.5. Procédés de fabrication de la brique	57
VI.5.1. L'extraction des matières premières (argiles)	58
VI.5.2. La préparation d'argile	58
VI.5.3.Le Façonnage	58
VI.5.4. Le Séchage	58
VI.5.5. La Cuisson	58
VI.5.6. L'emballage	58
VI.6. Les Principaux Défauts de la Brique	58
VI.6.1. Défauts dus à la matière première.....	58
VI.6.2. Défauts dus au non-respect des paramètres de technologie de fabrication	59
VI.6.3 Les essais de durabilité les plus importantes	59
VI.7. Respect de l'environnement.....	59
VI.8. Conclusion	60
Conclusion générale	61

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Erosion en nappe.

Figure I.2 : Erosion linéaire.

Figure I.3 : Erosion en griffes et rigoles : (a)-Erosion en griffes, (b)-Erosion en rigoles.

Figure I.4 : Erosion par ravinements.

Figure I.5: schématisation de la bathymétrie par nivellement.

Figure I.6 : Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre).

Figure I.7: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur.

Figure I.8: Schémas des Problèmes posés par l'envasement.

Figure I.9 : Blocage de la vanne de fond de la deuxième digue d'un barrage.

Figure I.10 : Curage d'un canal par les moyens mécaniques.

Figure I.11: Couleur verte de l'eau d'un barrage.

Chapitre II:

Figure. II.01 : Fonctionnement d'un barrage chasse.

Figure. II.02 : Surélévation à l'aide de hausses fusibles du barrage de Béni-Amrane (Boumerdes).

Figure II.3: Le dragage au centre de la retenue d'un barrage.

Figure II.4 : Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug).

Figure II.5 : Entrainement de la vase en aval (Plaine de la Mactaa).

Chapitre III :

Figure III.1 : barrage de Taksebt.

Figure III.2 : Déversoir latéral à seuil libre.

Figure III.3 : Diagramme ombrothermique de la station de Boukhalfa (1996-2011).

Figure III.4 : Localisation de la station de Boukhalfa (Tizi-Ouzou) dans le climagramme d'Emberger pour la période 1996-2011

Table des matières

Chapitre IV :

Figure IV.1 : Prélèvement dans le bassin décepteur.

Figure IV.2 : prélèvement en amont du barrage.

Figure IV.3 : Un pycnomètre vide.

Figure IV.4 : Une tamiseuse.

Figure IV.5 : Matériel utilisé pour la sédimentation.

Figure IV.6 : la mesure de sédimentation à différent temps.

Figure IV.7 : Courbe granulométrique des sédiments du barrage Taksebt.

Figure IV.8 : Courbe d'analyse granulométrique pas sédimentométrie des sédiments du barrage Taksebt.

Figure IV.9 : Courbe d'analyse granulométrique par tamisage sous l'eau et par sédimentométrie des sédiments du barrage Taksebt.

Figure IV.10 : Essai de limite de liquidité.

Figure IV.11 : Diffractogramme des rayons X du sédiment du barrage Taksebt.

Chapitre V :

Figure V.1: Schéma général du processus de fabrication des briques.

Figure V.2: Utilisation des vases des barrages les plus envasés.

Figure V.3: Briques et tuiles.

Figure V.4: Coupe type d'un ouvrage routier (d'après CETE, 2000)

Figure V.5 : Couche de remblai de vase de dragage.

Figure V.6: Le verre.

Figure V.7: Noyau centrale d'argile, cas du barrage de kramis.

Figure V.8 : Une couche d'argile dans un bassin de lagunage.

Chapitre VI :

Figure VI.1 : Processus de Fabrication de la Brique Rouge.

Liste des tableaux

Chapitre III :

Tableau III.1 : Caractéristiques générales du barrage.

Tableau III.2 : les précipitations moyennes mensuelles de la station de Boukhalfa pour la période (1996-2011).

Tableau III.3 : l'humidité moyenne mensuelle de la région d'étude (1996-2011).

Tableau III.4:Températures mensuelle de la station de Boukhalfa (1996-2011)

Tableau III.5 : Correspondances des étages de végétation du bassin méditerranéen.

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Tableau IV.2 : Composition minéralogique des sédiments étudiés.

Tableau. IV.3: Eléments principaux (% d'oxydes) par florescence X.

Tableau IV.4: Perte de masse au feu.

Chapitre V :

Tableau V.1 : La composition chimique des argiles pour la fabrication du verre.

Chapitre VI :

Tableau VI.1 : Analyse Chimique Comparative avec argile d'une Briqueterie et les seuils recommandés.

Liste des symboles et abréviations

Al₂O₃ : Oxyde d'alumine.
CaO : Oxyde de calcium.
Cc : coefficient de courbure
CETIM : Centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de constructions.
Cu : coefficient d'uniformité
Dy : ouverture du tamis laissant passer y % du poids des grains.
D10 : est appelé diamètre efficace.
E_c : énergie cinétique
Fe₂O₃ : Oxyde de fer.
I : Pente du terrain.
I_p : intensité de pluie
K : 3.43 (coefficient de Stew art établi pour l'Algérie et le Maroc)
K₂O : Oxyde de potassium.
km : Distance en kilomètre.
Km² : Surface
L : distance entre deux points de mesure en mètre.
LCPC : Laboratoire centrale des Ponts et Chaussées
m : Distance en mètre.
M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud.
m : Moyenne des températures minima du mois le plus froid.
M: masse du matériau naturel humide.
M₁: masse du récipient.
M₂ : masse du sol humide + masse du récipient.
M₂: masse du pycnomètre + particules solides.
M₃ : masse du pycnomètre+ particules solides + l'eau.
M₃ : masse du sol sec + masse du récipient.
m³ : volume
M₄ : masse du pycnomètre + l'eau.
MgO : Oxyde de magnésium.
M-m : L'amplitude thermique.
Mm³ : million de mètre cube (volume)
Ms : masse du sol sec.
M_S : masse du sol sec (après séchage).
M_w : masse de l'eau évaporée (g)
η : Rugosité du sol.
Na₂O : Oxyde de sodium.
P : Précipitations moyennes mensuelles en mm
P₂O₅ : Pentoxyde de phosphore.
PDG : Président directeur générale.
Q₂ : Quotient pluviométrique.
Q_R: Débit de ruissellement.
S : section envasée en mètres carres.
SiO₂ : Dioxyde de silicium (silice).
SO₃ : Trioxyde de soufre.
T : Température moyenne mensuelle.
TiO₂ : Dioxyde de titane.
USCS : Unified soil classification system.
V : volume de sédiments en mètres cubes
V_R : Vitesse de ruissellement.
V_s : volume absolu des grains solides.
ρ_s : masse spécifique des grains solides (g/cm³).

Introduction générale

L'envasement des barrages en Algérie est la conséquence la plus dramatique de l'érosion des sols dans les bassins versants, suite aux pluies torrentielles qui se manifeste chaque année. Ce phénomène prend une ampleur importante dans les régions pauvres en végétation, limitant ainsi leur capacité utile.

Ce dernier entraîne une perte de potentiel, allant jusqu'à annuler dans certains cas les fonctionnalités du barrage, et peut présenter des menaces pour l'environnement, c'est pourquoi il est d'une extrême urgence de procéder aux travaux de dragage afin de sauver l'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 le dragage sur la faune et la flore d'un côté, et sur la géométrie du cours d'eau en aval d'un autre côté.

Il serait alors plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation rationnelle de la vase qui peut être utilisée comme matière première dans l'industrie des matériaux de génie civil ou autres.

Dans cette étude, nous avons mené une série d'analyse physique, chimique et minéralogique sur un échantillon de vase prélevé dans la retenue du barrage de Taksebt, situé au Nord-est de l'Algérie, dans la wilaya de Tizi-Ouzou, implanté sur l'Oued-Aissi, affluent du Sébaou à environ 10Km au Sud-est de la ville de Tizi-Ouzou, mise en eau en 2001 avec une capacité initiale de 175Mm^3 , et dont le taux d'envasement annuel est estimé à 0.265Mm^3 (soit 0.46%).

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

Ce mémoire est scindé sur une introduction générale et six chapitres :

- Le premier chapitre présente un contexte général et bibliographique sur l'envasement des barrages en Algérie.
- Le deuxième chapitre cite les différentes techniques de lutte contre l'envasement des barrages.
- Le troisième chapitre s'intéresse à la zone d'étude, on y trouve les caractéristiques hydrologiques, climatologiques et géologiques du bassin versant du barrage.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude des caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques des sédiments du barrage de Taksebt.
- Le cinquième chapitre expose les différents domaines de valorisation de la vase du barrage.
- Le sixième chapitre une présentation générale du domaine de valorisation de la vase du barrage Taksebt en tant que matériaux rouges précisément la brique.

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

Chapitre I

L'envasement des barrages en Algérie

I.1. Introduction

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel d'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau. Ce phénomène enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme le Maghreb et plus particulièrement l'Algérie. L'envasement qui représente les dépôts successifs des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne forte de 74 grands barrages, d'une capacité de 8 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m³. A titre d'exemple, le barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda (Relizane) a reçu un volume de vase égal à 6,7 millions de m³ par année durant la période 1995-2003.

Au total, environ 20 grands barrages sont fortement menacés par le comblement total du réservoir à court terme si les moyens techniques de lutte ne sont pris en compte.

L'envasement des barrages est l'une des conséquences les plus dramatique de l'érosion hydrique, environ 180 millions de tonnes sont arrachés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord de l'Algérie. [1]

Dans ce chapitre on citera les causes directes, les conséquences et les modèles d'estimation de taux de l'envasement.

I.2. Erosion hydrique

I.2.1. Définition

L'érosion hydrique des terres est définie comme étant la perte de sol due à l'eau. Ce phénomène est composé d'un ensemble de processus complexes, interdépendants et à fortes variations spatio-temporelle. Il s'initie par une production des sédiments, puis par un transport ou un transit, pour finalement les déposer en un autre milieu.

Ce phénomène entraîne des pertes des terres irréversibles et une diminution de la capacité de stockage des barrages.

I.2.2. Les différentes formes de l'érosion

On distingue deux types d'érosion hydrique, érosion en nappe et érosion linéaire, selon le degré de concentration de ruissellement.

I.2.2.1. Erosion en nappe

L'érosion en nappe ou érosion aréolaire est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Elle s'effectue selon le détachement des particules de terre causée par le choc des gouttes de pluie, et par le ruissellement superficiel lorsque l'intensité de la pluie devienne supérieure à la vitesse d'infiltration, qui dépend des caractéristiques de pluie, de sol (granulométrie, humidité, et la teneur en matières organiques) et de surface (inclinaison, longueur, la forme de la pente, la rugosité et la couverture végétale).

Ce type d'érosion provoque un enlèvement plus ou moins uniforme d'une mince couche ou "nappe" de sol d'un champ lisse en pente faible non protégée.



Figure I.1 : *Erosion en nappe.*

I.2.2.2. Erosion linéaire

Cette forme d'érosion se manifeste lorsque l'écoulement atteint une certaine vitesse (25cm/s), suite à des épisodes pluvieux durables avec des événements de fortes intensités répétitifs. Elle est exprimée par tous les creusements linéaires qui entaillent la surface du sol suivants diverses formes et dimensions croissantes (griffes, rigoles, ravines, ravins).



Figure I.2 : *Erosion linéaire.*

A. Erosion en griffe et rigole

Elle se produit lorsque l'écoulement d'eau se concentre et choisit son passage, dès qu'une griffe s'établit, l'eau de ruissellement tend à se réunir, et plus elle se creuse plus il y a appel d'eau dans rigole. Ainsi, le phénomène de creusement s'accélère de lui-même. [2]



(a)



(b)

Figure I.3 : *Erosion en griffes et rigoles : (a)-Erosion en griffes, (b)-Erosion en rigoles.*

B. Erosion par ravinement

Est le stade avancé de l'érosion en rigoles. Lorsque le sol est peu perméable, saturé et couvert, le ruissellement est abondant. Ce dernier creuse des ravines et augmente les pointes de crues des oueds, ce qui favorise le sapement des berges et les glissements de terrain, et par conséquent l'envasement des barrages, la destruction des infrastructures et la dégradation des terres. [2]



Figure I.4 : *Erosion par ravinements.*

I.2.3. Les principaux agents de l'érosion hydrique

La pluie et le ruissellement sont les 02 facteurs majeurs déclenchant l'érosion hydrique.

➤ Intensité et agressivité des précipitations

La dégradation de la structure et le détachement des particules sous l'impact des gouttes de pluie est lié à leur énergie cinétique.

L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère pour déterminer le pouvoir érosif des pluies (indice d'érosivité), il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité d'une pluie et son énergie cinétique.

$$E_c = 11.9 + 8.75 \log I_p$$

Avec :

E_c : énergie cinétique ($\text{j/m}^2/\text{mm}$).

I_p : intensité de pluie (mm/h).

L'impact des gouttes, provoque un détachement des matières est une destruction des agrégats lors de la conversion de l'énergie cinétique en effort de cisaillement.

Plusieurs phases sont à considérer lors d'une averse, les premières gouttes de pluie qui arrivent au sol y pénètrent proportionnellement à son ameublissement et sa porosité. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement de particules et d'un tassement du sol, puis la couche superficielle s'humidifie en l'on assiste au développement quasi simultané de trois processus : la désagrégation de la structure, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par « l'effet splash » ou érosion par rejaillissement.

➤ Ruissellement

Le ruissellement apparaît dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration du sol, il est nettement plus élevé sur un sol nu que sur un sol sous cultures, les plus faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après période sèche, par contre les ruissellements et les pertes en terres les plus élevées ont eu lieu à une époque où le sol est déjà très humide et dans le cas de pluies exceptionnelles et des orages d'automne et de printemps.

Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm sur le sol sec même si les pluies sont intenses ou après un cumul de 4 mm sur sol humide et compact. [3]

D'une manière générale, il est admis que la vitesse de ruissellement est le paramètre prépondérant de l'action érosive du ruissellement superficiel. Les facteurs qui régissent sur le ruissellement sont principalement l'infiltration, rugosité du sol, pente et longueur de pente, et le couvert végétal.

En 1965, Mayer a proposé la relation suivante pour évaluer cette vitesse :

$$V_R = I^{0.33} \cdot Q_R^{0.33} / \eta^{0.66}$$

Ou :

V_R : Vitesse de ruissellement.

I : Pente du terrain.

Q_R : Débit de ruissellement.

η : Rugosité du sol.

I.2.4. Les conséquences de l'érosion hydrique

Parmi les conséquences de l'érosion hydrique on cite : [4]

- La perte de la couche arable, ce qui réduit la fertilité du sol et la productivité des cultures.
- la destruction des infrastructures et le recouvrement de fossés et routes.
- l'envasement des barrages et des retenues en aval ce qui affecte leur capacité à mobiliser les eaux de surface dans un but d'irrigation ou d'alimentation en eau potable.
- La diminution de la capacité du sol à retenir l'eau.
- La diminution du drainage profond induisant une moindre réalimentation des nappes.
- Le transfert et la répartition des polluants (pesticides, les métaux lourds et nutriments en excès) dans l'environnement.

I.3. Le transport solide

I.3.1. Définition

Le transport solide est un phénomène complexe qui permet le déplacement de tous les matériaux, de boues les plus fines aux roches les plus grossières, sous l'action de l'écoulement de l'eau.

Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion, il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature. [5]

I.3.2. Modes de transport solide

Il existe deux modes de transport solide :

a. Transport solide par charriage

Le transport solide par charriage, représente la progression de sédiments grossiers (sables, graviers, galets et blocs) qui se déplacent par roulement ou glissement, au voisinage immédiat du fond du cours d'eau, et parcourent des distances relativement petites et discontinues dans le temps et dans l'espace, leur vitesse est inférieure à celle de l'écoulement. [3]

b. Transport solide en suspension

Le transport solide en suspension représente le transport des sédiments fins (argiles limons, sable fins), maintenus en suspension sur toute la hauteur de la masse liquide du cours d'eau, sous l'action des fluctuations; les particules se déplacent au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide.

Les sédiments se déplacent sur des grandes distances et le débit solide croît de l'amont vers l'aval.

I.3.3. Les modèles d'estimation de l'envasement

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. [6] On distingue deux méthodes de mesure :

1) Bathymétrie par nivellement

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 y a plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrique 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 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.

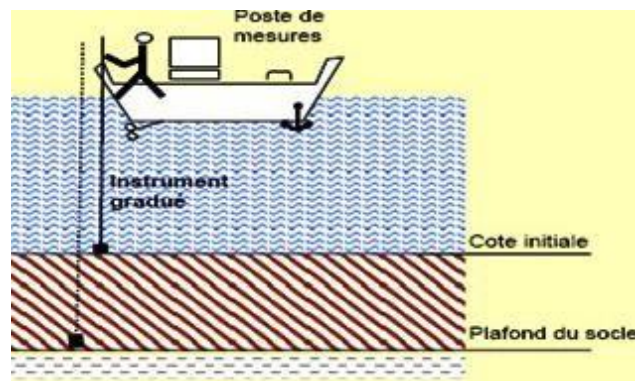


Figure I.5: Schématisation de la bathymétrie par nivellement.

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. 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 carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Figure I.6 : Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre).

2) Bathymétries par sondeurs «Echosondeur bathymétrique»

Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés. 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.

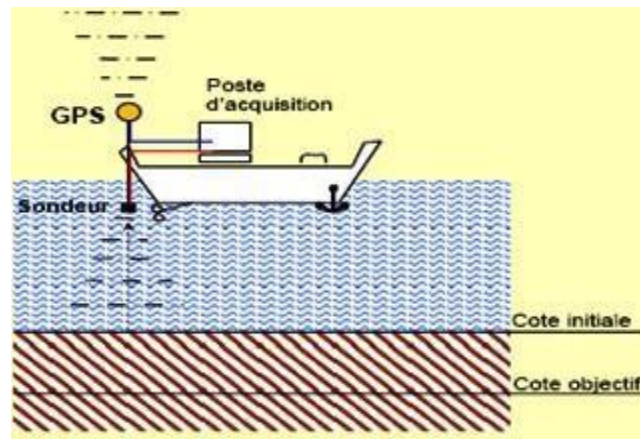


Figure I.7: Schématisation de la bathymétrie par échosondeur.

I.3.4. Les problèmes causés par l'envasement

La figure I.8 illustre les problèmes engendrés par l'envasement.

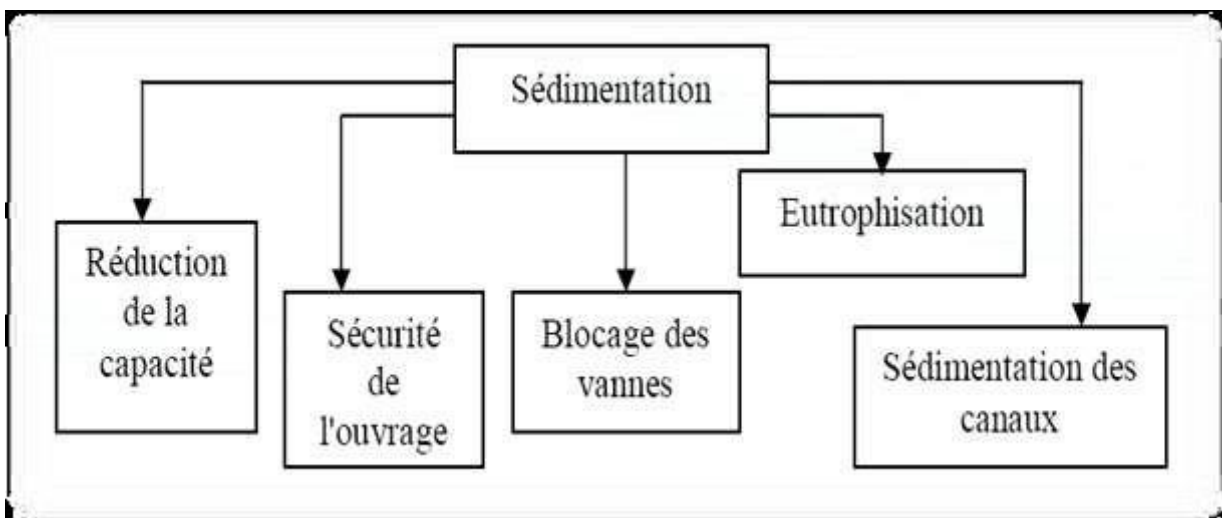


Figure I.8: Schémas des Problèmes posés par l'envasement.

- **La réduction de la capacité du barrage**

La 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. [2]

- **Blocage des vannes de fond**

Les dépôts de vase durant les premières années, pertuis de vidange sont épargnées par l'envasement. Mais dès que le volume « mort » est atteint, les vannes seront menacées par les dépôts de vase. Avec les manœuvres de vannes, un cône de vase sera dégagé près des ouvertures. Avec le temps les vannes finiront par se colmater et devient difficile toute manœuvres des vannes.



Figure I.9 : *Blocage de la vanne de fond de la deuxième digue d'un barrage.*

- **L'envasement des canaux d'irrigation**

L'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées ceci pose le problème de comblement du réseau des canaux d'irrigation qui se trouvant à l'aval du barrage. Ce ci oblige les agriculteurs à effectuer périodiquement des opérations de curage par des moyens mécaniques.



Figure I.10 : *Curage d'un canal par les moyens mécaniques.*

- **La sécurité de l'ouvrage**

L'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage, du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accéléré du volume d'eau par la vase. Ceci se traduit par l'accroissement de la masse spécifique qui peut atteindre 1,8 t/m³.

- **Dégradation de la qualité de l'eau**

Les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposent dans les réservoirs entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau qui favorise l'eutrophisation des eaux du barrage.



Figure I.11: *Couleur verte de l'eau d'un barrage.*

I.4. Conclusion

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menace l'existence de l'infrastructure hydrotechnique en Algérie.

Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrages.

Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution de la capacité utile de l'ouvrage, l'obturation des pertuis de vidange, le colmatage des canaux d'irrigation et la dégradation de la qualité de l'eau.

Chapitre II
La lutte contre
l'envasement des
barrages

II.1. Introduction

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes, tels que la diminution de la durée de vie des barrages. Pour cela, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services hydraulique.

En plus de la diminution de la capacité utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. La rareté des sites favorables et les coûts onéreux de la réalisation de nouveaux barrages ont poussé les services d'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. [7]

Le présent chapitre a pour objet de citer les différentes techniques de lutte contre l'envasement.

II.2. Moyens de lutte contre l'envasement

La lutte contre l'envasement s'effectue sur l'ensemble des : bassins versant, les cours d'eau et les barrages, les techniques les plus connues sont :

II.2.1. Les revêtements des berges

Les revêtements des berges sont des ouvrages destinés à protéger une rive menacée d'érosion, ou reconstituer un talus de berge érodé et aussi à remettre en état un ouvrage de protection défaillant. Il existe plusieurs types de revêtement des berges qui dépendent tous de la zone ou de l'étage du talus. On distingue trois étages successifs :

- a) La zone située au-dessous du niveau des basses eaux et dont l'immersion est permanente. Dans cette zone, le placage d'enrochement est la règle générale, sauf en cas de la présence de sable bouillant ou argile fluente, on les renforce par des rideaux métalliques
- b) La zone située au-dessus du niveau des crues quinquennales, l'émersion est quasi permanente ; c'est le tapis végétal qui est généralement proposé comme solution.
- c) La zone intermédiaire avec des revêtements constitués par un placage d'enrochement ou moellons de gros éléments, composé aussi d'éléments plus petits destinés à réduire les vides interstitiels.

II.2.2. Le soutirage des courants de densité

La technique du soutirage est une méthode pratique qui consiste à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange (vannettes de dévasement ou vanne de fond) du barrage à l'arrivée des crues.

La pratique de ce moyen de lutte exige une perte d'eau dont la quantité dépend principalement du mode de manœuvre des vannes.

Cette technique peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des barrages en Algérie, compte tenu de la présence des courants de densité dans l'ensemble des retenues et de son faible coût. Son rendement peut atteindre 70% des apports solides totaux qui entrent dans la retenue (70 % des sédiments entrants sont ainsi évacués).

La mauvaise utilisation de cette technique et la méconnaissance du comportement des vases et des courants de densité dans les réservoirs a entraîné l'obturation des vannes des

barrages d'Oued El Fodda (1948) et Foum El Gherza (1982), l'abandon du barrage de Chorfa I (1966) et le comblement de 80% du barrage de Fergoug en 1984.

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 et qui a enregistré des résultats encourageants.

Une batterie composée de 8 vannettes de dés-ensablement et 3 vannes de dégravoiment a été installée dans le corps du barrage en 1953. C'est l'un des rares barrages dans le monde équipé d'un tel système.

Au vu des résultats obtenus par ces pertuis de faibles diamètres, 6 vannettes de dés-ensablement ont été placées dans le barrage d'Oued El Fodda en 1961. 4 vannettes de dés-ensablement et 2 de dégravoiment ont été installées dans le corps du barrage d'Eurraguene en 1962.

Tableau. II.01 : Vases évacués par les vannes de fond de quelques barrages algériens durant l'année 1991-1992

Barrage	Volume de vase évacué (densité 1,6) 106 m3	Volume d'eau perdue 106 m3
Fergoug	0,09	0,87
Sidi M'hamed Ben Aouda	0,0162	0,115
Ghrib	0,0287	0,14
Beni Amrane	4,045	228
K'sob	0,14	3,4

II.2.3. Réalisation d'un barrage de chasse

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.

Le barrage de chasse transforme les faibles débits en provenance de l'oued en ondes à grands débit au moyen des vannes de fond qui provoquent :

- D'une part un courant de densité de concentration élevée (formé par des particules fines filtrées - diamètre inférieur à 2 μm - provenant de la retenue du barrage de chasse - et des particules remaniées dans la retenue principale),
- d'autre part une érosion régressive des dépôts de sédiments grossiers (sables, graviers) dans les zones II et III, qui sont ainsi transportés vers la zone I.

Les manœuvres des vannes du barrage principal à protéger doivent être exécutées au moment opportun, sinon toute la masse solide se consolide et les opérations de soutirage deviennent de plus en plus compliquées avec un risque de voir une obturation des vannes.

Cette technique est envisagée surtout pour les réservoirs qui ont atteint un degré avancé de l'ensablement, son inconvénient réside dans le choix du site de l'emplacement du barrage de chasse.

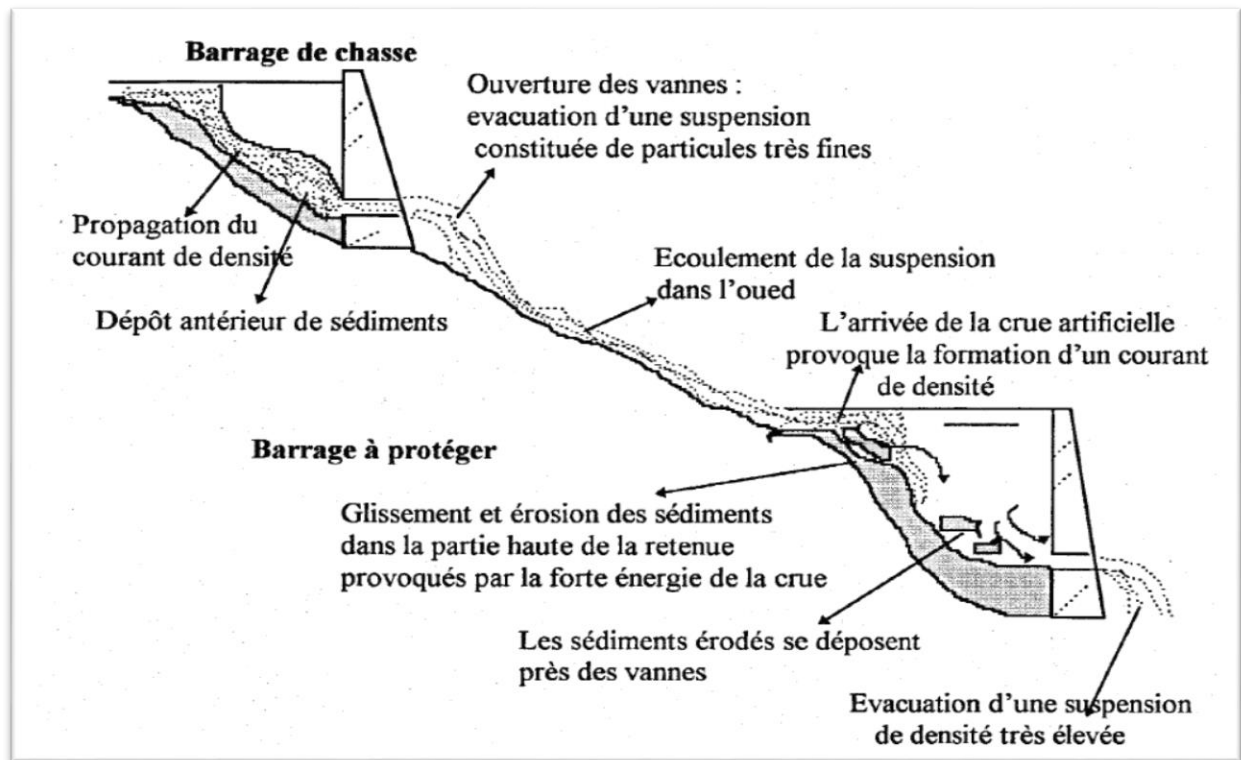


Figure. II.1 : Fonctionnement d'un barrage chasse.

II.2.4. La surélévation des digues

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la durée de 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 technique ne s'adapte pas pour tous les barrages, car dans certains barrages comme le cas du barrage de Taksebt la surélévation de la digue mène à l'inondation de toute la région.

Exemple des barrages surélevés en Algérie :

- **Barrage El Hamiz** : l'envasement accéléré de la retenue a permis à l'administration en 1883 de surélever la digue du barrage de 7m pour porter sa capacité à 23 millions de m³.
- **Barrage de K'sob** : du fait de la progression de l'envasement du barrage, la capacité a été réduite à moins de 4 millions de m³. En 1975, la hauteur du barrage a été portée à 43m (15m de plus) pour porter sa capacité à 31 millions de m³.
- **Barrage de Zérdézas** : du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passée à 7,5 millions de m³ 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 millions de m³.



Figure. II.2 : *Surélévation à l'aide de hausses fusibles du barrage de Beni-Amrane (Boumerdes).*

II.2.5. Le dévasement

Avant dévasement, les sédiments se présentent à l'état consolidé sous forme de couches juxtaposées, emprisonnant des formations plus grossières. Dans cet état consolidé la vase aura des caractéristiques différentes selon ses propriétés et le milieu dans lequel s'effectue le tassement.

Les opérations de dévasement peuvent s'effectuer suivant deux techniques en fonction de la nature et du degré de consolidation des sédiments piégés : remobilisation des sédiments par des opérations de chasse durant les périodes des crues. Dans le cas contraire, ce sont les actions mécaniques par dragage qui donnent des résultats plus satisfaisants. Néanmoins c'est l'opération la plus coûteuse. [2]

Les techniques de dévasement des barrages peuvent être résumées globalement par les deux moyens suivants :

- l'utilisation des moyens de vidange dont est équipé le barrage (les soutirages). Dans ce cas l'état avancé de consolidation des sédiments, ou bien celui où les vases sont encore en suspension, ne permettent pas l'utilisation efficace de cette technique (soutirage).
- l'utilisation d'un moyen d'enlèvement des matériaux adapté à leur état de consolidation en place dans la cuvette de la retenue (les dragages).

a) Le soutirage

Le moyen le moins coûteux reste l'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange du barrage « technique de soutirage ».

Cette technique qui peut contribuer effectivement à augmenter la durée de vie d'un réservoir nécessite la bonne connaissance des écoulements divers dans la retenue, en plus de la dotation d'ouvrages à annexer au barrage dès sa conception initiale. En effet un système de batteries de vannes spécialement conçues pour l'entraînement des sédiments est nécessaire. Son application est

conseillée à certains sites qui favorisent l'apparition de courants de densité. Ces courants de densité sont très concentrés en sédiments, qui nécessitent l'ouverture des vannes de fond et de dégager le maximum de sédiments avec une perte d'eau minimale.

La mauvaise utilisation de cette technique de soutirage a entraîné l'obturation des vannes des barrages.

Cette technique de dévasement nécessite une bonne gestion du barrage : allant de l'installation des vannes de vidanges appropriées à la bonne connaissance des moments d'arrivée des courants de densité chargés, pour permettre la synchronisation de l'ouverture de ces vannes avec l'arrivée de ces courants avec une perte minimale des eaux claires. Par contre l'ouverture des vannes après remise en suspension des sédiments est inefficace. [8]

b) Le dragage

Le dragage est une technique de dévasement sûre mais aussi très coûteuse surtout pour les grandes retenues. Dans certains pays, cette opération s'impose, surtout lorsqu'il existe peu de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages. Le dragage constitue une méthode de récupération de capacité qui coûte chère, à moins que les sédiments puissent être recyclés de façon intéressante.

Le premier barrage ayant subi des opérations de dragage en Algérie est celui de Fergoug, situé dans la région de Perrégaux (ouest algérien) : de 1986 à 1989 plus de 10 millions de m³ de vase ont été dragués.

Ce dragage a été réalisé avec une drague suceuse refouleuse flottante. Après remaniement local, les sédiments sont aspirés par la drague et refoulés à travers une canalisation constituée d'une partie flottante et d'une partie fixe sur plusieurs centaines de mètres de longueur. Cette canalisation sert aussi au transport par refoulement des sédiments jusqu'à la zone de rejet située en aval du barrage.

Préalablement au choix du type de drague à utiliser, une étude des fonds de la retenue a été nécessaire.

Une étude géotechnique a été réalisée sur des sondages effectués dans la retenue, ils ont permis le prélèvement d'échantillons intacts. Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'identifications et de caractérisations géo mécaniques au laboratoire. Ces études ont aidé à la prise de décision sur le choix du type de matériel à utiliser pour le dragage, ainsi que sur les moyens de transport et de mise en dépôt. [8]



Figure II.3: *Le dragage au centre de la retenue d'un barrage.*

- **Impact sur l'environnement**

Le dragage remanie les sédiments et modifie les équilibres géochimiques (Samara, 2007) avec une remobilisation des contaminants pouvant nuire à l'écosystème. Les conditions hydrauliques favorisent la propagation des contaminants au-delà de la zone concernée. A l'ouest algérien, la plaine de l'Habra qui s'étend sur une centaine de kilomètres en aval du barrage de Fergoug a subi des dégradations irréversibles suite aux dépôts des sédiments charriés lors des opérations de dragage, transformant de vastes aires fertiles en marais (Semcha, 2006). Les figures II.4 et II.5 sont deux exemples de la pollution de l'environnement par les sédiments dragués. (Marouf H, 2018)



Figure II.4 : *Rejet de la vase draguée (Barrage de Fergoug).*



Figure II.5 : *Entrainement de la vase en aval (Plaine de la Mactaa).*

II.3. Conclusion

Les barrages algériens sont menacés par l'envasement en raison de désertification accélérée et l'érosion hydrique intense des bassins versants.

Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emménagement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage. Il existe plusieurs moyens de lutte contre ce phénomène, le dragage, le soutirage des courants de densité. Il y a aussi la surélévation ou, mieux encore, l'utilisation nouvelle des barrières végétales.

Le recours au dragage constitue la solution incontournable qui traduit clairement les insuffisances des autres moyens de lutte contre l'envasement utilisés en amont, et ce afin de permettre à ces ouvrages de continuer à répondre aux besoins en eau potables et d'irrigation.

Mais des désordres sur l'environnement sont apparus suite à cette technique, le dépôt et le stockage des sédiments issus est l'origine de grandes catastrophes écologiques pour toute la plaine située en aval du barrage, pour cela le passage à la valorisation de ces matériaux dans plusieurs domaines est nécessaire pour minimiser les dommages causés.

Chapitre III
Présentation de la
zone d'étude

III.1. Introduction

La connaissance du site a travers sa localisation, la surface du bassin versant, le reliefs, le climat, le type de la végétation et la nature géologique des formations soumise a l'érosion, sont autant d'élément qui peuvent caractériser les sédiments a valoriser, en matière d'ordre de grandeurs des volumes a traiter et les moyens a mettre en œuvre dans le cadre global de la valorisation.[6]

Le présent chapitre a pour objet de présenter les caractéristiques du site de prélèvement des échantillons de la vase à étudier; à savoir les dimensions du corps du barrage Taksebt, la cuvette et les propriétés physiques, géologiques et climatiques du bassin versant.

III.2. Situation du site du barrage

III.2.1. Généralités

Le barrage de Taksabt a été construit en 1994 à 2001 sur l'Oued Aissi affluent du Sébaou à environ 10 Km au sud-est de la ville de Tizi-Ouzou, et à 100 km à l'est de la ville d'Alger.

Le barrage est destinée à l'alimentation en eau potable et industrielle du couloir Tizi-Ouzou_ Alger, ainsi que les agglomérations Freha et Azazga.

Il comprend une station de traitement, une station de pompage, des tunnels dont une canalisation de 95 km pour permettre le transfert de 180 millions m³ par an. [9]



Figure III.1 : *Le barrage de Taksebt.*

III.2.2. Caractéristiques générale du barrage

Tableau III.1 : *Caractéristiques générales du barrage.*

Wilaya	Tizi-Ouzou
Commune	Irdjen
Oued	Aissi
Type	Digue zonée
Déversoir	Latéral à seuil libre
Début et fin des travaux	1994-2000
Année de mise en eau	2001
Capacité initial	175 Hm ³
Capacité au dernier levé	181 Hm ³
Apport moyen annuel	196 Hm ³
Précipitation moyenne annuelle	958 mm
Envasement annuel	0,265 Hm ³
Volume régularisé	152 Hm ³
Cote retenue normale	165,00 m
Surface du plan d'eau a la retenue	528 ,371 Ha
Surface bassin versant	448 Km ²
Destination	AEP
Bureau d'étude	TRACTEBEL (Belgique)
Entreprise de réalisation	Consortium Astaldi-Fédérici-Todini (Italie)
Taux d'érosion dans le bassin versant (Es)	1.39 T/Ha/an

III.2.3. Les ouvrages annexes

1) Tours de prise

Étager à 4 niveaux de prises, inclinée sur le versant droit, encastrée à la base sur un puits vertical et raccordée à la vidange de fond.

Il y a trois prises sur la partie inclinée et une auxiliaire à la cote 111.00 sur le fut vertical, la distribution d'eau est assurée par deux tuyaux de 1200mm. La tour de prise est équipée sur toute sa hauteur d'un chariot élévateur.

2) Vidange de fond

Pertuis en béton débouchant dans la partie inférieure de la tour de prise et raccordée en aval à la galerie de dérivation de longueur 470m, et d'un diamètre intérieur de 7m.

La vidange de fond est équipée d'une vanne de garde (type wagon) et d'une vanne de réglage (type segment) installées au fond du puits vertical de la tour de prise, sa capacité est de $200\text{m}^3/\text{s}$.

La restitution est assurée par un bassin de réception commun à l'évacuateur de crue et a la vidange de fond.

3) Evacuateur de crues

Est un déversoir latéral à seuil libre d'une longueur de 110m équipé de piles guideaux, placé en rive droite. Le bassin de réception latéral est d'une longueur de 91m et d'une largeur variable de 25m à 30m.

Le coursier est rectiligne d'une longueur totale de 225m et largeur de 35m à 30m, a l'extrémité aval cuillère de dispersion profilée en saut de ski dissymétrique. La restitution se fait dans un bassin de réception commun avec la vidange de fond. Le débit d'entrée : jusqu'à la crue exceptionnelle (dix-milléniale) est de $2500\text{m}^3/\text{s}$.



Figure III.2 : Déversoir latéral à seuil libre.

II.3. géologie et géomorphologie

III.3.1. Géologie

La grande Kabylie fait partie des massifs cristallins formant l'ossature des chaînes littorales d'Afrique du nord. Au nord du massif de la grande Kabylie, la couverture sédimentaire est largement développée et repose en discordance sur des schistes paléozoïques. (Yakoub 1996)

Le barrage est implanté à l'extrémité septentrionale de la cuvette à l'endroit où l'Oued Aissi franchit un dernier verrou avant de traverser les argilites miocènes qui affleurent abondamment le long du cours de l'Oued Sebaou. [6]

III.3.2. Géomorphologie

La lithologie de la région est dominée par des formes géologiques imperméables. Nous relevons une large répartition du socle cristallophyllien entouré d'un ensemble sédimentaire composé essentiellement d'argile, de marnes, de calcaires et de flysch. Le site du barrage contient un substratum rocheux avec des structures qui varient entre failles et fractures. (Yakoub 1996)

III.4. Pédologie

Il est assez difficile de présenter de façon claire les divers domaines pédologiques de la Kabylie du Djurdjura. Ceci tient d'abord à leur extrême diversité, car les sols constituent des mosaïques complexes ou se mêlent paléosols et sols récents et où les conditions locales (roche mère, topographie) induisent des variantes nombreuses. (Peillon 1978)

Quand aux vallées et plaines alluvionnaires, elles possèdent des sols zonaux, correspondant aux conditions de leur formation : des sols alluviaux peu évolués, gris et légers, de texture variable, et de sols bruns limono-argileux. Ces derniers sont plus riches, encore que, très argileux, hydromorphes, ils s'égouttent mal et conservent souvent tard dans la saison les eaux de pluie de printemps. (peillon, op.cit.)

III.5. Hydrogéologie

Le réseau hydrographique est très développé en grande Kabylie. Le bassin versant de l'oued Sébaou présente une superficie de l'ordre de 2500 km² et parcourt une distance de 120 km. Il prend sa source, avec ses deux affluents Oued Bougueddoura et Oued Aissi, dans la chaîne du Djurdjura. L'oued Bougueddoura prend sa source à 1900m d'altitude. Son profil longitudinal est très élevé à l'amont. L'Oued Aissi prend sa source à 2000m d'altitude, c'est l'affluent qui a le plus fort débit et qui est responsable du changement de la direction du Sebaoua partir de leur confluence. L'importance des précipitations liquides et solides d'une part et l'immensité du réceptacle que constitue le bassin versant du Sébaou d'autre part, permet un ruissellement moyen annuel estimé à 890Hm³ à l'exutoire du Sébaou (Pont de Takdent).

L'apport du bassin versant de l'Oued Aissi est estimé à 217Hm³ au niveau de Taksebt. (Mouacer, 2012)

Le site du barrage est caractérisé par deux types de nappes aquifères, la nappe des alluvions dans le sommet oscille entre 1 et 2m sous le lit majeur de l'oued et les nappes des versants qui se présente principalement en nappes de fissures et dans les niveaux perméables altérée des terrains imperméables.(Yakoub,1996)

III.6. Climatologie

Le climat est un ensemble de caractéristiques météorologiques afférentes à une région donnée, il agit directement sur les facteurs écologiques tels que le sol et la végétation.

L'étude hydro climatologique confirme le type de climat méditerranéen du bassin avec une pluviométrie annuelle moyenne de 780 mm/an en 2012.

III.6.1. Les précipitations

Dans ce type de climat, les pluies sont généralement intermittentes avec une forte intensité et se concentrent sur quelques mois seulement dans l'année.

La violence de ces averses d'hiver engendre un fort écoulement de surface, suite à la saturation rapide du sol et une érosion de terrains très active.

Les précipitations sont non seulement très irrégulières, très intense mais aussi très concentrées dans le temps, laissant ainsi apparaître des menaces de sécheresse : c'est l'une des variantes du régime climatique méditerranéen. (BOUSSAD, 1996)

Les données des moyennes mensuelles sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : les précipitations moyennes mensuelles de la station de Boukhalfa pour la période (1996-2011).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total
P(mm)	115	80,8	70,6	84,8	72,8	9,1	2,6	6,5	39,3	64,9	132,4	137,9	817,2

D'après ce tableau la valeur maximale de l'année correspond à 137,9mm au mois de décembre, et la valeur la plus faible est de 2,6mm durant le mois de juillet.

III.6.2.L'humidité

L'humidité est le rapport de la masse d'eau contenant dans un matériau à la masse totale de ce dernier. Ce sont des grandeurs sans dimensions que l'on exprime souvent sous forme de pourcentage. (Ramade, 1984).

Le tableau II indique le taux d'humidité enregistré dans la station de Boukhalfa.

Tableau III.3 : l'humidité moyenne mensuelle de la région d'étude (1996-2011).

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
%	79	76,9	75	72	71	60	53,8	52,9	64	70,5	77	79.6

L'analyse du tableau II indique que la valeur de 79.6% est la valeur maximale au mois de décembre, et que la valeur minimale est de 52,9% au mois d'août.

Ces valeurs enregistrées pour la station de Boukhalfa doivent être probablement plus faible que celles se trouvant dans notre zone d'étude à cause de la présence du barrage.

III.6.3. La température

La température joue un rôle capital dans la répartition des espèces végétales, ce facteur écologique influe sur les fonctions vitales et intervient dans la répartition des végétaux d'une région. (Djellouli, 1981).

Le tableau III indique les valeurs de températures mensuelles de la station de Boukhalfa.

Tableau III.4: *Températures mensuelle de la station de Boukhalfa (1996-2011)*

Mois	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
m (°C)	6,66	6,95	8,61	10,87	14,36	18,34	21,38	21,91	17,5	12,63	8,73	7,70
M (°C)	14,41	16,45	18,39	22	26,2	29,93	35,58	35,67	31,09	21,93	19,94	15,31
T (°C)	7,76	10,91	12,5	15,92	21,39	22,96	27,8	27,83	24,28	20,26	14,53	11,68

m : Moyenne des températures minima du mois le plus froid.

M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud.

T : Température moyenne mensuelle.

Le tableau III indique que les températures moyennes mensuelles de la région d'étude sont faibles pour les trois mois (Décembre, Janvier et Février). Le mois de Janvier correspond au mois le plus froid avec une température de 7,76 °C. Elle atteint une valeur maximale au mois d'Aout avec 27,83 °C.

La moyenne des températures minimales du mois le plus froid correspond au mois de Janvier avec une température de 6,66°C. Elle atteint un maximum au mois d'Aout avec 21,91°C. La température moyenne maximale du mois le plus chaud correspond au mois d'Aout avec 35,65°C et une valeur minimale de 14.41°C au mois de Janvier.

III.6.4. Synthèse climatique

III.6.4.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Bagnouls et Gausсен (1953), ont présenté sur le même graphique les courbes de précipitations et des températures moyennes mensuelles, le croisement de ces deux courbes permet de déterminer l'importance et la durée de la saison sèche.

La relation entre les deux paramètres est la suivantes : $P \leq 2T$

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm

T : Températures moyennes mensuelles en degrés Celcius

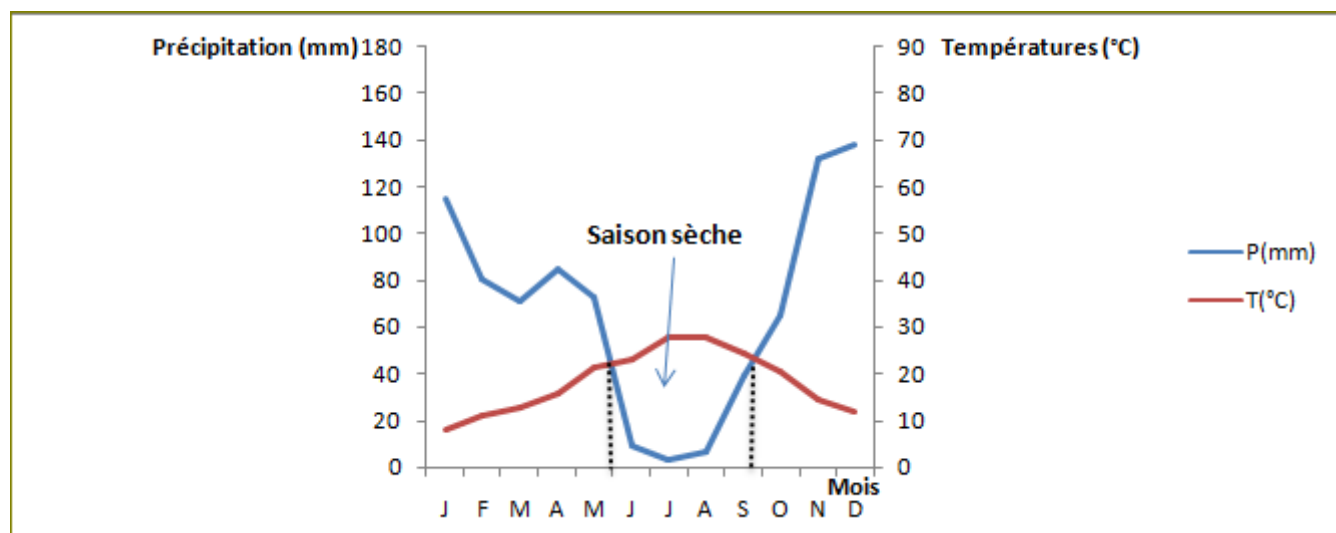


Figure III.3 : Diagramme ombrothermique de la station de Boukhalfa (1996-2011).

D'après la figure 3, la période sèche s'étale sur une durée de 3 mois et demi, allant de Juin jusqu'à la moitié du mois de Septembre. La saison sèche correspondant à la saison estivale est caractéristique du climat méditerranéen.

III.6.4.2. Quotient pluviométrique d'Emberger

Dans le but de la détermination du bioclimat et du type de végétation naturelle d'une station donnée, plusieurs chercheurs se sont intéressés à la combinaison des paramètres climatiques afin d'expliquer la distribution de la végétation. En Méditerranée, Emberger(1955) a proposé le calcul de quotient pluviométrique. Cette formule a été simplifiée par Stewart(1969), pour l'Algérie et le Maroc et devient :

$$Q_2 = 3.43 \times P / (M - m)$$

K : 3.43 (coefficient de Stewart établi pour l'Algérie et le Maroc)

M-m : L'amplitude thermique

P : Total de pluviométrie annuelle (mm)

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (°C)

Q₂ : Quotient pluviométrique.

Selon les variantes climatiques (froid, frais, doux et chaud) et les valeurs de quotient d'Emberger, on détermine l'étage et le sous-étage bioclimatique de notre région d'étude. Plus la sécheresse annuelle globale sera grande, plus le quotient sera petit.

Le quotient pluviométrique d'Emberger que nous avons calculé ($Q_2=92.22$), nous permet de positionner notre zone d'étude dans l'étage bioclimatique subhumide à la variante tempérée.

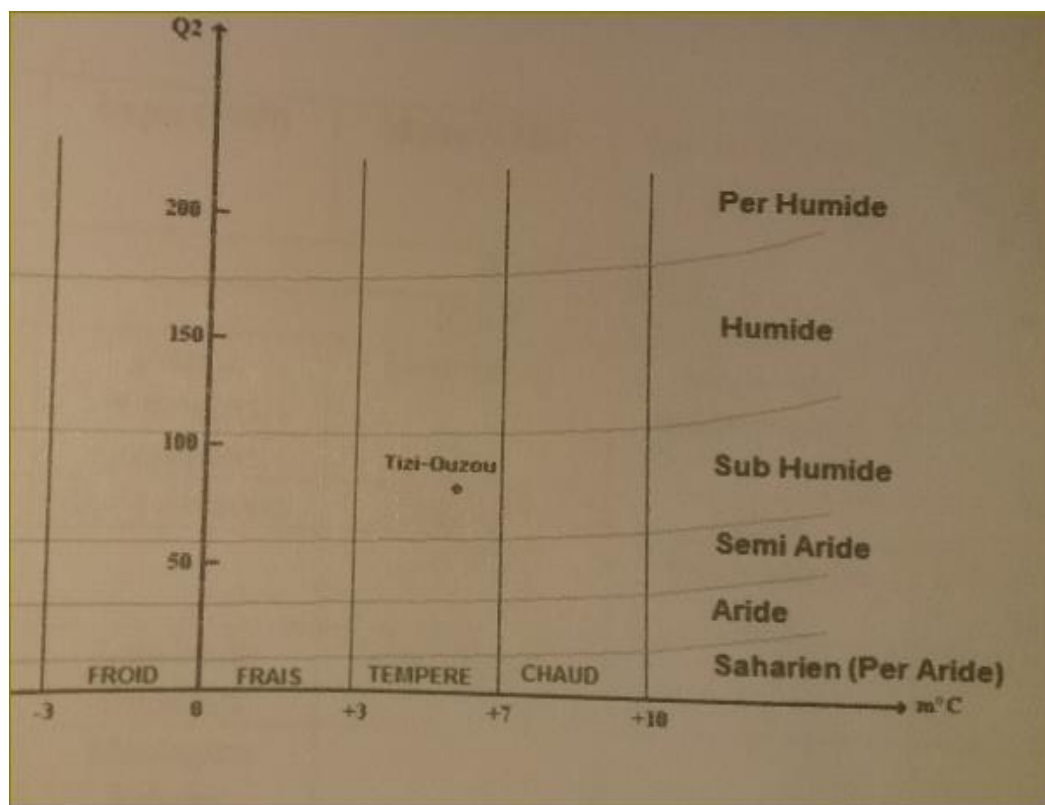


Figure III.4 : Localisation de la station de Boukhalfa (Tizi-Ouzou) dans le climagramme d'Emberger pour la période 1996-2011.

III.7. la végétation

La végétation est de type méditerranéen. Sur les schistes du socle Kabyle sont cultivés des oliviers plus particulièrement sur les pentes fortes et des figuiers sur les pentes faibles.

Sur la chaîne littorale composée de grès et de calcaire, on trouve des arbustes et des chênes-lièges.

Les zones cultivées sont très limitées, les terrasses alluviales du Sébaou sont exploitées par la culture des céréales, des arbres fruitiers et des cultures maraichères.

Les flancs du Djurdjura sont occupés par le chêne et le cèdre. (SAID. R, 1999)

III.7.1. l'étagement de la végétation

Les conditions climatiques dans une région montagneuse varient avec l'altitude, ce qui détermine l'apparition de types de végétation distincts se succédant de bas en haut et sont directement déterminés par la flore en place dans la région considérée.

La distribution de la végétation en fonction de l'altitude donna naissance à la notion d'étagement de végétation qui fait objet de plusieurs acceptations. Dans la région méditerranéenne, plusieurs auteurs ont proposé différents découpages, selon les limites thermiques, (tableau III.5).

Tableau III.5 : Correspondances des étages de végétation du bassin méditerranéen.

Températures		Etages de végétation		
T(°C)	m(°C)	Quézel (1979)	Ozenda (1975)	Rivas-Martinez (1981)
4	-11	Altiméditerranéen	Altiméditerranéen	Cryoroméditerranéen
	-10			
	-09	Oroméditerranéen		
	-08			
-07	Montagnardméditerranéen	Oroméditerranéen	Oroméditerranéen	
-06				
-05				
8	-04	Supraméditerranéen	Supraméditerranéen	Supraméditerranéen
	-03			
	-02			
12	-01	Mésoméditerranéen	Mésoméditerranéen	Mésoméditerranéen
	0			
	+01			
16	+02	Thermoméditerranéen	Thermoméditerranéen	Thermoméditerranéen
	+03			
	+04			
	+05			
	+06			
	+07			
	+08			
	+09			

D'après les résultats de l'étude climatique ($m=6.66^{\circ}\text{C}$, $T=18.98^{\circ}\text{C}$), notre zone d'étude appartient à l'étage Thermoméditerranéen.

III.8. Conclusion

La région du barrage de Taksebt est essentiellement caractérisée par des formations sédimentaires constituée généralement par des schistes paléozoïques, des calcaires, des grés, et des argiles.

Dans ce chapitre nous avons présenté d'une manière brève notre régions d'études et ainsi que les caractéristiques géologiques, géomorphologiques, pédologiques, hydrogéologiques, climatiques, la végétation, et le taux de l'érosion spécifique dans le bassin du barrage Taksebt.

Chapitre IV

Les

caractéristiques de

la vase du barrage

IV.1. Introduction

L'utilisation de la vase des barrages dans n'importe quel domaine, nécessite l'étude des propriétés physiques, chimiques et minéralogique des sédiments, qui apportera des données précises sur leurs états physiques, compositions chimiques et comportement rhéologique afin d'effectuer des formulations pour une éventuelle opération de dragage et l'étude d'une possibilité de voie de valorisation.

Dans ce chapitre, nous avons effectuée des essais d'identification sur un échantillon de vase étudié.

IV.2. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons à étudier, a été réalisé manuellement à l'aide d'une pelle sur les rives du barrage à une dizaine de mètres en amont de la vidange de fond de barrage.

Afin d'avoir un maximum d'informations sur la composition physique et minéralogique de la vase, l'échantillonnage doit se faire sur plusieurs points répartis en amont et en aval de la retenue à distances variables.



Figure IV.1 : Prélèvement dans le bassin décepateur.



Figure IV.2 : *prélèvement en amont du barrage.*

IV.3. Les caractéristiques physiques de l'échantillon

IV.3.1. Caractéristiques 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. [10]

IV.3.1.1. Phase liquide (eau)

Elle est caractérisée par sa masse volumique $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ sa viscosité : $\eta = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ pour $t = 20^\circ\text{C}$.

IV.3.1.2. Phase solide

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

- **La teneur en eau (ω)**

La teneur en eau d'un sol exprimé en %, est le rapport entre la masse de l'eau évaporée par séchage d'un volume de sol ramenée à la masse sèche de ce sol. [11]

La détermination de la teneur en eau se fait au laboratoire avec au minimum trois (3) essais, elle est calculée par la suite par la relation suivante :

$$W \% = \frac{M_w}{M_s} * 100 = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} * 100 \quad (\%)$$

Ou :

M: masse du matériau naturel humide (g)

M₁: masse du récipient (g)

M₂ : masse du sol humide + masse du récipient (g)

M_s : masse du sol sec (après séchage) (g)

M_w : masse de l'eau évaporée (g)

M₃ : masse du sol sec + masse du récipient (g)

La teneur en eau de la vase étudiée est égale à **21.17%**.

Conclusion

Le sol étudié est faiblement humide, présente une faible teneur en eau.

- **Masse volumique des grains solides ρ_s (g/cm³)**

La masse volumique des particules solides du sol ρ_s est le quotient de la masse sèche de ces particules (M_s) par leur volume (V_s).

A l'aide d'un pycnomètre on détermine la masse volumique moyenne des particules et éléments solides constituant un échantillon.

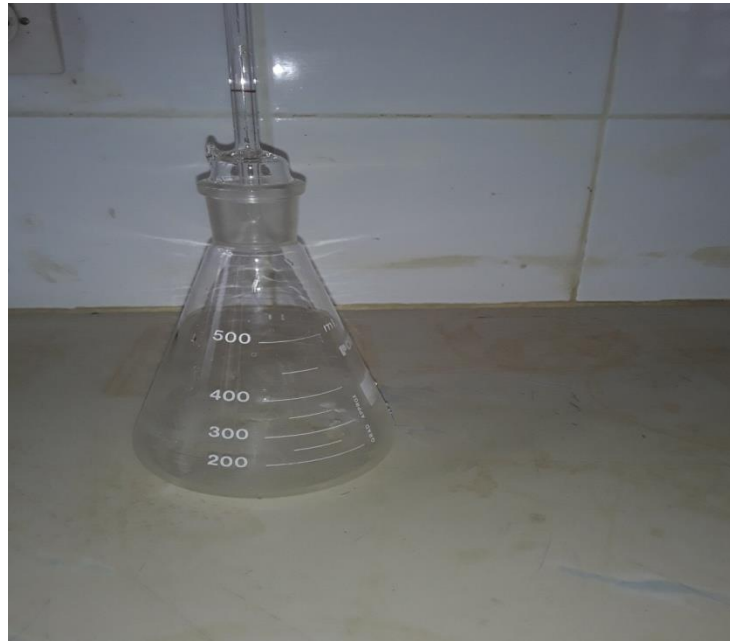


Figure IV.3 : *Un pycnomètre vide.*

Mode opératoire

- Peser le pycnomètre sec (M1).
- Introduire l'échantillon de 50g dans le pycnomètre, puis peser l'ensemble (M2).
- Le pycnomètre est rempli d'eau distillée jusqu'au trait de repère
- On met à l'ébullition à la plaque chauffante pendant au moins une heure. Une fois tout est désaéré on complète le remplissage avec du l'eau distillée jusqu'au trait repère. Au bout de 30 minutes on pèse l'ensemble (M3).

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

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}; \quad \rho_s = \frac{M_s}{V_s} = \frac{M_s}{\frac{M_s}{\rho_s}}$$

Le volume des particules solides est assimilé au volume de l'eau éjectée lorsqu'on immerge ces particules dans un pycnomètre rempli d'eau ($V_s = V_w$) et donc $\frac{M_s}{\rho_s} \leftrightarrow \frac{M_w}{\rho_w}$

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} = \frac{M_s}{\frac{M_s}{\rho_s}} = \frac{M_s}{\frac{M_w}{\rho_w}} = \frac{\rho_w * M_s}{M_w}$$

$$\rho_s = \frac{\rho_w (M_2 - M_1)}{(\rho_w + M_2 - M_3)}$$

Avec :

M_1 : masse du pycnomètre vide (g).

M_2 : masse du pycnomètre + particules solides (g).

M_3 : masse du pycnomètre + particules solides + l'eau (g).

M_4 : masse du pycnomètre + l'eau (g).

ρ_s : masse spécifique des grains solides (g/cm³).

M_s : masse du sol sec.

V_s : volume absolu des grains solides.

La valeur de la masse volumique des particules solides est la moyenne arithmétique de deux à trois mesures effectuées sur deux à trois échantillons issus d'un même sol.

La valeur moyenne des essais de notre échantillon est de 1.32 g/cm³.

IV.3.2. Caractéristiques granulométriques

IV.3.2.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique des sols est un essai d'identification qui fait l'objet de deux normes :

- L'analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage, décrite par la norme NF P 94-056 (1996). Elle concerne les sols dont la dimension des éléments est supérieure à 80 μm (0.08mm). c'est les éléments qui constituent le refus au tamis 80 μm .
- L'analyse granulométrique par sédimentométrie, décrite par la norme NF P 94-057 (1992). Elle concerne les sols dont la dimension des particules est inférieure à 80 μm . c'est les particules qui passent au tamis 80 μm (0.08mm).

A. A sec après lavage

Mode opératoire

- L'échantillon est d'abord séché à l'étuve à une température adéquate afin d'éviter toute influence sur sa structure granulaire. Après refroidissement à l'air libre, il est pesé et soumis à un tamisage par voie humide.
- Le matériau est versé sur le tamis le plus fins de la série de tamis choisie pour l'essai (généralement 0.08mm).
- on projette de l'eau et on brosse le matériau jusqu'à ce qu'il ne reste sur le tamis que des éléments propres.

- On recueille tout le tamisât issu du lavage dans un récipient, l'ensemble est laissé décanter, siphonner l'eau et sécher les particules fines restantes pour faire l'objet d'une analyse granulométrique par sédimentométrie.
- rassembler les refus dans un autre récipient et le mettre à l'étuve pour séchage afin de procéder par la suite à la phase du tamisage à sec.
- la totalité du refus séché est versé au sommet de la colonne de tamis de maille décroissante du haut vers le bas et ayant à sa base un fond de tamis.
- La colonne de tamis est agitée par une tamiseuse électrique.
- Le refus recueilli de chaque tamis est pesé.



Figure IV.4 : Une tamiseuse.

B .Par sédimentométrie

L'analyse granulométrique par sédimentométrie est un essai géotechnique qui complète l'analyse granulométrique par tamisage d'un sol. Elle s'applique à la fraction du sol inférieure à 0.08mm.

Cette analyse a pour objet de déterminer la distribution pondérale de la taille des particules fines d'un sol, elle est ainsi nécessaire à sa description et sa classification.



Figure IV.5 : *Matériel utilisé pour la sédimentométrie.*

Mode opératoire

- Une prise d'essai de 80g.

Introduire la prise d'essai dans le récipient de l'agitateur mécanique, on ajoute 500cm³ de la solution (mélange d'eau+défloculant) (il est constituera partir de 440 cm³ d'eau distillée et de 60cm³ d'une solution à 5% d'examétaphosphate de sodium (Na₆(PO₃)₆,12H₂O)). Et laisser imbiber pendant au moins 15 heures à une température ambiante.

- La prise d'essai est dispersée dans la solution au moyen d'un agitateur mécanique pendant 3mn.
- La suspension dispersée est versée dans une éprouvette d'essai et compléter avec du l'eau distillée jusqu'à 2000cm³.
- Verser 2000cm³ de la même eau distillée dans une seconde éprouvette témoin et y plonger le thermomètre et le densimètre parfaitement propre.
- Agiter verticalement la suspension au moyen d'un agitateur manuel pour obtenir une concentration uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette.
- Retirer l'agitateur et déclencher au même temps le chronomètre.
- Prolonger le densimètre.

- Faire les lectures depuis le début de l'essai aux temps suivants en minutes : 0.5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 – 40 – 80 – 240 – 1440 mn (24h).
- Noter a chaque lecture la densité de la solution et la température de l'eau se trouvant dans l'éprouvette témoin.

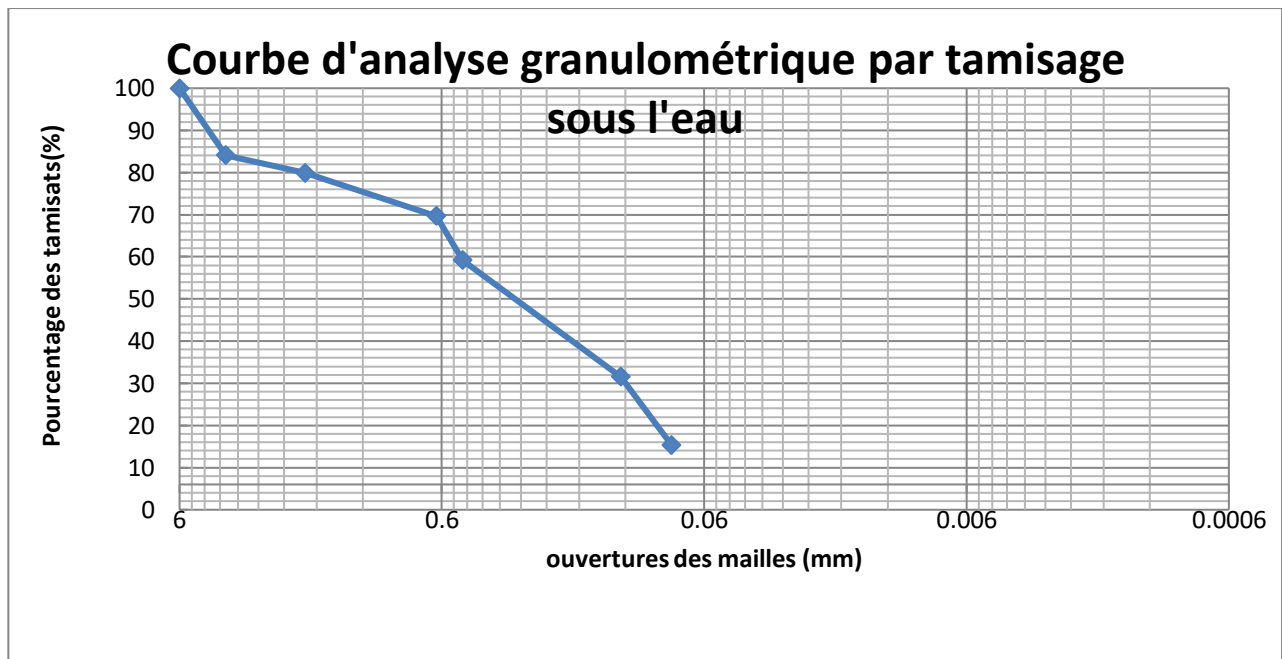


FigureIV.6 : *la mesure de sédimentation à différent temps.*

Tableau IV.1 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Ouverture des tamis	Refus (g)	Tamisats (g)	Refus %	Tamisats %
6	0	409	0	100
4	65	344	15,8924205	84,1075795
2	17	327	4,15647922	79,9511002
0,63	42	285	10,2689487	69,6821516
0,5	43	242	10,5134474	59,1687042
0,315	43	199	10,5134474	48,6552567
0,2	3	196	0,73349633	47,9217604
0,125	67	129	16,3814181	31,5403423
0,08	66	63	16,1369193	15,403423
0,000401429				1,26342857
0,000410571				1,15814286
0,000399429				1,05285714
0,000408571				0,94757143
0,000447143				0,737
0,000436				0,63171429
0,000445143				0,52642857
0,000463429				0,31585714
0,000481714				0,10528571
0,0005				0

Les figures suivantes illustrent les résultats de l'analyse granulométrique par sédimentométrie.

**Figure IV.7 : Courbe granulométrique des sédiments du barrage Taksebt.**

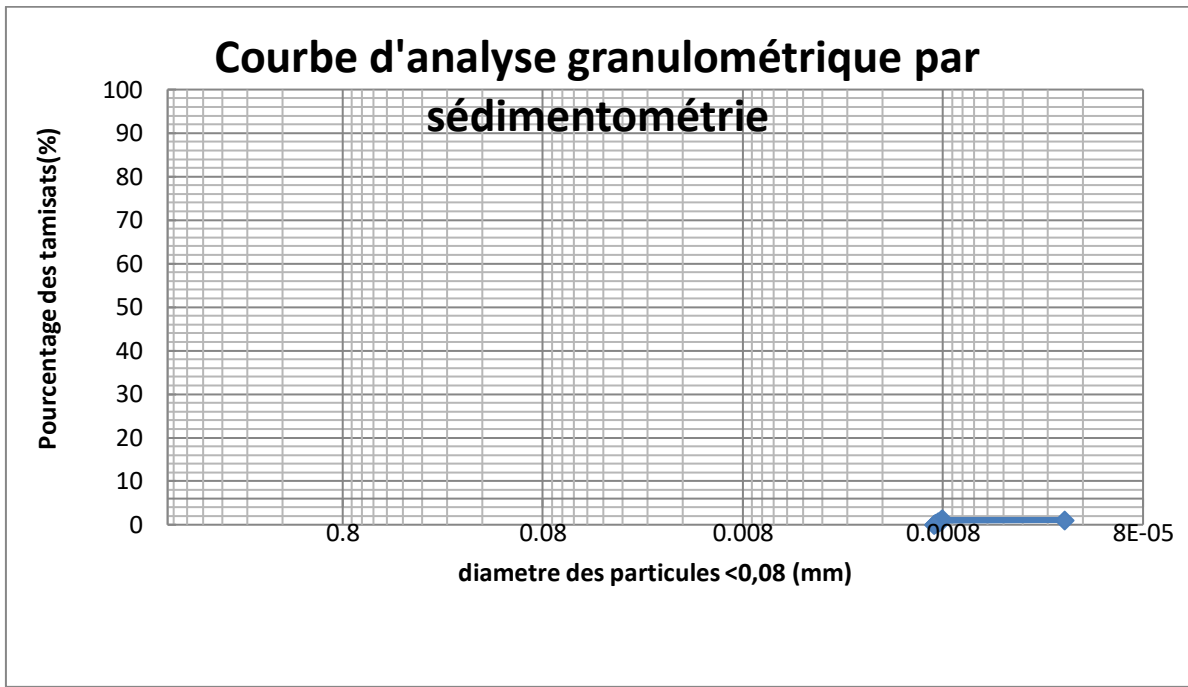


Figure IV.8 : Courbe d'analyse granulométrique pas sédimentométrie des sédiments du barrage Taksebt.

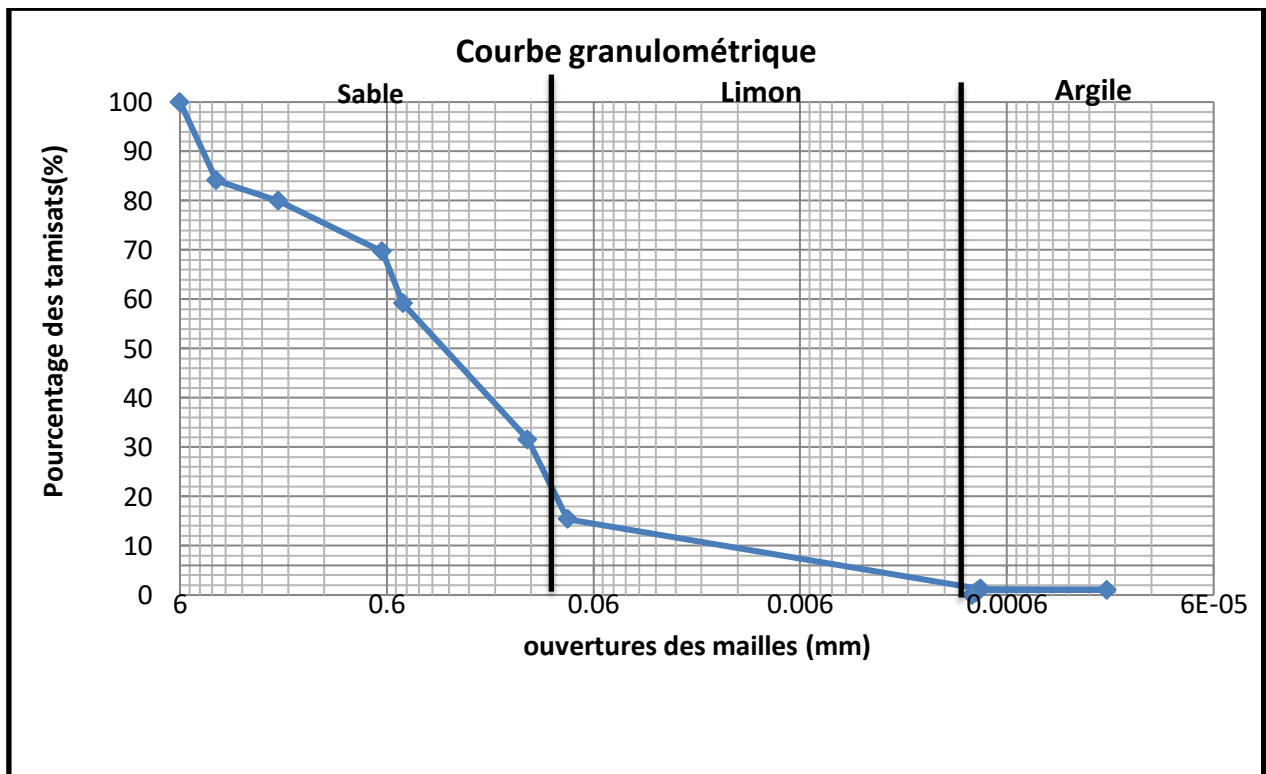


Figure IV.9 : Courbe d'analyse granulométrique par tamisage sous l'eau et par sédimentométrie de sédiments du barrage Taksebt.

a) Coefficient d'uniformité

La granulométrie d'un sol peut être caractérisée par un coefficient d'uniformité ou coefficient de Hazen :

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

D_Y: ouverture du tamis laissant passer y % du poids des grains.

D₁₀ est appelé diamètre efficace.

C_u > 2, la granulométrie est dite étalée.

C_u < 2 la granulométrie est dite uniforme ou serrée.

Le coefficient d'uniformité C_u de l'échantillon étudié est égal à 64.28

b) Coefficient de courbure

Plus la granulométrie est serrée plus la pente de la partie médiane de la courbe est prononcée.

On définit aussi le coefficient de courbure:

$$C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Le coefficient de courbure C_c est égal à 1.55

Lorsque certaines conditions sur C_u et C_c sont satisfaites, le sol est dit bien gradué c'est à dire que sa granulométrie est bien étalée, sans prédominance d'une fraction particulière.

Quand sa granulométrie est discontinue, avec prédominance d'une fraction particulière, il est dit mal gradué.

Les sols bien gradués constituent des dépôts naturellement denses avec une capacité portante élevée. Ils peuvent être aisément compactés en remblais et forment des pentes stables.

A partir de la courbe granulométrique, on remarque le pourcentage des fractions fines <0.08 mm est inférieur à 5%, donc d'après la classification USCS/LCPC des sols notre sol est un sable propre bien gradué.

IV.3.2.2 les limites d'Aterberg

Les limites d'Aterberg sont des teneurs en eau caractéristiques des sols fins permettant d'établir leur classification et évaluer leur consistance. Ces valeurs de teneurs en eau permettent de caractériser également les différents états des sols : liquides, plastique, solide et solide sans retrait.

Dans notre étude on n'a pas pu faire l'essai de limites car les particules du sol ne sont pas cohérentes.



Figure IV.10 : *Essai de limite de liquidité.*

Commentaire

L'absence des limites de liquidité et de plasticité indique que la vase est un sol grenus (non cohérent).

La courbe d'analyse granulométrique par tamisage sous l'eau représentée dans la Figure IV.7 de l'échantillon étudié montre que le pourcentage des particules grossières (>0.08 mm) est important avec un pourcentage de plus de 85 %. Tandis que la courbe d'analyse granulométrique par sédimentométrie montre la présence de particules fines avec un pourcentage faible qui ne dépasse pas 5 %.

IV.4. Caractéristiques minéralogiques

Les caractéristiques minéralogiques de la vase sont déterminées par la diffraction des rayons X dans le laboratoire du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de constructions (CETIM) de Boumerdes.

La diffraction des rayons X (DRX) est une technique classiquement utilisée pour l'identification des phases cristallines qui apportent des informations sur les espèces minérales présentes dans le matériau.

La méthode consiste à soumettre un composé en poudre à un faisceau de rayons X monochromatique et à recueillir le spectre de diffraction qu'il émet.

Le diffractogramme de l'échantillon est présenté dans la figure IV.11.

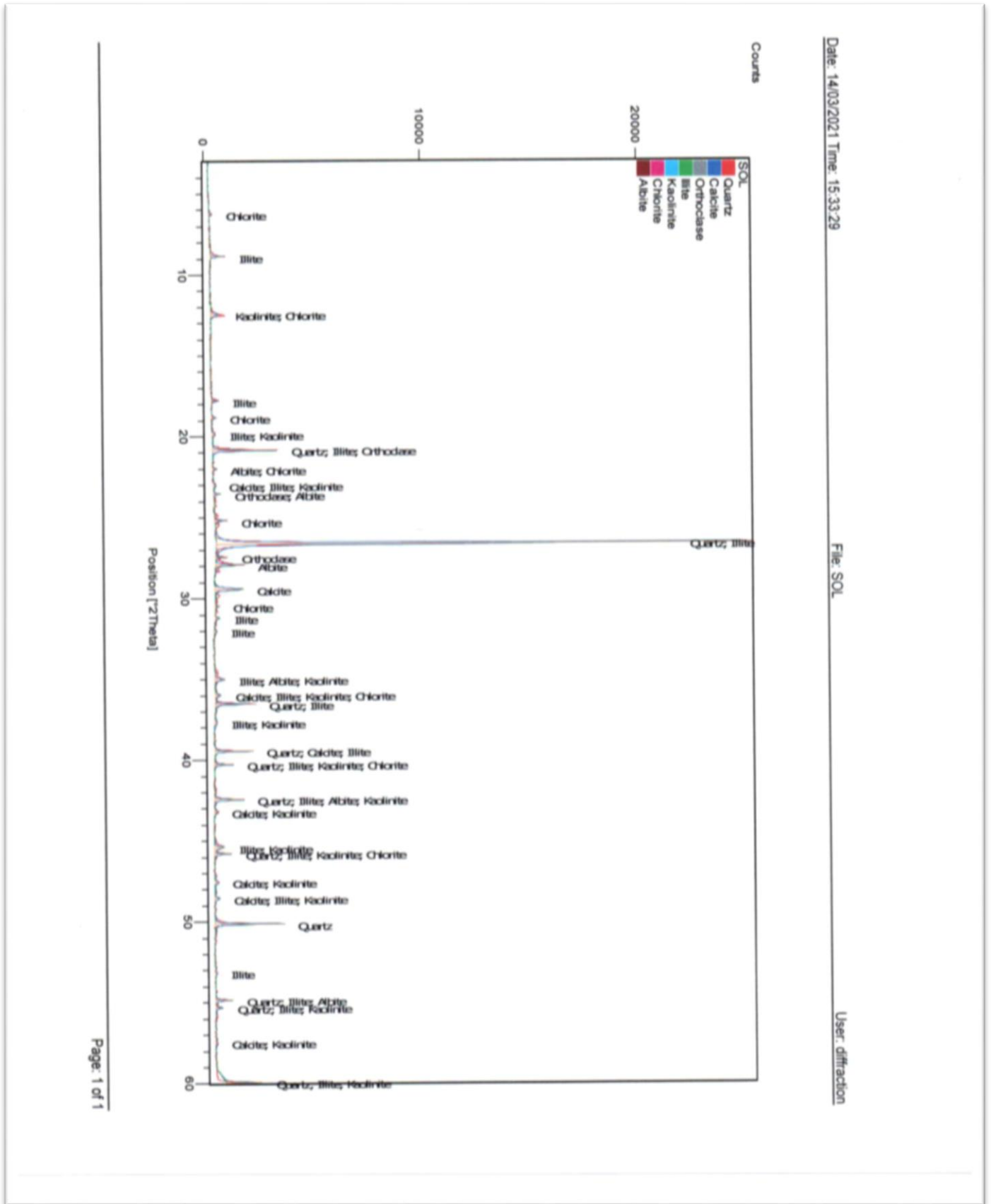


Figure IV.11 : Diffractogramme des rayons X du sédiment du barrage Taksebt.

Le tableau suivant met en évidence les différentes compositions minéralogiques des sédiments étudiés :

Tableau IV.2 : Composition minéralogique des sédiments étudiés.

Sédiment du barrage Taksebt
Quartz Si O_2
Calcite CaCO_3
Orthoclase $\text{K Al Si}_3 \text{ O}_8$
Illite $\text{K (Al}_4 \text{ Si}_2 \text{ O}_9 \text{ (O H)}_3)$
Kaolinite $1\text{MdAl}_2 \text{ Si}_2 \text{ O}_5 \text{ (O H)}_4$
Chlorite $(\text{Fe,Mg,Al})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Albite low $(\text{Al Si}_3 \text{ O}_8)$

Commentaire

Le diffractogramme de l'échantillon montre qu'il est essentiellement composé de quartz, et la présence de quelques argiles avec de faibles quantités tel que la kaolinite, l'illite, et la chlorite.... (ce qui confirme les analyses granulométrique par sédimentométrie). La présence de kaolinite dans cet échantillon contribue à une bonne aptitude au façonnage et au séchage des produits céramiques [Kornmann, 2005].

IV.5. Caractéristiques chimiques

La connaissance de la composition chimique et minéralogique des sédiments est très importante pour une éventuelle valorisation. Une bonne connaissance des minéraux présents dans ces sédiments est indispensable pour mieux connaître le matériau et anticiper l'influence de certains minéraux qui risquent d'engendrer des problèmes dans le processus.

L'analyse chimique et minéralogique sont complémentaires, la première permet de déterminer la composition quantitative en oxydes par contre la seconde permet la détermination des phases minérales micro et poly-cristallines des matériaux.

IV.5.1. Analyse chimique par fluorescence X

La reconnaissance des compositions chimiques des matières premières par fluorescence X ont été réalisées au laboratoire du centre d'études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de

constructions (CETIM) de Boumerdès, à l'aide d'un spectrophotomètre Philips PW 1404 X. les éléments principaux constituant l'échantillon de vase sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau. IV.3 : *Eléments principaux (% d'oxydes) par fluorescence X*

Somme des concentrations (%)	SiO ₂ Si ₂	Al ₂ O ₃ Al ₂	Fe ₂ O ₃ Fe ₂	CaO Ca ₂	MgO Mg ₂	SO ₃ S ₂	K ₂ O K ₂	Na ₂ O Na ₂	P ₂ O ₅ P ₂	TiO ₂ Ti ₂
100	66.71	12.32	4.26	4.14	0.95	0.08	2.47	1.14	0.16	0.69

IV.5.2. Perte au feu

Le principe de détermination du taux d'imbrulés, consiste à déterminer la perte de masse du matériau, exprimée en pourcentage du poids sec de l'échantillon initial après 1 heures de calcination à 500°C. La calcination est réalisée après une étape préalable de séchage à 105°C.

Cependant, cette technique peut donner des résultats très éloignés de la valeur réelle du taux de matières organiques. En effet, la perte au feu mesure une perte de masse sans distinction de la nature des phénomènes mis en jeu. Elle ne permet pas de différencier les phénomènes d'oxydation de la matière organique des autres processus chimiques tels que la décomposition d'hydrates, de carbonates et la volatilisation de certains sels, ce qui peut d'ailleurs se traduire par une augmentation aberrante du taux d'imbrulés dans le temps (pendant la maturation). [12]

Tableau IV.4: *Perte de masse au feu.*

	Perte au Feu
Sédiment du barrage Taksebt (%)	7

Commentaire

Les résultats des analyses chimiques par fluorescence montrent de fortes teneurs en Silice (SiO₂) allant jusqu'à atteindre la valeur de 66.71 % (ce qui confirme l'analyse physique effectuée), provenant principalement des silicates d'alumine et du quartz. Il possède aussi une forte concentration en Al₂O₃, liée généralement aux silicates argileux et contribue à l'obtention d'une bonne plasticité [Kornmann, 2005]. La présence des oxydes de fer, avec un pourcentage de 4.26%, communique aux produits céramiques leur couleur rouge après la phase de cuisson, et ceci provient de l'apparition de pyrite dans la

composition minéralogique. D'autres traces d'oxydes (Mg, Na, Ti, ...) ont été détectées dans l'analyse chimique de cet échantillon.

Par ailleurs, on remarque que la perte au feu est de 7% (Tableau V.3), ce qui prouve l'existence de peu de matières organiques dans la vase, cela explique l'absence des limites de liquidité et de plasticité

IV.6. Conclusion

Le but de ce chapitre est l'étude des caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques de la vase du barrage de Taksebt.

L'analyse granulométrique effectuée a permis de classer la vase comme un sol grenu avec plus de 50% des particules ont un diamètre supérieur à 0.08 mm, et le pourcentage des particules fines est inférieur à 5%, ce qui démontre que la vase étudiée est un sable propre bien gradué (selon la classification des sols grenus USCS/LCPC).

D'autre part la vase a une composition minéralogique constituée de forte proportion de quartz, et la présence de quelques minéraux argileux tel que la kaolinite, l'illite, et la chlorite....La minéralogie est complétée par une analyse chimique pour identifier la composition en oxydes.

La vase est composée principalement de 66.71% de silice, de 12.32% d'alumine et 4.26% de fer. Le taux de la perte au feu est de l'ordre de 7%. Ce taux de PAF est dû aussi à la présence de peu de matière organique.

Les différents résultats obtenus nous permettent d'identifier le domaine de valorisation de notre vase, et de l'utiliser comme matière première dans l'industrie des matériaux de construction, tel que le domaine de bâtiments comme matériau rouge (la brique), ce qui fera l'objet du dernier chapitre.

Le prochain chapitre sera consacré pour les différents domaines de valorisation de la vase.

Chapitre V
Les différents
domaines de
valorisation

V.1. Introduction

Des travaux de dévasement gigantesques ont été entretenus dans plusieurs barrages Algériens, mais se sont avérés destructeurs de l'environnement puisque des quantités considérables de vase sont déversées dans la nature portant un préjudice écologique incontournable, tels que l'inondation des berges avec nuisance esthétique ou un danger toxique.

Dans un esprit de développement durable, et pour une bonne gestion de l'environnement, plusieurs domaines pour prévoient l'utilisation de la vase en tant que matière première et non plus comme déchets ont été ciblés notamment le génie civil et l'agriculture.

Le présent chapitre a pour but de donner quelques exemples d'utilisation des sédiments dragués du barrage dans différents domaines de valorisation tel que l'industrie des matériaux de construction comme la brique, la céramiqueetc. Ils peuvent aussi être utilisés dans le domaine de l'agriculture comme un fertilisant des terres pauvres en sel minéraux et dans le domaine des travaux hydrauliques et des travaux publics (domaine routier), comme un matériau de remblai.

V.2. Utilisation de la vase Comme fertilisant des terres agricoles

Selon Vilain 1987, 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 remonté capillaire des eaux et l'évaporation pendant les périodes du manque d'eau et garde une humidité par sa caractéristique d'emmagasinement 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 terre pauvres (Belhadri M., 1997) [10].

V.2.1. Les amendements minéraux

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, 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.

V.2.2. 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%.

V.2.3 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 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%.

V.3. Utilisation de la vase comme matériau de construction

V.3.1. Valorisation dans le béton et mortier

La production du béton présente un des gros consommateurs de matériaux et les granulats constituent un des matériaux de base de cette filière. En effet, les granulats sont des matériaux régulièrement utilisés dans la fabrication du béton. Ils proviennent très majoritairement de carrières terrestres et sont issus de gisements alluvionnaires dont la ressource s'épuise. De plus, l'exploitation des carrières devient difficile. Dans ce contexte, l'utilisation des sédiments de dragage sous forme de granulats est amenée à se développer pour répondre aux besoins croissants de la filière de fabrication de béton à base de sédiment.

Ben Allal L. et al. (2011) ont étudié la valorisation des sédiments de dragage des ports de Tanger et Larache (Maroc) dans les mortiers par substitution du sable. Les valeurs de résistances à la compression obtenues ont confirmé qu'une substitution partielle du sable par des sédiments de dragage des ports de Tanger et de Larache dans les mortiers est satisfaisante pour un dosage de 20%.

En Algérie, des études de valorisation des vases de dragage de barrages ont été faites, Belas N. et al. (2011) ont valorisé la vase issue du barrage de Fergoug en tant que matériau de construction entrant dans la composition des bétons en l'utilisant, après calcination pour la rendre active, en dosages définis substituables au ciment (10,15 et 20% de vase par rapport au dosage en masse du ciment). Les bétons ainsi confectionnés sont testés vis-à-vis du comportement mécanique en compression et du retrait.

A noter que le port de Dunkerque (France) expérimente avec ses partenaires, l'incorporation de sédiments dans du béton pour la réalisation de bloc de protection des digues. [2]

V.3.2. Utilisation de la vase dans la fabrication de ciment

La production du ciment Portland, le plus commun des matériaux de construction, a un coût énergétique élevé, calcine 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. 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.

V.3.3. Utilisation de la vase dans la fabrication de céramique

Les analyses chimiques de la vase de Gargar confirment qu'elle est utilisable dans la fabrication de la céramique jusqu'à un taux de 65%. 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 Nedroma, les deux sont obéies au modèle Herschel Bulkley. L'argile de Nedroma est utilisée comme matière première dans l'usine de fabrication des carreaux de revêtement Céramis Souaflia. 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 des petits carreaux de dimension 55x110 mm² ont été préparées par deux types de mélanges: un basé sur l'argile de Nedroma et un autre basé sur la vase du barrage de Gargar. Les carreaux préparés par la vase du barrage ont confirmé la possibilité d'utiliser la vase dans la céramique.

V.3.4. Utilisation de la vase dans la fabrication des matériaux rouges

Les matériaux rouges sont essentiellement les briques, les tuiles, 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 utilisée comme matière première dans l'industrie des matériaux rouges. Selon sa composition minéralogique et chimique, la vase est utilisée seule ou en la mélangeant avec une autre argile.

La composition chimique (% en éléments majeurs) des sédiments bruts et la composition chimique des argiles utilisées pour la fabrication des produits de terre cuite sont comparables (Alviset, 1994). Cette analogie de composition a orienté les recherches vers la valorisation des sédiments comme matière première dans les briques.

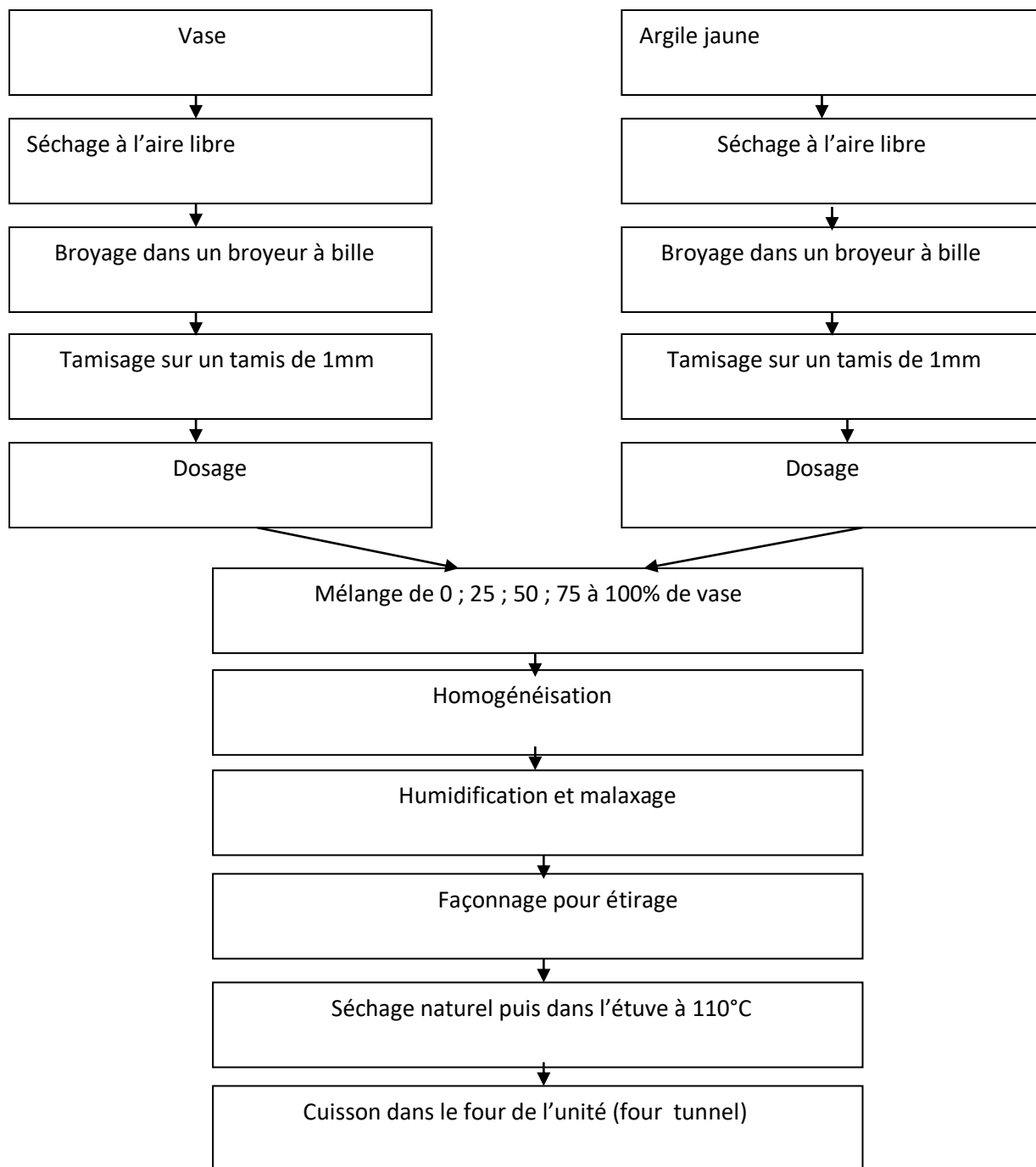


Figure V.1: Schéma général du processus de fabrication des briques.

En se basant sur les résultats des analyses physiques, minéralogiques et chimiques des vases de 11 barrages en Algérie, Remini (2006) a établi une première carte de réutilisation de la vase dans différents domaines.

La figure 2.9 présente les domaines de valorisation de la vase de chaque barrage

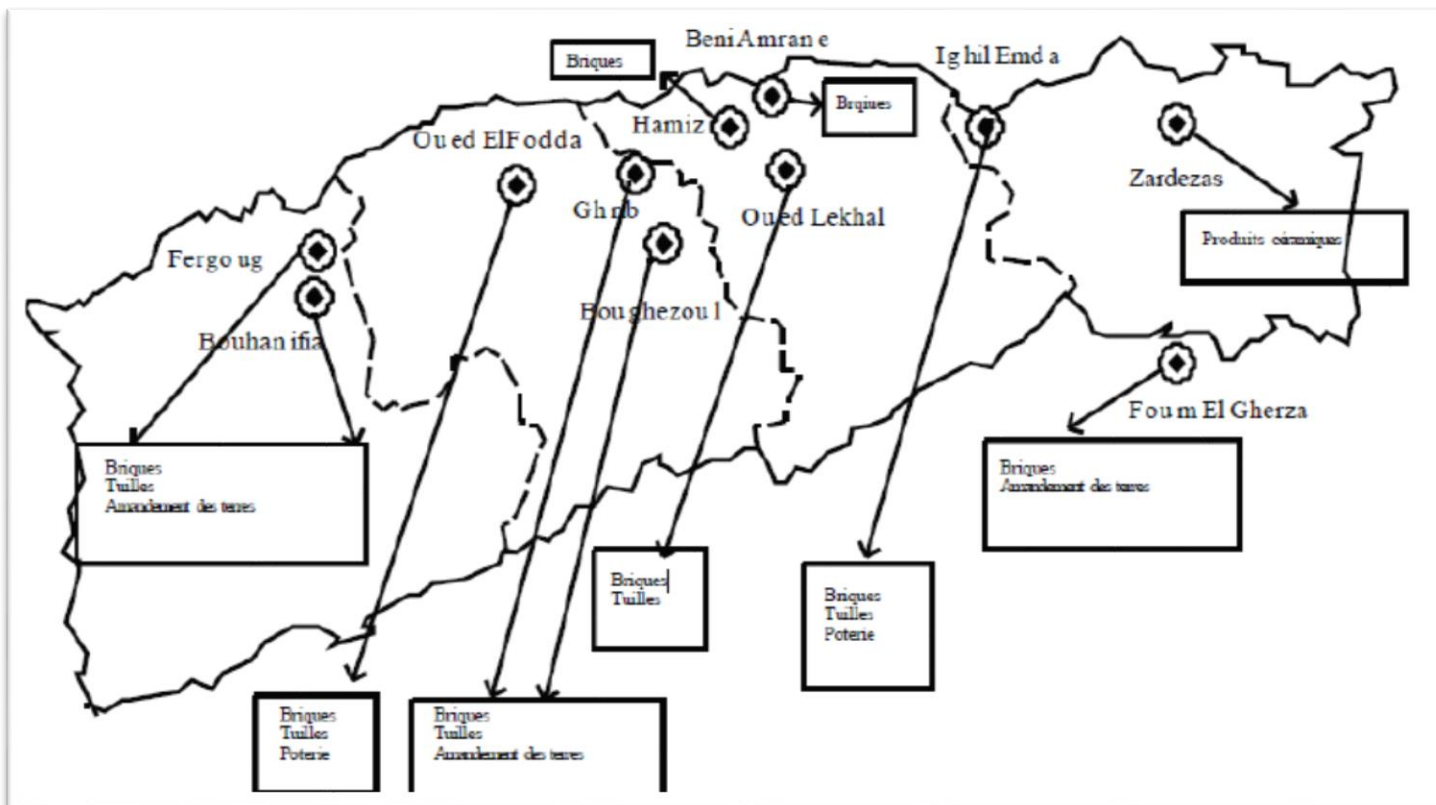


Figure V.2: Utilisation des vases des barrages les plus envasés.

Les résultats obtenus par Remini (2006) sont très encourageants pour l'utilisation de la vase comme matière première pour la fabrication de la brique, puisque elle présente les mêmes caractéristiques que celle de l'argile jaune utilisé par l'ensemble des briqueteries d'Algérie.



Figure V.3: Briques et tuiles.

V.4. Utilisation de la vase dans les techniques routières

Les projets d'infrastructures dans le domaine des travaux publics nécessitent d'importantes quantités de matériaux naturels qui se font rares et coûteux.

La nécessité de trouver des granulats en grande quantité et à faible coût, mène les entreprises routières à s'intéresser aux matériaux de recyclage tels que la vase de dragage.

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'Indice de Portance Immédiate (IPI) 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 V.5)

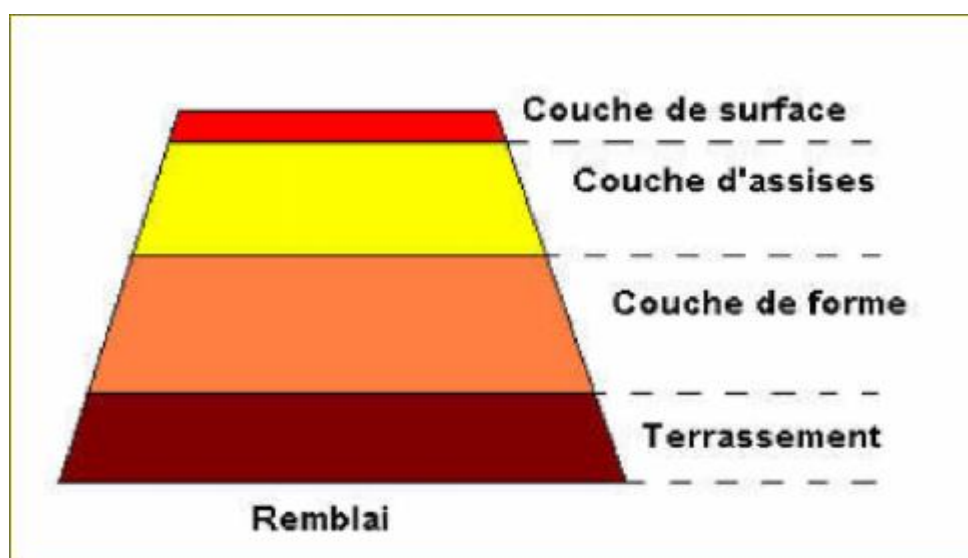


Figure V.4: Coupe type d'un ouvrage routier (d'après CETE, 2000)

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.

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 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 %).

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.



Figure V.5: *Couche de remblai de vase de dragage.*

V.5. Utilisation dans la fabrication du verre

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

Tableau V.1 : *La composition chimique des argiles pour la fabrication du verre.*

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 %



Figure V.6: *Le verre.*

V.6. Utilisation comme matériau de construction dans les travaux hydraulique

Il existe plusieurs exemples d'utilisation de la vase dans le domaine de réalisation des travaux publics et hydrauliques. La vase peut être utilisée comme une argile crue naturel dans la réalisation du noyau d'argile des retenues collinaires, comme une couche de base dans le bassin d'une station d'épuration par lagunage et même dans la réalisation d'une décharge public sous forme d'une couche aussi, la vase peut être utilisée aussi comme une argile cuite sous forme des matériaux et pierre de la maçonnerie. [7]

V.6.1. Noyau d'argile d'une retenue collinaire

L'étanchéité de la digue d'un barrage en terre ou une retenue collinaire est assurée par un noyau central en argile, la mise en place de l'argile pendant la réalisation se fait sous forme des couches de 30 cm compacté par un engin à pieds de mouton. L'argile compactée devient étanche par une certaine teneur en eau. C'est la teneur en eau optimale pour un poids volumique sec maximale donné par l'essai Proctor. Parmi les exemples de lutte contre l'envasement est la construction des digues de décantation en amont de la retenue du barrage envasé pour freiner l'arrivée des sédiments et amortir la vitesse d'écoulement du cours d'eau. Le matériau principal pour la construction de ces digues est l'argile, dont on peut utiliser la vase du barrage.



Figure V.7: Noyau centrale d'argile, cas du barrage de kramis.

V.6.2. Utilisation de la vase comme couche étanche pour un bassin de lagunage

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.

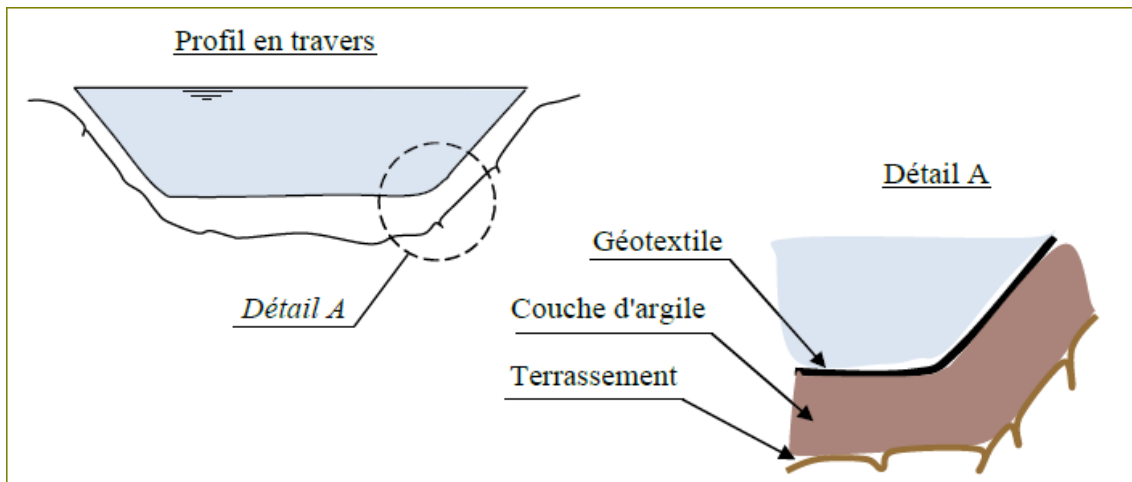


Figure V.8 : Une couche d'argile dans un bassin de lagunage.

V.7. Conclusion

Des quantités importantes de vases issues du dragage sont rejetées périodiquement dans le milieu naturel comme déchets, en causant de graves problèmes à l'environnement, ce qui mène à penser à la réutiliser dans plusieurs domaines tels que le génie civil : comme matière première dans l'industrie des matériaux (brique, céramique...) et dans l'agriculture comme fertilisant des terres.

La réutilisation de la vase vise à éviter les problèmes d'ordres écologiques posés par le rejet des sédiments dans la nature d'une part 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 d'une autre part.

Après la détermination des caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques de la vase du barrage Taksebt, on est orienté à une valorisation dans le domaine de l'industrie des matériaux rouges, tel que la brique, ce qui fera l'objet de notre dernier chapitre.

Chapitre VI

**Valorisation de la vase dans le
domaine des matériaux
rouges(Brique)**

VI.1. Introduction

D'après les caractéristiques physiques, minéralogiques et chimiques de la vase déterminées dans le quatrième chapitre, les sédiments du barrage de Taksebt peuvent être réutilisés dans le domaine de la fabrication des matériaux rouges et Spécifiquement la brique.

L'objet de ce chapitre est de présenter en général les différents composants et les types de briques, et les étapes de sa construction.

VI.2. Définition de la brique

La brique est un matériau de construction qui est fabriqué en portant une petite quantité d'argile, préalablement mise en forme, à une température appropriée (la température de frittage). Les particules d'argile commencent alors à fondre et s'agglomèrent pour former une masse à caractère pierreux. Après la cuisson, la brique conserve une certaine porosité, qui lui confère d'ailleurs des propriétés spécifiques et la distingue des autres matériaux de construction. [13]

VI.3. Types de briques

- **Briques de structure** : Brique de mur, brique de cloison, hourdis et conduits de fumée.
- **Briques apparentes et pavage**: Briques pleines, briques perforées, blocs perforés apparents, plaquettes et angles, briques de pavage.
- **Autres produits** : Carreaux et tomettes, claustras, drains, accessoires en terre cuite à connu une croissance significative sur la dernière décennie. [14]

VI.4. Les Matières Premières

Les matières premières utilisées pour la fabrication de ces produits en terre sont l'argile et le sable. Les argiles sont les plus importantes et permettent le façonnage grâce à leurs propriété spéciale de plasticité. Le caractère de l'argile est une roche tendre géologiquement, plus ou moins onctueuse et imperméable. Elle est toujours détritique et généralement sédimentaire.

D'après le petit LAROUSSE illustré (édition 1984), la plasticité permet de déterminer la quantité d'eau et celle du dégraissant ajouté. Les matières premières utilisées dans la fabrication des produits de terre cuite sont principalement : [Samara, 12]

Les terres argileuses contenant une forte proportion d'argile qui leur donne leur aptitude au façonnage et leurs propriétés mécaniques après cuisson.

Les dégraissants (sables de quartz, chamotte, cendre volante, des roches dures broyées : basaltes et micaschistes) pour fournir la structure à la céramique (squelette), pour réduire la température de fusion lors de la cuisson (fondant) et réduire la plasticité de la pâte. L'eau : pour adapter la plasticité de la pâte.

VI.4.1. Les Argiles

L'argile est une roche sédimentaire terreuse, imperméable, formée surtout de silicates d'aluminium et qui est imbibée d'eau malléable. Elle peut être verte, rouge, jaune, brune, grise, blanche...etc. Ainsi donc les terres exploitées pour la réalisation des produits dites de terre cuite peuvent être différentes selon le gisement et la composition chimique.

Les argiles sont des silicates d'alumine hydratés. Minéraux cristallisés basés sur l'empilement de deux types de feuillets :

- Feuillet siliceux (silice SiO_2) : Couche de tétraèdres de silice
- Feuillet hydro-alumineux ($\text{Al}(\text{OH})_3$) : Couche d'octaèdres d'alumine hydratée.

Les minéraux essentiels dans la fabrication des terres cuites sont :

- L'Argile : pour assurer la plasticité.
- Le Fondant comme le feldspath (matériau qui abaisse le point de fusion).
- Le Filler ou dégraissant généralement inerte comme le quartz qui amène la résistance et diminue le retrait lors du séchage.

VI.4.2. La Composition Chimique de l'Argile

La composition chimique des argiles pour la brique et la tuile varie approximativement comme suit :

La silice SiO_2	de 35% à 80%
L'alumine Al_2O_3	de 9 % à 25%
Le Fer Fe_2O_3	de 2.5% à 9 %
Le titane TiO_2	de 0.3% à 2.5%
La chaux CaO	de 0.5% à 25%
La magnésie MgO	de 0 % à 3%
L'anhydrite sulfurique SO_3	de 0% à 4 %
L'anhydrite carbonique CO_2	de 0% à 14%
Les oxydes alcalins ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$).....	de 0.5 % à 6%

- **La Silice SiO_2**

Elle se trouve dans les argiles sous forme liée et libre. La forme liée est présentée par les minéraux argileux (kaolinite, montmorillonite, hydro micas....). La forme libre est donnée par le sable quartzeux ou par les fines particules poussiéreuses. Lorsque les sables rentrent dans de fortes proportions dans la composition d'argile, ils diminuent la plasticité, le retrait et la résistance mécanique.

- **L'alumine Al_2O_3**

Elle se trouve dans les argiles sous forme liée et rentre dans la composition des minéraux argileux. De fortes teneurs en alumine donnent aux argiles une grande plasticité et une meilleure résistance aux produits cuits.

- **L'oxyde de Fer Fe_2O_3**

I l donne une coloration rouge au produit cuit.

- **L'oxyde de Titane TiO_2**

Son rôle est de donner une coloration verdâtre au produit.

- **La chaux CaO et l'oxyde de Magnésium MgO**

Ils rentrent dans la composition des roches carbonatées sous forme de $CaCO_3$ et $MgCO_3$. Les $CaCO_3$ ont des effets néfastes sur la brique, éclatements superficiels ou même la destruction totale. Le carbonate de chaux se décompose au cours de la cuisson et forme de la chaux vive CaO . Une partie de cette chaux vive se combine avec les éléments de l'argile pour former des silico-aluminates de chaux stables et l'autre partie reste dans le produit à la sortie du four. Sous l'action de l'humidité ou de l'évaporation d'eau, elle perd son eau et se carbonate sous l'action du gaz carbonique qui circule dans l'air.

Lors de ces réactions chimiques des grains de calcaires formés augmentent le volume de la matrice et provoquent des fissures, et avec la pluie cette chaux vive se transforme en chaux éteinte.

Tableau VI.1 : Analyse Chimique Comparative avec argile d'une Briqueterie et les seuils recommandés.

Oxydes	Vase du barrage Taksebt (%)	Seuils recommandés (%)	Argile de la briqueterie de Remchi (Tlemcen) (%)
SiO_2	66.71	35 à 85	47.91
Al_2O_3	12.32	9 à 25	14.4
Fe_2O_3	4.26	3 à 9	5.94
CaO	4.14	0 à 25	10.4
MgO	0.95	0 à 5	2.73
SO_3	0.08	0 à 3	0.4
K_2O+Na_2O	3.61	1 à 5	2.79
TiO_2	0.69	0.3 à 2	0.78
PAF	7.1	13	14.44

Chaque matériau conçu pour la fabrication de brique cuite possède certaines proportions de minéraux argileux qui lui permettent d'avoir l'aptitude au façonnage et avoir les caractéristiques de résistance après cuisson.

VI.5. Procédés de fabrication de la brique

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

- 1- L'extraction des matières premières (argiles).
- 2- La préparation de l'argile et l'humidification.
- 3- Le façonnage.
- 4- Le séchage.
- 5- La Cuisson.

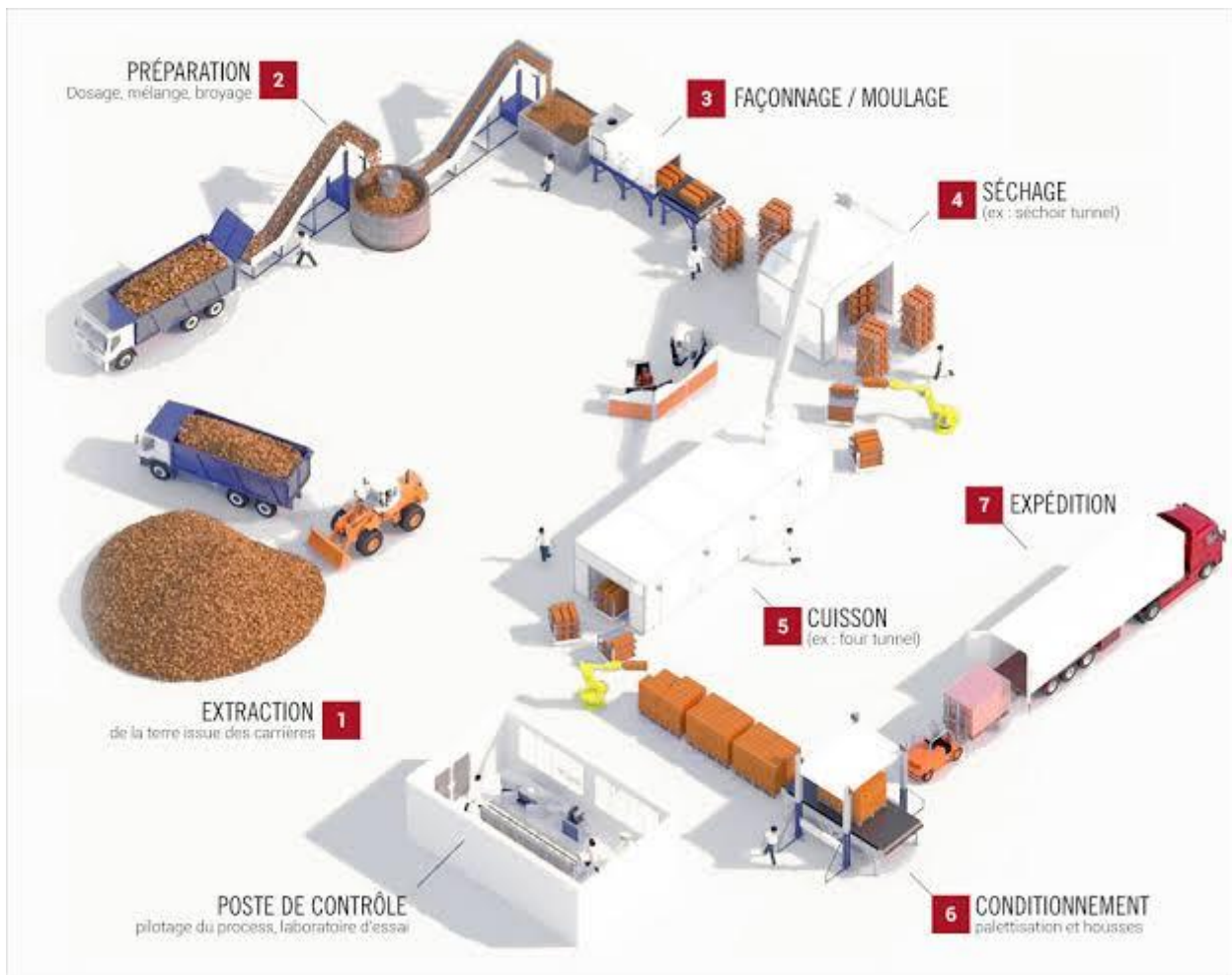


Figure VI.1 : Processus de Fabrication de la Brique Rouge.

VI.5.1. L'extraction des matières premières (argiles)

L'argile est extraite dans des gisements testés à être utilisés pour les briqueteries. L'argile est omniprésente dans le sous-sol et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique.

VI.5.2. La préparation d'argile

Les argiles plastiques sont rarement utilisées en état pur pour la fabrication des briques à cause des grands retraits subit lors du séchage et de la cuisson. L'utilité d'utiliser un dégraissant est indispensable, généralement l'utilisation d'un sable de 0.15 à 1.5 mm est plus convenable.

IV.5.3. Le Façonnage

Cette phase doit contenir (Étirage- pressage- moulage)

Le façonnage donne à la pâte une cohésion suffisante, grâce à l'élimination de l'air occlus dans l'argile et à l'amélioration de l'état plastique de la pâte.

Il permet d'obtenir un produit de forme définitive.

IV.4. Le Séchage

Il est recommandé de faire un séchage long afin d'éviter la fissuration du produit.

IV.5.5. La Cuisson

La cuisson doit garantir une résistance mécanique et chimique satisfaisante pour le produit à réaliser.

VI.5.6. L'emballage

Après la cuisson, les briques sont prêtes à être transportées et livrées sur chantier. Pour des raisons de facilité et de sécurité, elles sont préalablement empilées sur des palettes et emballées de façon à minimiser la quantité d'emballage utilisé.

VI.6. Les Principaux Défauts de la Brique

Les principaux défauts peuvent être soit de la matière première soit du non respect des paramètres de fabrication.

VI.6.1. Défauts dus à la matière première

- **Efflorescence**

Sous forme de taches blanches qui apparaissent sur les produits secs. Ces efflorescences sont dues à la présence de sels solubles contenus dans les matières premières.

- **Inclusions nuisibles**

Les inclusions nuisibles apparaissent sur le produit cuit sous forme de grain de chaux ou de gypse.

VI.6.2. Défauts dus au non-respect des paramètres de technologie de fabrication

- **Eclatements**

L'éclatement de la brique provient principalement lors d'un échauffement trop rapide au moment où l'eau zéolitique ou de constitution se vaporise au cours de la cuisson.

- **Cœurs noirs**

Le phénomène de cœur noir correspond au développement d'une teinte noire dans les zones internes d'un produit de terre cuite. En milieu oxydant l'oxyde de Fer dans la couleur rouge, et dans le milieu insuffisant d'oxyde la couleur noir apparait. Ce phénomène n'est pas nuisible pour la qualité du produit.

VI.6.3 Les essais de durabilité les plus importantes

- **Essai d'absorption**

L'absorption d'eau, la porosité et la masse volumique sont des paramètres importants pour la formulation d'une brique cuite. L'absorption d'eau et la porosité intra granulaires influencent le dosage d'eau pendant la préparation des échantillons de brique car une partie de cette eau reste à l'intérieur des particules agglomérées et sera ensuite chassée pendant le séchage [Samara, 12]

- **Résistance au gel dégel**

L'essai de gélivité (25 cycles de gel dégel) ne doit pas entraîner de perte de masse supérieure à 1% de la masse initiale de la brique. La résistance au gel d'une brique est liée plus à la distribution de la taille des pores qu'à la porosité totale.

VI.7. Respect de l'environnement

Comme la plupart des processus, la production de briques a un impact sur l'environnement. Le secteur céramique y accorde beaucoup d'attention et met tout en œuvre pour minimiser les émissions dans l'air, l'eau et le sol.

La consommation énergétique est aussi un point d'attention continu.

Economie de matières premières : la gestion de la matière première qu'est l'argile est planifiée à court, moyen et long terme. Nous accordons beaucoup de valeur à la gestion parcimonieuse des matières premières. Lorsque c'est possible, des accords de partenariats sont conclus pour stimuler l'apport extérieur

d'argile. Ainsi, de temps à autre, on ajoute au mélange de matières premières, de l'argile provenant des travaux d'infrastructure.

L'eau est utilisée pour rendre le mélange d'argile plastique mais est également ajoutée lors du moulage. Lors du façonnage, les moules sont humidifiés, sablés et remplis du mélange argileux. Ensuite, ils sont rincés à l'eau et réutilisés. L'eau de rinçage est réutilisée en circuit fermé. Cette manière de travailler permet de limiter la consommation d'eau et d'éviter toute forme de rejet d'eau.

La production de briques occasionne d'inévitables émissions. Le secteur mène de nombreuses initiatives pour les minimiser. Pour atteindre cet objectif, des mesures intégrées au procès et des techniques de traitement de fumées jouent un rôle complémentaire.

Economie d'énergie : depuis des dizaines d'années, des mesures d'économie d'énergie sont mises en œuvre : fours tunnel performants alimentés au gaz naturel, suivi détaillé du processus de cuisson, récupération maximale de la chaleur des fours pour l'utiliser dans les chambres de séchage, ...

La brique est un produit «local», fabriqué à partir de matières premières issues de notre propre sous-sol. Par ailleurs, on trouve toujours une briqueterie à une distance limitée d'un chantier. Ainsi, on limite le transport tant des matières premières que des produits finis.

VI.8. Conclusion

L'intérêt majeur qui a été à l'origine de cette étude est la possibilité de proposer des solutions au problème de stockage des dépôts de sédiments de dragages du barrage Taksebt afin de préserver l'environnement des désordres apparus suite au simple rejet des sédiment dagués, en l'utilisant en tant que matière première pour la fabrication de la brique, et pour confirmer le résultat obtenu d'autres analyses seront recommandés.

Conclusion générale

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire entre dans le cadre général de la valorisation des sédiments dragués des barrages en Algérie. Notre contribution est essentiellement centrée sur la possibilité de la réutilisation dans le domaine des matériaux de construction (brique).

L'envasement des retenues de barrages en Algérie est la conséquence la plus dramatique des phénomènes de l'érosion, qui est devenu une réelle menace pour l'infrastructure hydraulique, tel que la diminution de la capacité utile du barrage qu'a celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même.

Le dragage constitue la phase ultime qui traduit clairement les insuffisances des autres moyens de lutte contre la sédimentation utilisés en amont. Les dépôts sédimentaires engendrés par cette technique posent de graves problèmes à l'aval de l'ouvrage, ce qui nous emmène à lui donner une valeur en la réutilisant dans le domaine de la construction des matériaux (brique).

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 d'un autre coté.

En vue de la valorisation des sédiments du barrage Taksebt, nous avons conduits des essais de caractérisation physiques, chimiques et minéralogiques, qui ont permis de souligner certaines de ses propriétés. Les sédiments, visuellement, ont l'aspect d'un sable à l'état brut, ils se présentent non cohérents. En effet l'analyse granulométrique montre qu'il contient une forte proportion en particules grossières (sable) dont le diamètre est supérieur à 80 μ m de l'ordre de plus de 85%, ce qui a été confirmé par La diffraction des rayons X et par fluorescence X. Ils sont composés essentiellement de Quartz, et de faible quantité d'argile. Les argiles identifiées sont la kaolinite, l'illite, la chlorite et l'albite.

D'après les résultats obtenus, la valorisation des sédiments du barrage Taksebt tend vers une valorisation comme matériaux de construction précisément la brique.

Afin de mieux valoriser les sédiments du barrage Taksebt, il serait intéressant de réaliser des essais de compression et de flexion sur des éprouvettes confectionnées par le sol qui feront objet de nos prochaines recherches, en vue de son utilisation dans la fabrication des briques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

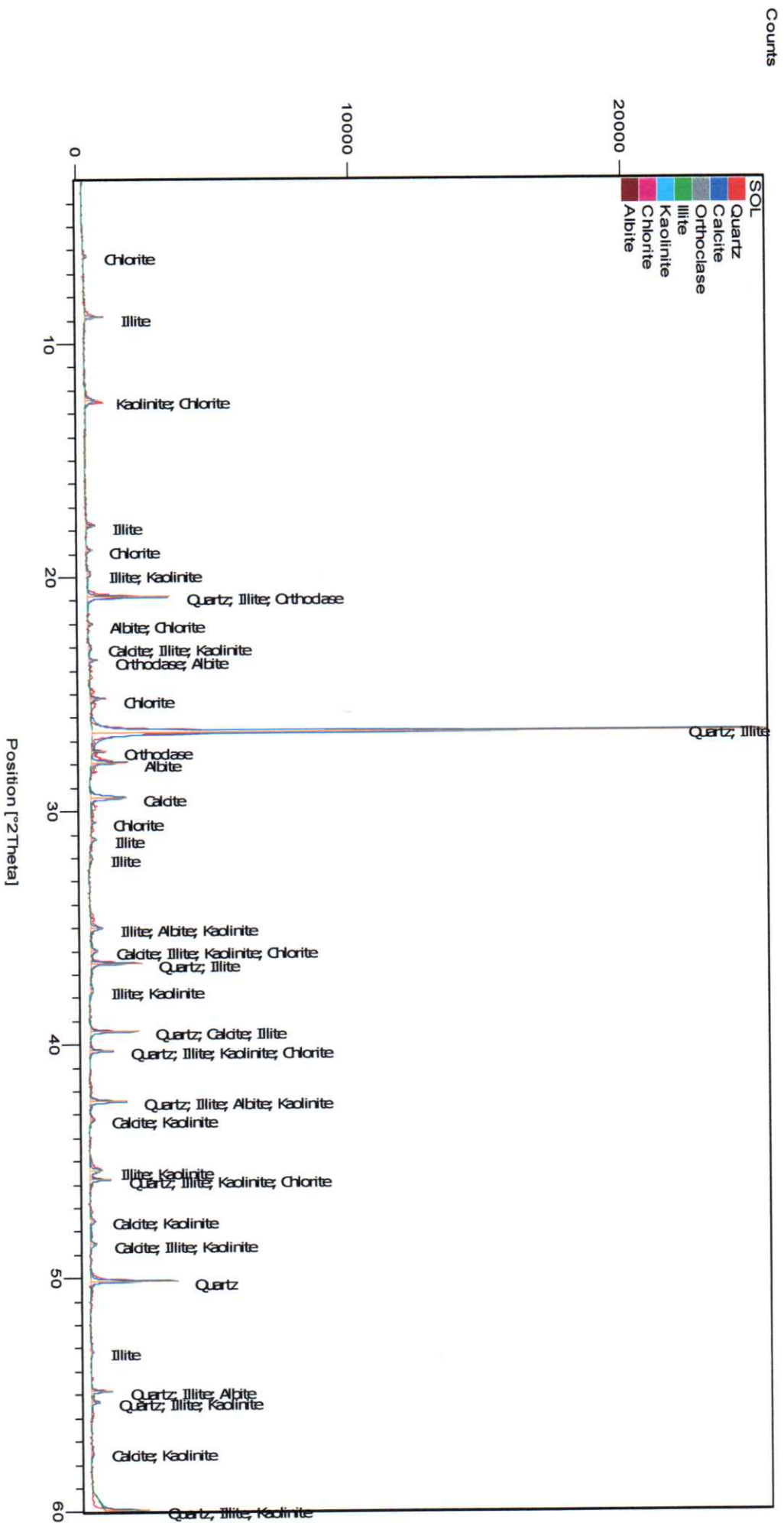
- [1] : Article Journal Larhyss, ISSN 1112-3680, n°27, Sept 2016, pp. 63-90.
- [2] : Mr NOUAOURIA Abdessalam, Mlle BOUKEMMOUM Nour El Houda. Mémoire de master en géotechnique, université de Ghelma. 2019
- [3] : Mr Abderrazak Bouanani. Thèse de doctorat d'Etat, université Bakr Belkaid -Tlemcen
- [4] : Mr KOUDDED Mohamed. Mémoire de Magister en sciences Agronomiques. Université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem. 2012-2013
- [5] : Mr OULD KADDOUR Rawd. Master en Hydraulique, université Abou Bekr Belkaid. 2017
- [6] : Mr SERBAH Boumediene. Mémoire de Magister en Génie civil, Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen. 2010/2011
- [7] : Mlle BENAHMED Halima. Mémoire de MAGISTER en HYDRAULIQUE, Université Mohamed Boudiaf – Oran. 2015
- [8] : Mlle SEKLAOUI-OUKID Ouiza. Thèse de doctorat en Génie Civil, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 2016
- [9] : Fiche technique du barrage Taksebt
- [10]: Mr BENASLA Mohammed. Thèse de doctorat, Parcours Chimie Industrielle Environnementale, université Mohamed BOUDIAF d'Oran. 2014/2015
- [11]: Mr BOUDLAL Omar. Manuel de laboratoire (Principaux essais de mécanique des sols et de géotechnique routière), université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- BENAHMED Halima. Magister en hydraulique, université Mohamed BOUDIAF d'Oran. 2015
- [12] : Mr HADJ HAMOU Ameziane, mémoires de Magister, université Mohamed Boudiaf- Oran.
- [13]: Manuel de fabrication de la brique (fédération Belge de la brique rue des Chartreux).
- [14]: Mlle MAROUF Hafida. Thèse de doctorat, université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. 2017/2018
-

Annexes

Annexes

Annexe 1 : *Diffractogramme des rayons X du sédiment du barrage Taksebt.*

Annexe 2 : *Analyses chimiques élémentaires effectuées par fluorescence x.*



ANALYSES CHIMIQUES ELEMENTAIRES EFFECTUEES PAR FLUORESCENCE X

Philips Analytical

Résultats quantitatifs - Argile-2

Archive choisie:	Argile-2
Nombre de résultats sélectionnés:	1

N°	Nom échantillon (1-25)	Perte au feu (%)	Somme des conc. (%)	SiO2 Si2 (%)	Al2O3 Al2 (%)	Fe2O3 Fe2 (%)	CaO Ca2 (%)	MgO Mg2 (%)	SO3 S2 (%)	K2O K2 (%)	Na2O Na2 (%)	P2O5 P2 (%)	TiO2 Ti2 (%)
1	SOL	7,1000	100,000	66,71	12,32	4,26	4,14	0,95	0,08	2,47	1,14	0,16	0,68