



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

CHEMIM CHACHNAK

CHETTIR NOREDDINE

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER en Hydraulique**

Option : **Ouvrages et Aménagements Hydraulique**

INTITULE :

**Contribution à l'étude théorique d'un nouveau système de dévasement
des barrages et ports.**

Soutenu le **30 /09 /2020** devant le jury composé de :

- Président : **M. ALLOUACHE.A**
- Promoteur : **M. HADDAD.S**
- Examineur : **Mme. BOUNAB.N**

Remerciement

Nous rendant grâce à Dieu de nous avoir donné le courage et la volonté afin de rédiger ce modeste travail qu'on souhaite estimable et réussi.

Nous tenant à exprimer nos vifs remerciements et nos sincères gratitudes à notre excellent encadreur M. HADDAD SAMIR pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable qu'il nous a accordé.

Mes remerciements vont ensuite aux membres du jury qui nous ferons l'honneur d'examiner notre travail. On n'oserait oublier de remercier tout le corps professoral de l'Université Abderrahmane Mira de Bejaia pour le travail énorme qu'il effectue pour nous créer les conditions les plus favorables pour le déroulement de nos études.

Merci à toutes nos familles respectives et nos amis pour leur soutien inconditionnel, On espère que chacun se reconnaîtra.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Dynamique de l'envasement des barrages et ports

Figure I.1 : Organigramme du processus de l'envasement d'une retenue

Figure I.2 : Érosion de sol au bassin de la Vonne en France [2]

Figure I.3 : le transport des particules sédimentaires sous l'influence du courant

Figure I.4 : Influence des barrages sur la distribution des sédiments en amont de l'ouvrage

[Source : L'Encyclopédie de l'environnement, 2018]

Figure II.1 : L'envasement du port du Port de Gravelines en France

[Source: le journal la voix du nord du 24/03/2017]

CHAPITRE II : MOYENS DE LUTTE CONTRE LE PHÉNOMÈNE DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES.

Figure III.1 : l'organigramme de techniques de lutte contre l'envasement

Figure III.2 : Embâcles dans le pont des ifs à Montsûrs en France

Figure III.3 : Protection d'un cours d'eau par du gabion compartimenté

Figure III.4 : Suspension soutirée par les pertuis de vidange du barrage de Beni Haroun émanant d'un courant de densité (Photo. ANBT).

Figure III.5 : Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles [Remini.B, 2017].

Figure III.6 : Navire spécial drague suceuse à désagrégateur.

Figure III.7 : La drague à pelle rétro-caveuse à benne preneuse

CHAPITRE III : Situation actuelle de l'envasement des barrages et ports en Algérie.

Figure I.1 : Localisation des barrages étudiés [Remini.B, 2017].

Figure I.2 : Evolution historique de la quantité d'eau stockée dans les barrages.

Figure I.3 : Evolution de l'envasement des barrages en Algérie.

Figure II.1: Localisation des ports en Algérie.

CHAPITRE IV : Aspects économiques liés à l'envasement des barrages et ports en Algérie.

Figure II.1.1 : Localisation des barrages Algériens dévasés par le dragage.

Figure II.1.2 : Opération de dragage du barrage des Zardezas.

Figure II.1.3 : Une drague dans la boue du barrage de Foug El Ghera.

Figure II.2.1 : *La drague Reynaert, un navire spécialisé dans le curage des ports dans le port commerciale d'Annaba.*

Figure II.2.2 : dragage du port de Sidi Fredj par l'entreprise Algérienne (CELAR).

Figure II.2.3 : Dragage du port de pêche de Bouzedjar.

Chapitre V : L'Analyse Dimensionnelle.

Figure III.1: Pendule en oscillation.

Figure III.1.2 : Période d'oscillation d'un pendule en fonction de l'angle initial. [2]

Figure III.3.1 : extrait des séries de photographies d'une explosion atomique par Mack.

Figure III.3.2 : comparaison entre la loi de similitude de Taylor et le rayon r calculé à partir des séries de photographies d'une explosion atomique prises par Mack.

Chapitre 6 : Modélisation par analyse dimensionnelle du nouveau système de dévasement des barrages et ports

Figure II.1 : Installation « Amont-Aval ».

Figure II.2 : Installation « Rive – Rive ».

Figures III.1 : Modélisation des Drains Attrapes Sédiments.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Les huit Barrages surélevés en Algérie de 1858 à 2001 [Remini.B, 2008].

Tableau II.2 : Vitesses de sédimentation moyennes des barrages surélevés
[Remini.B, 1997].

Tableau III.1 : Classe des barrages vis-à-vis de l'envasement.

Tableau III.2 : Comblement d'un barrage.

Tableau III.3 : Barrages fortement envasés.

Tableau III.4 : Barrages moyennement envasés.

Tableau III.5 : Envasement dans quelques ports algériens.

Tableau IV.1 : l'opération de dragage de certains barrages.

Tableau IV.2 : L'opération de dragage de certains ports.

Tableau IV.3: Réhabilitation de trois ports.

Tableau IV.4 : Bilan annuel de la production halieutique de 1996 à 2006 dans le port.

Tableau IV.5 : Bilan annuel de la production halieutique de 1996 à 2006 dans le port.

Tableau V.1 : Les dimensions de base et étendues des grandeurs thermomécaniques.

Tableau VI.1 : Récapitulation des nombres π

Tableau VI.2 : Les nombres π des trois variantes répétitives.

Tableau VI.3 : Tableau des expériences.

Tableau VI.4 : Tableau des paramètres.

Tableau VI.5 : Remplissage des paramètres obtenus dans (Tableau VI.3)

LISTE DES SYMBOLES

Ω : Vitesse de comblement
 W_v : Volume de vase (millions de m^3)
 W_0 : Volume initial du barrage (millions de m^3)
T : Durée d'exploitation du barrage (an)
LMT : la longueur (m), la masse (kg) et le temps (s)
a : diffusité thermique (m^2/s)
A, S : surface (m^2)
c : Capacité thermique spécifique (J/(kg. K))
 C_t : capacité thermique (J/K)
d : diamètre (m)
F : force d'inertie (N)
p : Pression du gaz (Pa)
V : volume (m^3)
 W_x : la vitesse (m/s)
 α : Coefficient de transfert de chaleur (W/ ($m^2. K$))
 η : viscosité dynamique (Pa. s)
 λ : Conductivité thermique spécifique (W/ (m. K))
 ν : viscosité cinématique (m^2/s)
 ρ : la masse volumique (kg/m^3)
 τ : contrainte de cisaillement (Pa)
 ϕ : flux de chaleur (W)
 V_r : variante répétitive
 N_π : Nombre sans dimensions
 N_v = Nombre de toutes les grandeurs physiques de la matrice des exposants
 r = rang de la sous matrice carrée
TE : Température (K)
HE : hauteur d'eau (m)
TS : temps de séjours (s)
HS : hauteur de sédiments (m)
 ε : Rugosité (m)
 α : Pente
 β : Orientation de l'orifice
 Ψ : Forme de l'orifice
TV : temps de vidange (s)
 C_D = Coefficient de débit
 S_0 = Section de l'orifice
H = Charge au-dessus de l'orifice
Re : nombre de Reynolds
 R_H : rayon hydraulique (m)
 Ω : Le débit massique (kg/m^3).

SOMMAIRE

| | |
|----------------------------|---|
| Introduction générale..... | 1 |
|----------------------------|---|

CHAPITRE I : Dynamique de l'envasement des barrages et ports

| | |
|--|----|
| I. L'envasement des barrages | 2 |
| I.1. Introduction..... | 2 |
| I.2. Processus de l'envasement des barrages..... | 2 |
| I.2.1.Erosion des bassins versants..... | 4 |
| I.2.2. Les apports solides dans la retenue..... | 4 |
| I.2.3.Piégeage des sédiments dans la retenue..... | 5 |
| I.2.4.Décantation des particules..... | 5 |
| I.2.5.Tassement des particules..... | 5 |
| I.4. Distribution des sédiments dans les retenues de barrages..... | 6 |
| II. L'envasement des ports | 7 |
| II.1. Introduction | 7 |
| II.2. Les sédiments marins | 8 |
| II.2.1. <i>Les sédiments cohésifs</i> | 8 |
| II. 2.2. <i>Les sédiments non cohésifs</i> | 9 |
| II.3. <i>L'écoulement et l'étude de la couche limite</i> | 9 |
| II.4. <i>Les mécanismes de transport des sédiments (érosion et dépôts)</i> | 9 |
| II.4.1. <i>L'érosion des sédiments</i> | 9 |
| II.4.2. <i>Erosion des sédiments non cohésifs</i> | 9 |
| II.4.3. <i>Erosion des sédiments cohésifs</i> | 10 |
| II.4.4. <i>Le dépôt des sédiments</i> | 10 |
| II.5. Transport de sédiments dans les vagues..... | 10 |
| II.6. <i>Transport dans les vagues non déferlantes</i> | 11 |
| III. Conclusion..... | 11 |

CHAPITRE II : MOYENS DE LUTTE CONTRE LE PHÉNOMÈNE DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES.

| | |
|-----------------------|----|
| I. Introduction | 12 |
|-----------------------|----|

| | | |
|------|--|----|
| II. | Problèmes posés par l'envasement..... | 12 |
| III. | Moyens de lutte contre l'envasement..... | 13 |
| | III.1. Le reboisement..... | 14 |
| | III.2. Aménagement des bassins versants..... | 15 |
| | III.3. Installation des obstacles émergés et Réalisation de barrage de décantation | 15 |
| | III.4. Soutirage des courants de densité..... | 16 |
| | III.5. La technique de chasse des sédiments par les vidanges de fond | 17 |
| | III.6. Surélévation des barrages..... | 17 |
| | III.7. Dragage des barrages | 19 |
| | III.8. Les techniques de dragages..... | 19 |
| IV. | Conclusion | 21 |

CHAPITRE III : Situation actuelle de l'envasement des barrages et ports en Algérie

| | | |
|----|---|----|
| I. | Situation des Barrages Algérien..... | 22 |
| | I.1. Introduction | 22 |
| | I.2. Barrages étudiés..... | 22 |
| | I.3. Données utilisées dans l'étude..... | 23 |
| | I.4. Critères du classement des barrages vis-à-vis de l'envasement | 23 |
| | I.4.1. Vitesse de comblement..... | 23 |
| | I.4.2. Comblement d'un barrage | 24 |
| | I.5. Evolution dans le temps des dépôts vaseux dans les barrages algériens..... | 24 |
| | I.6. Classement des barrages suivant le degré d'envasement | 26 |
| | I.7. Conclusion | 27 |
| | II. Situation des ports | 28 |
| | II.1. Introduction | 28 |
| | II.2. Les problèmes que les ports rencontrent en Algérie..... | 29 |
| | II.3. Envasement des ports en Algérie | 29 |
| | II.4. Conclusion | 30 |

CHAPITRE IV : Aspects économiques liés à l'envasement des barrages et ports en Algérie.

| | | |
|-----|--|----|
| I. | Introduction | 31 |
| II. | Aspect économique de dévasement des barrages et ports..... | 31 |
| | II.1. dragage des barrages | 31 |
| | II.1.1. Le dragage des barrages en Algérie..... | 31 |
| | II.1.2. Le dévasement des opérations coûteuses | 32 |

| | |
|---|----|
| II.2. dragage des ports | 35 |
| II.2.1. Présentation | 35 |
| II.2.2. Définition du dragage portuaire | 35 |
| II.2.3. L'importance du dragage des ports | 36 |
| II.2.4. Approfondissement ou agrandissement portuaire | 37 |
| II.2.5. Opérations d'entretien | 38 |
| III. Les pertes économiques des ports en Algérie | 39 |
| III.1. Le rôle d'un port du point de vue économique | 39 |
| III.2. L'influence de l'envasement sur l'économie des ports | 39 |
| III.2.1. Le port de Bouharoun (Tipaza) | 39 |
| III.2.2. Le port de Khemisti (Tipaza)..... | 40 |
| III. Conclusion | 40 |

Chapitre V : L'Analyse Dimensionnelle

| | |
|--|----|
| I. Introduction | 41 |
| II. Histoire de l'analyse dimensionnelle | 41 |
| III. Théorèmes et applications de l'analyse dimensionnelle | 46 |
| III.1. Méthode de Rayleigh | 46 |
| III.2. Théorème de Vaschy-Buckingham | 48 |
| III.3. Application N° 1 du théorème II : puissance d'une explosion nucléaire | 50 |
| III.4. Les Procédures d'améliorations | 51 |
| III.4.1. Procédure utilisant un nombre accru de dimensions | 51 |
| III.4.2. Procédure utilisant un nombre réduit de quantités dimensionnelles | 53 |
| III.4.3. Procédure utilisant la connexion de quantités sans dimension | 54 |
| III.5. La méthode matricielle | 54 |
| IV. Conclusion..... | 56 |

Chapitre 6 : Modélisation par analyse dimensionnelle du nouveau système de dévasement des barrages et ports

| | |
|--|----|
| I. Introduction | 57 |
| II. Installation des Drains Attrapes Sédiments (DAS) | 57 |
| III. Physique du système | 58 |
| IV. Modélisation de la physique du système par analyse dimensionnelle..... | 59 |
| V. Conclusion | 71 |

| | |
|--------------------------|----|
| Conclusion générale..... | 72 |
|--------------------------|----|

L'envasement constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique, les retenues des barrages Algériens sont soumises aux phénomènes d'envasement une partie de ces matériaux se dépose au fond de 74 grands barrages qui sont en exploitation une telle quantité a été évaluée à 65 millions de m³/an (Remini 2017).

Hélas les barrages ne sont pas les seuls ouvrages affectés par ce phénomène, de nombreux ports voient leur filet d'eau navigable soumis à l'envasement.

Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emmagasinement et de stockage du barrage, et pouvant aller même jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage et la diminution des profondeurs navigables pour les ports.

Pour lutter contre ce phénomène, plusieurs méthodes ont été prises en charge dont les opérations de dragage qui sont plus coûteuses que nécessaires pour la survie de ces ouvrages stratégiques pour notre pays.

Il est primordial, dès maintenant penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement, qui nécessite d'être pris en considération et prévoir tous les moyens nécessaires.

Nous nous intéressons à l'étude théorique d'un nouveau système de dévasement des barrages et ports en utilisant les procédures d'analyse dimensionnelle.

Nous structurons notre travail en six parties :

- Chapitre I : Dynamique de l'envasement des barrages et ports.
- Chapitre II : Moyens de lutte contre le phénomène de l'envasement des barrages à travers le monde et en Algérie.
- Chapitre III : Situation actuelle de l'envasement des barrages et ports en Algérie.
- Chapitre IV : Aspects économiques liés à l'envasement des barrages et ports en Algérie.
- Chapitre V : Analyse dimensionnelle.
- Chapitre VI : Présentation du nouveau système de dévasement des barrages et ports.

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

I. L'envasement des barrages

I.1. Introduction

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menace l'infrastructure hydrotechnique cela ce produit suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainé directement dans les retenues de barrages.

Les conséquences de ce phénomène réduit la capacité du barrage au fil du temps que les sédiments se déposent dans la retenue et encore l'enlèvement de la vase est une opération difficile.

Toutes les retenues à travers le monde sont plus au moins exposées au phénomène de l'envasement mais avec des vitesses de sédimentation qui diffèrent d'une région à une autre.

Les pays de l'Afrique du nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 230 barrages d'une capacité totale de 23 km^3 . Environ 125 hm^3 de sédiments se déposent annuellement au fond de ces barrages, avec par ordre d'importance décroissante, le Maroc avec 65 hm^3 , l'Algérie avec 32 hm^3 et la Tunisie avec 25 hm^3 [1].

I.2. Processus de l'envasement des barrages

Les sédiments pénétrant dans une retenue provenant du bassin versant sont transportés par le réseau hydrographique jusqu'à la retenue, ces sédiments étant dans une retenue s'y déposent ou franchissent le barrage. La partie déposée peut avoir un caractère permanent. Ces dépôts peuvent progresser rapidement lors des crues importantes entrant dans le réservoir du barrage à niveau minimum d'exploitation, comme ils peuvent être chassés à travers les vidanges de fond. La portion des sédiments qui franchissent le barrage est généralement constituée des particules fines en suspension ou déplacées par des courants de densité au début de la mise en eau de la retenue.

L'organigramme suivant donne les étapes du processus de l'envasement des retenues :

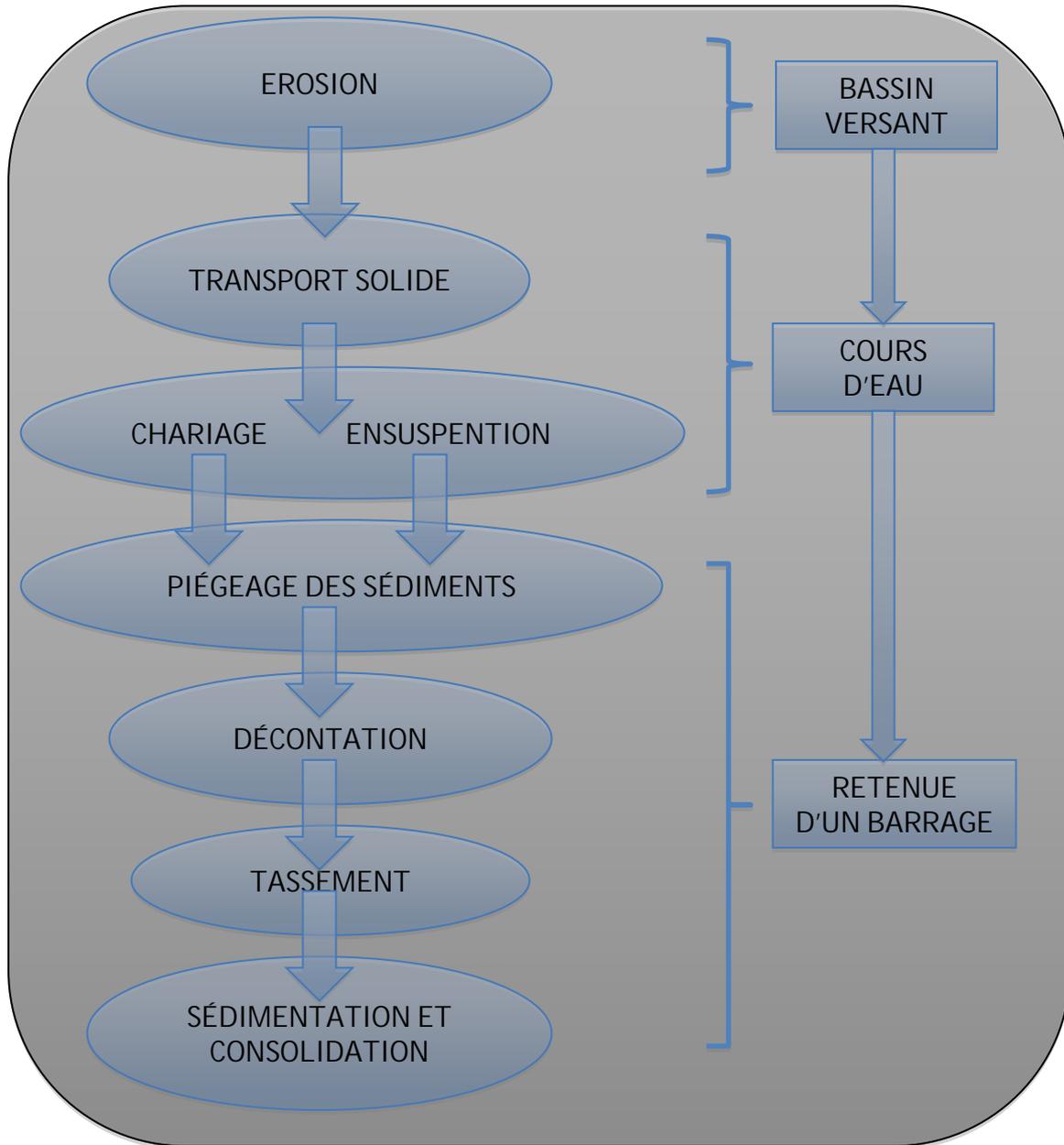


Figure I.1 : Organigramme du processus de l'envasement d'une retenue.

I.2.1. Erosion des bassins versants

L'érosion est le processus de dégradation et de transformation du relief, et donc des sols, roches, berges et littoraux qui est causé par tout agent externe, il agit à différents rythmes et peut, sur plusieurs dizaines de millions d'années, araser des montagnes, creuser des vallées, faire reculer des falaises.

L'érosion hydrique est le détachement de fragments ou particules solides du sol ou des roches de leurs positions initiales par l'eau et il est très répandu en zone Méditerranéenne, dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol. L'intensité du phénomène se manifeste essentiellement en période des crues.



Figure I.2 : Érosion de sol au bassin de la Vonne en France [2].

I.2.2. Les apports solides dans la retenue

Le transport solide désigne le transport de sédiments par un cours d'eau. Il est fonction de la granulométrie des matériaux.

Les apports solides provenant de l'amont du barrage sont fonction des facteurs suivants :

- ❖ Volume et intensité des particules.
- ❖ Géologie et nature de sol.
- ❖ Couverture du sol (végétation, fragment de roches).
- ❖ Utilisation et exploitation des sols (méthode de culture, exploitation forestière, chantier de construction).
- ❖ La géomorphologie et topographie.

- ❖ Réseau hydrographique (pente, forme, dimensions et tracés des canaux).
- ❖ Caractéristiques des sédiments (granulométrie et minéralogie).
- ❖ Hydraulique de lit (rugosité, rayon hydraulique,).

Les eaux des cours d'eaux transportent les sédiments sous deux formes:

- a) Par charriage
- b) En suspension

a)-Les apports solides par charriage

Le transport solide par charriage désigne le transport des alluvions alternativement reprises et déposées par le courant qui gardent contact avec le sol. Les particules se déplacent en roulant ou en effectuant des bonds. Le mouvement s'effectue à une vitesse inférieure à celle du courant.

b)-Les apports solides par suspension

Le transport solide par suspension désigne le transport de particules par le courant. Le mouvement s'effectue à la vitesse du courant. La part de petites particules appelées les fines est responsable de la turbidité de l'eau et est en auto suspension. Elle ne se dépose que rarement dans le lit mineur. Elles n'ont donc que peu d'influence sur la morphologie du cours d'eau.

I.2.3. Piégeage des sédiments dans la retenue :

Arrivées dans les retenues, les particules solides seront piégées dans les eaux calmes de ces dernières, se tassant et se consolidant, diminuant ainsi progressivement leur capacité de stockage en eau.

I.2.4. Décantation des particules

Les sédiments apportés en suspension par les cours d'eau sont susceptibles de se déposer plus ou moins dans les eaux de la retenue. Ils peuvent, soit décanter et y être piégé, soit simplement y transiter en suspension avant être évacués selon les conditions d'écoulement de la retenue.

I.2.5. Tassement des particules

Décantés par gravité sur les fonds, les sédiments formeront des dépôts qui pourront subir des tassements et des consolidations au cours du temps. Le tassement des vases complètement saturées peut être subdivisé en deux processus :

- a. **Sédimentation** : lorsque les particules élémentaires de la vase ne forment un réseau continu tridimensionnel qu'à l'échelle de la dimension des flocons. Dans ce cas, la vase est en état de suspension.

b. Consolidation : lorsque les particules élémentaires de la vase forment un réseau continu tridimensionnel. Dans ce cas, la vase est caractérisée par la présence des contraintes effectives, une partie des contraintes est transmise grain à grain et donc, la vase est en état de dépôt

I.4. Distribution des sédiments dans les retenues de barrages

La capacité utile d'un réservoir diminue au cours du temps suite aux dépôts successifs des sédiments sur le fond de la retenue, mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides se sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue, surtout lorsqu'on sait que ce phénomène complexe dépend de certains paramètres tels que :

- La forme géométrique de la retenue.
- La pente du fond de la retenue.
- La profondeur de la retenue.
- L'apport solide de la retenue.

Généralement la quantité des sédiments en suspension est égal 5 à 10 fois le volume de celui en dépôt. Les dépôts des sédiments dans un réservoir sont ainsi composés: la quantité volumineuse, qui est portée près du lit, se dépose à l'entrée du réservoir ; la matière en suspension est transportée plus loin et se dépose d'une manière plus ou moins uniforme sur tout le réservoir.

On distingue deux types de distribution des sédiments :

1) ***Distribution des sédiments par courants de densité***

Les courants de densité appelés parfois courants de gravité, sont des phénomènes qui se créent naturellement ou artificiellement. Les courants de densité se propagent au fond des retenues et peuvent parcourir plusieurs kilomètres.

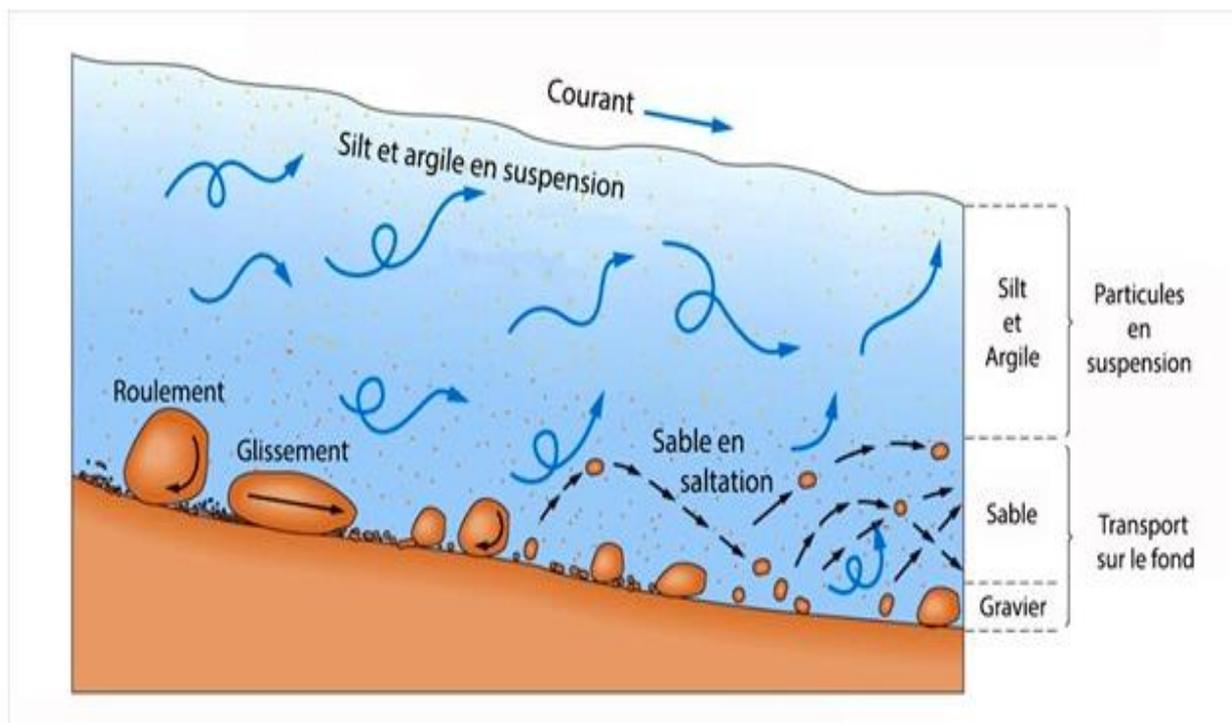


Figure I.3 : le transport des particules sédimentaires sous l'influence du courant.

2) *Distribution des sédiments par envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines*

Si le cours d'eau est de faible pente, il draine un apport solide de faible concentration et débouche dans une retenue de type «Lac» (cet élargissement brusque des vallées représente une zone de dépôt et de disparition des courants de densité). Dans ce cas la distribution des sédiments se fait par décantation des particules fines dans tous les endroits de la retenue et par charriage des particules grossières dans la partie amont du réservoir.

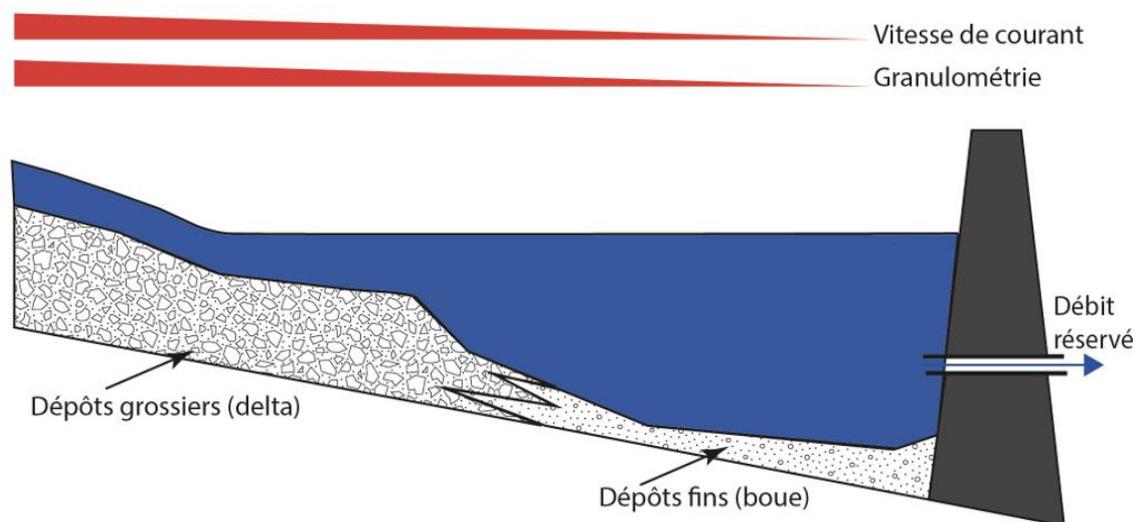


Figure I.4 : Influence des barrages sur la distribution des sédiments en amont de l'ouvrage
[Source : L'Encyclopédie de l'environnement, 2018]

II. L'envasement des ports

II.1. Introduction

La dynamique de la sédimentation dans les ports est un phénomène régi par le processus hydrodynamique, morphologique, atmosphérique et biologique.

L'envasement dans un bassin portuaire dépend d'une part des conditions environnantes comme la courantologie et la turbidité des eaux, et d'autre part de l'hydrodynamique interne associée à la configuration des ouvrages maritimes.

Les marées et les vagues génèrent des courants marins dont l'énergie permet le début du détachement des sédiments et leur transport au-dessus du fond du lit. Le transport des sédiments s'effectue différemment selon la nature du sédiment et la taille du grain, à des niveaux variables de profondeur et de proximité du fond.



Figure II.1 : L'envasement du port du Port de Gravelines en France
[Source: le journal la voix du nord du24/03/2017]

II.2. Les sédiments marins

Il est important de classer les sédiments selon leur taille, c'est-à-dire leur diamètre apparent (diamètre minimal de la sphère entourant le sédiment) par exemple.

On peut distinguer 3 grands types de sédiments:

- Les galets et les gravillons qui proviennent de l'embouchure des fleuves torrentiels ou de l'érosion des falaises ;

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

Cette distinction provient de la particularité des vitesses de chute de ces sédiments. En effet, les sables correspondants à la zone intermédiaire entre les vases pour lesquelles la résistance hydrodynamique varie proportionnellement à la vitesse de chute.

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

II.2.1. Les sédiments cohésifs

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

II. 2.2. Les sédiments non cohésifs

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

II.3. L'écoulement et l'étude de la couche limite

La force de l'écoulement se décompose en une force de flottabilité verticale ascendante (portance) et une force de frottement de l'eau sur les sédiments, horizontale dans le sens de l'écoulement (traînée). Pour qu'il y ait transport de sédiments il faut que cette force soit suffisante pour compenser à la fois la force de gravité à laquelle les sédiments sont soumis et la force de frottement des sédiments en contact avec le fond.

La force de gravité s'applique normalement au centre de gravité du grain, la traînée et la portance ne s'applique pas nécessairement en ce point car l'écoulement est perturbé par la présence de la forme des sédiments.

II.4. Les mécanismes de transport des sédiments (érosion et dépôts)

Il faut distinguer deux types de transports des sédiments [3]:

1. Le transport à la surface immédiate du fond :

Le transport des sédiments est horizontal, et s'effectue immédiatement au-dessus du lit. Ce sont les collisions successives des particules entre elles qui sont à l'origine du mouvement du sédiment. L'écoulement turbulent influence moins le mouvement.

2. Le transport des sédiments en suspension :

Dans ce cas, c'est l'écoulement turbulent qui favorise le détachement et le transport des sédiments.

II.4.1. L'érosion des sédiments

Le mouvement des sédiments dans le lit de la mer débute lorsque la contrainte de cisaillement est suffisamment grande pour compenser le poids des sédiments et la force de frottement des sédiments avec le fond marin.

II.4.2. Erosion des sédiments non cohésifs

Quand les grains sont petits ou que l'écoulement est relativement lent, les grains sont protégés par l'action de la sous-couche visqueuse et il n'y a pas de mouvement.

Lorsque la vitesse de cisaillement augmente, la sous-couche visqueuse est de plus en plus fine, les tourbillons arrachent les sédiments de grosse taille du fond du lit; les sédiments roulent, glissent tout en restant au fond: c'est le transport par charriage. Finalement, la vitesse de cisaillement peut être assez grande pour que les sédiments se détachent du fond et pour porter temporairement les grains en suspension avant qu'ils ne se redéposent dans le fond.

II.4.3. Erosion des sédiments cohésifs

Les grains des sédiments cohésifs sont fortement liés entre eux et ne peuvent se détacher du fond qu'en grosses bouffées de vase, sous l'action d'une vitesse de cisaillement très forte. Il est démontré que la vitesse critique de cisaillement varie avec la concentration des sédiments déposés au fond. En dépit de la petite taille des sédiments, la boue est difficilement érodée.

Donc la cohésion joue un rôle important pour le dépôt des sédiments.

II.4.4. Le dépôt des sédiments

Les mouvements marins ne sont pas stables et en particulier à cause des marées. Après avoir atteint leur vitesse maximale, les courants de marée décélèrent et en conséquence les tourbillons du fond ne sont plus assez puissants pour maintenir les particules en suspension: les sédiments se déposent :

- Dépôt des sédiments transportés par charriage.
- Dépôt des sédiments en suspension.

II.5. Transport de sédiments dans les vagues

Le mouvement des vagues sur du sable peut générer une suspension de sédiments avec des concentrations qui peuvent être assez importantes dans la région proche du lit.

Les processus de transport induits par les vagues sont liés aux vitesses générées par les phénomènes de basses et hautes fréquences intervenant dans les vagues. Le transport vers la côte est dominant dans le cas des vagues non déferlantes, alors que pour les déferlements, il est dominant vers le large. Le mouvement des vagues peut générer une suspension des sédiments en grandes concentrations dans la zone proche du lit. Quand de forts courants (dû à la marée, au vent ou aux vagues) sont présents, il va s'ajouter un transport vers le haut lié à la turbulence et qui va entraîner des concentrations plus importantes dans les couches supérieures.

Dans des conditions réunissant à la fois vagues et courants, le transport lié à ce dernier est généralement dominant [3].

II.6. Transport dans les vagues non déferlantes

Les processus de transport dans la direction perpendiculaire à la côte pour les vagues non déferlantes sont étroitement liés aux vitesses instantanées au voisinage du lit et aux concentrations dans les domaines des hautes et basses fréquences [3].

Les courants permanents ou quasi-permanents pouvant se produire sont :

- Les courants induits par la marée.
- Les courants induits par les forces de Coriolis.
- Les courants induits par le vent.
- Les courants induits par la densité.
- Les courants dus aux vagues non déferlantes.
- Les courants le long de la côte due aux déferlements.
- Les courants de retour perpendiculaires à la côte due au déferlement et à la houle de tempête.

III. Conclusion

A la fin de ce premier chapitre, on peut dire que la dynamique de l'envasement est un phénomène naturel très complexe qui constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique, et que le mécanisme de la sédimentation et plus particulièrement les courants de densité restent l'étape la plus délicate de ce processus.

I. Introduction

Pour prolonger la durée de vie des barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité.

En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases, un autre danger causé par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond.

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

La rareté des sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages a poussé les services d'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. Plusieurs méthodes (curatives et préventives) de lutte contre l'envasement ont été appliquées.

I. Problèmes posés par l'envasement

Les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages, on peut retenir cinq inconvénients majeurs qui sont [4] :

1) Réduction de la capacité de stockage :

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

2) Obturation des organes de vidange :

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond, et de ce fait toute opération de vidange de la retenue est impossible.

3) Envasement des canaux d'irrigation :

Le dépôt des sédiments dans une retenue de barrage destinée à l'irrigation, dans les pays arides et semi-arides, 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 et bien sûr le débit d'eau véhiculée.

4) Dégradation de la qualité de l'eau :

Les sédiments véhiculent des produits chimiques provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposant dans les réservoirs, entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau et favorisant l'eutrophisation de ces réservoirs.

5) Sécurité de l'ouvrage :

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de 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.

III. Moyens de lutte contre l'envasement

L'organigramme suivant résume l'ensemble des techniques de lutte contre l'envasement des barrages.

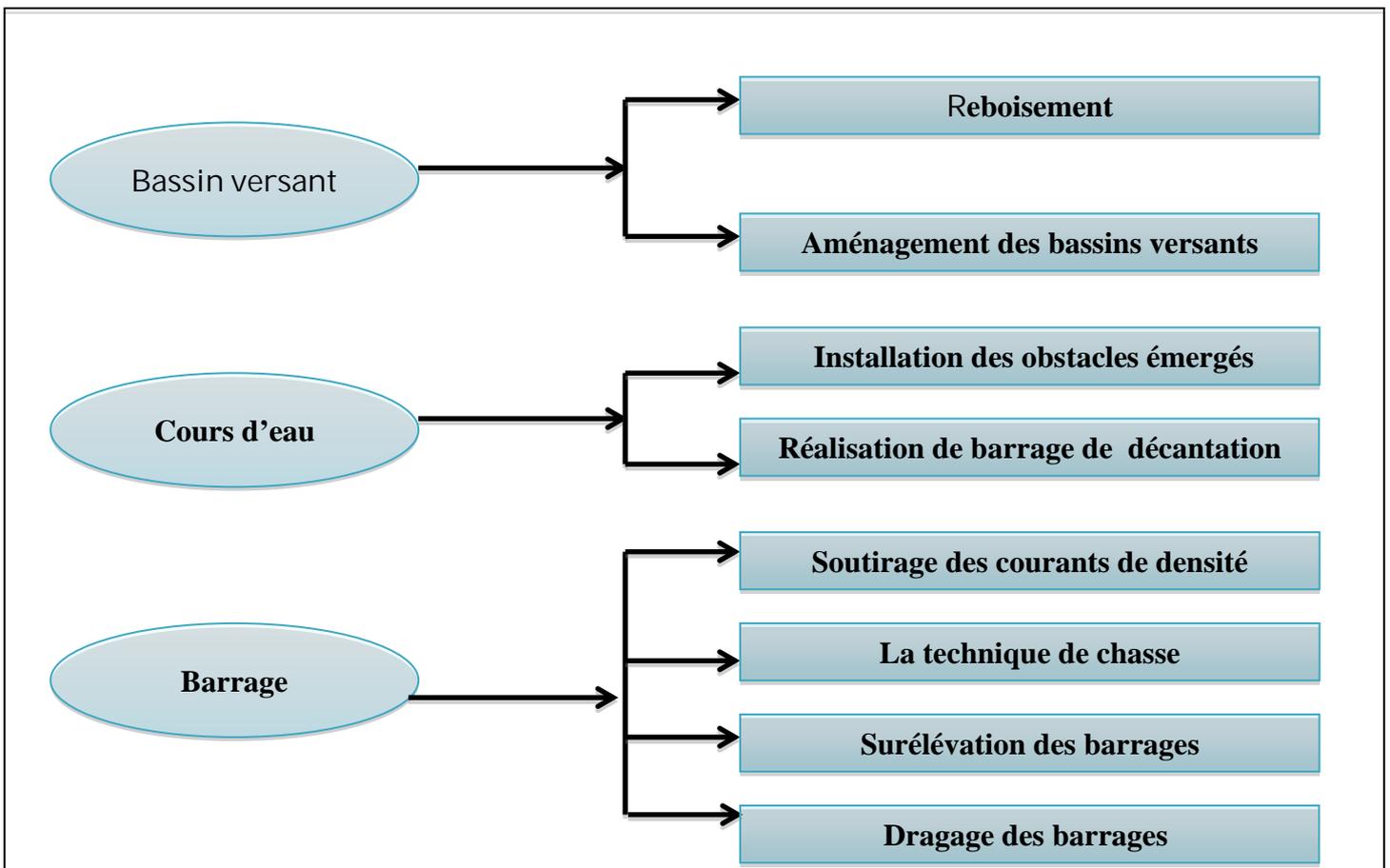


Figure III.1 : l'organigramme de techniques de lutte contre l'envasement.

III.1. Le reboisement

Le reboisement des bassins versants afin de limiter le risque d'envasement des ouvrages de retenue.

Pour lutter contre l'envasement au mieux, l'effet de la végétation a pour but de piéger et retenir les sédiments à l'amont des cours d'eau peut aussi servir de façon efficace à empêcher les matériaux solides d'atteindre une retenue. L'installation de tels écrans. Qu'ils soient artificiels ou naturels, à l'entrée d'une retenue, diffuse l'écoulement entrant, réduit sa vitesse et encourage la sédimentation. Ainsi, on peut capter une grande quantité de matériaux solides bien avant d'atteindre la retenue [5].

Ces barrières végétales naturelles à aussi un rôle primordial, situer dans la zone érodée et particulièrement sur les berges du cours d'eau elle permet notamment de maintenir les berges considérablement contre l'érosion grâce à l'enracinement des arbres et arbustes.

L'Algérie utilise cette technique dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares d'ici l'an 2010. Soit un rythme de réalisation de 67000 ha/ans. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA

Hormis tous les impacts positifs ont distingue deux points négatives majeur :

- L'accroissement de la végétation entraîne l'inconvénient d'une forte consommation d'eau.
- Les modifications hydrauliques liées à la présence d'embâcles, caractérisées par des variations locales des vitesses, du sens d'écoulement, des hauteurs d'eau et de la composition granulométrique, créent une grande variabilité physique du milieu et qui peut rajouté un grand risque d'inondation.



Figure III.2: Embâcles dans le pont des ifs à Montsûrs en France.

III.2. Aménagement des bassins versants

La création de structures anti-érosion et l'aménagement des cours d'eau dans le bassin versant.

Il est possible de construire plusieurs types de structures dans le bassin on cite par exemple :

- des bassins de rétention conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement créé par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques.
- Parmi les mesures d'aménagement des sols destinées à éviter l'érosion du bassin versant, on peut citer l'amélioration des sols, l'introduction de meilleures méthodes agricoles, l'utilisation du terrain par bandes de niveau, la culture en terrasses, et l'assolement.
- le revêtement des berges pour réduire leur érosion la méthode classique se fait par la mise en place de gabions tout le long des berges.



Figure III.3: Protection d'un cours d'eau par du gabion compartimenté (UPGE).

III.3. Installation des obstacles émergés et Réalisation de barrage de décantation

1. Obstacles émergés :

En Algérie la période sèche s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre généralement celle-ci peut être favorable pour mettre au point une technique pratique et simple au niveau du cours d'eau principal débouchant dans la retenue qui consiste à réaliser un système d'obstacles émergés en gabions par exemple pour piéger des sédiments fins en amont de la retenue. Durant la saison humide, l'apport solide dans les oueds est considérable ce qui peut favoriser

les dépôts des sédiments dans l'oued causés par l'emplacement de ces obstacles, et qui peuvent être déblayés lors de la saison sèche à l'aide de simples moyens mécaniques.

Cette méthode consiste à minimiser l'arrivée des sédiments fins dans la retenue, tout en favorisant leur dépôt dans le cours d'eau principal. Cette technique peut être réalisée par les blocs existants déjà dans le cours d'eau lui-même

Ensuite ces vases peuvent être récupérées pour d'éventuelles utilisations industrielles et artisanales (briques, poterie...) et comme amendement pour les sols pauvres en matières organiques.

2. Barrages de décantation :

La construction du barrage de décantation, pour empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage principal on met en place un autre barrage en amont de celui-ci qui permet d'augmenter et de préserver l'efficacité de remplissage de la retenue.

En Algérie le barrage de Boughezoul a été conçu essentiellement comme bassin de décantation des sédiments du bassin versant du Cheliff, et les empêcher d'atteindre le réservoir du barrage Ghrib. Cette solution a permis un taux de réduction de 24% de l'envasement du Ghrib.

III.4. Soutirage des courants de densité

Les cours d'eau sont chargés en sédiments surtout en période de crues en plus de la forme géométrique de la cuvette donnent naissance aux courants de densité à l'entrée de la retenue et peuvent se propager jusqu'au barrage [6].

L'ouverture des vannes de fond au moment favorable peut évacuer une forte quantité de sédiment, mais si une opération de soutirage n'est pas effectuée au bon moment pour n'importe quelles raisons alors on perd une capacité de retenue égale au volume qu'on aurait dû évacuer, avec par ailleurs des répercussions ultérieures (la vase, en se déposant près de l'ouvrage, évolue dans le temps et les vannes finiront par se bloquer).

Il est important donc de ne pas négliger aucune occasion de soutirer la vase chaque fois que cela est possible.

En Algérie cela a eu des répercussions comme c'est le cas de la vanne de fond du barrage de Oued El Fadda, obturée en 1948 et celui de la vanne de fond du barrage des Zaderas, bloquée durant les années quatre-vingt, ou celui de la vanne de fond du barrage de Foug El Gherza, obturée en 1982. Ces dernières années, les gestionnaires de certains barrages comme SMBA, Beni Haroun et Zaderas de la wilaya de Skikda pratiquent le soutirage des courants de densité en ouvrant les pertuis de vidange au moment de la crue qui signifie la présence du courant de densité



Figure III.4: Suspension soutirée par les pertuis de vidange du barrage de Beni Haroun émanant d'un courant de densité (Photo. ANBT 2014).

III.5. La technique de chasse des sédiments par les vidanges de fond

Dans chaque retenue menacée par le problème de la sédimentation, il est primordial lors de la conception du barrage d'envisager une évacuation des matériaux solides par des vidanges de fond. Il faut également prendre en compte les méthodes d'exploitation de la retenue.

Parmi toutes les méthodes employées pour évacuer des matériaux, les vidanges de fond peuvent être utilisées pour évacuer une crue, pour vidanger une retenue dans des cas d'urgence où une vidange très rapide est nécessaire [7].

Elles peuvent également servir à chasser des sédiments, en abaissant le niveau d'eau afin de chasser des dépôts de limon, de sable et de graviers, qui sont donc érodés par la force tractrice de l'écoulement, et bien sûr c'est de là que sont évacués des courants de densité.

En Algérie une méthode de Chasse dites à l'Espagnole est aussi utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance tel que les barrages Hamiz, Beni Amrane, K'sob dans la wilaya de M'sila.

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

III.6. Surélévation des barrages

La surélévation d'un barrage permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée et prolonger la vie du barrage.

Dans ce contexte, la surélévation des barrages existants est une solution intéressante, lorsqu'elle est techniquement réalisable c'est-à-dire lorsque la stabilité du barrage n'est pas mise en jeu, mais aussi L'évacuateur de crues doit faire passer la crue de projet sans mettre en danger le barrage et sans provoquer des conditions à l'aval qui serait plus dangereuses que celles existant avant la construction du barrage.

L'Algérie est parmi les premiers pays du monde a pratiqué la technique de la surélévation des barrages, depuis 1846 date de la réalisation du premier grand barrage SIG, huit barrages ont fait l'objet d'une surélévation dans la période de 1846 à 2006 qui sont représenté dans le tableau ci dessous :

Tableau II.1 : Les huit Barrages surélevés en Algérie de 1858 à 2001[6].

| Barrage | Année de mise en eau | Capacité initiale (million de m ³) | Années de surélévation | Capacité de la réserve créée par la surélévation (millions de m ³) |
|----------------|----------------------|--|------------------------|--|
| Sig | 1846 | 1 | 1858 | 1 |
| Hamiz | 1879 | 14 | 1936 | 16 |
| Ksob | 1939 | 11,6 | 1977 | 18 |
| Zardezaz | 1945 | 14,9 | 1977 | 16 |
| Boughezoul | 1935 | 55,8 | 1960 | 10 |
| Foum El Gueiss | 1939 | 2,5 | 1969 | 05 |
| Bakhada | 1936 | 36 | 1958 | 20 |
| Beni amran | 1988 | 15,6 | 2001 | 11 |

Cette réserve supplémentaire créée par la surélévation a augmenté la durée de vie de ces ouvrages, mais l'évolution de l'envasement dans le temps croit beaucoup plus rapidement qu'à l'état initial (sans surélévation) comme le montre tableau ci dessous :

Tableau II.2 : Vitesses de sédimentation moyennes des barrages surélevés [1].

| Barrages | Vitesse de sédimentation (10 ⁶ m ³ / ans) | |
|-----------|---|--------------------|
| | Avant surélévation | Après surélévation |
| Zardezar | 0,30 | 0,70 |
| K'sob | 0,25 | 0,26 |
| Boughzoul | 0,34 | 0,50 |
| Bakhada | 0,05 | 0,15 |

Parmi les dernier barrage surélever en Algérie l'exemple du barrage du Ghrib avec L'emplacement de 20 hausses fusibles de type labyrinthe avec 2 clapets automatiques centrales de hauteurs respectives de 4,50 m et 4,00 m, a permis a ce dernière de gagner une

tranche de sa capacité initiale qui était à la base de 280 Hm³, puis elle a atteint les 115,3 Hm³ en 2004 pour passer finalement à un volume de 185,32 Hm³ après la surélévation.



Figure III.5 : Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles [Remini.B, 2017].

III.7. Dragage des barrages

Les barragistes veillent à ce que la boue reste à son point de départ, c'est-à-dire au niveau du bassin versant. Mais dans le cas où la boue arrive et se dépose au fond du barrage, la situation devient plus délicate.

Le curage du lac devient une opération obligatoire pour prolonger la durée de vie de l'ouvrage. C'est une opération difficile qui nécessite beaucoup de préparation. Le projet sera entamé par le choix du lieu de rejet de la boue, du volume seuil d'eau dans la retenue pour entamer le dragage, des zones de fort taux d'envasement et la profondeur du toit de vase. Si toutes ces conditions sont satisfaites, le dragage du barrage peut être entamé.

Aujourd'hui, une opération de dragage peut extraire entre 4 à 6 millions de m³ de boue par année. L'histoire du dragage des barrages Algériens remonte en 1958. C'était la première opération de dragage opérée sur le barrage de Cheurfas pour évacuer 10 millions de m³ de 1958 à 1961. [6]

III.8. Les techniques de dragages

Il existe deux différentes techniques de dragages principales qui se résume par :

1) Dragage hydraulique :

Les dragues hydrauliques sont généralement équipées d'une élinde, sorte d'aspirateur situé au bout d'un long tube, qui remonte les sédiments qui seront stockés à bord ensuite l'évacuation du produit dragué jusqu'à la zone de rejet.



Figure III.6 : Navire spécial drague suceuse a désagrégateur.

2) Dragage mécanique :

Il nécessite soit une drague à godets, benne preneuse ou du matériels de terrassement (tel que le bulls, pelles hydraulique, chargeurs hydraulique).

Le dragage hydraulique est généralement le plus utilisé car il est généralement moins coûteux que le dragage mécanique pour de grandes quantités de sable.



Figure III.7 : La drague à pelle rétro-caveuse à benne preneuse.

IV. Conclusion

Diverses méthodes ont été développées pour lutter contre l'érosion comme la création de banquettes sur les versants les plus menacés, petits ouvrages de correction torrentielle en gabions dans les thalwegs et les ravines pour réduire les vitesses d'écoulement des eaux de ruissellement, le reboisement des zones non cultivées et sensibles à l'érosion; Il s'agit là de méthodes nécessaires mais coûteuses et dont les effets sont à long terme. Néanmoins, des efforts énormes ont été consentis dans ces actions et particulièrement le reboisement.

A signaler les nombreuses études qui sont faites pour améliorer l'efficacité des moyens de lutte contre l'érosion, par exemple la détermination précise des zones les plus sensibles à traiter en priorité dans les bassins versants.

Pour mieux lutter contre l'envasement, la priorité doit être accordée selon le degré d'envasement. Pour les barrages à faible taux d'envasement, le suivi périodique du toit de vase par les levés bathymétriques est indispensable. Pour les barrages à moyen taux d'envasement, la priorité sera donnée au traitement de leurs bassins versants. Cependant, pour les barrages à fort taux de comblement, des moyens curatifs (dragage et surélévation) sont devenus aujourd'hui le seul moyen pour prolonger leur durée de vie. Quant aux barrages en projets, le traitement et l'aménagement de leurs bassins versants doivent se faire en parallèle avec la construction du barrage. En plus, il faut réaliser le premier levé bathymétrique une année ou deux années après la mise en eau du barrage pour définir son degré d'envasement et prendre les précautions nécessaires dans les meilleurs délais.

I. Situation des barrages :

I.1. Introduction

Dans ce troisième chapitre, on parlera de la situation actuelle de l'envasement des barrages Algérien en se basant sur la collecte et le dépouillement des données de levés bathymétriques effectués par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT).

I.2. Barrages étudiés :

Les barrages étudiés au nombre de 74 dont 70 sont situés dans le nord d'Algérie et 4 autres sont localisés à l'entrée du Sahara (fig. 1). Cinq bassins hydrographiques se dégagent de la carte d'Algérie. Il s'agit de Chéllif-Zahrez, Oranie -Chott Chergui, Algérois et le Constantinois-Seybouse dans la partie nord. Le bassin hydrographique Sahara occupe tout le réseau hydrographique du sud d'Algérie. Sur les 74 barrages en service, 11 sont situés dans le bassin hydrographique Oranie, 15 dans le bassin hydrographique de Chéllif Zahrez, 21 dans le bassin hydrographique de l'Algérois par contre le bassin hydrographique du Sahara détient uniquement 4 barrages. [8]

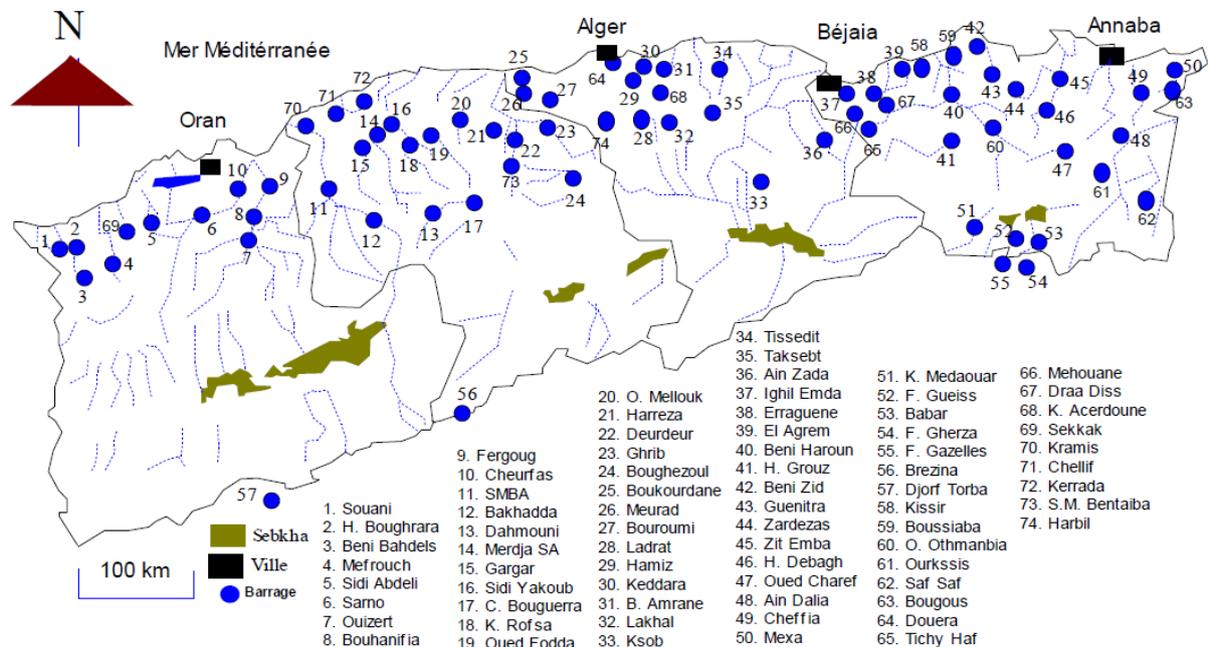


Figure I.1 : Localisation des barrages étudiés [Remini.B ,2017]

I.3. Données utilisées dans l'étude :

Notre étude a été basée sur les données des levées bathymétriques effectuées par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts sur l'ensemble des barrages.

I.4. Critères du classement des barrages vis-à-vis de l'envasement :

I.4.1. Vitesse de comblement

Le taux d'envasement d'un barrage qui s'exprime en millions de m³ de vase par année est un paramètre qui ne reflète pas la réalité. Le mieux est d'utiliser la vitesse de comblement ou le taux de comblement annuel qui s'exprime en % de capacité par année (%/an). Il est égal à :

$$\eta = (W_v/W_0) / T$$

Avec

W_v : Volume de vase (millions de m³)

W_0 : Volume initial du barrage (millions de m³)

T : Durée d'exploitation du barrage (an)

Le paramètre η doit être évalué pour chaque barrage et à chaque levé bathymétrique. Il permet aux services d'hydraulique de classer chaque barrage selon le degré de la menace de l'envasement. Le suivi de l'évolution de l'envasement dans un barrage doit s'effectuer par les levées bathymétriques. Il est intéressant de calculer le taux de comblement annuel d'un nouveau barrage après deux années d'exploitation. Donc nous pouvons avoir une idée sur la classe du barrage juste au début de son exploitation. Pour une bonne gestion de la lutte contre l'envasement des barrages, nous avons établis un classement des barrages par ordre de gravité à l'envasement, défini sur la base du taux de comblement annuel (%/an). A cet effet, trois types de barrages se dégagent. Le tableau 1 donne les valeurs du taux de comblement annuel pour chaque catégorie. Le taux de comblement annuel est égal à $(W_v/W_0) / T$ qui s'exprime en %/année. Il faut noter que le taux de comblement annuel exprime mieux l'envasement d'un barrage que le taux d'envasement. [8]

Tableau III.1 : Classe des barrages vis-à-vis de l'envasement

| Classe | Type de barrage | Taux de comblement annuel η (%/an) |
|--------|-------------------------------------|---|
| 1 | Fortement menacé par l'envasement | $\eta > 1$ |
| 2 | Moyennement menacé par l'envasement | $1 > \eta > 0.5$ |
| 3 | Faiblement menacé pas l'envasement | $\eta < 0.5$ |

I.4.2. Comblement d'un barrage

Durant son exploitation, le barrage reçoit des sédiments à chaque crue. A n'importe quelle année, on peut évaluer le comblement du barrage. Il suffit de mesurer les dépôts par des levées bathymétriques. Le taux de comblement défini par (W_v / W_0) peut donner une idée sur la durée de vie du barrage. Le tableau 2 donne la classification d'un barrage vis-à-vis de l'envasement.

Tableau III.2 : Comblement d'un barrage

| Classification des barrages vis-à-vis de l'envasement | Taux de comblement |
|---|---------------------------|
| Barrages fortement envasé | $W_v / W_0 > 20\%$ |
| Barrages moyennement envasé | $10\% < W_v / W_0 < 20\%$ |
| Barrages faiblement envasé | $W_v / W_0 < 10\%$ |

I.5. Evolution dans le temps des dépôts vaseux dans les barrages algériens

En construisant les barrages sur des cours d'eau naturels, l'homme modifie le transit des particules solides et les contraint à se déposer au fond des lacs créés par ces obstacles, réduisant ainsi progressivement leur capacité. Tous les barrages à travers le monde sont plus au moins exposés au phénomène de l'envasement mais avec des vitesses de sédimentation qui diffèrent d'une région à une autre. Malheureusement, l'envasement des barrages en Algérie enregistre les valeurs les plus élevées dans le monde. Dans cette étude nous avons examiné l'évolution de la capacité d'eau des barrages réservoirs depuis la réalisation du premier barrage. [8]

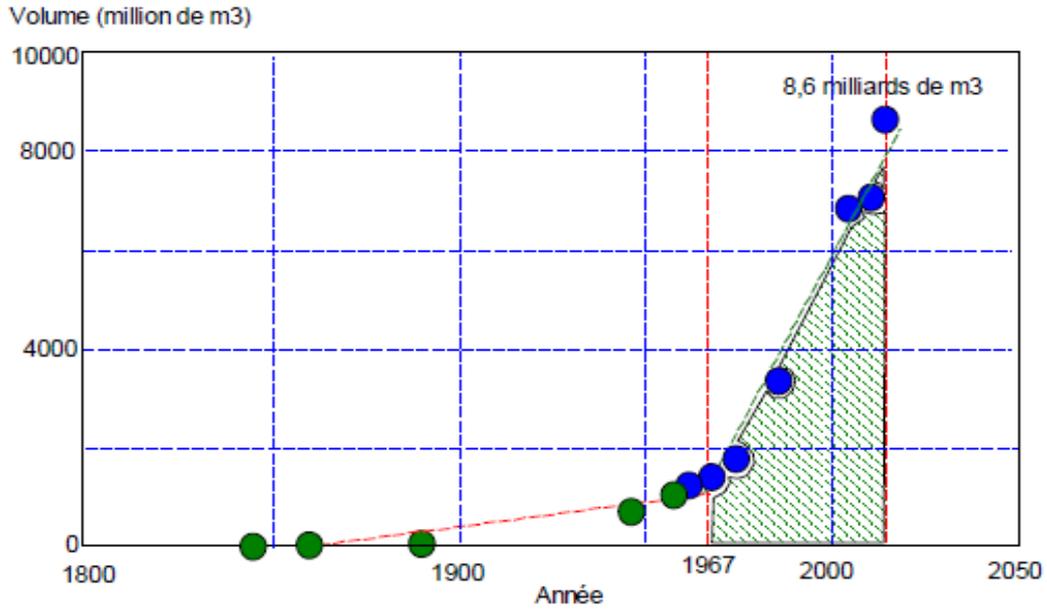


Figure I.2: Evolution historique de la quantité d'eau stockée dans les barrages

Il est intéressant de constater que le volume d'eau stockée croît depuis 1846, date de la mise en eau du premier barrage d'une capacité de 0,73 millions de m^3 qui est le barrage de Sig jusqu'à l'année 2014 où la capacité de 74 barrages a atteint 8650 millions de m^3 . On constate aussi qu'à partir des années soixante, une montée spectaculaire de la capacité d'eau suite à la réalisation de plus en plus de barrages de grande capacité et l'entretien des anciens barrages.

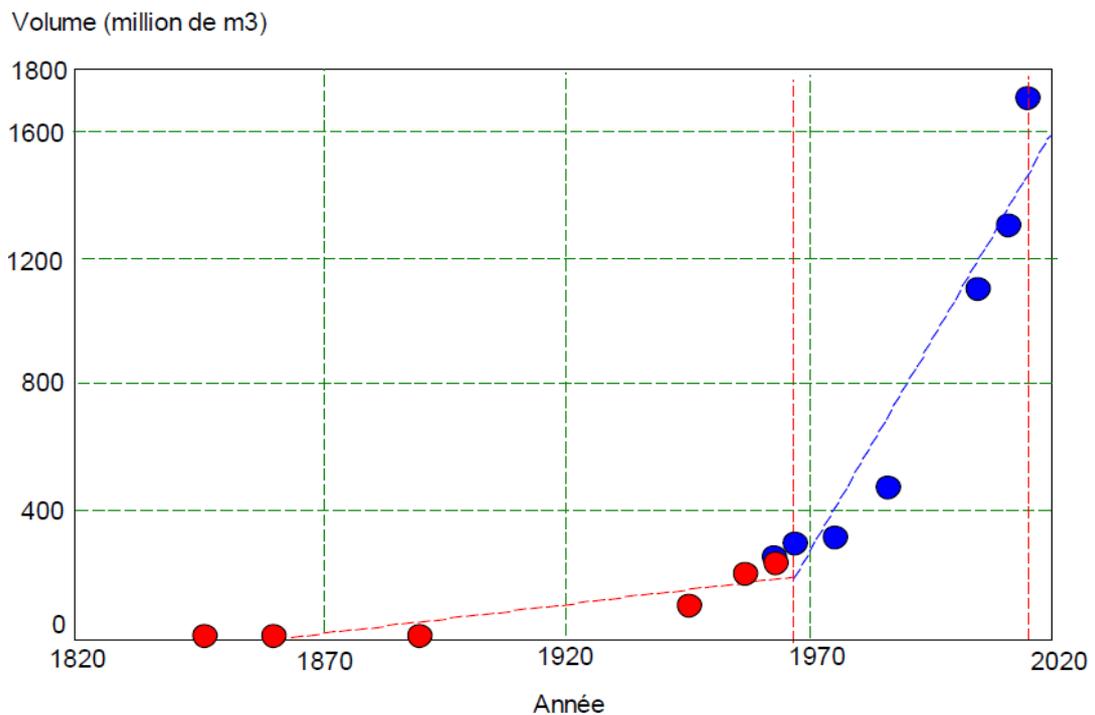


Figure I.3: Evolution de l'envasement des barrages en Algérie

La croissance du volume d'eau est accompagnée d'une évolution des dépôts de la boue dans les barrages qui suit la même allure que le volume d'eau. Depuis la « naissance » du barrage de Sig, l'envasement n'a cessé d'augmenter pour atteindre la valeur de 1700 millions de m^3 en 2014 comme le montre la figure ci-dessus. [8]

I.6. Classement des barrages suivant le degré d'envasement

Tableau III.3 : Barrages fortement envasés [8]

| N° | Barrages | Année de la mise en eau | Capacité initiale (million de m^3) | Taux de comblement annuel (%/an) | Taux de comblement en 2014 (%) | Année du comblement total du barrage |
|----|----------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | SMBA | 1978 | 235 | 1,7 | 51 | 2040 |
| 2 | Oued Fodda | 1932 | 228 | 1 | 63 | 2060 |
| 3 | Ghrib | 1939 | 350 | 1,15 | 57 | 2045 |
| 4 | Boughezoul | 1934 | 55 | 1,6 | 80 | 2025 |
| 5 | Bouhanifia | 1948 | 73 | 1 | 56 | 2055 |
| 6 | Fergoug | 1970 | 18 | 1,22 | 94 | comblé |
| 7 | Hamiz | 1935 | 21 | 1,55 | 48 | 2045 |
| 8 | Meurad | 1860 | 1,2 | 0,6 | 72 | 2090 |
| 9 | Ksob | 1977 | 29,5 | 1 | 69 | 2045 |
| 10 | Ighil Emda | 1953 | 155 | 1 | 40 | 2070 |
| 11 | Zardezas | 1977 | 31 | 4,5 | 58 | 2020 |
| 12 | Foum El Gueiss | 1939 | 3 | 1,65 | 90 | comblé |
| 13 | Foum El Gherza | 1950 | 47 | 1,2 | 76 | 2034 |
| 14 | Djorf Torba | 1969 | 350 | 0,9 | 35 | 2050 |
| 15 | Bakhada | 1963 | 56 | 0,72 | 34 | 2060 |
| 16 | Beni Amrane | 1988 | 16 | 6 | 68 | 2019 |
| 17 | Mexa | 1998 | 47 | 4,6 | 74 | 2019 |
| 18 | Brezina | 2000 | 122 | 2,9 | 40 | 2034 |
| 19 | Gargar | 1988 | 450 | 1,3 | 33 | 2065 |
| 20 | Cheurfas 2 | 1992 | 82 | 1,35 | 28 | 2067 |
| 21 | Kissir | 2009 | 76 | 21 | 4,2 | 2029 |
| 22 | Boussiab | 2010 | 120 | 10 | 2,3 | 2053 |

| | | | | | | |
|----|---------------|------|-----|------|-----|------|
| 23 | Kouidat Rofsa | 2004 | 75 | 12 | 1,2 | 2087 |
| 24 | Oued Mellouk | 2003 | 127 | 23 | 2 | 2050 |
| 25 | Bougous | 2010 | 66 | 9 | 2,3 | 2054 |
| 26 | Oued Athmania | 2006 | 36 | 6 | 1 | |
| 27 | Sekkak | 2004 | 27 | 11 | 1,1 | |
| 28 | El Agrem | 2002 | 34 | 18,5 | 1,3 | |

Tableau III.4 : Barrages moyennement envasés

| N° | Barrages | Année de la mise en eau | Capacité initiale (Million de m^3) | Taux de comblement annuel (%/an) | Taux de comblement(%) (2014) |
|----|------------------|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | Babar | 1995 | 41 | 0,8 | 11 |
| 2 | Hammam Grouz | 1987 | 45 | 0,65 | 18 |
| 3 | Erraguene | 1963 | 200 | 0,4 | 20 |
| 4 | Souani | 1990 | 13 | 0,75 | 18,5 |
| 5 | Merdja Sidi Abed | 1984 | 54,9 | 0,65 | 20 |
| 6 | Ladrat | 1989 | 10 | 0,75 | 22,5 |
| 7 | Lakhel | 1985 | 30 | 0,5 | 14,5 |
| 8 | Ain Dalia | 1987 | 82 | 0,43 | 11,5 |
| 9 | Sidi Yakoub | 1985 | 280 | 0,53 | 15 |
| 10 | Harbil | 1988 | 1 | 1 | 25 |
| 11 | Beni Bahdels | 1952 | 63 | 0,25 | 16 |
| 12 | Colonel Bouguera | 1989 | 13 | 0,85 | 13 |

I.7. Conclusion

D'après la présente étude, les dépôts vaseux de 74 barrages avoisinent 1,7 milliards de m^3 , soit un taux de comblement de 20% de la capacité totale des barrages. 28 barrages sont vulnérables à l'envasement, ils peuvent être comblés à court terme. Douze barrages d'une capacité de 830 millions m^3 de sont moyennement envasés. 34 barrages d'une capacité totale de 5 milliards de m^3 sont à l'abri de l'envasement à long terme.

II. Situation des ports

II.1. Introduction :

Le littoral en Algérie a été particulièrement convoité. L'ouverture sur la méditerranée en a fait un lieu d'échanges commerciaux et culturels, son climat et sa position géographique ont favorisé l'implantation des établissements humains et des activités.

Il s'étend de Marsat Ben M'Hidi à l'Ouest au Kala à l'Est sur 1622 km (figure). Il se présente comme une succession de baies et de golfes plus au moins ouverts séparés par des régions très escarpées.

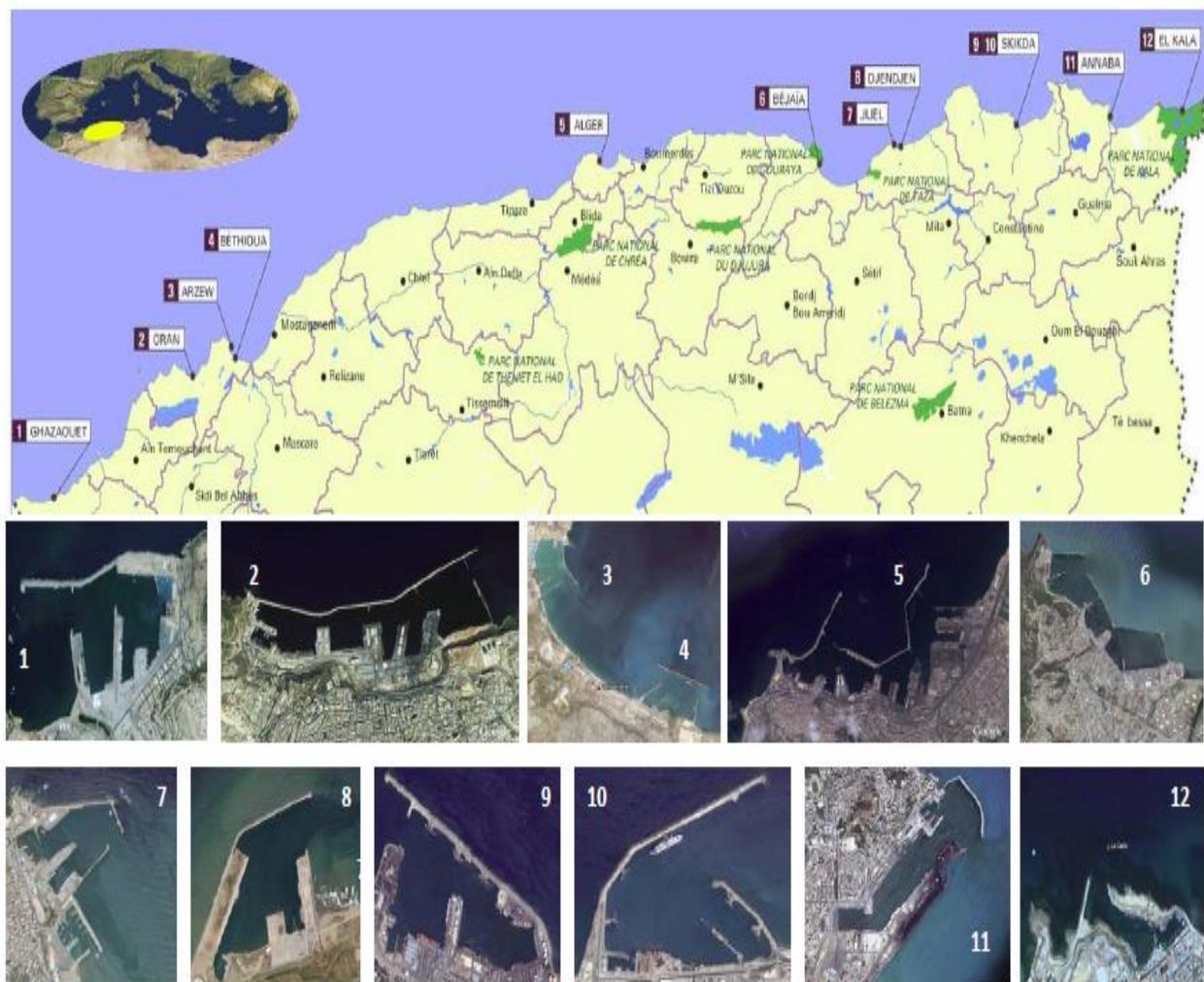


Figure II.1: Localisation des ports en Algérie (Port de Ghazaouet (1), port d'Oran (2), ancien port d'Arzew (3), et nouveau port d'Arzew (port pétrolier de Bethioua) (4), Port d'Alger (5) port de Béjaïa (6), port de Jijel (7) port de Djendjen (8), ancien port de Skikda (9), et nouveau port de Skikda (port pétrolier) (10), port d'Annaba (11), port d'El Kala (12)).

II.2. Les problèmes que les ports rencontrent en Algérie

Certes, la construction de plusieurs ports a eu un effet bénéfique sur le plan économique, mais elle est exposée aux différents problèmes comme par exemple :

1. L'ensablement des chenaux d'accès.
2. L'évacuation des rejets urbains et industriels directement en mer.
3. Une forte concentration de population sur le littoral.

II.3. Envasement des ports en Algérie

Tableau III.5 : Envasement dans quelques ports algériens

| Nom de la région | Envasement du port |
|------------------|--|
| Tlemcen | En 2018, une valeur estimée à 182 000 m ³ a été extraite du port de Marsat Ben M'hidi [9] |
| Annaba | L'envasement de ce port dépasse 2m par endroits [10]. |
| Oran | la construction du port a causé l'immersion de plusieurs cours d'eau qui continuent à charrier des particules solides qui causant l'envasement de certain quais. Pour maintenir les profondeurs nécessaires aux trafics, il est fait appel aux techniques de dragage [11]. |
| Mostaganem | La wilaya de Mostaganem comprend 3 zones portuaires destinées au commerce, aux voyageurs, à la pêche et de plaisance. Ces ports sont soumis aux courants et subissent souvent un envasement régulier de 50 cm minimum par an [12]. |
| Boumerdès | 30.000 m ³ de vase sur une surface (en mer) de pas moins de 7 hectares [13]. |

II.4. Conclusion

Le taux d'envasement d'un port dépend d'une part de la turbidité des eaux environnantes, et d'autre part, de l'hydrodynamique locale associée à la configuration des ouvrages maritimes (digues, jetées, quais, seuils). En effet, d'une façon générale, l'implantation des ouvrages de protection des ports crée des conditions d'eau calme qui favorisent la sédimentation des matières en suspension et l'envasement des bassins.

I. Introduction

L'eau constitue à la fois un élément essentiel et un facteur stratégique à l'aménagement du territoire ; sa disponibilité conditionne de manière déterminante la répartition des populations, de l'urbanisation et des activités économiques.

Que ce soit la diminution de la capacité de stockage d'eau pour les barrages ou un déficit important en capacités d'accueil de chalutiers et d'un manque d'espaces réservés aux pêcheurs dans les ports, le problème d'envasement est loin d'être résolu.

Dans ce quatrième chapitre, on parlera de l'aspect économique liée à l'envasement des barrages et ports en Algérie.

II. Aspect économique de dévasement des barrages et ports

II.1. Dragage des barrages

II.1.1. Le dragage des barrages en Algérie

La technique du dragage reste une technique onéreuse qui revient environ à celui de la réalisation d'un nouveau barrage, elle doit satisfaire des conditions de faisabilités très précises de géologie et de morphologie du réservoir, c'est pour cette raison qu'on fait recours au dragage que lorsqu'il représente la meilleure solution du point de vu technico-économique.

Dans certains pays, cette opération s'impose, surtout lorsqu'il existe peu de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages, comme en Algérie par exemple. Lorsque la stabilité de l'ouvrage est menacée, ou tout simplement lorsque le barrage présente un intérêt économique, le dévasement devient obligatoire.

L'usage de la technique de dragage dans un barrage est préconisé après que l'opération de chasse des sédiments n'est pas possible, alors que le barrage est irremplaçable et de grande utilité et qu'il ne supporte pas une charge supplémentaire qui peut être gagné par la mise en place d'une surélévation.

Pour pouvoir faire une opération de dragage La taille de la retenue doit être convenable avec l'approximation de la zone de décharge des vases soustraites, la taille de la granulométrie de la vase, qui doit être composée essentiellement des silts et argiles, et donc d'élément de diamètre très petit inférieur a 1mm, avec une tolérance a la présence de sables fins de diamètre inférieure à 5mm.

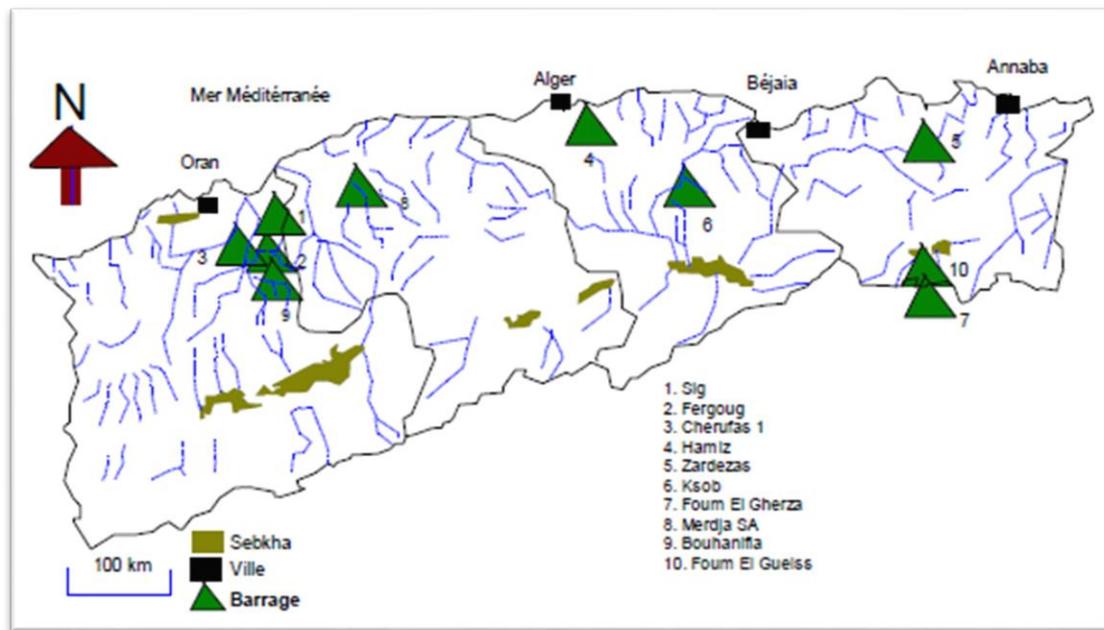


Figure II.1.1 : Localisation des barrages Algériens dévasés par le dragage.
(Remini 2019)

II.1.2. Le dévasement des opérations côtières

L'opération de dragage est excessivement longue et coûteuse. Le Plan de Constantine (1960) souligne que pour le dévasement de l'Oued Fodda et du barrage de Cheurfas (dragage) il fallait une dépense de près de 25 millions de nouveaux francs.

Plusieurs barrages ont fait l'objet d'un dévasement par dragage. La première drague refouleuse utilisée en Algérie a servi entre 1958 et 1969 dans les barrages de Cheurfas (10 hm^3 de vase), Fergoug (3,1 hm^3) et Hamiz (1,2 hm^3). La deuxième drague, un peu plus performante, a été utilisée entre 1989 et 1992 dans le Fergoug (encore) (7 hm^3), puis en 1993 et 2003 dans le barrage du Zardezas (8 hm^3) qui se faisait à raison de 1,5 hm^3 /an. Cette opération a touché d'autres ouvrages, comme indiqué dans le tableau ci-après [13].

Tableau IV.1 : l'opération de dragage de certains barrages :

| Barrages | Périodes | Volumes récupéré | Moyenne annuelle |
|----------|-----------|------------------|------------------|
| Cheurfas | 1958-1961 | 10 hm^3 | 3,33 hm^3 |
| Fergoug | 1965-1966 | 3 hm^3 | 1,5 hm^3 |
| Hamiz | 1967-1968 | 1,2 hm^3 | 2,8 hm^3 |
| Fergoug | 1989-1992 | 7 hm^3 | 1,75 hm^3 |

| | | | |
|----------------|-----------|--------------------|----------------------|
| Zardezas | 1993-1996 | 8 hm ³ | 2,2 hm ³ |
| Zardezas | 2003-2004 | 3 hm ³ | 1,53 hm ³ |
| Foum El Gherza | 2004-2006 | 12 hm ³ | 4 hm ³ |

Il a fallu 20 milliards de centimes pour extraire 8 hm³ pour le barrage du Zardezas et 84 milliards de centimes pour évacuer 6 hm³ de vase du barrage de Fergoug pour la 3^e fois en mars 2005 sur les 6 millions de vase à enlever, seule une quantité de 2 millions de m³ de vase ont pu être curés du barrage et un incident a arrêté cette opération une crue exceptionnelle cause des dégâts considérables aux équipements de curage. En 2008, la crue de Bouhanifia fait chavirer la dragueuse hypothéquant l'irrigation du périmètre de Habra. Pour cette année 2020 les autorités responsables prévoient le rehaussement de la cuve d'évacuation et le curage de plus de 3 millions de m³ et l'ouverture de pistes pour un montant global de 8.086.321. 548,50DA.

Récemment, pour le barrage de Foum El Gherza, dans les Zibans, l'opération nécessite 15 milliards de centimes pour 1 hm³ et la construction de quatre bassins de réception en aval de l'ouvrage pour recueillir l'eau, la décanter et la refouler vers le bassin. Selon le directeur du barrage, la première phase a été achevée en 12 au lieu de 18 mois et a permis l'extraction de 4 hm³. Devant cette réussite, le ministère a autorisé une deuxième phase qui permettrait de dévaser 8 autres hm³. Cette réussite a été rendue possible grâce à l'utilisation des dragues de dernière génération qui permettent l'extraction d'un volume de vase pour seulement 2 volumes d'eau alors que les anciennes nécessitaient beaucoup d'eau (5 à 6 m³ d'eau étaient nécessaires pour dégager 1 m³ de vase).



Figure II.1.2 : Opération de dragage du barrage des Zardezas.

Techniquement, on déverse la boue diluée, non pas en aval mais en amont du barrage, dans des bassins de décantation. Une fois l'eau débarrassée des sédiments qu'elle a contribué à charrier, retournera au barrage. Celui-ci restera, par conséquent, toujours fonctionnel même durant l'opération de dragage. Ce qui a incité les pouvoirs publics à soulager certains barrages de leur vase entre 2004 et 2008. Il s'agit du K'sob, Merdja sidi Abed et encore une fois Fergoug.

Ce qui n'était pas le cas pour le barrage de Beni Amrane qui a nécessité environ 10 hm^3 d'eau pour extraire 4 hm^3 de vase et l'immobilisation et l'inutilisation du barrage durant l'opération ce qui a constitué un handicap majeur. Quant aux résultats ils diffèrent d'une retenue à l'autre et sont parfois en deçà des résultats escomptés.

Autre problème, et non des moindres, est celui relative aux aires de stockage de la vase qui font défaut. En effet, pas moins d'un hectare est nécessaire pour seulement 100.000 m^3 de vase.

Tous ces inconvénients, notamment financiers et techniques, font que l'opération n'est pas systématique même si le problème a atteint des proportions inquiétantes pour certains ouvrages. C'est le cas du petit barrage de Foug El Gueiss (Khenchela), qui connaît une opération de dragage, en raison du fort envasement et pour lequel une enveloppe de 170 millions de dinars a été dégagée pour extraire un petit volume de vase.



Figure II.1.3 : Une drague dans la boue du barrage de Foug El Ghera

II.2. Dragage des ports

II.2.1. Présentation

Les ports de commerce algériens sont pris dans un paradoxe important de leur développement économique.

D'un côté, la logique d'extraversion des flux héritée de la période coloniale et renforcée par la suite a rendu l'économie algérienne fortement dépendante envers le transport maritime (environ 95% du commerce international algérien).

De l'autre, le retard dans la modernisation des infrastructures portuaires accentue leur inadéquation croissante aux normes mondialisées de la logistique moderne. Le passage de l'économie étatisée à l'économie libérale, au début des années 1990, n'a fait qu'aggraver la tendance, les ports étant incapables d'absorber efficacement les flux commerciaux (faible productivité, délais d'attente très longs des navires, saturation des terminaux, accessibilité nautique limitée, etc.), allant jusqu'à ralentir l'insertion même du pays dans l'économie mondiale. Des mesures récentes prises par les autorités algériennes visent à réhabiliter les ports nationaux afin qu'ils puissent, d'une part, assurer leur rôle d'infrastructures de transport et d'outils d'aménagement du territoire, et de l'autre, réduire la dépendance envers les autres ports maghrébins et méditerranéens en attirant plus d'escales directes.

Dans les pays développés, la plus faible performance portuaire des régions spécialisées dans le secteur industriel révèle leur difficulté à s'adapter à la mondialisation.

D'autres travaux ont montré l'influence de l'efficacité portuaire sur la croissance économique des États or l'Algérie tarde à s'adapter et pourtant la quasi-totalité de son commerce extérieur se fait par voie maritime.

L'Algérie dispose d'une façade de maritime de 1200 km jalonnée de 11 ports de commerce avec trois ports pétroliers (Arzew, Skikda et Bejaïa), trois principaux ports polyfonctionnels (Alger, Oran et Annaba), deux moyens (Djen Djen de Jijel et Mostaganem) et enfin, trois petits ports (Ghazaouet, Dellys et Ténès).

II.2.2. Définition du dragage portuaire

Une drague est un navire de services utilisé près des ports, dans les rivières ou en mer, soit pour lutter contre l'ensablement et l'envasement et maintenir la profondeur disponible pour les autres navires en extrayant les matériaux du fond, soit pour extraire des matériaux (sable, gravier...) pour les activités de travaux publics, la reconstitution de plage, le confortement des dunes. Différents types de drague sont utilisés selon les conditions rencontrées.

Les produits du dragage sont le plus souvent soit stockés à terre sur des terrains aménagés soit rejetés en mer (clapage), généralement à l'intérieur de périmètres définis. Les sédiments, lorsqu'ils sont extraits de zones concentrant des activités industrielles ou portuaires, peuvent être fortement pollués notamment par les métaux lourds.

À titre d'exemple le dragage du port commercial d'Annaba en groupement avec DEME (Belgique) les travaux de dragage à l'intérieur du port et du chenal d'accès et rejet des produits par immersion pour une quantité de 1 200 000 m³. Avec un taux de participation de 12 %. La participation de la SARL CELAR ALGERIE consiste au relevage des obstacles et la logistique.



Figure II.2.1 : La drague Reynaert, un navire spécialisé dans le curage des ports dans le port commercial de Annaba.

II.2.3. L'importance du dragage des ports

Dans la quasi-totalité des ports du monde, l'ensablement et l'envasement constituant une menace permanente. Leurs structures se voient en effet le plus souvent dans des zones où la profondeur est relativement faible du fait du dépôt permanent de sédiments dans le lit des fleuves et de l'utilisation de la taille des navires, donc de leur tirant d'eau, le dragage représente un enjeu économique essentiel pour nos ports maritimes.

Le tableau ci-dessous, représente quelques ports dragués en Algérie avec leur montant.

Tableau IV.2 : L'opération de dragage de certains ports.

| Nom du port (Région) | Quantité ou profondeur | Le montant de dragage en DA |
|------------------------------------|--|--------------------------------|
| Marsat Ben M'hidi (Tlemcen) [9] | La valeur extraite est estimée à 182 000 m ³ | 500M |

| | | |
|----------------------------|---|------|
| Dellys (Boumerdès) [14] | 30.000 m ³ de vase sur une surface (en mer) de pas moins de 7 hectares | 100M |
| Ténès (Chlef) [15] | De 6,5 m à 9 m | 624M |

II.2.4. Approfondissement ou agrandissement portuaire

La croissance des échanges commerciaux et leur concentration dans quelques ports nécessitent un agrandissement constant de ces ports pour permettre d'accueillir des volumes de marchandises. Par ailleurs, la recherche d'économies d'échelle se traduit par l'augmentation de la taille moyenne des navires, ce qui nécessite en retour l'approfondissement et l'élargissement des chenaux d'accès.

Pour le Port de Sidi Fredj des travaux de dragage de la passe et du chenal d'entrée du port de plaisance, afin d'augmenter sa profondeur pour permettre la circulation des bateaux de plaisances.



Figure II.2.2 : dragage du port de Sidi Fredj par l'entreprise Algérienne (CELAR).

Dans le cadre des projets de réhabilitation de trois ports, des actions sont menées pour l'augmentation des capacités de mouillage à travers la mise en place de berges, une technique moderne permettant de multiplier par 3 ou 4 le nombre de places. Le coût des travaux de réalisation des trois ports en cours de réalisation s'élève à 17,5 milliards DA. La répartition du coût de ces travaux se trouve dans le tableau ci-après. [16]

Tableau IV.3: Réhabilitation de trois ports.

| Nom du port (région) | Le montant de l'opération |
|----------------------------|---|
| Oued Zhou (Skikda) | Réhabilitation du port pour un montant de 5 milliards DA (réalisé par la société croate de bâtiment INGRA) |
| Sidna Youchaa (Tlemcen) | Réhabilitation pour une enveloppe de 9 milliards DA (réalisé par Cosider) |
| Beni K'sila (Bejaïa) | Réhabilitation pour un montant de 3,5 milliards DA (réalisé par l'Entreprise nationale des travaux maritimes Meditram et la Société nationale des travaux maritimes de l'Est Sotramest) |

II.2.5. Opérations d'entretien

Les installations portuaires sont fréquemment situées dans des estuaires de rivière ou parfois très en amont de celle-ci. La marée et l'écoulement des eaux fluviales charrie des sédiments qui se déposent à des rythmes variables. Des dragues doivent effectuer un travail permanent pour maintenir la profondeur des chenaux et bassins. Les ports ouverts à la mer sont généralement moins touchés par le phénomène d'envasement mais nécessitent tout de même des opérations de dragage réguliers.

Dragage du port de BOUZEDJAR (Ain Temouchent) en 2015 les travaux consistent en un dragage d'entretien du chenal d'accès du port pour une quantité de 30 000 m³ avec rejet terrestre qui a été réalisé par l'Entreprise de gestion des ports de pêche (EGPP).



Figure II.2.3 : Dragage du port de pêche de Bouzedjar.

III. Les pertes économiques des ports en Algérie

III.1. Le rôle d'un port du point de vue économique

Un port est un établissement destiné à la réception des navires en vue d'assurer la continuité des transports entre les voies maritimes et terrestres ou fluviales, à cette fonction de jonction entre deux modes de transport, se greffent deux aspects du rôle des ports maritimes :

➤ **Rôle industriel :**

Le port peut comporter des installations destinées à traiter ou transformer les matières premières importées ou exportées par la voie maritime, ce rôle industriel qui a déjà connu un grand développement au cours des dernières années, qui pose aux ports le problème de la constitution d'une vaste réserve foncière pour permettre l'implantation des usines.

➤ **Rôle de marché :**

Le rôle de transbordement d'un moyen de transport terrestre ou fluvial à un navire de mer peut s'accompagner d'opérations commerciales faisant du port un lieu de marché, cette fonction nécessite de puissants moyens de stockage et de conditionnement de la marchandise.

III.2. L'influence de l'envasement sur l'économie des ports

Les activités sur la zone littorale sont nombreuses et parmi elles, la navigation est la plus importante. Les navires commerciaux, de pêche et de plaisance permettent de faire la jonction entre le continent et la mer. Les infrastructures portuaires occupent, à cet effet un rôle économique incontournable. Leur construction, souvent établie dans des zones peu profondes, nécessitent des approfondissements et des dragages périodiques pour leur entretien afin de faciliter les manœuvres des navires. Quelques exemples des ports algériens :

III.2.1. Le port de Bouharoun (Tipaza)

Le port de Bouharoun joue un rôle important sur le plan stratégique de la wilaya de Tipaza et pour les régions avoisinantes. Il est une source de vie des pêcheurs complétant dans certains cas par d'autres activités comme l'agriculture et le commerce [17].

Tableau IV.4. Bilan annuel de la production halieutique de 1996 à 2006 dans le port.

| L'année | 1996 | 1997 | 1998 | 1990 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|------------------------|-------|------|------|--------|------|------|---------|--------|---------|---------|---------|
| La production (Tonnes) | 644,5 | 292 | - | 7234,5 | 7564 | 8231 | 9771,85 | 5027,5 | 3636,16 | 4724,42 | 6144,57 |

La production halieutique a connu une augmentation nette de 644,5 tonnes en 1996 à 6144,57 tonnes en 2006. Entre 2002 et 2004, on constate une diminution du nombre de la flottille de

pêche dans le port de Bouharoun à cause du problème de diminution de la profondeur du plan d'eau des 2 bassins (difficultés de circulation et de déplacement) dont beaucoup de pêcheurs ont été obligés de quitter le port.

III.2.2. Le port de Khemisti (Tipaza)

En effet le port a connu des problèmes d'ensablement. Ce qui a rendu l'accès au port très difficile surtout pour les grands bateaux (absence de chalutiers) [17].

Tableau IV.5. Bilan annuel de la production halieutique de 1996 à 2006 dans le port.

| L'année | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|------------------------|------|------|------|--------|---------|------|--------|--------|------|--------|---------|
| La production (Tonnes) | 405 | 274 | - | 1563,5 | 1399,25 | 1626 | 2743,2 | 1431,7 | 845 | 237,27 | 2521,12 |

Il y'a une augmentation de la production halieutique de 1996 à 2002, avec un maximum de 2743,2 tonnes, puis une diminution jusqu'à l'année 2005 avec un minimum de 237,27 tonnes.

Les problèmes qui sont apparus dans le port de Khemisti sont :

- Diminution de la profondeur de plan d'eau de bassin (ensablement). L'accès au port est devenu difficile et périlleux par mauvais temps, la passe étant mal orientée.
- Pollution des deux bassins notamment durant l'été (odeurs désagréables).

III. Conclusion

Les questions du développement hydraulique doivent maintenant être abordées de front, dans toutes leurs dimensions, économiques et techniques.

Le problème fondamental qu'il faut prendre en charge dès maintenant pour les barrages algérien réside dans la protection, l'entretien et le management de l'eau pour l'économiser et mieux la distribuer.

Comme nous avons pu le constater, les opérations de dragage pour les ports algériens sont absolument indispensables pour le bon maintien de nos ouvrages, n'est-ce pas là, la solution aux maux de ce secteur stratégique, sans lequel aucun développement économique n'est envisageable ni possible.

I. Introduction

L'analyse dimensionnelle est une méthode pratique permettant de vérifier l'homogénéité d'une formule physique à travers ses équations aux dimensions, c'est-à-dire la décomposition des grandeurs physiques qu'elle met en jeu en un produit de grandeurs de base : longueur, durée, masse, intensité électrique, etc.

L'analyse dimensionnelle repose sur le fait qu'on ne peut comparer ou ajouter que des grandeurs ayant la même dimension ; on peut ajouter une longueur à une autre, mais on ne peut pas dire qu'elle est supérieure, ou inférieure, à une masse. Intuitivement, il est clair qu'une loi physique ne saurait changer, hormis dans la valeur numérique de ses constantes, au simple motif qu'on l'exprime dans d'autres unités.

II. Histoire de l'analyse dimensionnelle

Le concept de dimension est aussi ancien que les mathématiques grecques, mais l'utilisation de dimension comme outil analytique est relativement moderne. Les mathématiques grecques, c'est-à-dire la géométrie, sont basées sur la longueur et l'angle sans dimension.

Les Grecs ne considéraient pas les implications de la dimension puisque toutes leurs manipulations mathématiques ne concernaient que les longueurs et les angles.

Quand nos premiers ancêtres ont appris à compter, ils ont sûrement commencé peu de temps après avoir réalisé qu'ils avaient des doigts et des orteils. Avec ces doigts et ces orteils, les règles de la manipulation des nombres purs sont apparues. Ainsi, au début de l'histoire, nos ancêtres savaient comment gérer des nombres purs; ils connaissaient les règles de l'arithmétique.

Avec le développement de l'algèbre, les mathématiques supérieures se sont libérées de la géométrie. En algèbre, les nombres peuvent représenter des quantités physiques, qui ont des dimensions. Attacher des informations dimensionnelles aux nombres annule les règles de l'arithmétique, sauf si nous observons certaines restrictions.

Le premier à discuter du concept de dimension fut Johannes de Mures (1290-1355), un philosophe français, astronome, mathématicien et théoricien de la musique. Il a écrit sur les produits et les quotients possédant différentes dimensions. Cependant, son travail sur les produits et les quotients n'ont pas durablement marqué le développement de la science.

Descartes (1596-1650) est peut-être le premier philosophe naturel et mathématicien pour se rendre compte qu'il existe des dimensions dérivées, telles que la force. Selon Descartes, « a force à laquelle je me réfère toujours à deux dimensions, et ce n'est pas la force qui résiste (un poids) qui a une dimension ». Cependant, Descartes n'a pas été gêné par des opérations matérielles qui ont produit des résultats dimensionnellement impossibles. Pour Descartes, l'exactitude dimensionnelle n'a pas déterminé l'exactitude d'un résultat donné.

Sir Isaac Newton (1643-1727) a reconnu le concept de dérivé dimensions: « J'appelle toute quantité un génitum qui n'est pas fait par addition ou soustraction de pièces diverses, mais est généré ou produit en arithmétique par multiplication, division ou extraction de la racine de tout terme quelconque... » Gottfried Leibniz (1646-1716) a également reconnu le concept de dimensions dérivées, sans doute au grand dam de Sir Isaac: «... l'action ... est le produit de la masse multipliée par l'espace et la vitesse »

Le XVIII^e siècle a connu de grandes avancées dans l'analyse des phénomènes physiques; cependant, peu d'attention a été accordée aux dimensions.

Leonhard Euler (1707-1783) était le seul philosophe naturel et mathématicien de faire des commentaires sur les dimensions au cours de ce siècle mémorable. En fait, Euler a démontré une préoccupation au sujet de la signification des relations physiques. En 1736, Euler publie *Mechanica* dans lequel il a montré que la dimension de n dans l'équation

$$A * dv = np * dx$$

Dépendait des dimensions (A (masse) et p (force)). Cette observation d'Euler indique qu'il comprend la nécessité d'une homogénéité unitaire, c'est-à-dire que les unités restantes d'un signe égal doivent être les mêmes que celles unités à droite du même signe égal. Euler a ensuite discuté de la dimension dans son *Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum* publié en 1755. Dans ce livre, Euler a consacré un chapitre aux questions des unités et l'homogénéité. Malheureusement, ses écrits sur la dimension ont fait peu d'impression sur la communauté des mathématiciens et des philosophes de l'époque.

La discussion sur les dimensions a eu lieu après la théorie d'Euler jusqu'en 1822, lorsque Joseph Fourier publia la troisième édition de sa théorie analytique de la chaleur. Fourier ne fait aucune mention de dimension dans sa première édition de son livre, publié en 1807, ou la deuxième édition, publiée en 1811. Cependant, dans l'édition de 1822, Fourier indique spécifiquement que tout système d'unités peut être utilisé pour étudier un processus physique,

tant que le système d'unités choisi est cohérent. Il a aussi déclaré que les équations mathématiques utilisées pour décrire les processus physiques doit faire preuve d'homogénéité: les unités de chaque côté d'un signe égal doivent être les mêmes. Fourier a utilisé le concept d'homogénéité pour vérifier ses manipulations mathématiques. Il déclare clairement dans l'édition de 1822 qu'un philosophe naturel devrait utiliser l'homogénéité de l'unité comme contrôle de son analyse mathématique d'un processus physique. Si les unités ne sont pas les mêmes de part et d'autre du signe égal final, alors le philosophe naturel a mal manipulé une équation mathématique se produisant plus tôt dans l'étude - ainsi, la « naissance » de l'analyse dimensionnelle.

Alors que Fourier a peut-être publié les bases de l'analyse dimensionnelle et présenté le besoin d'homogénéité des unités lors de l'enquête sur un processus physique, peu, voire aucun, ont poursuivi ses idées. En fait, la confusion sur les dimensions et les unités a persisté au cours des deux quarts moyens du XIXe siècle. C'est le développement de la technologie électrique et de la télégraphie, en général, et du câble télégraphique transatlantique, en particulier, qui a forcé une discussion et un examen des dimensions et des unités dans les années 1860.

En 1861, l'Association britannique pour l'avancement des sciences (BAAS) a constitué un comité chargé d'examiner les différents systèmes d'unités de l'électricité et le magnétisme en usage à l'époque. Le comité était également chargé de codifier un système standard d'unités, notamment électrique des mesures. Cette initiative de BAAS a été le premier effort ingénieurs et scientifiques pour développer une compréhension des unités et établir un système standardisé d'unités.

William Thomson (plus tard Lord Kelvin) et James Clerk Maxwell a siégé au comité et a grandement influencé son programme.

Maxwell a fourni le plus grand aperçu de l'effort, mais il a également créé la plus grande confusion, confusion qui continue à ce jour. Maxwell a réalisé que les concepts physiques sont quantifiés par les dimensions, par exemple, par longueur, masse et heure. Divers ensembles de dimensions pourraient être regroupées et appelées dimensions fondamentales, à partir desquelles des dimensions telles que la force, l'énergie et la puissance peuvent être dérivées. Maxwell a suggéré d'identifier les dimensions fondamentales par des crochets; ainsi, les dimensions fondamentales Longueur, Masse et Temps seraient identifiés comme [LMT]. Il n'a pas précisé ce qu'il entendait par sa parenthèse notation; d'où une confusion à leur égard et existe à leur sujet aujourd'hui. En réalité, nous devons les considérer comme identifiant des

procédures à utiliser pour décrire un concept physique. Une fois que nous avons identifié les dimensions fondamentales pour décrire un concept physique, alors nous pouvons développer un ensemble de normes pour quantifier les dimensions choisies: ces normes forment un système d'unités. Beaucoup d'ingénieurs et scientifiques ont déployé des efforts considérables au cours du dernier quart du XIXe siècle pour élaborer les normes pour divers systèmes d'unités.

En 1877, Lord Rayleigh a publié sa théorie du son. Son indice contient une entrée intitulée « Méthode des dimensions ». Lord Rayleigh fait bon usage de l'analyse dimensionnelle au cours de sa longue et fructueuse carrière scientifique; cependant, il n'a jamais présenté de dérivation de sa méthode. Il a simplement déclaré que sa méthode pouvait être utilisée comme outil de recherche lors de l'enquête sur les processus physiques. Lord Rayleigh a assimilé la puissance ou indices des dimensions qui décrivent un processus physique. Sa méthode fonctionne bien pour les processus mécaniques simples où le nombre d'indices exponentiels inconnus est égal au nombre d'équations. Pour les processus impliquant un transfert de chaleur ou de masse, plus d'inconnues que d'équations; par conséquent, l'utilisateur de la méthode de Lord Rayleigh doit attribuer une valeur à chacun de ces inconnues, puis prouver que les inconnues supposées donnent un ensemble indépendant de résultats. En d'autres termes, cette méthode devient lourde et le temps consommer lorsqu'elle est appliquée à des processus physiques et chimiques complexes.

Alors que les ingénieurs et les scientifiques en Grande-Bretagne ont utilisé l'analyse dimensionnelle sans validation mathématique, leurs collègues du continent étudiait le concept de dimension à un niveau plus philosophique. En 1892, A. Vaschy, ingénieur électricien français, publie une version de ce qui est devenu connu comme le théorème Pi de Buckingham. Dans le premier chapitre de sa Théorie de l'électricité, publié en 1896, Vaschy discute des dimensions, des systèmes d'unités et des mesures. Il présente le théorème Pi de Buckingham en notation moderne dans chapitre un. Malheureusement, la communauté scientifique s'est désintéressée de l'analyse dimensionnelle après la publication de Vaschy car aucune référence à l'analyse dimensionnelle ne se produit jusqu'en 1911.

En 1911, D. Riabouchinsky a publié un article qui a redécouvert les résultats de Vaschy. Riabouchinsky a fait cette découverte en analysant les données qu'il avait générées à l'Institut aérodynamique de Kutchino. Il fournit une base mathématique pour l'analyse dimensionnelle et il a déclaré, tout comme Vaschy, le théorème Pi de Buckingham. Riabouchinsky

apparemment a redécouvert le fondement de l'analyse dimensionnelle indépendante de Vaschy.

En 1914, Richard Tolman et Edgar Buckingham ont chacun publié un article concernant l'analyse dimensionnelle dans la revue physique.

Tolman a utilisé l'analyse dimensionnelle pour étudier la théorie récemment publiée par Debye de la chaleur spécifique. Buckingham a étudié le fondement même de l'analyse dimensionnelle. Dans son document, il a déclaré, et prouvé, ce qui est devenu connu comme le théorème Pi de Buckingham, qui constitue le fondement de l'analyse dimensionnelle. Il peut être déclaré comme :

“S’il existe une relation unique $f(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n) = 0$ parmi n physiques quantités qui impliquent k dimensions physiques, il existe également une relation $\Phi(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n) = 0$ parmi $(n - k)$ produits sans dimension [compris] des A “.

La preuve de Buckingham de ce théorème était originale et indépendante des preuves de Vaschy et Riabouchinsky. Tous placés l’analyse dimensionnelle sur une base mathématique.

En 1922, Percy Bridgman publie un petit livre intitulé Dimensional Analysis. Bridgman a présenté un aperçu des Analyse dimensionnelle à ce jour et a fourni une preuve confirmant la méthode d'indices de Rayleigh. Discussion sporadique sur la dimension, les systèmes d'unités, et l'analyse dimensionnelle a eu lieu au cours des années 1930 et les années 40. En 1951, Henry Langhaar a publié Dimensional Analysis and Theory of Models dans lesquels il a formulé l'analyse dimensionnelle un format matriciel. Langhaar a prouvé le concept d'homogénéité dimensionnelle dans ce livre.

Avant l'arrivée de l'informatique numérique, l'utilisation des matrices pour l’analyse dimensionnelle n’était pas beaucoup plus facile que d’utiliser la méthode des indices Rayleigh des indices. Cependant, avec la puissance toujours croissante des ordinateurs et avec la disponibilité de logiciels toujours plus facile d’utilisation, la popularité de la formulation matricielle de l’analyse dimensionnelle s’est développée, comme en témoigne la publication de Thomas Szirtes dans Applied Dimensional Analysis and Modeling et celle de Marko Zlokarnik dans Scale-up in Chemical Engineering. L'ancien livre présente l’Algèbre matricielle requise par l'analyse dimensionnelle et s'applique principalement du format matriciel aux exemples d'ingénierie mécanique et structurale. Ce dernier livre a moins de théorie mathématique; son accent est apparent dans son titre. [18]

III. Théorèmes et applications de l'analyse dimensionnelle

III.1. Méthode de Rayleigh

Lord Rayleigh a proposé une variante plus simple d'emploi. Supposons qu'on souhaite exprimer une variable x en fonction de n paramètres y_i . On écrit que dimensionnellement on a

$$[x]=[y_1]^a[y_2]^b \dots [y_n]^s$$

Où a, b, \dots, s sont des coefficients à déterminer de telle sorte que le produit des unités des soit y_i cohérent avec l'unité de x [19].

Exemple : Un exemple commun est le calcul de la période des oscillations d'un pendule de longueur ℓ et de masse m dans un champ de gravité g (voir la figure1). On pose :

$$T = \ell^a m^b g^c,$$

Soit en termes de dimensions :

$$[T]=[l]^a[m]^b [g]^c \rightarrow s = m^a kg^b \left(\frac{m}{s^2}\right)^c$$

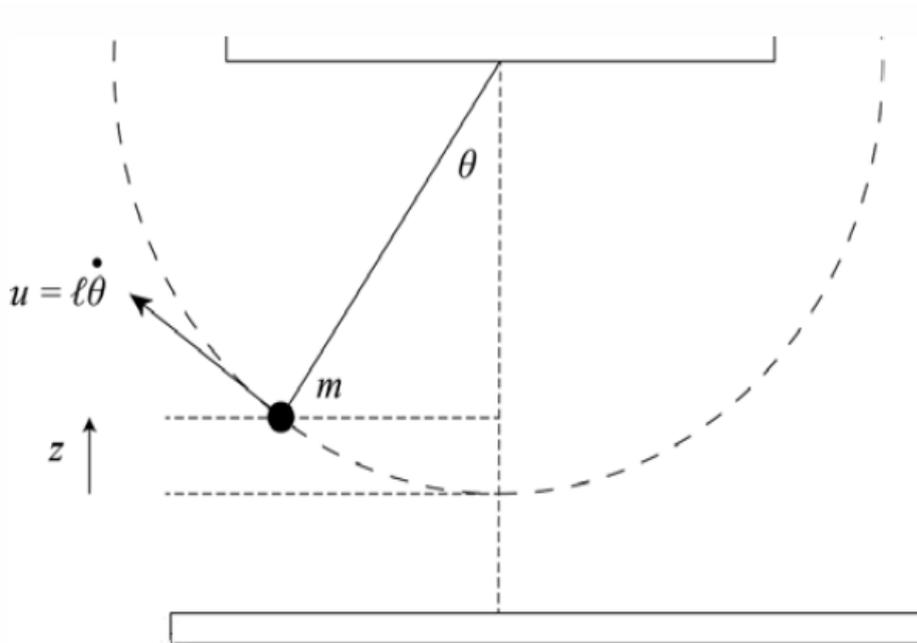


Figure III.1.1: Pendule en oscillation.

On déduit pour chaque unité fondamentale :

- Masse (kg) : $0=b$
- Longueur (m) : $0= a + c$

- Temps (s) : $1 = -2c$

Soit $c = -1/2$, $a = 1/2$ et $b = 0$. Donc : $T = \sqrt{l/g}$

Si l'on résout l'équation du mouvement pour un pendule, on trouve $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, ce qui est cohérent avec le résultat trouvé ci-dessus. En effet, l'équation du mouvement s'obtient à partir de la conservation de l'énergie

$$\frac{1}{2} mu^2 + mgz = \text{cste},$$

Avec $u = l\dot{\theta}$, et $z = l(1 - \cos \theta)$, $\dot{\theta} = d\theta/dt$. En différenciant par rapport au temps et simplifiant par m et $\dot{\theta}$, on trouve :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -g/l \sin \theta.$$

L'adimensionnalisation de l'équation du mouvement permet de passer d'une équation dimensionnelle

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -g/l \sin \theta \quad \text{à une équation sans dimension}$$

physique et donc invariante :

$$\frac{d^2\theta}{dw^2} = -\Pi \sin \theta \quad \text{avec} \quad \theta(0) = \theta_0, \dot{\theta}(0) = 0, \text{ et } \Pi = \frac{gT^2}{l}$$

Et où l'on a introduit le temps adimensionnel : $w = t/T$. Le paramètre Π est une constante qui ne peut dépendre ici que de θ_0 . Posons $\Pi = f^2(\theta_0)$, ce qui montre que

$$T = \sqrt{\frac{l}{g}} f(\theta_0).$$

Dans la limite $\theta \ll 1$, on peut trouver une solution approchée en posant $\sin \theta \sim \theta$, soit

$$\frac{d^2\theta}{dw^2} = -\Pi \theta \quad \text{avec} \quad \theta(0) = \theta_0, \dot{\theta}(0) = 0$$

Soit encore :

$$\theta = \theta_0 \cos(\sqrt{\Pi} * w) = \theta_0 \cos(\sqrt{\Pi} * \frac{t}{T}) = \theta_0 \cos(f(\theta_0) \frac{t}{T}),$$

or par définition de la période $\theta = \theta_0 \cos(2\pi t/T)$, on trouve que :

$$f(\theta_0) = 2\pi \quad \text{Quand} \quad \theta \rightarrow 0, \text{ et } T_0 = \lim_{\theta_0 \rightarrow 0} T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

L'expression analytique exacte de la période d'oscillation est trouvée être

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2}{\pi} K\left(\sin\frac{\theta_0}{2}\right) \text{ avec } T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Avec K une fonction spéciale dite *intégrale elliptique complète de première espèce*. On retrouve que lorsque $\theta_0 \rightarrow 0$, alors la période T tend vers T_0 (voir la figure 2).

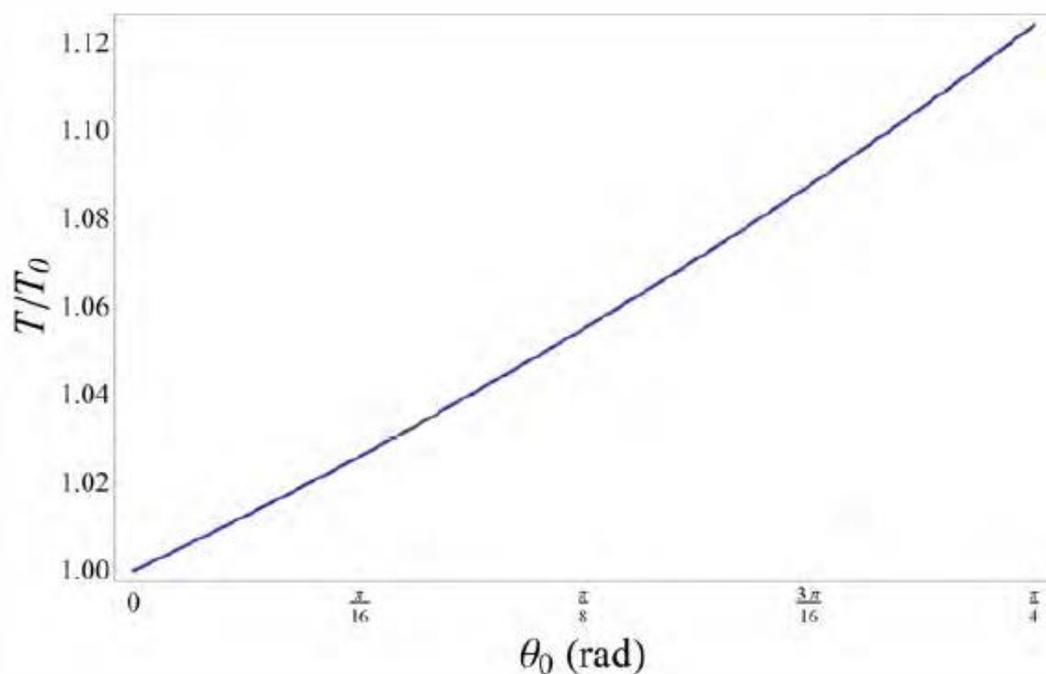


Figure III.1.2 : Période d'oscillation d'un pendule en fonction de l'angle initial. [19]

III.2. Théorème de Vaschy-Buckingham

Le théorème de Vaschy-Buckingham est fondamental dans la théorie de la similitude. Il permet de dire combien de nombres sans dimension indépendants peuvent être construits dans un problème physique qui implique n variables. Son énoncé est un peu technique et sa mise en œuvre laisse croire qu'il s'agit d'une procédure mathématique qu'il suffit d'appliquer méthodiquement. En fait, son utilisation à l'aveuglette peut conduire à de graves erreurs et il faut de la pratique pour éviter les nombreux pièges. Son application est relativement aisée quand on a déjà une idée du résultat, c'est-à-dire de la nature des nombres adimensionnels qui peuvent jouer un rôle dans le problème étudié [19].

Exemple : Nous cherchons à calculer une variable a_1 dépendant de $n - 1$ autres variables indépendantes a_k . On doit résoudre un problème implicite

$$\Phi(a_1, a_2, \dots, a_n) = 0,$$

Ou bien explicite :
$$a_1 = \phi(a_2, a_3, \dots, a_n).$$

Ces variables sont définies dans un système de m mesures faisant appel à p unités fondamentales D_i (en général, $p = 3$ avec comme unités fondamentales : le mètre, la seconde, le kilogramme). Chaque variable a_j est dimensionnellement homogène à un produit de monômes des unités de base
$$[a_j] = D_1^{\alpha_j} D_2^{\beta_j} \dots D_p^{\gamma_j}$$

Par exemple, lorsque $p = 3$, on a en général une longueur $D_1 = L$, une masse $D_2 = M$ et un temps $D_3 = T$ comme unités de base $[a] = M^\alpha L^\beta T^\gamma$, ce qui donne pour les n variables :

$$[a_1] = M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\gamma_1},$$

$$[a_2] = M^{\alpha_2} L^{\beta_2} T^{\gamma_2},$$

.

$$[a_n] = M^{\alpha_n} L^{\beta_n} T^{\gamma_n},$$

Avec $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ des coefficients déterminés à l'avance en examinant la dimension des variables. Il est possible de former des nombres sans dimension en faisant des produits de monômes

$$\Pi_i = a_1^{k_1^i} a_2^{k_2^i} \dots a_n^{k_n^i}$$

La question qui se pose est : si ces nombres sans dimension existent, de combien en a-t-on besoin pour représenter la solution du problème ?

Énoncé

Le théorème de Vaschy-Buckingham ou théorème Π répond à cette question en affirmant que $k = n - r$ nombres sans dimension indépendants sont nécessaires, avec r le rang de la matrice dimensionnelle associée au problème. Au lieu d'étudier un problème de dimension n : $a_1 = \phi(a_2, a_3, \dots, a_{k-1})$, on peut se ramener à un problème de dimension $k < n$ exprimé en termes de nombres sans dimension :

$$\Pi_1 = \psi(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_k)$$

III.3. Application N° 1 du théorème II : puissance d'une explosion nucléaire

Il s'agit d'un exemple célèbre d'application de l'analyse dimensionnelle réalisée par Taylor en 1950. Après la seconde guerre mondiale, les autorités américaines ont levé le « Secret défense » concernant des séries de clichés d'une explosion atomique car elles les jugeaient inexploitable par des puissances étrangères. Pourtant, Taylor par un simple raisonnement dimensionnel parvint à calculer la puissance de l'explosion [19].



Figure III.3.1 : extrait des séries de photographies d'une explosion atomique par Mack.

D'après Taylor, l'effet premier d'une explosion atomique est l'onde de pression précédant la boule de feu (voir figure 3) et dont l'ordre de grandeur est de plusieurs centaines d'atmosphères. Trois paramètres gouvernent ce processus : la quantité d'énergie injectée

(La puissance) E [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$], la masse volumique de l'air ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], le rayon r de la boule [m], et le temps t depuis l'explosion [s].

On a 4 variables et 3 unités fondamentales. On peut donc former un nombre adimensionnel :

$$\Pi = \frac{r}{E^{1/5} t^{2/5} \rho^{-1/5}}$$

Pour une explosion donnée, ce nombre doit être constant, ce qui implique que : $r \propto E^{1/5} t^{2/5}$ au cours du temps. La connaissance expérimentale (voir figure 4) de la relation (r) permis à

Taylor de calculer l'énergie libérée par l'explosion atomique.

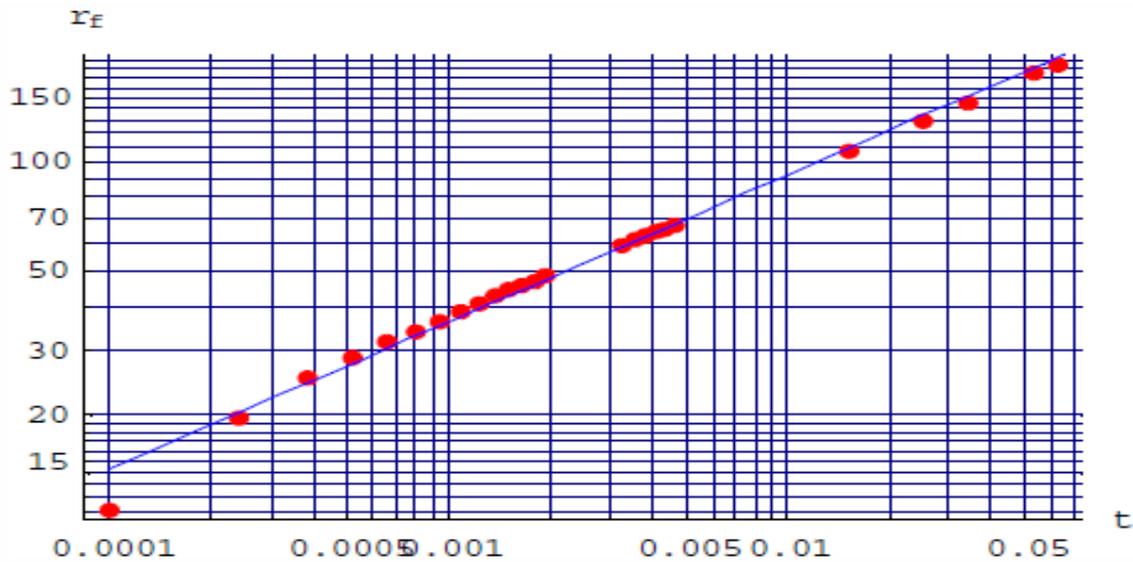


Figure III.3.2 : comparaison entre la loi de similitude de Taylor et le rayon r calculé à partir des séries de photographies d'une explosion atomique prises par Mack.

III.4. Les Procédures d'améliorations

Ces procédures sont une amélioration de la procédure commune et faire usage d'une réduction du nombre de quantités pour obtenir une relation fonctionnelle décrivant le processus étudié. Ces procédures sont réparties comme suit [20]:

- Procédure utilisant un nombre accru de dimensions,
- Procédure utilisant un nombre réduit de quantités dimensionnelles,
- Procédure utilisant la connexion de quantités sans dimension.

L'avantage des procédures améliorées est le nombre réduit de quantités dans la relation fonctionnelle à déterminer.

III.4.1. Procédure utilisant un nombre accru de dimensions

La procédure basée sur l'utilisation d'un nombre accru de dimensions appartient à des méthodes avec réduction du nombre de quantité dans une relation fonctionnelle alors qu'elle utilise le nombre accru de dimensions fondamentales et complémentaires. Cette méthode est avantageuse en raison du nombre réduit de paramètres inconnus dans la relation fonctionnelle recherchée.

L'idée de diviser les dimensions et d'obtenir un plus grand nombre des dimensions a été proposée par H.E. Huntley. Son idée des quantités vectorielles physiques consiste à pouvoir étendre la quantité de dimensions fondamentales et complémentaires. Il réduit le nombre de variables inconnues dans la résolution de la relation fonctionnelle. Unités différenciées de mesure de certaines valeurs physiques de base, en particulier la longueur et la masse, sont utilisées dans cette procédure. En même temps, cela est pris en charge par le fait que malgré la même expression dimensionnelle de deux ou plusieurs quantités, ces dernières ne peuvent pas être rendues identiques à un point de vue physique et surtout informationnel.

Par exemple, la dimension longitudinale L peut être considérée comme orienté dimensionnellement dans l'espace (un vecteur), déterminée par les composantes L_x , L_y , L_z dans l'espace généralement avec la signification d'un vecteur du point de vue du processus étudié. Pratiquement, cela peut être démontré avec l'exemple de mesure d'une plaque rectangulaire à l'aide d'une jauge d'un mètre. Pour mesurer trois dimensions de base, à savoir l'épaisseur, la largeur et la longueur, la jauge doit être placée dans trois directions mutuellement perpendiculaires. Dans le cas de la longueur, cette mesure peut être étendue, à savoir en attribuant l'orientation vers les composants individuels. Il fera qu'orienter les dimensions de la plaque considérée, c'est-à-dire par rapport à ses axes, etc. Ensuite, les valeurs positives et négatives des composants correspondants seront obtenues, grâce auxquels les nombres fondamentaux indépendants de quantités sont doublées et, par conséquent, le rang de la matrice dimensionnelle augmente. Dans le premier exemple mentionné, cela signifie augmenter les dimensions autant que par deux, car les dimensions L_x , L_y , L_z apparaissent à la place de L . Dans un autre exemple, le nombre des dimensions peuvent être multipliées par cinq. Le poids M peut se distinguer dans la quantité M_m et dans le sens de l'inertie M_i .

Dans ce tableau, on trouve les grandeurs thermomécaniques, y compris leurs dimensions fondamentales et étendues.

Tableau V.1 : Les dimensions de base et étendues des grandeurs thermomécaniques

| Symbole | Quantité | Unité | Dimension de base | Dimension étendue |
|---------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| a | diffusivité thermique | $m^2 \cdot s^{-1}$ | $L^2 T^{-1}$ | $L_x^2 T^{-1}$ |

| | | | | |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--|
| A, S | surface | m^2 | L^2 | $L_y L_z$ |
| c | Capacité thermique spécifique | $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ | $L^2 T^{-2} k^{-1}$ | $L_x^{2/3} L_y^{2/3} L_z^{2/3} M_m^{-1} M_i T^{-2} k^{-1}$ |
| C_t | capacité thermique | $J \cdot K^{-1}$ | $L^2 M T^{-2} k^{-1}$ | $L_x^{2/3} L_y^{2/3} L_z^{2/3} M_i T^{-2} k^{-1}$ |
| d | diamètre | m | L | $L_y^{1/2} L_x^{1/2}$ |
| F | force d'inertie | N | $L M T^{-2}$ | $L_x M_i T^{-2}$ |
| p | Pression du gaz | Pa | $L^{-1} M T^{-2}$ | $L_x^{-1/3} L_y^{-1/3} L_z^{-1/3} M_i T^{-2}$ |
| Q | chaleur | J | $L^2 M T^{-2}$ | $L_x^{2/3} L_y^{2/3} L_z^{2/3} M_i T^{-2}$ |
| V | volume | m^3 | L^3 | $L_x L_y L_z$ |
| w_x | vitesse | $m \cdot s^{-1}$ | $L T^{-1}$ | $L_x T^{-1}$ |
| α | Coefficient de transfert de chaleur | $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ | $M T^{-3} k^{-1}$ | $L_x^{2/3} L_y^{-1/3} L_z^{-1/3} M_i T^{-3} k^{-1}$ |
| η | viscosité dynamique | Pa·s | $L^{-1} M T^{-1}$ | $L_x^{-1} M_i T^{-1}$ |
| λ | Conductivité thermique spécifique | $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ | $L M T^{-3} k^{-1}$ | $L_x^{5/3} L_y^{-1/3} L_z^{-1/3} M_i T^{-3} k^{-1}$ |
| ν | viscosité cinématique | $m^2 \cdot s^{-1}$ | $L^2 T^{-1}$ | $L_y L_z M_m^{-1} M_i T^{-1}$ |
| ρ | densité | $kg \cdot m^{-3}$ | $L^{-3} M$ | $L_x^{-1} L_y^{-1} L_z^{-1} M_m$ |
| τ | contrainte de cisaillement | Pa | $L^{-1} M T^{-2}$ | $L_y^{-1/2} L_z^{-1/2} M_i T^{-2}$ |
| ϕ | flux de chaleur | W | $L^2 M T^{-3}$ | $L_x^{2/3} L_y^{2/3} L_z^{2/3} M_i T^{-3}$ |

III.4.2. Procédure utilisant un nombre réduit de quantités dimensionnelles

La procédure utilisant un nombre réduit de quantités dimensionnelles fait partie des méthodes permettant de réduire le nombre de quantités en fonction de leur relation et utilise la réduction du nombre de quantité total des dimensions. La méthode consiste à relier les grandeurs dimensionnelles. C'est sur la base d'une connaissance préalable de la forme sous laquelle deux quantités, ou éventuellement plus, se produisent dans l'équation ou dans un ensemble d'équations reliant toutes les quantités dimensionnelles. Le nom et la désignation sont joints à

ce groupe de quantités, et ils deviennent une nouvelle quantité dimensionnelle qui remplace toutes les quantités originales qui y sont contenues. De cette façon, le nombre de grandeurs dimensionnelles est réduit d'au moins une. Le nombre de grandeurs sans dimension étant déjà égal à un, les quantités dimensionnelles ne sont pas connectées, parce que le minimum de nombre de quantités sans dimension est au moins un.

La réduction du montant des quantités dimensionnelles n'est utile que si les quantités dimensionnelles d'origine sont supprimées de l'équation, ou un ensemble d'entre eux indépendamment du fait que cette relation soit connue ou non.

L'avantage de cette méthode réside dans le nombre réduit de paramètres inconnus dans une relation fonctionnelle recherchée.

III.4.3. Procédure utilisant la connexion de quantités sans dimension

Le processus utilisant la connexion de quantités sans dimension est parmi les méthodes utilisées pour réduire le nombre de quantités dans une relation fonctionnelle.

Si une relation fonctionnelle déjà trouvée dans un résultant contient plusieurs quantités sans dimension, il arrive parfois que certaines de ces quantités peuvent être réunies en groupe. Ensuite, ce groupe forme un nouveau critère de similitude et remplace entièrement les quantités sans dimension d'origine.

Surtout, cette méthode simplifie la présentation graphique des résultats d'une façon avantageuse, c'est-à-dire qu'il y a moins de diagrammes nécessaires, et réduit encore la quantité de variables indépendantes dans les expériences. Ainsi, il simplifie et généralise les résultats.

III.5. La méthode matricielle

Comme pour tous les projets d'ingénierie et scientifiques, l'analyse dimensionnelle implique une procédure. Les procédures sont des mécanismes qui nous aident à organiser nos pensées. Ils décrivent ce que nous prévoyons de faire. En tant que tels, ils minimisent la probabilité que nous oublions ou ignorions un important point de notre projet. En d'autres termes, les procédures réduisent le temps dépenser sur un projet donné et augmenter la précision de notre résultat.

La procédure d'utilisation de la méthode matricielle : [21]

Commencer à établir une liste de toutes les variables qui peuvent influencer le système.

- Exprimer chaque variable en termes des unités de base (M, K, S, A et k).
- Déterminer les variables répétitives (V_r) en respectant les règles ci-dessous :
 1. Les (V_r) ne doivent pas comporter la variable recherchée (cible, objectif),
 2. Les (V_r) sont au nombre des dimensions (unités) mais peuvent être plusieurs,
 3. Les (V_r) ne doivent pas constituer de nombres adimensionnels par opérations de multiplication et/ou de division,
 4. La combinaison des (V_r) doit contenir toutes les dimensions.

Le comportement d'un système peut être décrit par (théorème de Buckingham) : [22]

$$\pi_1 = \psi\{\pi_2, \pi_3, \pi_4, \dots\}$$

Avec ψ : fonction à déterminer expérimentalement ou analytiquement.

Cette théorie permet de déterminer le nombre (N_π) et la forme des nombres adimensionnels (nombres π), comme ci-dessous :

- a. On peut former N_π nombres sans dimensions ($\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots$). Tel que : $N_\pi = N_v - r$

Avec : N_v = Nombre de toutes les grandeurs physiques de la matrice des exposants

Et r = rang de la sous matrice carrée.

- b. Les différents nombres π ($\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots$) se déterminent par les expressions suivantes :

$$\pi_1 = A/D^{a1} E^{b1} F^{c1} G^{d1} \dots H^{e1}; \quad \pi_2 = B/D^{a2} E^{b2} F^{c2} G^{d2} \dots H^{e2}; \quad \pi_3 = C/D^{a3} E^{b3} F^{c3} G^{d3} \dots H^{e3};$$

Avec :

-A, B, C.... variables non répétitives

-D, E, F, G, ...H = variables répétitives (V_r)

-a1, b1, c1, d1, e1, a2, b2, c2, d2, e2,..... a3, b3, c3, d3, e3, Des exposants à déterminer.

IV. Conclusion

Dans ce cinquième chapitre, on a parlé de l'histoire et les différentes applications et théorèmes de l'analyse dimensionnelle, alors que cette dernière nous offre des techniques efficaces pour obtenir une idée générale de la solution d'un problème même dans des cas complexes. L'idée est de chercher les termes prédominants dans les équations du mouvement; en négligeant les autres termes et en écrivant des ordres de grandeur pour estimer les termes différentiels, on peut généralement aboutir à des estimations du comportement de la solution.

I. Introduction

Le nouveau système de dévasement des barrages et ports a été pensé, la première fois, en 1995, lors du projet de fin d'études de Mr Haddad Samir et Zier Nabila, pour obtenir le diplôme d'Ingénieur d'État en Génie Rural, à l'Université de Blida, sous la direction de Mr Remini Boualem (Actuellement Professeur à l'université de Blida)

Le système est composé d'un ensemble de tuyaux creux (drains), circulaires et ayant des perforations (trous ou orifices) qui peuvent être circulaires, carrées, triangulaires, rectangulaires, ou sous forme de lentilles arrondies aux deux extrémités internes. La dimension, la forme, la densité (nombre d'orifice/ml) et l'espacement des orifices peuvent varier. Le matériau et le diamètre des drains sont, aussi, des paramètres très importants. Dans le sens de la longueur, le diamètre du drain peut être fixe, convergent ou divergent. De même, pour les dimensions des orifices, elles peuvent être fixes ou variables, dans le sens longitudinal.

Par rapport à la verticale, les orifices (perforations) peuvent se mettre sous différents angles.

Par rapport au plan horizontal, les drains seront inclinés.

En cas de bouchage du drain, des gicleurs disposés à l'intérieur, sur la périphérie et sur toute la longueur peuvent être aménagés. Lesdits gicleurs seront alimentés directement par l'eau propre se trouvant en surface afin d'acquérir une assez bonne pression de nettoyage ou d'auto-curage. Pour accroître l'efficacité d'auto-curage, d'autres gicleurs peuvent être placés du côté amont des drains.

Les drains de dévasement sont des attrapes sédiments (vase) à l'image des drains agricoles qui sont des attrapes eau.

II. Installation des Drains Attrapes Sédiments (DAS)

Le système DAS peut être installé de deux manières différentes :

- Installation « Amont-Aval » Dans le sens longitudinal du barrage (sens du cours d'eau.) Ce type d'installation est recommandé pour les ports et les barrages en béton.
- Installation « Rive-Rive » Dans le sens transversal du barrage. Ce type d'installation est plus recommandé pour les barrages en remblais.

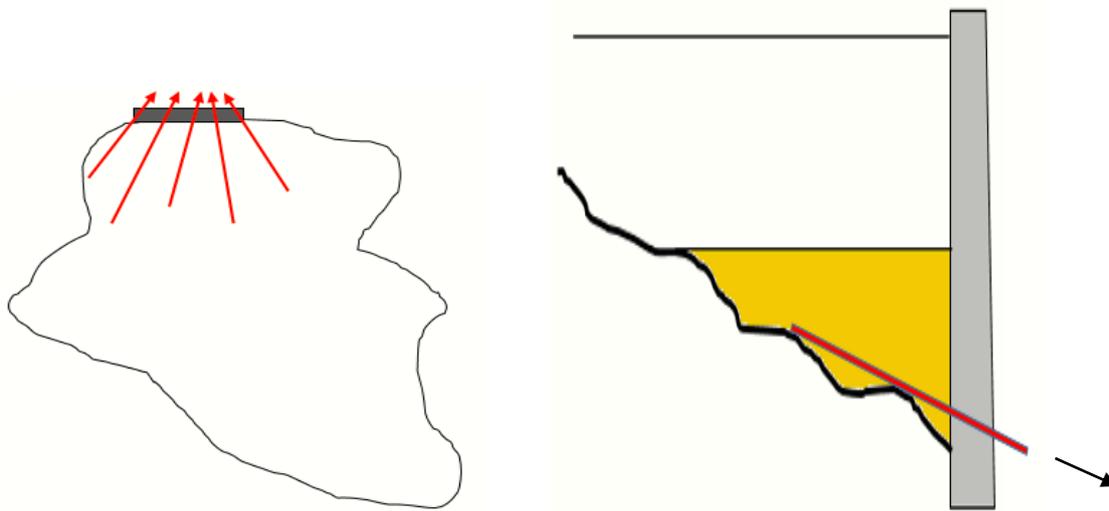


Figure II.1 : Installation « Amont-Aval »

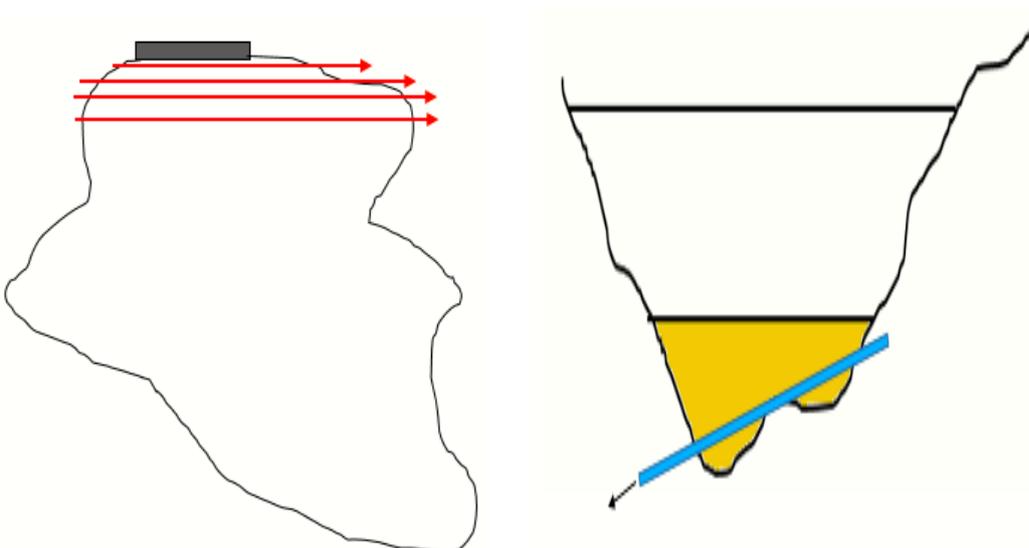


Figure II.2 : Installation « Rive – Rive »

III. Physique du système

De préférence, les drains seront installés lors de la construction des barrages et ports. Pour les ouvrages déjà construits, l'installation est toujours possible, mais techniquement difficile.

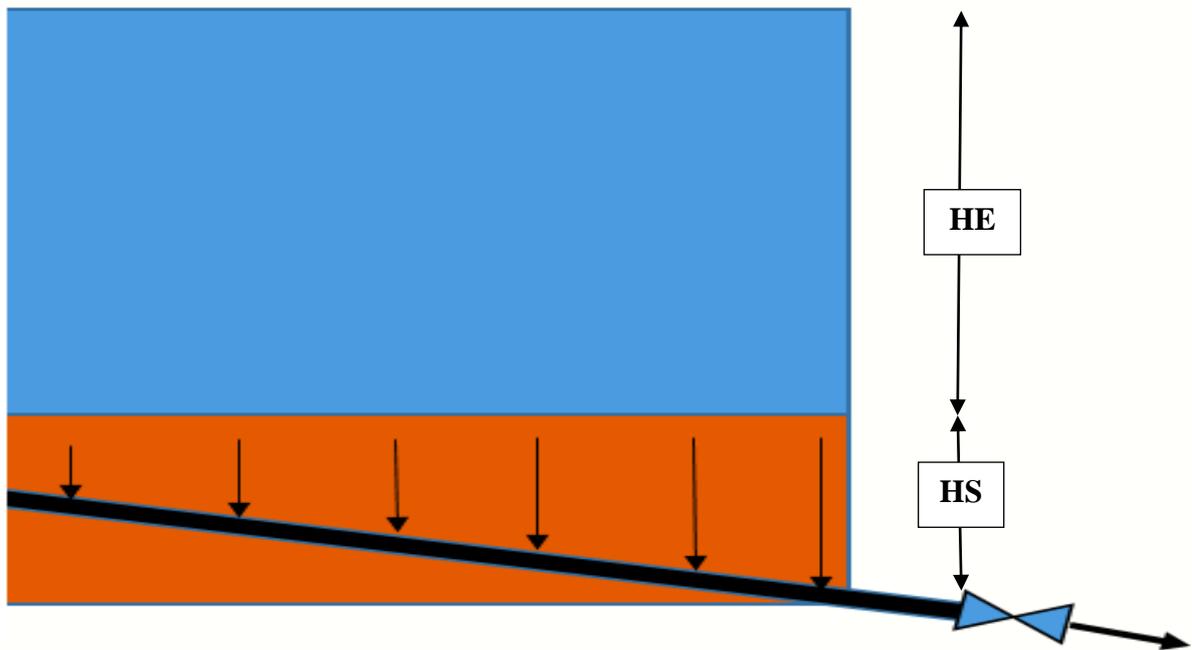
À l'entrée du réservoir du barrage, les eaux chargées de la crue (la mixture) commencent à se déposer, en formant un delta sédimentaire composé des pierres, graviers et sables (sédiments grossiers). Les limons et vases iront se déposer au pied du mur du barrage, sous forme de couches plus ou moins horizontales.

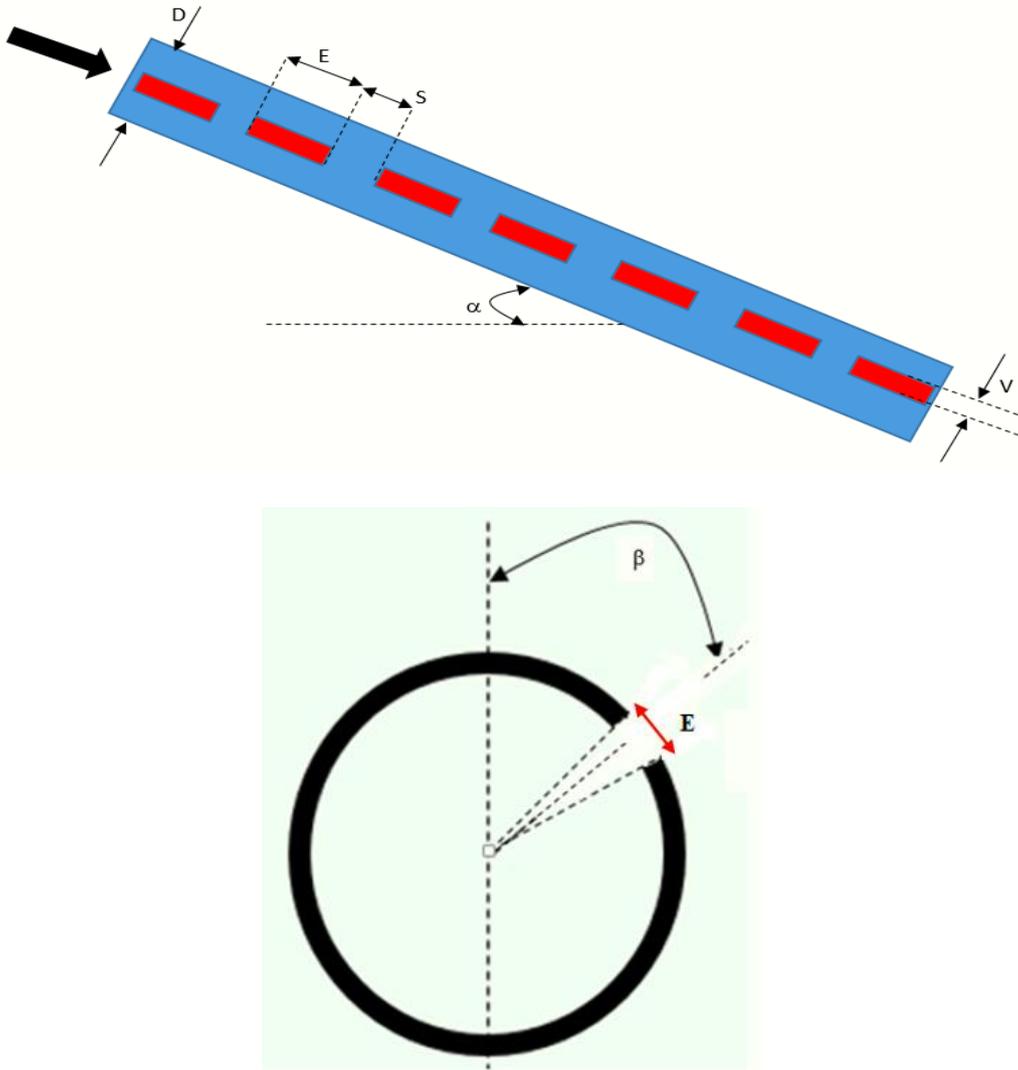
Les dites couches vont englober les drains. À travers les orifices, l'intérieur des drains se remplira, petit à petit, de limons et de vase. Avec le temps, la décantation et le tassement vont permettre la densification (perte d'eau et diminution des vides) de la mixture qui après une assez grande durée va arriver au stade de patte solide fortement cohérente. Cette cohésion est fonction du taux d'argile dans la mixture.

Il est clair que l'ouverture des vannes de chasse de façon prématurée donnera une charge solide (concentration sédimentaire) très fortement diluée (peu de vase et beaucoup d'eau). À l'inverse de cela, ouvrir les vannes de chasses, après une longue période de séjours, donnera une charge solide pratiquement nulle du fait du bouchage des tuyaux.

Il existe, donc, un temps de séjour optimal, i.e., un temps de décantation qui permettra de maximiser la concentration sédimentaire et minimiser le débit d'eau claire, tout en évitant le bouchage des drains.

IV. Modélisation de la physique du système par analyse dimensionnelle





Figures III.1 : Modélisation des Drains Attrapes Sédiments.

Le système global est composé de trois (3) sous-systèmes.

- Le 1^{er} système est composé par l'eau
- Le 2^{ème} système est composé des sédiments (vase)
- Le 3^{ème} système est constitué des drains de dévasement

Chaque système est géré par un ensemble de paramètres (variables).

Dans la théorie de l'analyse dimensionnelle (théorie des π , théorie de Vashy-Buckingham), il faut que les paramètres soient dimensionnels. En d'autres termes, il faut qu'ils aient des unités telles que le mètre (m), la seconde (s), le kilogramme (kg) et le Kelvin (K°) pour la température. [23]

Les variables reconnues importantes mais qui n'ont pas d'unités, à l'image de la forme géométrique des perforations des drains (rectangle, cercle, triangle, lentilles, carré) ne

peuvent être modélisées dans la théorie de l'analyse dimensionnelle. Pour les cas de variables adimensionnelles, l'analyse dimensionnelle considère que ces variables soient pris directement comme étant des nombres π .

Pour chaque sous-système, on doit répertorier toutes les variables importantes.

| Système I : Eau | | | |
|------------------------|-----------------------|-------------|---------------|
| Masse volumique | Viscosité cinématique | Température | Hauteur d'eau |
| ρ | ν | TE | HE |
| kg/m ³ | m ² /s | K | m |

| Système II : Sédiment (Vase) | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Masse volumique | Temps de séjour | Taux d'argile (A) | Hauteur sédiments | Vitesse de chute |
| ρ_s | TS | % | HS | Ws |
| kg/m ³ | s | - | m | m/s |

| Système III : Drain | | | | | | |
|----------------------------|----------|---------------|----------|---------------------|-----------------|---------------|
| Longueur | Diamètre | Rugosité | Pente | Orientation orifice | Surface orifice | Forme orifice |
| L | D | ε | α | β | S | Ψ |
| m | m | m | - | - | m ² | - |

| Autres variables |
|---|
| Durée d'ouverture des vannes = Temps de vidange |
| TV |
| s |

L'objectif de ce travail est de choisir les paramètres les plus influents qui permettront une maximisation de la concentration (volumique ou massique) de la mixture à dévaser, sans qu'il ait des problèmes de bouchage des drains qui sera catastrophique pour tout le système de dévasement. Donc, finalement, la variable cible est le rendement de l'opération de dévasement (Ω) sous forme de kilogramme par unité de volume de mélange total.

Autrement dit, dans un volume donné de mélange chassé, combien peut-on extraire de kilogramme de vase (sédiment) ?

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | Ω | TV | L | D | S | Ψ | ε | α | β | TS | A | ρ_s |
| m | -3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3 |
| kg | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| s | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(Suite)

| | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | HS | Ws | v | ρ | g | TE | HE |
| m | 1 | 1 | 2 | -3 | 2 | 0 | 1 |
| kg | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| s | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

La théorie de l'analyse dimensionnelle permet d'avoir les résultats ci-dessous :

- La ligne contenant l'unité (K) doit disparaître
- Les variables adimensionnelles (Ψ , α , β , et A) sont pris directement comme des nombres π (selon

la théorie de Vashy-Buckingham, tout nombre qui n'a pas d'unités, de dimensions, est un nombre π)

- $\Psi = \pi_1$ $\alpha = \pi_2$ $\beta = \pi_3$ $A = \pi_4$

Par la technique de fusion des paramètres, on peut écrire que :

- γ_s (poids volumique) = $g \cdot \rho_s$

- μ (viscosité dynamique) = $v \cdot \rho$

Sur la base de ces principes, on peut écrire la nouvelle matrice.

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------------------|-----------|----------------------|----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | Ω | TV | L | D | S | ε | TS | γ_s | HS | W_s | μ | HE |
| m | -3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | -2 | 1 | 1 | -1 | 1 |
| kg | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| s | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | -2 | 0 | -1 | -1 | 0 |

La nouvelle matrice dimensionnelle est composée de :

- Nombre de dimension $N_D = 3$ (m, kg, s)
- Nombre de variables $N_V = 12$ (Y compris la variable « Cible » ou « Objectif » Ω)

D'après la théorie des π , les nombres π ($N\pi$) quand peut avoir sont : $N\pi = N_V - N_D = 12 - 3 = 9$

En considérant que déjà, il y avait 4 nombres π , la totalité des nombres $\pi = 9$ ($\pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8, \pi_9, \pi_{10}, \pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}$) + $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4 = 9 + 4 = 13$ nombres π ; $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}$

Les variables répétitives V_R

- Variables Géométriques : (L, D, S, HS, HE, ϵ) variables
- Variables Cinématiques : g, W_s variables
- Variables Dynamiques : (TV, TS) variables
- Propriétés du fluide, solide... : (μ, γ_s) variables

Pour déterminer les variables répétitives, il est nécessaire de prendre une variable de chaque famille des types des variables. En d'autres termes, par exemple, 1 variable géométrique + 1 variables cinématique + 1 variable dynamique, ou, 1 variable géométrique + 1 variables dynamique + 1 variable propriétés du fluide, et ainsi de suite. Dans ce sens, on peut constituer 48 groupes de variables répétitives.

| | | | |
|--------------|--------------|--------------------|-------------------|
| L, TV, W_s | L, TS, W_s | L, W_s, μ | L, TV, γ_s |
| L, TV, μ | L, TS, μ | L, W_s, γ_s | L, TS, γ_s |

| | | | |
|--------------|--------------|--------------------|-------------------|
| D, TV, W_s | D, TS, W_s | D, W_s, μ | D, TV, γ_s |
| D, TV, μ | D, TS, μ | D, W_s, γ_s | D, TS, γ_s |

| | | | |
|--------------|--------------|--------------------|-------------------|
| S, TV, W_s | S, TS, W_s | S, W_s, μ | S, TV, γ_s |
| S, TV, μ | S, TS, μ | S, W_s, γ_s | S, TS, γ_s |

| | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| ε, TV, W_s | ε, TS, W_s | ε, W_s, μ | $\varepsilon, TV, \gamma_s$ |
| ε, TV, μ | ε, TS, μ | $\varepsilon, W_s, \gamma_s$ | $\varepsilon, TS, \gamma_s$ |

| | | | |
|---------------|---------------|---------------------|--------------------|
| HS, TV, W_s | HS, TS, W_s | HS, W_s, μ | HS, TV, γ_s |
| HS, TV, μ | HS, TS, μ | HS, W_s, γ_s | HS, TS, γ_s |

| | | | |
|---------------|---------------|---------------------|--------------------|
| HE, TV, W_s | HE, TS, W_s | HE, W_s, μ | HE, TV, γ_s |
| HE, TV, μ | HE, TS, μ | HE, W_s, γ_s | HE, TS, γ_s |

Selon la théorie de l'analyse dimensionnelle, tous les 48 groupes des variables répétitives sont des solutions.

D'après Langhaar H L [24], dans pareilles situations, il faut privilégier les variables qui permettent des variations expérimentales les plus aisées. Donc, sur les 11 variables quelles sont celles qui admettent des variations expérimentales les plus faciles ?

Comme première tentative, on peut penser que les variables suivants sont faciles à faire modifier lors des expériences ; L, D, S, TS, HE, TV, HS, γ_s (changer de sédiments), ε (changer le matériau des tuyaux de drainage. Par exemple, au lieu de la fonte, on utilise le béton armé).

Pour la suite du mémoire on prend, à titre d'application, les groupes de variables répétitives suivants :

- 1^{er} groupe : D, TV, μ
- 2^{ème} groupe : HS, TV, μ
- 3^{ème} groupe : S, TV, μ

Les nombres π obtenus avec le 1^{er} et 2^{ème} et 3^{ème} groupe sont récapitulés dans le tableau, ci-dessous.

Tableau VI.1 : Récapitulation des nombres π

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| π_5 | π_6 | π_7 | π_8 | π_9 | π_{10} | π_{11} | π_{12} | π_{13} |
| $\Omega / D^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $L / D^{a2}.TV^{b2}.\mu^{c2}$ | $S / D^{a3}.TV^{b3}.\mu^{c3}$ | $\varepsilon / D^{a4}.TV^{b4}.\mu^{c4}$ | $HE / D^{a5}.TV^{b5}.\mu^{c5}$ | $HS / D^{a6}.TV^{b6}.\mu^{c6}$ | $W_s / D^{a7}.TV^{b7}.\mu^{c7}$ | $TS / D^{a8}.TV^{b8}.\mu^{c8}$ | $\gamma_s / D^{a9}.TV^{b9}.\mu^{c9}$ |
| $\Omega / HS^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $L / HS^{a2}.TV^{b2}.\mu^{c2}$ | $S / HS^{a3}.TV^{b3}.\mu^{c3}$ | $\varepsilon / HS^{a4}.TV^{b4}.\mu^{c4}$ | $HE / HS^{a5}.TV^{b5}.\mu^{c5}$ | $D / HS^{a6}.TV^{b6}.\mu^{c6}$ | $W_s / HS^{a7}.TV^{b7}.\mu^{c7}$ | $TS / HS^{a8}.TV^{b8}.\mu^{c8}$ | $\gamma_s / HS^{a9}.TV^{b9}.\mu^{c9}$ |
| $\Omega / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $L / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $D / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $\varepsilon / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $HE / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $HS / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $W_s / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $TS / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ | $\gamma_s / S^{a1}.TV^{b1}.\mu^{c1}$ |

Déterminer les différents exposants des systèmes d'équations dimensionnels avec l'analyse des unités :

$$[\Omega] = [D^{a1}TV^{b1}\mu^{c1}] \rightarrow \rightarrow \rightarrow [\Omega] = [D]^{a1} \cdot [TV]^{b1} \cdot [\mu]^{c1}$$

$$(L) \quad -3 = 1.a1 + 0.b1 - 1.c1 \quad a1 = -2$$

$$[L^{-3}M] = [L]^{a1} \cdot [T]^{b1} \cdot [L^{-1}M^1T^{-1}]^{c1} \quad (M) \quad 1 = 0.a1 + 0.b1 + 1.c1 \rightarrow c1 = 1$$

$$(T) \quad 0 = 0.a1 + 1.b1 - 1.c1 \quad b1 = c1 = 1$$

1

Puisque $\pi_5 = \Omega / (D^{a1}TV^{b1}\mu^{c1})$ donc, $\pi_5 = \Omega / (D^{-2}TV^1\mu^1) = \Omega \cdot D^2 / (TV \cdot \mu)$

On procède de la même manière pour les différents systèmes, à 3 équations, et on obtient les résultats ci-dessous.

| π_5 | π_6 | π_7 | π_8 | π_9 | π_{10} | π_{11} | π_{12} | π_{13} |
|-----------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------|------------------------------------|
| $\Omega \cdot D^2 / TV \cdot \mu$ | L / D | S / D^2 | ε / D | HE / D | HS / D | $Ws.TV / D$ | TS / TV | $\gamma_s.D.TV / \mu$ |
| $\Omega.HS^2 / TV \cdot \mu$ | L / HS | S / HS^2 | ε / HS | HE / HS | D / HS | $Ws.TV / HS$ | TS / TV | $\gamma_s.HS.TV / \mu$ |
| $\Omega.S / TV \cdot \mu$ | L / \sqrt{S} | D / \sqrt{S} | ε / \sqrt{S} | HE / \sqrt{S} | HS / \sqrt{S} | $Ws.TV / \sqrt{S}$ | TS / TV | $\gamma_s.TV \cdot \sqrt{S} / \mu$ |

Finalement, pour les trois groupes de variables répétitives, on aura les nombres π suivants :

Tableau VI.2 : Les nombres π des trois variantes répétitives

| π_1 | π_2 | π_3 | π_4 | π_5 | π_6 | π_7 | π_8 | π_9 | π_{10} | π_{11} | π_{12} | π_{13} |
|---------|----------|---------|---------|-----------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------|------------------------------------|
| Ψ | α | β | A | $\Omega \cdot D^2 / TV \cdot \mu$ | L / D | S / D^2 | ε / D | HE / D | HS / D | $Ws.TV / D$ | TS / TV | $\gamma_s.D.TV / \mu$ |
| Ψ | α | β | A | $\Omega.HS^2 / TV \cdot \mu$ | L / HS | S / HS^2 | ε / HS | HE / HS | D / HS | $Ws.TV / HS$ | TS / TV | $\gamma_s.HS.TV / \mu$ |
| Ψ | α | β | A | $\Omega.S / TV \cdot \mu$ | L / \sqrt{S} | D / \sqrt{S} | ε / \sqrt{S} | HE / \sqrt{S} | HS / \sqrt{S} | $Ws.TV / \sqrt{S}$ | TS / TV | $\gamma_s.TV \cdot \sqrt{S} / \mu$ |

Selon la théorie de l'analyse dimensionnelle, on peut écrire :

$$\pi_5 = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{13}). \text{ Autrement dit;}$$

$$(\Omega \cdot D^2 / TV \cdot \mu) = f(\Psi, \alpha, \beta, A, L/D, S/D^2, \varepsilon/D, HE/D, HS/D, Ws.TV/D, TS/TV, \gamma_s.D.TV/\mu)$$

$$(\Omega.HS^2 / TV \cdot \mu) = f(\Psi, \alpha, \beta, A, L/HS, S/HS^2, \varepsilon/HS, HE/HS, D/HS, Ws.TV/HS, TS/TV, \gamma_s.HS.TV/\mu)$$

$$(\Omega.S / TV \cdot \mu) = f(\Psi, \alpha, \beta, A, L / \sqrt{S}, D / \sqrt{S}, \varepsilon / \sqrt{S}, HE / \sqrt{S}, HS / \sqrt{S}, Ws.TV / \sqrt{S}, TS / TV, \gamma_s.TV \cdot \sqrt{S} / \mu)$$

Toujours selon la théorie de l'analyse dimensionnelle, les écritures, ci-dessous, sont possibles.

$\pi_5 = c_0 \cdot \pi_1^a \pi_2^b \pi_3^c \dots \pi_{13}^m$. Où c_0 une constante expérimentale.

Par application de ce principe, on aura, par exemple, pour le 1^{er} groupe de variables répétitives,

$$(\Omega \cdot D^2 / TV \cdot \mu) = c_0 \cdot \Psi^a \alpha^b \beta^c A^d (L/D)^e (S/D^2)^f (\varepsilon/D)^g (HE/D)^h (HS/D)^i (Ws \cdot TV/D)^j (TS/TV)^k (\gamma_s \cdot D \cdot TV/\mu)^m$$

En passant au logarithme, nous aurons ; $\log(\Omega \cdot D^2 / TV \cdot \mu) = \log(c_0) + a \log(\Psi) + b \log(\alpha) + c \log(\beta) + d \log(A) + e \log(L/D) + f \log(S/D^2) + g \log(\varepsilon/D) + h \log(HE/D) + i \log(HS/D) + j \log(Ws \cdot TV/D) + k \log(TS/TV) + m \log(\gamma_s \cdot D \cdot TV/\mu)$. Il s'agit d'une équation à 13 inconnues.

Pour la résoudre le problème, il faut avoir 13 équations !

Les différentes expériences qu'on va mener vont donner les 13 équations. Ce qui revient à dire, qu'on doit réaliser les 13 expériences citées dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI.3 : Tableau des expériences.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|------------------|---|---|---|---------------|----|----|----|----|----|--------|-------|----------|---------|----|------------|----------|
| N° Expérience | L | D | S | ε | HE | HS | Ws | TV | TS | Ψ | μ | α | β | A | γ_s | Ω |
| 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | |

On commence par choisir les paramètres expérimentaux mentionnés depuis la colonne 1 jusqu'à 15.

Pour chaque ligne (expérience) et en fonction des paramètres choisis, on mesure la quantité Ω (colonne 16) en kg/m^3 à l'aide d'un turbidimètre ou une mesure simple de la concentration en sédiment après mesure du volume total de la mixture (eau + sédiment), étuvage et pesage.

Après cela, on passe à la 2^{ème} expérience, avec d'autres choix de paramètres expérimentaux ; de la colonne 1 jusqu'à 15. Le même protocole sera suivi jusqu'à terminer les 13 expériences. Avant d'aller plus loin, une question légitime apparaît : Comment choisir les valeurs des paramètres expérimentaux L, D, S, Ws, HE, TV, HS, TS, γ_s , μ , ε , Ψ , α , β , A ?? Avant de répondre à cette question, nous devons préciser les conditions de choix desdites valeurs expérimentales ; l'échelle du labo ou l'échelle réelle.

Dans les deux cas, le passage de l'un à l'autre se fera à travers les lois de similitude. Pour avoir une bonne représentativité, il est nécessaire que les lois de similitude soient dynamiques, i.e., dans les deux cas, réelle et labo (modèle et prototype), on doit avoir les mêmes forces.

Le débit à travers les orifices du drain de dévasement peut être considéré comme étant un écoulement de fluide (mixture) à travers un orifice géré par l'équation de Torricelli. Par application du théorème de Bernoulli, on peut établir que le débit (Q) à travers un orifice est égal à $Q = C_D \cdot S_0 \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{1/2}$. Cette relation est valable pour une section du réservoir \gg section de l'orifice.

- C_D = Coefficient de débit
- S_0 = Section de l'orifice
- H = Charge au-dessus de l'orifice

Selon Al'tshul et Frenkel, le débit à travers un orifice aménagé, au fond ou latéralement, d'un réservoir, est donné par : [25]

- Orifice circulaire : $C_D = 0,59 + 5,5/\text{Re}^{1/2}$
- Orifice carré : $C_D = 0,59 + 8,9/\text{Re}^{1/2}$
- Orifice rectangulaire : $C_D = 0,58 + 8,9/\text{Re}^{1/2}$

On peut voir, aisément que le débit augmente avec l'augmentation du coefficient de débit C_D . Par rapport aux relations, ci-dessus, le C_D augmente avec la diminution du nombre de Reynolds de l'écoulement à travers l'orifice.

Sans calculs, on s'aperçoit que le C_D du carré et rectangle sont $>$ C_D du cercle. Donc, la forme géométrique de l'orifice des drains de dévasement sera soit carrée, soit rectangulaire.

Le nombre de Reynolds est donné par $\text{Re} = V \cdot D_h / \nu = (2gH)^{1/2} \cdot 4 \cdot R_H / \nu$

Pour que $C_D \uparrow \Rightarrow \text{Re} \downarrow \Rightarrow [(2gH)^{1/2} \cdot 4 \cdot R_H / \nu] \downarrow \Rightarrow [(2gH)^{1/2}] \downarrow$ et $[4 \cdot R_H] \downarrow$ et $[\nu] \uparrow$

Sachant que H est constante, donc, $C_D \uparrow \Rightarrow [R_H] \downarrow$ et $[\nu] \uparrow$

Pour que $\nu \uparrow$, il faut diminuer la température du fluide (plus le fluide est froid, plus le C_D augmente)

Dernièrement, si on veut que $C_D \uparrow$ il faut trouver un moyen de diminuer le rayon hydraulique (R_H).

Pour une forme carrée, $R_{H-C} = S_M / P_M = a \cdot a / 4 \cdot a = a / 4$

Pour une forme rectangulaire, $R_{H-R} = a \cdot b / 2(a+b)$. Avec ; (a) petit côté et (b) grand coté.

Si $b = m \cdot a \Rightarrow R_{H-R} = 0,5 \cdot a \cdot m / (1+m)$. Avec ; $m = 1$ correspond à un carré.

Une analyse mathématique simple permet de voir que $R_{H-R} > R_{H-C}$ pour tout $m > 1$.

Finalement, pour que le R_H diminue, il faut que les orifices soient de forme carrée.

Tableau VI.4. Tableau des paramètres.

| α | 1% | 10% | 100% |
|---------------|---|--|--|
| μ | $\mu_1(T_{\text{eau}} = 5^\circ \text{ C})$ | $\mu_2(T_{\text{eau}} = 20^\circ \text{ C})$ | $\mu_3(T_{\text{eau}} = 40^\circ \text{ C})$ |
| Ψ | 1 (Carré) 2 (Rectangle) 3 (Cercle) 4 (Lentille ou Ellipse). Les calculs, ci-dessus, ont montré que la meilleure forme géométrique des orifices des drains de dévasement est un carré de côté « a » $a_1 = D_1/2$ $a_2 = D_2/2$ $a_3 = D_3/2$ | | |
| β | 0° | 30° | 45° |
| ε | ε_1 (PVC) | ε_2 (Béton) | ε_3 (Fonte) |
| γ | γ_1 (Sol 1) | γ_1 (Sol 2) | γ_1 (Sol 3) |
| A | 1% | 10% | 60% |
| HE | 1 m | | |
| HS | 10% HE = 0,1 m | 20% HE = 0,2 m | 30% HE = 0,3 m |
| D | $D_1 = 10\% \text{ HS}$ | $D_2 = 20\% \text{ HS}$ | $D_3 = 30\% \text{ HE}$ |
| TS | Chaque type de sol dispose d'une courbe de consolidation. Ladite courbe montre la durée pour passer d'une phase à une autre, i.e., de la phase liquide vers la phase rigide. En supposant qu'un sol donné demande une durée λ pour devenir rigide et solide, TS sera 10%, 50% et 100% λ . λ Peut être estimé par le temps qu'il faudra à un sol immergé pour ne plus changer de hauteur. | | |
| TV | 1 min | 5 min | 15 min |
| L | $L_1 = HS_1 = 0,1 \text{ m}$ | $L_2 = HS_2 = 0,2 \text{ m}$ | $L_3 = HS_3 = 0,3 \text{ m}$ |
| Ws | W_{s1} (Sol 1) | W_{s1} (Sol 2) | W_{s1} (Sol 3) |

Une fois que toutes les expériences soient réalisées, on remplit le tableau 2.

Tableau VI.5 : Remplissage des paramètres obtenus dans (Tableau VI.3).

| | 1'= (16 x 2 ²)/(8 x 11) | 2'= 1 / 2 | 3'= 3/2 ² | 4'= 4/2 | 5'= 5/2 | 6'= 6/2 | 7'= (7 x 8)/2 | 8'= 9/8 | 9'= (15 x 2 x 8)/11 | 10' | 11' | 12' | 13' |
|----|--|--------------|-------------------------|-----------------|------------|------------|------------------|------------|---------------------------------|--------|----------|---------|-----|
| | $\Omega \cdot D^2/TV \cdot \mu$ | L/D | S/D ² | ε/D | HE/D | HS/D | Ws.TV/D | TS/TV | $\gamma_s \cdot D \cdot TV/\mu$ | Ψ | α | β | A |
| 1 | A1 | B1 | C1 | D1 | E1 | F1 | G1 | H1 | I1 | J1 | K1 | L1 | M1 |
| 2 | A2 | B2 | C2 | D2 | E2 | F2 | G2 | H2 | I2 | J2 | K2 | L2 | M2 |
| 3 | A3 | B3 | C13 | D3 | E3 | F3 | G3 | H3 | I3 | J3 | K3 | L3 | M3 |
| 4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 6 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 8 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 9 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 10 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 11 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 12 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 13 | A13 | B13 | C13 | D13 | E13 | F13 | G13 | H13 | I13 | J13 | K13 | L13 | M13 |

Le remplissage du tableau 2, fournira les 13 équations nécessaires pour résoudre le problème cité, ci-haut. Comment ? On prend l'équation générale du phénomène, déduite par analyse dimensionnelle.

$$\log(\Omega.D^2 / TV.\mu) = \log(c_0) + a \log(\Psi) + b \log(\alpha) + c \log(\beta) + d \log(A) + e \log(L/D) + f \log(S/D^2) + g \log(\varepsilon/D) + h \log(HE/D) + i \log(HS/D) + j \log(Ws.TV/D) + k \log(TS/TV) + m \log(\gamma s.D.TV/\mu).$$

Pour chaque expérience (ligne) du tableau 2, où l'indice « i » va varier de 1 à 13, on réécrit l'équation précédente, qui deviendra :

$$\log(\Omega.D^2 / TV.\mu)_i = \log(c_0) + a \log(\Psi)_i + b \log(\alpha)_i + c \log(\beta)_i + d \log(A)_i + e \log(L/D)_i + f \log(S/D^2)_i + g \log(\varepsilon/D)_i + h \log(HE/D)_i + i \log(HS/D)_i + j \log(Ws.TV/D)_i + k \log(TS/TV)_i + m \log(\gamma s.D.TV/\mu)_i. \text{ Avec, } i = 1, 2, 3, \dots, 13.$$

Donc, il s'agira de résoudre un système composé de 13 équations à 13 inconnues ($c_0, a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, m$).

$$I=1 : \log(A1) = \log(c_0) + a \log(J1) + b \log(K1) + c \log(L1) + d \log(M1) + e \log(B1) + f \log(C1) + g \log(D1) + h \log(E1) + i \log(F1) + j \log(G1) + k \log(H1) + m \log(I1)$$

$$I=2 : \log(A2) = \log(c_0) + a \log(J2) + b \log(K2) + c \log(L1) + d \log(M2) + e \log(B2) + f \log(C2) + g \log(D2) + h \log(E2) + i \log(F2) + j \log(G2) + k \log(H2) + m \log(I2)$$

$$I=3 : \log(A3) = \log(c_0) + a \log(J3) + b \log(K3) + c \log(L1) + d \log(M3) + e \log(B3) + f \log(C3) + g \log(D3) + h \log(E3) + i \log(F3) + j \log(G3) + k \log(H3) + m \log(I3)$$

$$I=4 : \log(A4) = \log(c_0) + a \log(J4) + b \log(K4) + c \log(L1) + d \log(M4) + e \log(B4) + f \log(C4) + g \log(D4) + h \log(E4) + i \log(F4) + j \log(G4) + k \log(H4) + m \log(I4)$$

$$I=5 : \log(A5) = \log(c_0) + a \log(J5) + b \log(K5) + c \log(L1) + d \log(M5) + e \log(B5) + f \log(C5) + g \log(D5) + h \log(E5) + i \log(F5) + j \log(G5) + k \log(H5) + m \log(I5)$$

$$I=6 : \log(A6) = \log(c_0) + a \log(J6) + b \log(K6) + c \log(L1) + d \log(M6) + e \log(B6) + f \log(C6) + g \log(D6) + h \log(E6) + i \log(F6) + j \log(G6) + k \log(H6) + m \log(I6)$$

$$I=7 : \log(A7) = \log(c_0) + a \log(J7) + b \log(K7) + c \log(L1) + d \log(M7) + e \log(B7) + f \log(C7) + g \log(D7) + h \log(E7) + i \log(F7) + j \log(G7) + k \log(H7) + m \log(I7)$$

$$I=8 : \log(A8) = \log(c_0) + a \log(J8) + b \log(K8) + c \log(L1) + d \log(M8) + e \log(B8) + f \log(C8) + g \log(D8) + h \log(E8) + i \log(F8) + j \log(G8) + k \log(H8) + m \log(I8)$$

$$I=9 : \log(A9) = \log(c_0) + a \log(J9) + b \log(K9) + c \log(L1) + d \log(M9) + e \log(B9) + f \log(C9) + g \log(D9) + h \log(E9) + i \log(F9) + j \log(G9) + k \log(H9) + m \log(I9)$$

$$I=10 : \log(A10) = \log(c_0) + a \log(J10) + b \log(K10) + c \log(L1) + d \log(M10) + e \log(B10) + f \log(C10) + g \log(D10) + h \log(E10) + i \log(F10) + j \log(G10) + k \log(H10) + m \log(I10)$$

$$I=11 : \log(A11) = \log(c_0) + a \log(J11) + b \log(K11) + c \log(L1) + d \log(M11) + e \log(B11) + f \log(C11) + g \log(D11) + h \log(E11) + i \log(F11) + j \log(G11) + k \log(H11) + m \log(I11)$$

$$I=12 : \log(A12) = \log(c_0) + a \log(J12) + b \log(K12) + c \log(L1) + d \log(M12) + e \log(B12) + f \log(C12) + g \log(D12) + h \log(E12) + i \log(F12) + j \log(G12) + k \log(H12) + m \log(I12)$$

$$I=13 : \log(A13) = \log(c_0) + a \log(J13) + b \log(K13) + c \log(L1) + d \log(M13) + e \log(B13) + f \log(C13) + g \log(D13) + h \log(E13) + i \log(F13) + j \log(G13) + k \log(H13) + m \log(I13)$$

V. Conclusion

Dans ce sixième chapitre, on a présenté le nouveau système de dévasement et ces différentes méthodes d'installations. On a sélectionné les variables importantes qui entre dans le système tout en utilisant la théorie d'analyse dimensionnelle (théorie des π , théorie de Vashy-Buckingham), puis on a choisi la variable cible qui est le débit massique (Ω) pour ensuite créer la matrice dimensionnelle.

On a déterminé 48 groupes de variantes répétitives, et on a récapitulé les nombres π qui sont au nombre de 13 ce qui veut dire que pour chaque groupe on fait 13 expériences pour trouver le débit massique (Ω) dans la première partie pour ensuite passé à la seconde partie qui consiste à remplir le tableau avec des paramètre obtenues dans la première partie et qui vont nous fournir l'équation générale du problème.

Notre travail s'inscrit dans le cadre de l'étude théorique d'un nouveau système de dévasement des barrages et ports, son objectif est d'avoir un bon rendement de dévasement tout en étant économique et facile à mettre en œuvre.

Avec l'aide de la théorie d'analyse dimensionnelle (théorie des π , théorie de Vashy-Buckingham), on a réussi à déterminer la matrice dimensionnelle, les variables répétitives ainsi que les nombres adimensionnels (les nombres π).

Ce travail est divisé en deux parties

La première partie consiste à mesurer la quantité Ω (en kg/m^3) à l'aide d'un turbidimètre ou une mesure simple de la concentration en sédiment tout en utilisant 15 paramètres du (TABLEAU VI.3).

La seconde partie est consacrée au remplissage du tableau (TABLEAU VI.4) avec des paramètres déjà utilisés dans la première partie, on aura par la suite l'équation générale du système, la résolution de ce dernier et la détermination des 13 inconnues donneront l'équation générale du problème. C'est une équation qui donnera le débit massique (Ω) en fonction de 15 paramètres.

Le travail n'est pas terminé ! On refait tout le travail pour tous les groupes de variables répétitives. Et en prenant d'autres valeurs expérimentales (colonne 1 à 15), on décidera sur le groupe de variables répétitives le plus précis. Toutefois, si toutes les expériences, avec tous les groupes de variables répétitives, donnent des résultats loin de la réalité (faible précision), cela voudra dire que les variables prises en compte, au départ, ne sont pas représentatives du phénomène étudié. Il faut ajouter ou changer des paramètres.

À la fin du travail, on peut dire que l'équation générale trouvée peut être mise sous forme de graphes ou d'abaque.

La théorie des nomogrammes (abaques) permet d'avoir un et un seul abaque pour représenter les 16 paramètres.

On pense que le temps nécessaire n'était pas suffisant pour développer ce thème et étudier d'autres formulations, et que ce travail sera un début et servira comme base à l'avenir

Références bibliographiques

- [1] -REMINI B. (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat d'état, Ecole nationale Polytechnique d'Alger, mars, 342 P.
- [2] -BRAMARD.M. Les impacts de l'érosion, publiée dans le site eaux France, (11/avril/2019).
- [3] – *KHEROUF, M. Simulation de l'envasement des ports maritimes. Thèse de doctorat faculté des Sciences de l'Ingénierie. Guelma : Université 08 Mai 1945, 2008, 135p.*
- [4] – REMINI, B. L'envasement des barrages quelques exemples Algériens. Maîtres de conférences. Algérie : Université de BLIDA, pp. 165-171.
- [5] – REMINI, B. (2005). La problématique de l'eau en Algérie, Collection hydraulique et transport solide.
- [6] - REMINI, B. (2019), L'ALGERIE : DE LA BOUE AU FOND DES BARRAGES QUE FAIRE ?, *Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°40, Dec 2019, pp. 219-247.*
- [7] – BOUKLIKHA, Z & BERRICHI, M. Estimation de l'envasement d'un barrage par le modèle PISA. Cas du barrage de El Izdihar. MEMOIRE Pour l'obtention du diplôme de Master. Tlemcen : Université ABOU BEKR BELKAID, 2017, p102.
- [8] - B. REMINI, *UNE NOUVELLE APPROCHE DE GESTION DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°31, Sept 2017, pp. 51-81.*
- [9] - *BERRIAH, C. (2018, 09 Octobre). Dragage du port de Marsat Ben M'hidi : La plage du boulevard menacée. El Watan.*
- [10] - ALLIA, A. (2013, 10 Mars). Entreprise portuaire de Annaba : Le port affiche un trafic en hausse. Liberté.
- [11] - SEMCHA, A & MEKERTA, B & KAZI-AOUAL, F & DRAOUI, A & MAAROUF, H. Alternative au largage en mer des sédiments dragués au port d'Oran. 12-14 juin 2012.
- [12] - REPORTER. (2018, 13 Mai). Mostaganem : Des experts dépêchés pour lutter contre l'envasement des ports de pêche.
- [13] – *TOUATI, Bouzid. Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de doctorat d'Etat en Aménagement du Territoire. Constantine : Université MENTOURI, 2010, 384p.*
- [14] -*6eme édition des " ports et barrages bleus". (2018, 05 Mai). Boumerdès: lancement des travaux de dragage du port de pêche de Dellys au 3e trimestre 2018. Algérie Presse Service.*

- [15] -DJEGAOUDI, M. (2013, 24 Septembre). *Dragage du bassin du port de Ténès pour augmenter sa profondeur. Algérie360°*
- [16] -ABOUD, M. (2019, 07 Mai). *Pêche : les travaux de réhabilitation de 45 ports nationaux finalisés en 2019. Algérie Presse Service.*
- [17] -BACHOUCHE, Samir. *AMENAGEMENT DES PORTS DE PECHE DE BOUHAROUN ET KHEMISTI. Institut des Sciences de Mer et de l'Aménagement du Littoral. Alger : Université d'Alger 3, 2007.*
- [18] – J. Worstell, *Dimensional Analysis: Practical Guides in Chemical Engineering*, first Edition, Butterwoth-heinemann, 15-19 (2014).
- [19] – C. Ancey, *Mécanique des fluides : Introduction à l'hydraulique pour les ingénieurs civils*, lausanne, suisse, 31-41 (2020).
- [20] – J. Kune, *Similarity and Modeling in Science and Engineering*. Cambridge International Science Publishing Ltd, 51-54 (2012).
- [21] – S. Haddad. *Similitude et modèles réduits : LES SYSTEMES DIMENSIONNELS ET TRANSFORMATION DES DIMENSIONS (UNITÉS) ET ANALYSE DIMENSIONNELLE*, Béjaïa : Université A. Mira de Béjaïa, 2^{ème} année Master, Cours, 2019, 13p.
- [22] – T. Szirtes, *Applied Dimensional Analysis and Modeling*, Butterwoth-Heinemann, (2007).
- [23] – T. Szirtes and P. Rozsa. (2006). *Applied Dimensional Analysis and Modeling* Elsevier Science & Technology Books
- [24] – L. I. Epstein. (1956). *Nomography*. Interscience Publishers, INC., New York. USA
- [25] – I. E. Idel'cik. (1986). *Mémento des pertes de charges* (3^{ème} Edition).
Collection Direction des études et recherches d'Électricité de France (EDF)
- [26] – D. P. Adams. (1964). *Nomography. Theory and Applications*. Hamden. Connecticut. Archon Books. USA
- [27] – G. Khovanski. (1979). *Éléments de Nomographie*. Editions Mir. URSS
- [28] – R. Ettema and al. (2000). *Hydraulic Modeling. Concepts and Practice*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 97. USA
- [29] – J. Kuneš. (2012). *Similarity and Modeling in Science and Engineering*. Cambridge International Science Publishing.
- [30] – L. I. Sedov. (1959). *Similarity and Dimensional Methods in Mechanics*. Academic Press, New York and London.

Résumé

Le phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages et plusieurs ports en Algérie, des sédiments se déposent au fond de ces retenues, deviennent ainsi un handicap pour le stockage des eaux de surface et un obstacle pour le développement économique.

Notre travail consiste à faire une étude théorique d'un nouveau système de dévasement, grâce aux procédures d'analyse dimensionnelle qui réduisent le temps dépensé sur un projet donné et augmenter la précision des résultats.

Cette étude a pour objectif un bon rendement de dévasement car celles existantes telle que la technique de dragage, exige d'employer d'énormes moyens mécanique onéreux et couteux.

Mots clés : envasement – barrages - ports - nouveau système de dévasement - sédiments- dragage

Abstract

The phenomenon of siltation affects all dams and several ports in Algeria, sediments are deposited at the bottom of these reservoirs, thus becoming a handicap for the storage of surface water and an obstacle for economic development.

Our work is to do a theoretical study of a new desilting system, with dimensional analysis procedures that reduce the time spent on a given project and increase the accuracy of the results.

The objective of this study is to achieve a good level of clearing because those existing, such as the dredging technique, require enormous and expensive mechanical means.

Key-words: siltation - dams - ports – new desilting system - sediments – dredging.

ملخص

ظاهرة ترسب التربة تؤثر على جميع السدود والعديد من الموانئ في الجزائر، تترسب الرواسب في قاع هذه الخزانات، وبالتالي تصبح عائقة لتخزين المياه السطحية وعائقة لتطور الاقتصادي. عملنا يركز على القيام بدراسة نظرية لنظام جديد لاستخراج ترسب التربة، بفضل إجراء التحليل البعدي الذي يقلل الوقت المستغرق في المشروع ويزيد من دقة النتائج. الهدف من هذه الدراسة هو مردود جيد في استخراج الرواسب لان الطرق الموجودة مثل تقنية التجريف تتطلب استخدام وسائل ميكانيكية ضخمة ومكلفة.

الكلمات المفتاحية: ترسب التربة - السدود - الموانئ - نظام جديد في استخراج ترسب التربة - الرواسب- التجريف