

Département des Sciences de la Terre

Licences Sciences et Techniques

Eau & Environnement

**CHARACTERISATION QUANTITATIVE ET
QUALITATIVE DE LA VASE DU BARRAGE
TAKERKOUSTE**

Réalisé par: **LATRACH Fatimatou & SABBANI Oumaima**

Encadré par : **Pr. DAOUDI Lahcen (FST- Marrakech)**

Soutenu le 28 Juin 2017

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016-2017

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION GENERALE :	6
CHAPITRE I : LES BARRAGES DU MAROC.....	8
I.GENERALITES SUR LES BARRAGES :	8
I-1 Définitions.....	8
I-2. Utilité des barrages.....	10
II. LES BARRAGES AU MAROC :	12
II-1 Distribution des barrages :	12
II-2 Les principaux barrages de la région Marrakech Tensift El Haouz.....	14
II-3 Les problèmes affrontant les barrages du Maroc.....	16
CHAPITRE II : L'ENVASEMENT DES BARRAGAES.....	17
I.L'ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LE MONDE ET AU MAROC :	17
II.LES CAUSES DE L'ENVASEMENT :	21
II-1. Erosion des bassins versants :	22
II-2. Le transport solide.....	23
II-3. La sédimentation dans les retenues.....	23
III. LES CONSEQUENCES DE L'ENVASEMENT :	24
III-1 Réduction de la capacité :	24
III-2. La sécurité de l'ouvrage :	25
III-3. Blocages des vannes:.....	25
III-4.La sédimentation dans les canaux d'irrigation:.....	25
III-5. Accélération de l'Eutrophisation :	25
IV. LES METHODES DE QUANTIFICATION DE L'ENVASEMENT :	26
V.STRATEGIES DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT :	27
I. METHODES PREVENTIVES :	27
II.METHODES CURATIVES :	28
II-2.Le soutirage des courants de densité:.....	28
II-3. La réalisation des barrages de décantation:.....	28
CHAPITRE III : L'ENVASEMENT DU BARRAGE.....	30
TAKRKOUST :	30
I.LOCALISATION DU BARRAGE :	30
II.CARACTERISTIQUE DU BASSIN DE N' FIS :	31

III. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE ET DE SA RETENUE :	32
IV. OBJECTIFS DU BARRAGE :	32
V. ENVASEMENT DE LA RETENUE :	33
CHAPITRE VI : CARACTERISATION DE LA VASE DU BARRAGE LALLA TAKERKOUST	37
I. ECHANTILLONNAGE ET TERRAIN :	37
II. TECHNIQUES D'ETUDE :	40
II-1. La calcimétrie :	40
II-2. Mesure de la matière organique :	41
II-3. Granulométrie laser :	42
III. RESULTATS DES ANALYSES	43
V. CONCLUSION GENERALE	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
LISTE DES TABLEAUX	54

Dédicace

Louange à Dieu qui nous a amené vers ça et nous n'étions pas l'atteindre sans sa volonté.

Nous dédions ce travail, comme preuve de respect, de gratitude et de reconnaissance à :

Nos chères familles pour leur affection, leur patience et leurs prières.

Nos meilleurs amis pour leur aide, leur temps, leur encouragements et leur assistance et soutien.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment.

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et notre gratitude profonde à notre encadrant **Mr. DAOUDI Lahcen** pour son encadrement, son soutien, ses conseils et sa disponibilité. Ses qualités scientifiques et humaines ont contribué énormément à l'aboutissement de ce travail.

Un remerciement spécial à **Mme BOURGEOINI** responsable de la filière Eau et Environnement, qui suit de près notre avancement et qui nous encourage en permanence.

Nos vifs remerciements s'adressent également au membre de jury :

Mr. IGMOU LAN Brahim d'avoir accepté de participer à la discussion et au jugement de ce travail.

Nous remercions très chaleureusement **Mr. GOURFI Abdelali** étudiant au cycle de Doctorat pour ses conseils et son aide.

En fin, on réserve une pensée spéciale à tous **les enseignants** de la LST EE qui ont assuré notre formation, et à tous **nos camarades** de promotion qui ont apporté un plus à notre travail que ce soit de près ou de loin.

I. INTRODUCTION GENERALE :

Le Maroc comme les autres pays du Maghreb (Algérie et Tunisie) fait partie d'une zone montagneuse caractérisée par un climat agressif avec alternance d'années sèches et humides, et des pluies d'automne dévastatrices pour les sols, d'autant plus qu'elles surviennent à une période où la couverture végétale est réduite ou inexistante, et les sols ameublés par les labours. L'érosion continue de ces sols rend inéluctable l'envasement. Ce phénomène naturel qui dépend des conditions climatiques, du relief et du couvert végétal s'accélère et s'intensifie avec l'activité humaine (occupation des sols, pratiques culturales, pâturage, déforestation...). Parmi les nombreuses conséquences de la dégradation des sols, le problème d'envasement des retenues de barrages est le plus dramatique, il se traduit, au niveau national, par une perte de capacité de près de 75 Mm³/an.

Les barrages du Maroc perdent 10% de leur capacité de stockage, soit 1,74 milliard de m³ cumulés jusqu'en 2012 sur les 14 milliards de m³ de la capacité de stockage globale. Les barrages construits dans le bassin de Moulouya sont dans une situation critique à cause de l'envasement. Ces ouvrages ont perdu 39% de leur capacité de stockage. Ils sont suivis par les barrages sur le bassin de Tensift ; c'est le cas du barrage Lalla Takerkoust . Les suivies des mesures bathymétriques réalisées depuis la surélévation de ce barrage en 1981 jusqu'en 2002, montrent que la retenue de ce barrage a connu un envasement de 22,6% du volume de la retenue à la côte normale, soit un envasement moyen de 0,8 Mm³/an. Pour cela notre travail a comme objectif la compréhension de ce phénomène et la caractérisation de la vase prélevée dans le barrage lalla Takerkoust.

Ce travail qui représente notre projet fin d'étude est réalisé au sein du Laboratoire Géosciences et Environnement du Département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences et Technique de Marrakech.

Le laboratoire de Géoscience et Environnement (LGSE) est accrédité en **janvier 2006** au sein de la **Faculté des Sciences et Techniques FSTG**, ses tâches sont gérées par Monsieur **DAOUDI Lahcen**.

Parmi les axes de recherches du LGSE :

- Dynamique des milieux littoraux et valorisation des argiles
- Architecture des bassins sédimentaires
- Morpho-diversité et valorisation du Patrimoine paléontologique
- Architecture des bassins sédimentaires.

CHAPITRE I : LES BARRAGES DU MAROC

I.GENERALITES SUR LES BARRAGES :

I-1 Définitions

La demande en eau augmente régulièrement à travers le monde. Depuis les trois derniers siècles, la quantité d'eau extraite des sources d'eau douce a été multipliée par 35 et la population mondiale par 8. La demande mondiale en eau devrait augmenter d'au moins 2 à 3% dans les décennies à venir. Par conséquent des barrages ont été construits pour répondre aux besoins humains. Les barrages contribuent clairement à la gestion efficace des ressources en eau limitées, inégalement réparties et sujettes à de larges fluctuations saisonnières.

Les barrages sont classés en deux grandes catégories :

- **Les grands barrages :** sont définis par la commission internationale des grands barrages (CIGB) comme des barrages ayant une hauteur supérieure à 15 mètres, des fondations les plus basses à la crête, ou barrages dont la hauteur est comprise entre 5 et 15 mètres et qui retiennent plus de 3 millions de mètres cubes d'eau (figure 1).



Figure 1 : Exemples des grands barrages

- Les petits barrages et les barrages collinaires** : les petits barrages ont une hauteur entre 10 et 25 m et un volume de 2 millions de m³ alors que les barrages collinaires sont de petite taille avec une hauteur de 5 à 10 m et le volume du réservoir à l'environ de 50 000 m³ (Mahfoud, 1989) (Figure 2).

10 Petits Barrages

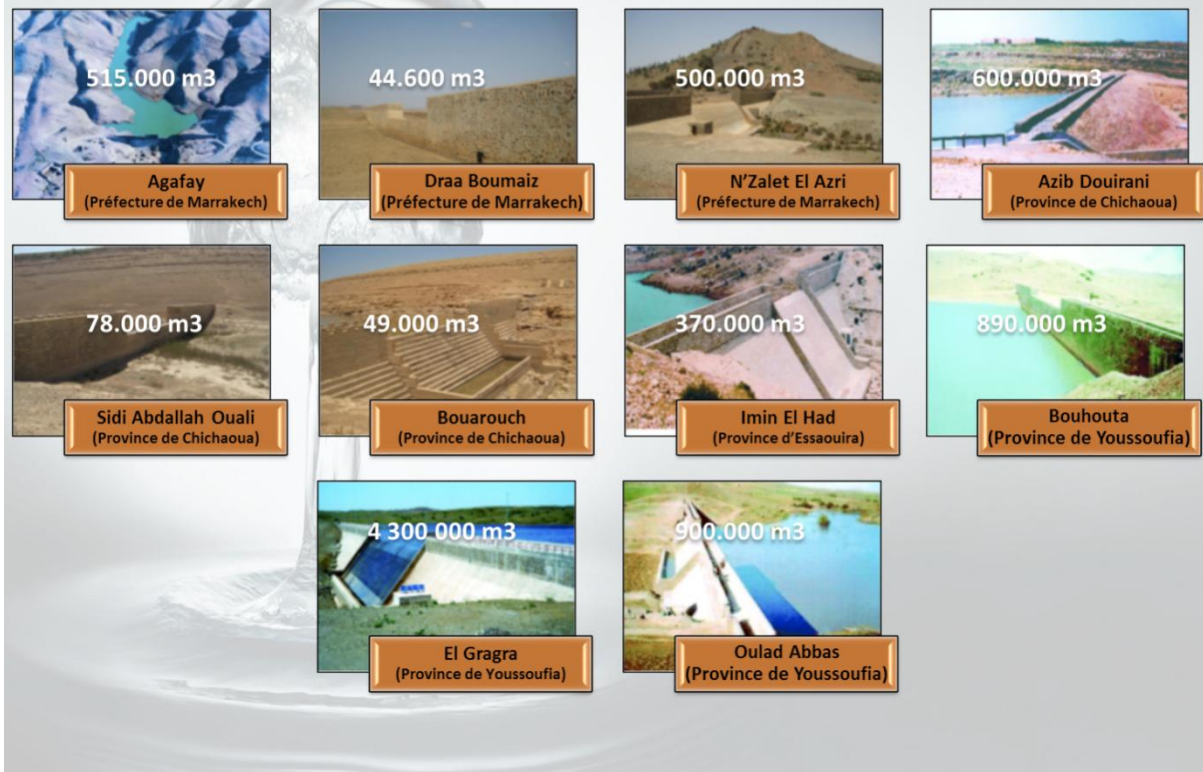


Figure 2 : Exemples des petits barrages et barrages collinaires.

I-2. Utilité des barrages

La plupart des barrages sont à but unique, mais il y a un nombre grandissant de barrages polyvalents. D'après les publications les plus récentes du Registre Mondial des Grands Barrages, l'irrigation est de loin la raison la plus courante pour construire un barrage. Parmi les barrages à but unique, 48% sont pour l'irrigation, 17% pour l'hydro-électricité, 13% l'approvisionnement en eau, 10% le contrôle des crues, 5% pour les loisirs et moins de 1% pour la navigation et la pisciculture.

- **Contrôle des crues :**

Les barrages peuvent être utilisés pour réguler le niveau des rivières et réguler efficacement le débit ascendant en stockant temporairement l'eau et en la relâchant plus tard. La méthode la plus probante pour réguler le débit est la mise en œuvre d'un système intégré de gestion de l'eau qui contrôle le stockage et les relâches des principaux barrages d'un bassin fluvial. Chaque barrage est réglé selon un programme spécifique fixé sur le débit habituel afin de contrôler les flux d'eau sans causer de dommage. Pour cela, il faut diminuer le niveau du réservoir pour faire plus de capacité de stockage lors des saisons pluvieuses. Cette stratégie permet de réduire les conséquences des crues.

- **L'irrigation :**

270 millions d'hectares sont irrigués dans le monde ; cela représente le cinquième des terres cultivées, et ce cinquième fournit le tiers de toute la nourriture disponible, ce qui représente les trois quarts de la consommation mondiale d'eau. L'agriculture est donc de loin le premier consommateur de l'eau des réservoirs.



Figure 3 : Exploitation des eaux des barrages pour l'irrigation

- **Hydro-électricité :**

L'électricité générée par les barrages est de loin la plus grande source d'énergie renouvelable au monde. Plus de 90% de l'électricité renouvelable du monde provient des barrages. L'hydro-électricité offre aussi la possibilité unique de gérer les réseaux électriques grâce à sa capacité de produire rapidement en fonction des pics de demande. Les usines de pompage-turbinage, utilisent l'énergie produite pendant la nuit, lorsque la demande est basse, pour pomper l'eau jusqu'au réservoir supérieur. Cette eau est utilisée plus tard pour produire de l'électricité, en période de pointe. Ce système constitue aujourd'hui le seul moyen de stocker de l'électricité de façon économique.

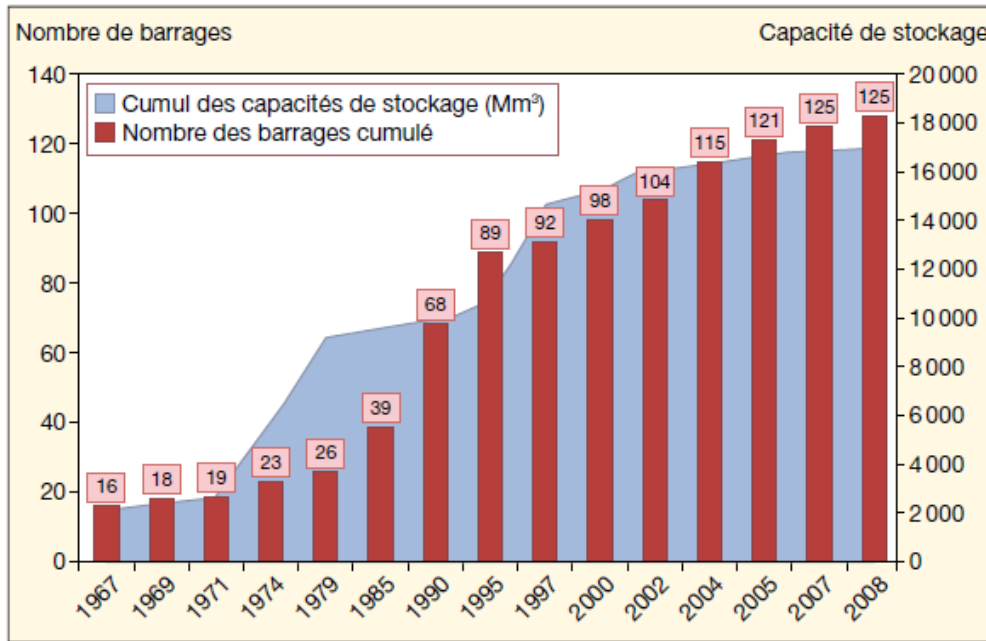
- **Distribution d'eau pour usages domestiques et industriels:**

Les barrages planifiés, conçus, construits et entretenus correctement pour stocker l'eau contribuent largement à répondre à nos besoins d'approvisionnement en eau. Pour ajuster les variations des cycles hydrologiques, les barrages et réservoirs sont nécessaires pour stocker l'eau et approvisionner avec régularité lors de pénurie.

II. LES BARRAGES AU MAROC :

II-1 Distribution des barrages :

Le Maroc comptait seize barrages seulement en 1967 pour une capacité de stockage d'à peine 2,2 milliards de m³. Aujourd'hui, avec les 135 barrages en service et 13 ouvrages de transfert dans les 19 bassins qu'il compte, le pays a relevé sa capacité de stockage à 17,5 milliards de m³. Cependant, il n'arrive à mobiliser que 54 % des apports annuels moyens des pluies que le pays reçoit. 14 grands barrages sont en cours de réalisation, avec une capacité de stockage additionnelle de 2.6 Milliards m³ (CESE,2014).



**Figure 4 : Evolution des barrages et de leur capacité de stockage
(Bouaicha, 2010)**

Concernant les petits barrages, la période de sécheresse du début des années 80, considérée comme la plus longue jamais observée, a été le point de départ d'une politique de construction de petits barrages et de lacs collinaires réalisés avec une pratique de chantiers à haute intensité de main-d'œuvre. Ces ouvrages sont destinés principalement à l'irrigation, à l'abreuvement du bétail, à la protection contre les crues ou à l'alimentation en eau potable des zones rurales dépourvues de ressources en eaux souterraines facilement exploitables. (Mahfoud, 1989 et Albergel, 2004).

En 2004, le Maroc a possédé 50 petits barrages et a programmé 1.000 petits barrages et lacs collinaires d'ici 2030 avec un rythme de 50 petits barrages par an (Roose al 2010). La capacité totale des petits barrages est évaluée à près de 100 millions de m³ (FAO, 2015).

II-2 Les principaux barrages de la région Marrakech Tensift El Haouz

- **Ressources Hydriques:**

- Eau de surface: 877,5 Mm³/an

- Eau souterraine: 451 Mm³/an.

- Trois principaux barrages : (Lalla Takerkoust, Moulay Hassan 1er, Moulay Youssef).

- La région de Tensift-Al Haouz contient 3 types des barrages :

- Les grands barrages comme le barrage de Lalla Takerkoust

- Les barrages moyens comme Ouled Abbés

- Les barrages collinaires utilisés pour le contrôle des crues ainsi que des nombreux lacs tel que lac El Masmar.

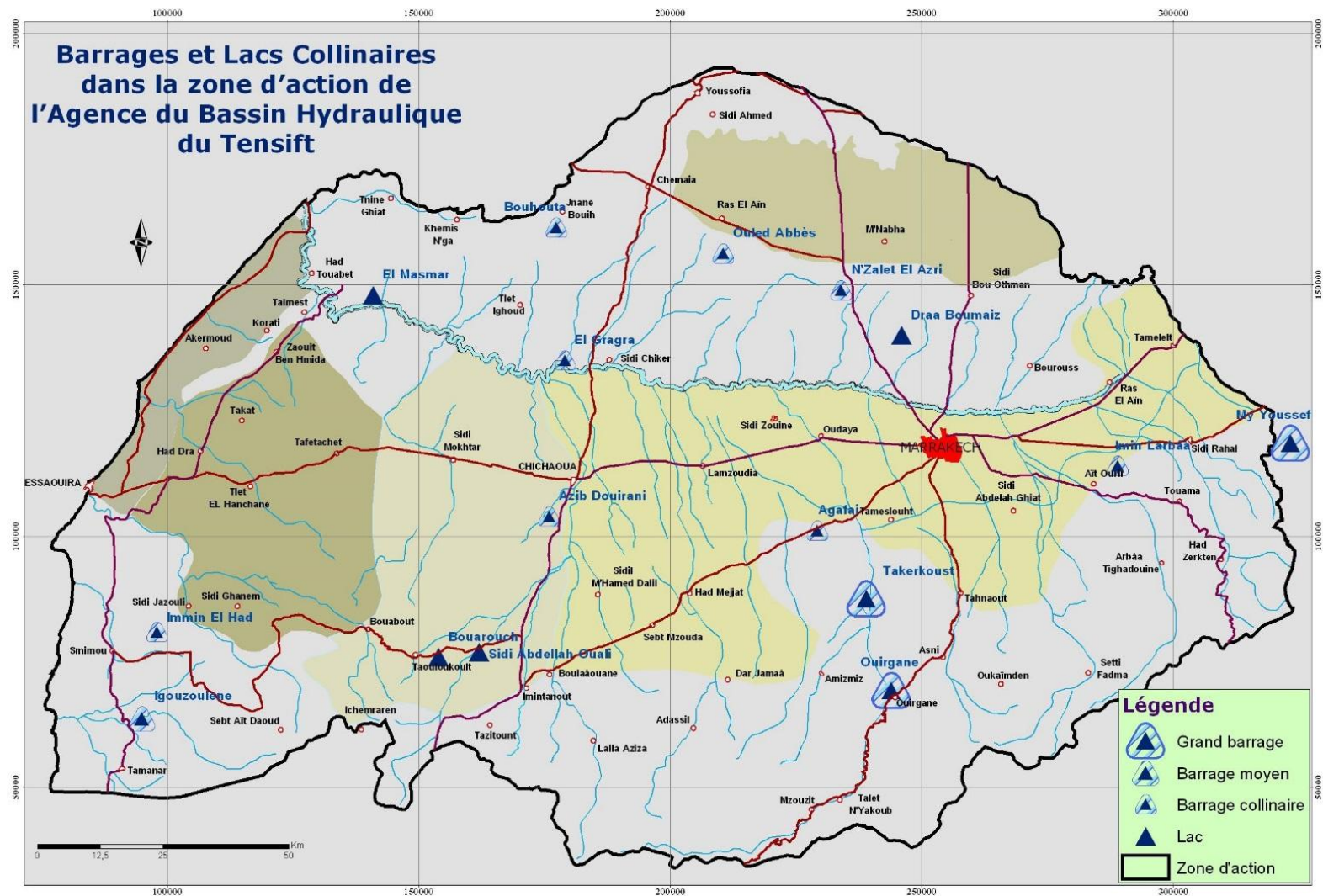


Figure 5: Carte géologique des Barrages et Lacs collinaires dans la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift (ABHT, 2010)

II-3 Les problèmes affrontant les barrages du Maroc

La conception ancienne ou l'entretien insuffisant d'un barrage peuvent ne plus répondre aux règles de l'art et de sécurité en vigueur adoptés dans les barrages. Les ouvrages concernés font l'objet d'un diagnostic sur leur fiabilité et, si nécessaire. Ces ouvrages sont confrontés aux problèmes suivant ;

- les crues exceptionnelles : pour chaque barrage, une "crue de projet" est fixée pour dimensionner les ouvrages évacuateurs, le niveau de sécurité retenu étant généralement compris entre la crue millénaire et la crue décennale. Toutefois, une crue dépassant les capacités des ouvrages peut toujours survenir ;
- Des dysfonctionnements dans la gestion de l'ouvrage (contrôles commandes, défaillances électromécaniques, erreurs humaines...)
- l'insuffisance des études préalables et du contrôle d'exécution constitue également un risque (l'obligation d'un avis du Comité Technique Permanent des Barrages et des Ouvrages Hydrauliques, pour les grands barrages, a pour objet d'éviter de telles situations) ;
- les séismes, qui peuvent causer des dommages (toutefois le plus souvent mineurs) déformations, tassements, fissures ...
- les actes de destruction et de malveillance.
- La problématique de l'envasement des barrages qui fera l'objet du prochain chapitre.



Figure 6 : l'envasement du barrage Lalla Takerkouste

CHAPITRE II : L'ENVASEMENT DES BARRAGES

L'envasement est un processus dans lequel des particules de natures et de tailles différentes cessent progressivement d'être transportées par l'eau et se déposent sous forme de strates. Les dépôts meubles, laissés par ce facteur d'érosion sur les terrains qu'elles recouvrent accidentellement ou de façon permanente, sédimentent et se consolident. Ils se composent de particules organiques et minérales qui ont été emportées par l'eau, et qui se déposent en strates successives par gravité. L'importance du phénomène d'envasement dépend de facteurs climatiques, écologiques, géomorphologiques et hydrologiques. (*Rampon, 1990*).

I.L'ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LE MONDE ET AU MAROC :

Taleb (1987) [cité par Remini et al 1997] a donné une idée sur les pertes de capacité de quelques barrages dans le monde dues à l'envasement (tableau 1).

- D'après le Tableau 1 et à travers quelques exemples dans divers continents et pays, on constate qu'il y a une variabilité concernant le % annuel de perte de la capacité de la retenue des barrages.
- L'Afrique du nord dispose actuellement de plus de 230 barrages d'une capacité totale de 1 stockage de 23 milliards de m³. Le suivi de l'envasement des retenues, a permis d'évaluer à près de 125.106 m³ la capacité perdue par envasement en moyenne chaque année.

En plus de la réduction de la capacité, la sédimentation a un impact au niveau du réservoir lui-même, en amont, et en aval du barrage. Ces pays (Algérie, Tunisie, Maroc), font partie d'une zone montagneuse caractérisée par un climat agressif avec alternance d'années sèches et humides, et des pluies d'automne dévastatrices pour les sols, d'autant plus qu'elles surviennent à

une période où la couverture végétale est réduite ou inexistante, et les sols ameublés par les labours.

➤ Le tableau 1 présente le taux d'envasement dans quelques barrages au monde

Tableau 1: Pertes de capacité dues à l'envasement des barrages dans certains pays du monde (Remini et al, 1997)

Pays	Barrages	Capacité initiale (10 ⁶ m ³)	% annuel de perte de capacité
Algérie	K'sob	1.6	2.5
	Cheura	14.4	2
	Foum El	47	1.7
	Guerza Ghrib	280	1.1
Autriche	Bachenta	0.7	3
	l Burg	0.24	2.5
Chine	Hesenglin	8.6	6.5
	Sanmenxi	9.64	5.5
Espagne	Dona AL Donza	23	6.5
	Pedro Marin	19	5.9
	Las Torcas	8.9	1.9
France	Beauvoir	11	3
	Escale (durancier)	15.7	4.2
Grèce	Lauros	1	4.3
	Tungabhadr	3750	1.4
Inde	Nizamasca	1050	1.4
	r Panchet	1580	0.7
	Hill Nickor	43	6.3
Maroc	Lalla	77	2
	Takerkoust	725	2
	Mohamed V	43.6	1

Etats Unis	Imperial (ColoradoArizona)	104	11.2
	Austin(Colorado Texas)	39.4	7.35
	Boysen (Big Horn River)	22	6.25
	Mc milan (New Mexico)	35	6.1
	Zuni (Zuniriver)	19.5	3.5
	Zuni (Zuniriver)	191	2.3
	Alhogordo (New Mexico)	58.2	2.3

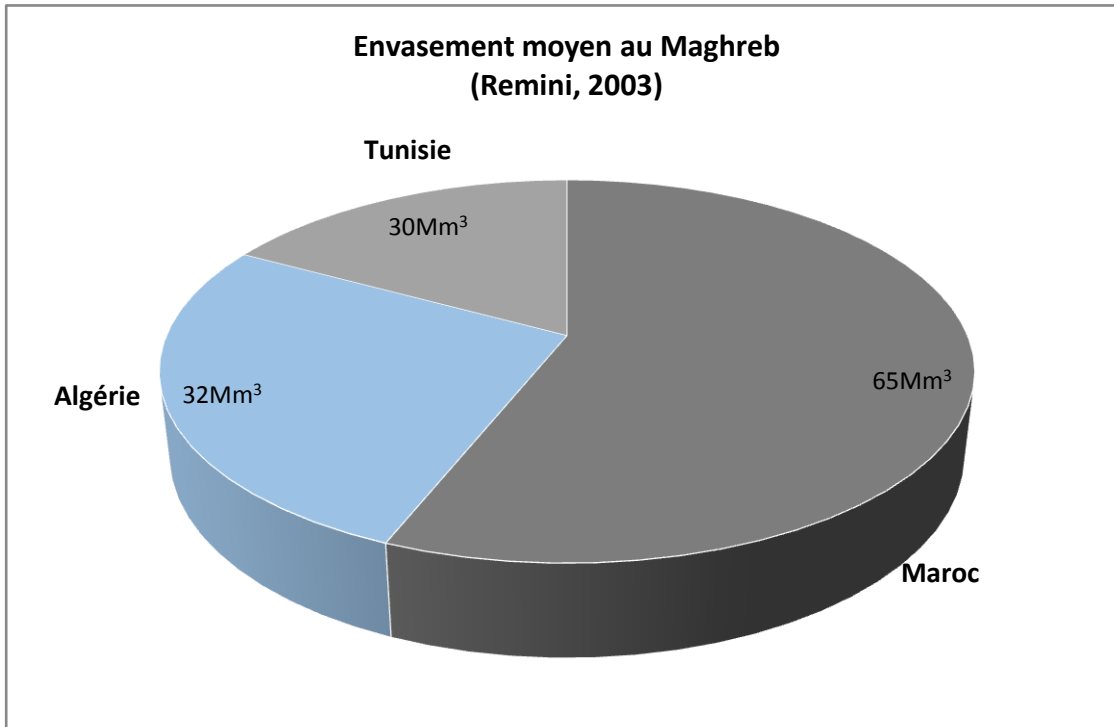


Figure 7 : Taux d'envasement des barrages dans les pays du Maghreb

- Les infrastructures hydrauliques Marocaines enregistrent une perte en volume avoisinant de 0.5% de la capacité totale de stockage qui est de 10 milliards de m³.

L'envasement des barrages est estimé à 75 millions de m³/an. La perte en capacité des grands barrages dépasse maintenant les 820 millions de m³. A titre d'exemple, le barrage Mohamed V au Maroc, d'une capacité de 567 hm³ reçoit annuellement un volume de vase de 14,5 hm³, soit une perte annuelle de 2,5 % de sa capacité totale (Remini et Hallouche, 2007). Tous les barrages construits depuis plus de 20 ans sont envasés à plus de 10% de leur capacité initiale.

Le tableau 2 montre la perte en capacité des grands barrages au Maroc :

Tableau 2: Taux d'envasement des barrages du Maroc (Belaabed, 2012)

Bassin	Barrage	Capacité de la retenue	Envasement 2003	Envasement 2004(Mm³/an)
Bassin du Nord Loukkos, M'harhar, Hachef Côtiers Méditeraneens Et Neckor	Nakhla	4.9	0.2	0.2
	Smir	41.9	0.2	0.3
	M.B.Al khattabi	26.6	1	1.1
	Joumoua	6.5		0.5
	9 avril 1947	300	0.5	2
	Ibn Battouta	33.9	0.6	0.6
	Oued El Makhazine	724	3.2	4.1
Moulouya	Moharned V	383	11.6	11.2
	Hassan II	125	5.3	5.3
	Enjil	12.5		0.5
Sebou	Al Wahda	3712.1	11	3.6
	Idriss 1er	1156.8	1.9	2.6
	Allal El Fassi	69.6	3.6	1.7
	El kansera	230.5	1.2	1.8
	Bab Louata	35.5		0.3
	Sidi Echahed	169	0.3	0.3
	Sahal	62		0.5
	Bouhouda	55		0.3
	Asfalou	316		0.5
Bou Regreg	S.M.B. Abdellah	441.5	2.5	2.5
	El Mellah	5	0.3	0.3
Oum Er-Rbia,	Al Massira	2744	3.1	3.1
	Bin Al Ouidane	1253.4	4.5	5.2
	Hassan 1 ^{er}	245	2.5	2.5
	Moulay Youssef	161	2.5	2.5
Tensift	Lalla Takerkoust	60.6	0.2	0.7

Souss -Massa,	Y.B.Tachfine	301.8	0.8	0.8
	Abdelmoumen	201.1	0.1	1.1
	Aoulouz	108.2	1.2	1.2
Draa, Ziz	Mansour Eddahbi	445.3	4.8	5
	Hassan Eddakhil	326.8	1.2	1.2
Autres petits barrages		6.
Total			64.3	70

II.LES CAUSES DE L'ENVASEMENT :

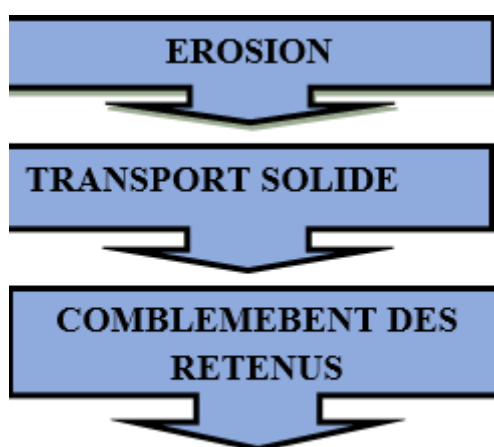


Figure 8 : Causes du processus de l'envasement.

Le phénomène de l'envasement des barrages est principalement lié à l'érosion de leurs bassins versants, qui produit des particules solides entraînées ensuite par les cours d'eau, pour se déposer enfin au fond de la retenue.

Il est donc légitime de dire que les barrages sont des bassins sédimentaires artificiellement formés, et que l'accumulation plus ou moins importante des sédiments de laquelle certains souffrent, n'est que le fruit des processus qui érodent, transportent, et déposent.

II-1. Erosion des bassins versants :

L'érosion correspond à l'ensemble des phénomènes externes qui à la surface de sol ou à faible profondeur, enlèvent tout ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief (dictionnaire de géologie, A.FOUCAULT et J.-F.RAOULT. L'érosion hydrique est la forme la plus courante et la plus répandue de l'érosion, c'est un processus impliquant le détachement de particules de sol puis leur transport sous l'action de l'eau. Ses principaux facteurs sont :

- **La pluie:** la pluie et le ruissellement superficiel constituent les deux facteurs clé de l'érosion hydrique. En effet les gouttes de pluies, par leur énergie cinétique, produisent un martèlement excessif ce qui conduit à la fragmentation des agrégats : c'est l'effet Splash. Les nouveaux agrégats (très fins) obture les pores en surfaces formant ainsi une croûte de battance, la surface devient imperméable et favorise donc le ruissellement qui arrache les matériaux sur son parcours.

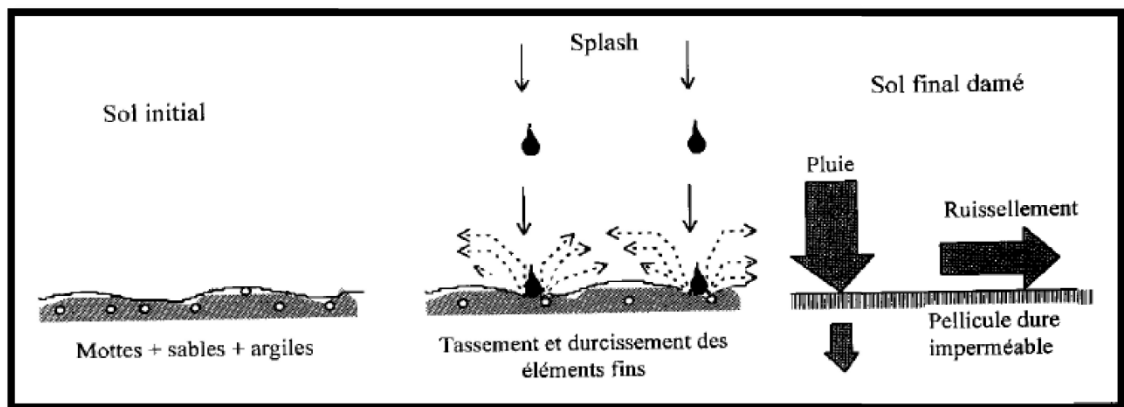


Figure 9: Effet des pluies sur l'érosion hydrique.

- **Le sol :**le sol intervient dans l'érosion hydrique par sa résistance, sa cohésion et sa conductivité hydraulique. Un sol non résistant et non cohésif est facilement érodé. Un sol à grande perméabilité réduit le ruissellement.
- **Le couvert végétal :** Le couvert végétal intervient de plusieurs façons dans le processus de l'érosion hydrique : 1) amortissement de l'effet splash, 2) le système racinaire améliore la perméabilité de sol et limite donc l'érosion.

- La pente topographique : plus la pente est forte et longue plus la vitesse de l'écoulement augmente. L'érosion s'accroît avec un écoulement rapide sur une pente forte.

II-2. Le transport solide

Les matériaux arrachés sont entraînés par les courants d'eau jusqu'aux barrages. Selon la taille des sédiments transportés on distingue trois modes de transport :

- La suspension : elle concerne les particules fines, dans ce cas les particules arrivent jusqu'aux parties profondes de la retenue des barrages
- La saltation : matérialisée par un soulèvement brutal des grains moyens et leur jet à quelques millimètres, centimètres, ou décimètres. Elle se produit surtout dans les parties aval des cours d'eau à vitesse moyenne à faible.
- La reptation : c'est le roulement sur les fonds des gros grains. Elle se produit dans les parties amont des cours d'eau à vitesse moyenne à forte.

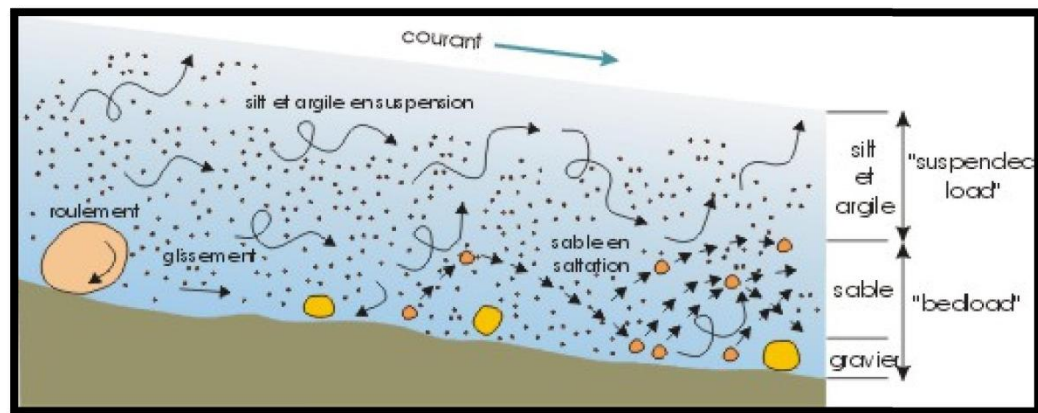


Figure 10: les différents modes du transport solide

II-3. La sédimentation dans les retenues

Lorsque les eaux fluviales chargées des sédiments arrivent à l'entrée du barrage, la vitesse d'écoulement devient faible, et par conséquent les matériaux transportés se déposent selon un ordre décroissant, formant ainsi un delta. Les particules fines sont éparpillées dans la masse

d'eau et maintenues en suspension. Dans le cas où les vannes de sortie sont fermées, ces particules flocculent et décantent pour former une vase de fond.

L'envasement des barrages est un phénomène naturel dont les conséquences peuvent être très graves. En plus de la réduction de la capacité de la retenue du barrage, la sédimentation a un impact au niveau du réservoir lui-même, en amont, et en aval du barrage. (*Remini W, Remini B 2003*).

La sédimentation des retenues des barrages pose énormément de problèmes plus au moins dangereux (réduction de la capacité utile, blocage des organes de vidange, stabilité de l'ouvrage en danger...), la gravité de tels problèmes rend l'intervention pour lutter contre l'envasement une nécessité capitale.

III. LES CONSEQUENCES DE L'ENVASEMENT :

III-1 Réduction de la capacité :

Elle représente la conséquence la plus dramatique du processus de l'envasement. Dans l'objectif d'avoir une idée générale sur l'ampleur de l'envasement à l'échelle nationale, nous présenterons dans le tableau 3 quelques barrages avec leur taux d'envasement annuel.

Tableau 3: Taux d'envasement (2002)

Barrages	Année de mise en eau	Capacité.10⁶ m³	En moy.ann. 10⁶m³/an	taux de sédimentation (%)
Mohamed V	1967	725	11,6	56
Mansour	1972	592	4,8	24
El Massira	1979	2724	9	7,5
Bir El Ouidane	1953	1484	4,5	15

III-2. La sécurité de l'ouvrage :

L'accumulation progressive des sédiments dans les retenues des barrages peut influencer négativement la sécurité de l'ouvrage. En effet les poussés dues aux dépôts solides, lorsqu'ils sont suffisamment important, peuvent mettre en danger la stabilité du barrage.

III-3. Blocages des vannes:

La présence des courants de densité dans une retenue accélère la sédimentation, et peut avoir comme impact l'obturation des organes de vidange. La non maîtrise du mécanisme des courants de densité peut avoir un effet néfaste sur les vannes de fond. En effet, l'ouverture tardive des vannes de fond, par rapport à l'arrivée des courants de densité, favorise la consolidation des vases près des pertuis de vidange et rend plus difficile leurs manœuvres (*Remini et al, 1997*).

III-4. La sédimentation dans les canaux d'irrigation:

Un autre problème délicat est posé par la sédimentation qui s'étend cette fois-ci à l'aval du barrage. En effet, l'irrigation par l'eau chargée provoque le dépôt des sédiments dans les canaux. La section mouillée diminue avec le temps et le débit d'écoulement par conséquent. Ce problème impose leur entretien, et leur dévasement d'une manière périodique. Le cas le plus parlant à ce propos dans la région de Marrakech est l'obturation du canal de la rocade encore appelé canal de Zaraba.

III-5. Accélération de l'Eutrophisation :

A cause de l'envasement, la qualité d'eau se dégrade très sérieusement à cause de l'accumulation des matières organiques. En effet, les déficits en oxygène au cours de la saison d'été ont provoqué une activité de biodégradation dans les zones profondes. C'est le cas de Kattabi (Maroc). (*Remini, 2005.*)

IV. LES METHODES DE QUANTIFICATION DE L'ENVAISEMENT :

- **Levés bathymétriques:**

La bathymétrie est la science qui permet de mesurer les profondeurs des océans, mais également des barrages, des lacs, des rivières, et de tout élément liquide pour déterminer la topographie du sol.

Aujourd'hui les mesures sont effectuées en exploitant la réflexion d'ondes acoustiques à l'aide des sondeurs bathymétriques. La profondeur est déduite donc de la mesure du temps du trajet d'un signal acoustique réfléchi par le fond.

L'échosondeur ou sondeur est un appareil électronique de détection subaquatique placé sous la coque des navires. Il « lit » les fonds, mesure la profondeur et détecte la présence d'obstacles ou de poissons à la verticale du bateau.

Ces informations sont généralement transmises sous la forme d'une image défilant sur un écran.

Il existe deux types de sondeurs acoustiques : les sondeurs mono-faisceau et les sondeurs multifaisceaux.

Les données peuvent ensuite être traitées par un logiciel de SIG. Deux opérations sont possibles : premièrement la réalisation de la carte bathymétrique, pour cela les lignes isobathes sont tracées à partir des points des mesures.

Deuxièmement la mise au point d'un modèle numérique de terrain (MNT). L'opération consiste à extrapoler les points de mesure afin d'obtenir des valeurs sur un maillage régulier (rectangulaire ou triangulaire). Le résultat est une couche de données pouvant être manipulée mathématiquement par le logiciel.

- **Méthodes mathématiques :**

Il existe d'autres méthodes mathématiques de quantification de la vase. Ces techniques qui se basent sur la recherche d'une corrélation entre le taux d'érosion spécifique calculé et quelques paramètres hydro climatiques tels que la pluie annuelle, le débit maximum annuel et la lame ruisselée ont permis de trouver des relations hautement significatives. Les résultats de la

quantification du transport solide semblent très cohérents avec les mesures directes de l'envasement dans la retenue (*Sadiki et al 2009*).

V. STRATEGIES DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT :

Afin d'assurer une bonne gestion des volumes d'eau des retenues du barrage, et pour pallier à l'effet négatif de l'envasement et de garantir les volumes régularisés, il est toujours prévu des méthodes de lutte actives et continues contre la sédimentation des barrages, on distingue deux méthodes :

I. METHODES PREVENTIVES :

La première idée qui vient à l'esprit pour réduire ce phénomène est celle qui consiste à empêcher la formation des sédiments produits par l'érosion par un traitement efficace des bassins versant. Plusieurs techniques de lutte contre l'érosion sont utilisées. Parmi les méthodes les plus utilisées, on peut citer quelques méthodes comme :

- le reboisement
- la restauration et mise en défends des sols.
- La formation des banquettes et correction torrentielles.
- La création de petits barrages en gabions dans les petits talwegs.
- La création de plage d'épandage.
- La planification des cultures suivant les courbes de niveau.
- La plantation de végétation à longues tiges dans les Oued
- Construction des terrasses

C'est une ancienne méthode utilisée partout dans les régions montagneuses marocaines.



Figure 11 : Construction des terrasses

II.METHODES CURATIVES :

Ce sont des méthodes qui concernent directement la retenue du barrage et la vase accumulée. Plusieurs techniques sont également utilisées.

I-1. La surélévation des digues des barrages:

La surélévation de la digue des barrages, s'elle est possible techniquement, permet d'augmenter la capacité de la retenue, et donc de compenser la valeur perdue par l'envasement. Cette technique est appliquée pour quatre anciens barrages marocains, dont celui de Takerkoust (Barrage Mellah, Barrage El Kensera,)

II-2.Le soutirage des courants de densité:

Cette technique consiste à l'évacuation d'une partie des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues.

La faible fréquence des crues et la pénurie en ressources en eau, obligent de conserver toute l'eau arrivée à la retenue malgré sa charge solide, cette technique est donc très limitée au Maroc.

II-3. La réalisation des barrages de décantation:

Il s'agit de construire des petits barrages en amont du barrage principal. Cette technique permet d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage, elle consiste à la création des retenues pour la sédimentation des apports solides, ce qui revient à la construction d'un autre barrage en amont du barrage cible.

L'efficacité de cette technique est tellement évidente, il suffit de comparer le taux d'envasement dans deux barrages successifs sur un même oued, à titre d'exemple le barrage Ouirgane , situé à l'aval du barrage Takerkoust .

II-4.Dragage :

Cette technique, par passage d'une drague suceuse permet d'aspirer de la vase du fond de la retenue et puis son refoulement vers l'extérieur. Cette technique est rarement utilisée car elle est très coûteuse.

CHAPITRE III : L'ENVASEMENT DU BARRAGE

TAKRKOUST :

I.LOCALISATION DU BARRAGE :

Le barrage Lalla Takerkoust est situé à environ 35 Km au Sud-Ouest de Marrakech, Il est construit sur l'oued N'fis qui prend sa source dans la chaîne du haut Atlas et qui est un affluent de l'oued Tensift traversant d'Est en Ouest l'immense plaine alluviale du Haouz de Marrakech.

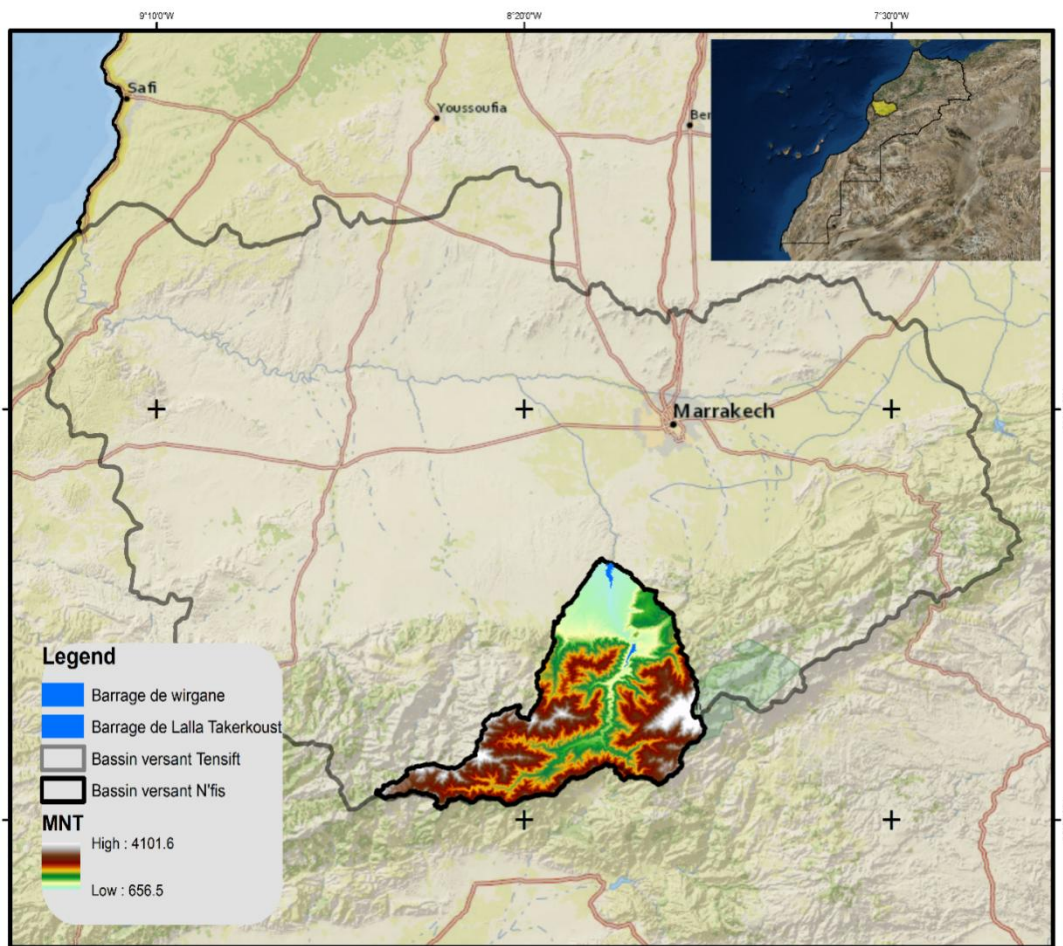


Figure 12: position géographique du barrage Lalla Takerkoust

II. CARACTERISTIQUE DU BASSIN DE N'FIS :

Dans ce qui suit, nous allons présenter quelques caractéristiques du bassin versant de N'fis (Tableau 4):

- La superficie du bassin versant est de 1700 km² ;
 - L'apport moyen annuel au niveau de la retenue du barrage est de 176.38 Mm³, correspondant à un débit de 5.59 m³/s ;
 - La lithologie est constituée essentiellement des limons, des alluvions et des schistes ;
 - La dégradation spécifique est de 544 t/km²/an.
 - L'apport moyen interannuel en 1991 est de 165.3 10⁶ m³. soit un débit moyen interannuel de 5.24 m³/s
- Le tableau 4 récapitule les différents caractéristiques morphologique du bassin versant du N'fis

Tableau 4: Caractéristiques morphologiques du bassin versant du N'Fis.

Superficie du BV (Km ²)	1707	Altitude moyenne (m)	2074
Périmètre du BV (Km)	245	Altitude maximale (m)	4088
Indice de compacité KG	1.7	Altitude minimale (m)	770
Temps de concentration	8h30min	Pente moyenne de l'Oued (%)	2.5
Longueur du rectangle équivalent (Km)	106.48	Pente moyenne de tous les versants (%)	3.5
Largueur du rectangle équivalent (Km)	15.21	Longueur du talweg principal (Km)	82

III. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE ET DE SA RETENUE :

Le tableau 5 récapitule les principales caractéristiques du barrage Lalla Takerkoust.

Tableau 5: caractéristiques générale du barrage Lalla Takerkoust

Année de mise en service	Type	Cote normale (m)	Surface à la cote normale km ²	Capacité initiale Mm ³	Hauteur sur fondation (m)
1935 (surélévation en 1980)	Poids béton	664.6	6.08	72.5	71

- La tranche morte est de 9.5 Mm³.
- L'évacuateur des crues est constitué par 4 vannes de surface dont la cote de déversement est de 657.9 m. Le débit de l'évacuateur des crues est de 2000 m³/s. Alors que le débit maximum des crues de projet est de 2060 m³/s pour une fréquence de 1/10000.
- La vidange de fond : équipée de l'amont à l'aval d'une vanne de garde et d'une vanne de réglage, de cote de prise limite de 605.8m, elle permet de libérer un débit de 26 m³/s à la cote normale.

IV. OBJECTIFS DU BARRAGE :

Les principales raisons qui ont conduit à la construction du barrage sont :

- L'agriculture : le volume total régularisé par la retenue est de 85 Mm³ destinés à l'irrigation d'une superficie de l'ordre de 9800 ha dans le périmètre du Haouz.
- Energie : grâce à une usine hydroélectrique équipée de deux turbines, la productivité énergétique moyenne annuelle générée par cette usine s'élève à 15 millions de Kwh (15 Gwh).

V.ENVASEMENTDE LA RETENUE :

En 1980, le barrage de Lalla Takerkoust a subi une surélévation et sa capacité de retenue est passée de 53 Mm³ à 72.5 Mm³. Par ailleurs, en l'année 2004 le barrage d'Ouirgane (barrage de compensation) a été construit en amont du barrage Takerkoust. Pour cette raison, nous allons étudier l'évolution du phénomène de l'envasement avant surélévation, après surélévation et après construction du barrage d'Ouirgane. Le but de cette étude est de tirer des éléments sur les conséquences de ces aménagements sur l'évolution du rythme de l'envasement.



Figure 13: photos de l'envasement du barrage Lalla Takerkoust

V-1 Envasement de la retenue avant surélévation :

Entre 1935 et 1980, quatre campagnes de mesures d'envasements ont été effectuées successivement en 1954, 1963, 1975 et 1981.

Ces campagnes ont fourni les envasements moyens annuels sont présentés dans le tableau 6

Tableau 6: Envasement de la retenue du barrage Lalla Takerkoust (Lahlou, 1994)

Période analysée	Durée (an)	Envasement pour la période en Mm3	Envasement moyen annuel en Mm3
1934-1954	20	8.2	0.41
1934-1963	29	14.5	0.48
1934-1975	41	18.4	0.45
1975-1980	5	5	1

V-2. Envasement de la retenue après surélévation

Après la surélévation du barrage en 1980 jusqu'à 1999, le barrage Lalla Takerkoust a fait l'objet de quatre campagnes de mesures d'envasements successivement en 1988, 1991, 1995 et 1999. Les résultats fournis sont comme suivants :

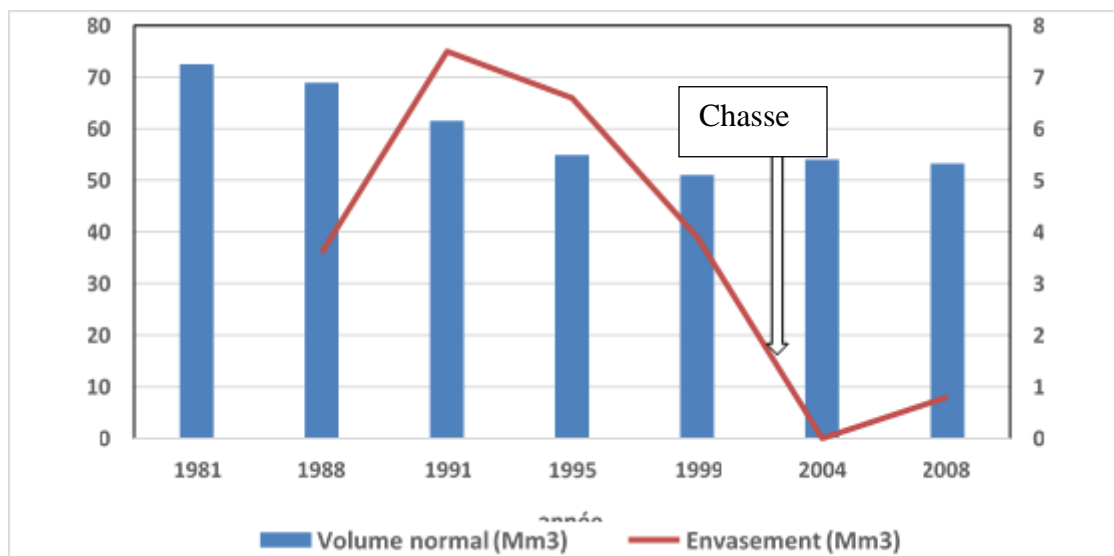


Figure 14: Evolution du volume normal et taux d'envasement par période de mesure au barrage de Lalla Takerkoust (DRPE et ABHT).

La Figure 14 fait ressortir que l'envasement total depuis la surélévation du barrage Lalla Takerkoust en 1980 jusqu'à 1999 est de l'ordre de 22.4 millions de m³, soit une perte de 30 % de sa capacité initiale.

Le taux d'alluvionnement varie entre 3.6 Mm³ pour la période 1981-1988, soit 0.5 Mm³ par an et 7.5 Mm³ pour la période 1988-1991, soit une perte de 2.5 Mm³ par an pour cette période. Cependant, le taux de perte moyen annuel obtenu sur un intervalle de 19 ans (1980-1999) s'élève à 1.2 Mm³.

Au fur et à mesure du temps, on enregistre une diminution successive de la capacité de la retenue jusqu'à 2004 ; où le volume normal prend une tendance vers l'augmentation, cette augmentation ne peut être expliquée que par les campagnes de chasse qui ont été effectuées selon quatre tranches à partir de 2003 et qui ont permis d'extraire un volume total de sédiments de 5.3 Mm³.

V-3 Envasement de la retenue après construction du barrage d'Ouirgane

La construction du barrage d'Ouirgane a été réalisée en l'année 2008. On constate très nettement que la construction de ce barrage a un effet très important sur la réduction du taux d'envasement.

Deux levés bathymétriques de la retenue du barrage Lalla Takerkoust dans la province d'Al HAOUZ ont été effectués par l'agence du bassin hydraulique Tensift à 2012 et 2015 pour

suivre l'évolution de l'envasement de la retenue du barrage et connaître la répartition spatiale des sédiments dans la retenue.

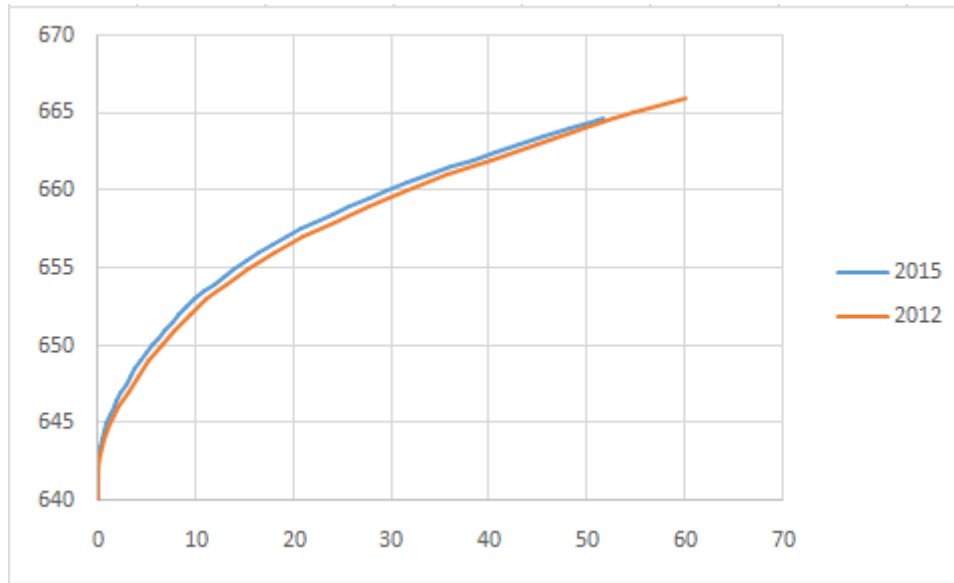


Figure 15: l'évolution de la cote NGM en fonction du volume d'eau

Allant des basses altitudes vers les hautes altitudes, le volume d'eau augmente en fonction de la cote NGM.

Entre les deux années 2012 et 2015, on note que le volume d'eau a diminué, cette diminution correspond à la partie envasée de la retenue entre ces deux années.

La forme de la courbe cote NGM en fonction du volume d'eau donne une idée générale sur la forme du fond de la retenue du barrage de Takerkoust et même sur les endroits les plus envasés entre les deux années.

CHAPITRE VI : CARACTERISATION DE LA VASE DU BARRAGE LALLA TAKERKOUST

I.ECHANTILLONNAGE ET TERRAIN :

Deux sites au niveau du barrage Lalla Takerkoust ont été choisis pour servir de lieux de prélèvements d'échantillons de vase (Figure 16).

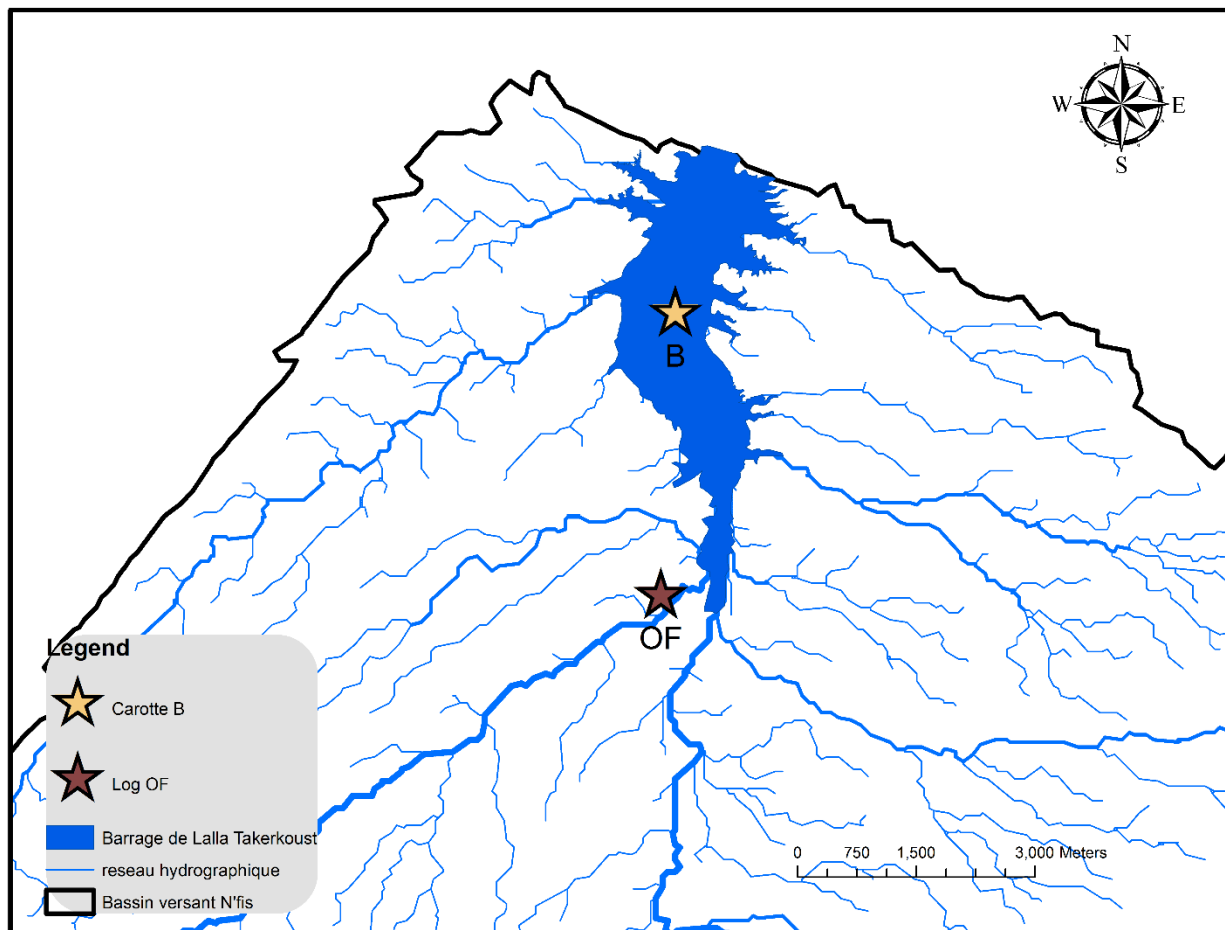


Figure 16: Position géographique des 2 sites de prélèvement

_ A l'entrée du lac du barrage, au niveau de l'embouchure de l'affluent Amzmiz, nous avons prélevé, pendant une sortie que nous avons effectuée le 25 Mai 2017, onze

échantillons de vase sur un profil de 1 m de hauteur (site OF, figure 16). La coupe correspondant à ce profil est présentée dans la figure 17.



Figure 17: coupe du profil

_ Une carotte de 3,5 mètre de hauteur (site Figure 16) a été prélevée le 5 Mai 2016 par Mr GOURFI Abdelali dans le cadre de sa thèse de doctorat. Nous avons pris des échantillons raison un échantillon / 2cm. Au total 75 échantillons ont été analysés et étudiés. La carotte prélevée est représenté dans la figure 18.



Figure 18 : photo de la carotte.

II. TECHNIQUES D'ETUDE :

Dans le but de caractériser les échantillons de vase, nous avons utilisé trois techniques d'analyses pour chaque échantillon : la calcimétrie, la teneur en matière organique et la granulométrie laser.

II-1. Lacalimétrie :

Tout matériau contenant du carbonate de calcium (CaCO_3) fait effervescence au contact d'un acide . Dans cette manipulation, l'acide utilisé est l'acide chlorhydrique (HCl). L'action de HCl sur CaCO_3 est exprimée par la réaction suivante :

L'action de HCl sur une mole de CaCO_3 libère une mole de CO_2 . En conséquence, le volume du gaz CO_2 peut être facilement déterminé afin d'en déduire le pourcentage de CaCO_3 dans l'échantillon.

L'opération s'effectue à l'aide d'un calcimètre de Bernard. L'échantillon finement broyé est pesé (environ 1 g) et attaqué par HCl dans un erlenmeyer lié à un tube gradué remplie d'eau saturée en sel. La variation en graduation du tube gradué permet de mesurer le volume de CO_2 dégagé lors de la réaction des carbonates avec HCl.

Le pourcentage de CaCO_3 : $\% \text{CaCO}_3 = \Delta V / M \times Q$



manipulation (Q = 0,432 pour 25°C et 1 atm)

ΔV : différence de volume avant et après réaction

M : masse de l'échantillon

Q : Coefficient dépendant de la pression et de la température de la manipulation (Q = 0,432 pour 25°C et 1 atm)

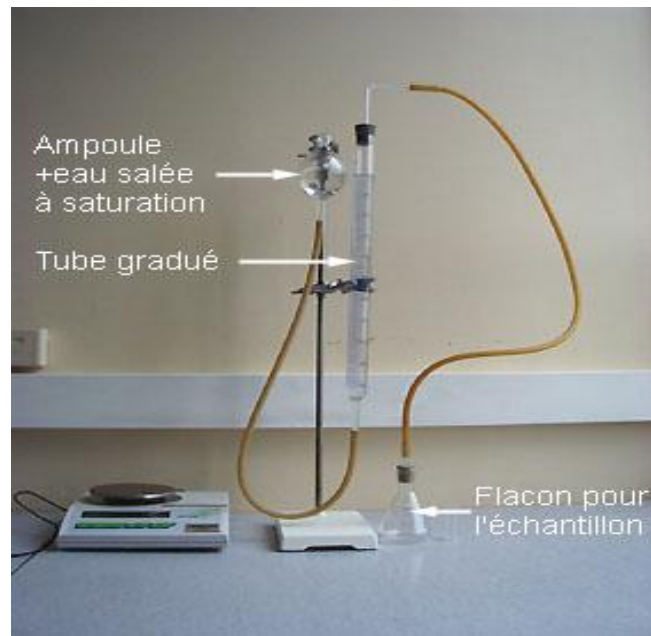


Figure 19: Schéma du calcimètre de Bernard.

II-2. Mesure de la matière organique :

➤ Principe et mode opératoire :

La méthode utilisée est celle de la perte au feu ; cette méthode permet de mesurer directement la matière organique dans le sol. On place les échantillons pendant (4 heures) dans un four à moufle à 550 °C. La perte de poids, après calcination, nous donne la matière organique. Le pré séchage des échantillons à 150 °C réduit la variabilité du test en éliminant l'eau emprisonnée dans les feuillets de sol. Les étapes de la mesure consistent en :

- _ Sécher l'échantillon de sol pendant une nuit (16 heures) à 150 °C.
- Nettoyer les creusets en les chauffant au rouge, puis laisser refroidir.
- Prendre le poids du creuset vide. Ajouter 10 g de sol séché.
- _ Noter le poids final.
- Calciner le sol au four à moufle à 550 °C pendant 4 heures.
- Laisser refroidir et peser le creuset contenant les cendres.

II-3. Granulométrie laser :

➤ Principe :

La diffraction laser mesure les distributions granulométriques des particules en mesurant la variation angulaire de l'intensité de lumière diffusée lorsqu'un faisceau laser traverse un échantillon de particules dispersées. Les grosses particules diffusent la lumière à de petits angles par rapport au faisceau laser et les petites particules diffusent la lumière à des angles supérieurs.

Cette analyse est effectuée avec l'appareil Horiba LA 300 (Figure 21) dont le banc optique comprend une diode laser à 650 nm combinée à une série de détecteurs frontaux, latéraux et arrière (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Grâce à son optique de type « Fourier inversé », l'appareil mesure des particules en voie liquide allant de 0,1 à 600 μm . Son système de circulation comprend une pompe centrifuge et une cuve à ultrasons servant à favoriser une dispersion optimale.

Cette méthode permet de connaître rapidement les proportions en argile-limon-sable pour un échantillon en 20 secondes.

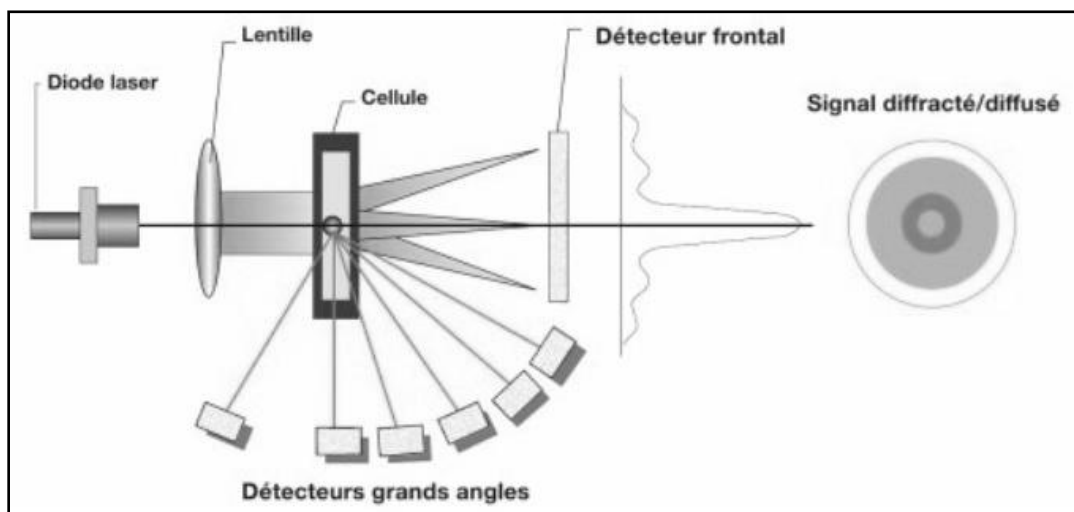


Figure 20: Principe de l'analyse par granulométrie laser.

La fraction inférieure à 40 µm est extraite par tamisage humide. L'échantillon à analyser est mis sous agitation dans l'eau pendant une journée le temps de le délayer suffisamment. La quantité à passer à l'analyse est très faible (quelques ml). Les résultats sont donnés sous forme de tableaux et de courbes dont on extrait le pourcentage d'argile, de limon et de sable



Figure 21:Photo du granulomètre laser.

III. RESULTATS DES ANALYSES

Pour la carotte :

Les résultats obtenus par les trois méthodes d'analyses pour les échantillons de la carotte sont récapitulés dans le tableau suivant (Tableau 7) :

Tableau 7 : Résultats des analyses pour la carotte

Echantillons	%Mo	CaCo3%	Granulométrie		
			Argile%	silt%	sable %
B-1	7,5	2,9	92.0	8	0
B-3	6,6	3,1	23.8	57,7	18,5
B-5	4,5	3,5	37	49	14,0
B-7	3,8	3,6	31.8	48,5	19,8
B-9	3,7	3,5	40.3	45	14,7
B-1	4,2	4,6	22.6	47,2	30,1
B-13	2,1	4,1	23.2	46,7	30,0
B-15	3,1	3,7	26	37,7	36,3
B-17	2,7	3,1	17.9	28,7	58,7
B-19	1,5	2,4	21.9	29,2	48,9

B-21						
	5,0	3,5	31,0	33,5	35,5	
B-23	3,8	6,1	51,9	42,9	5,2	
B-25	4,1	5,4	60,7	39,0	0,3	
B-27	5	4,9	74,9	25,1	0,2	
B-29	6,1	4,9	49,8	50,1	0,2	
B-31	5,8	3	62,1	37,8	0,1	
B-33	4,4	6,9	48,4	51,6	0	
B-35	4,7	5,7	85,0	15	0	
B-37	4,9	3,5	76	20,7	3,3	
B-39	4,1	3,7	33,3	49,2	17,5	
B-41	4,9	3,2	41,5	46,8	11,8	
B-43	3,9	3,9	31,9	48,6	19,3	
B-45	5,8	5,7	36,4	49,8	13,8	
B-47	5,0	4,0	61,8	34,7	3,5	
B-49	4	4,1	33,8	31,5	34,7	
B-51	4,6	3,2	78,5	18	3,6	
B-53	4,3	4,7	33,5	46,0	20,4	
B-55	4,4	3,4	28,7	55,7	15,6	
B-57	6,4	3,3	63,7	35,6	0,7	
B-59	5,5	2,6	99,3	0,7	0	
B-61	4,2	3,9	84,6	15,0	0,3	
B-63	5,5	2,5	97,4	2,6	0	
B-65	6,04	4,3	56,7	43,1	0,3	
B-67	6,3	4,7	44,8	48	7,2	
B-69	3,8	2,6	46,5	43	10,5	
B-71	4,5	4,3	63,1	31,8	5,1	
B-73	3,4	5,2	90,6	9,3	0,1	
B-75	6,0	3,4	89,4	10,6	0	
B-77	6,4	2,5	70,2	29,7	0,1	
B-79	11,1	2,4	64,4	34,7	0,3	
B-81	3,0	2,3	34,5	42,6	2,5	
B-83	3,3	3,0	39,1	39,7	21,1	
B-85	8,1	2,7	24,1	41,4	34,5	
B-87	1,3	1,9	38,4	34,4	27,3	
B-89	2,0	1,2	19,8	23,0	57,2	
B-91	4,0	1,3	11,8	16,3	71,3	
B-93	5,5	1,4	12,7	16,2	71,1	
B-95	1,3	3,6	67,1	30	3	
B-97	3,9	4,0	94	6,0	0	
B-99	4,8	2,8	96,2	3,8	0	
B-101	7,8	2,8	84,2	15,5	0,3	
B-103	6,9	2,3	58,8	40,4	0,8	
B-105	2,8	1,9	41,8	54,4	3,8	
B-107	4,2	2,4	45,3	48,9	5,8	
B-109	5,0	2,8	95,9	4,1	0	
B-111	1,8	4,1	58,0	41,7	0,3	
B-113	9,5	4,4	85,4	14,5	0,1	
B-115	2,5	2,4	70,1	29,7	0,1	
B-117	8,7	2,4	76,2	23,7	0,1	
B-119	12,6	3,1	67,3	32,5	0,2	
B-121	5,3	2,7	75,8	24	0,2	
B-123	9,5	2,0	98,9	1,1	0	
B-125	10,6	2	41,7	57,5	0,74	
B-127	2,7	2,7	61,9	37,8	0,32	
B-129	1,01	1,8	58,6	41,3	0,1	
B-131	4,1	2,4	69,5	30,4	0,1	
B-133	2,4	8,8	53,1	44,6	2,4	
B-135	4,1	13,8	26,9	53,7	19,5	
B-137	4,6	4,2	59,7	32,1	8,2	
B-139	1,4	4,1	53,0	40,5	6,4	
B-141	1,1	1,6	34,4	28,6	37	
B-143	2,2	1,4	39,6	27,6	32,8	
B-145	2,3	1,2	48,6	29,9	21,4	
B-147	1,1	1,3	37,7	24,5	37,9	
B-149	1,9	0,9	38,7	27,1	34,1	

D'après le tableau des résultats obtenus pour la carotte on observe que :

- la teneur en matière organique varie entre 1.01% et 11.1%.
- Les échantillons argileux sont plus riches en matière organique que les échantillons sableux.
- La teneur en calcite varie entre 7 et 13.8 %

Les échantillons sableux sont plus carbonatés que les échantillons argileux. En ce qui concerne les analyses granulométriques, la teneur en argile varie entre 26% et 99.3%, la teneur en silt varie entre 0.7% et 57.7%, alors que la teneur en sable varie 0 % et 71.3%.

Les enregistrements sédimentaires des grains nous a permis de mettre en évidence quatre séquences (log de la figure 20) qui se répètent d'une façon cyclique : les grains sont très grossiers à la base il s'agit des sables alors qu'ils sont des argiles très fins au sommet, on peut dire donc que chaque séquence correspond à une crue.

➤ **Pour le profil :**

Les résultats obtenus par les trois méthodes d'analyses sont représentés dans le tableau suivant (Tableau 8) :

Tableau 8: Les résultats des analyses pour le profil

Echantillons	%Mo	CaCo3%	Granulométrie		
			Argile%	silt%	sable %
OF-1	2,8	3,2	21,3	45,5	33,3
OF-2	7,8	1,6	90,8	8,5	0,7
OF-3	5,8	3,5	50,2	43,8	6
OF-4	0,9	1,7	16,2	32,6	51,2
OF-4'	2,9	2,4	30,4	71,7	18,4
OF-5	2	6,7	72,5	27,5	0,000
OF-6	4,5	2,3	15,1	43,5	41,3
OF-7	2	4,6	37,7	54,2	8,2
OF-8	2,6	1,5	28,1	50,3	21,6
OF-9	1,3	3,9	91,5	8,4	0,2
OF-10	2	1	19,3	51,7	29
OF-11	3,6	3,9	69,4	30,4	0,1

D'après le tableau des résultats obtenus pour le profil on observe que :

- la teneur en matière organique varie 0.9% et 7.8%.
- La courbe de l'évolution de la teneur en matière organique en fonction des échantillons (figure21) montre que cette dernière est très abondante dans les échantillons argileux alors qu'elle est faible en silt ou en sable.
- Le pourcentage du CaCO₃ varie inversement par rapport à la matière organique il est plus élevé dans les échantillons sableux et très faible dans les échantillons argileux.
- En ce qui concerne la granulométrie, le pourcentage de l'argile est plus élevé par rapport au silt et au sable, il peut atteindre jusqu'à 91.5% (l'échantillon est presque totalement argileux et le pourcentage du sable tend vers 0).
- Contrairement à la carotte, nous n'avons pas observé de cyclicité dans les sédiments ; les sédiments ne sont pas organisés sous forme de séquence.

IV. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS

Pour bien visualiser les résultats obtenus, nous les avons représentés sous forme de diagramme comparatif (Figures 19 et 20).

Le terme «matières organiques » de la vase regroupe l'ensemble des constituants organiques morts ou vivants, d'origine végétale, animale ou microbienne, transformés ou non, présents dans la vase. La courbe (figure20) nous a permis aussi de suivre l'évolution de la teneur en matière organique en fonction des échantillons elle augmente clairement dans les échantillons argileux mais il diminue pour les échantillons sableux. L'humus (matière organique dissociée) et l'argile sont associés en un complexe : le Complexe Argilo-Humique. L'humus protège l'argile : en retenant l'eau, il évite sa dispersion. L'argile protège l'humus de l'action des micro-organismes en ralentissant sa minéralisation.

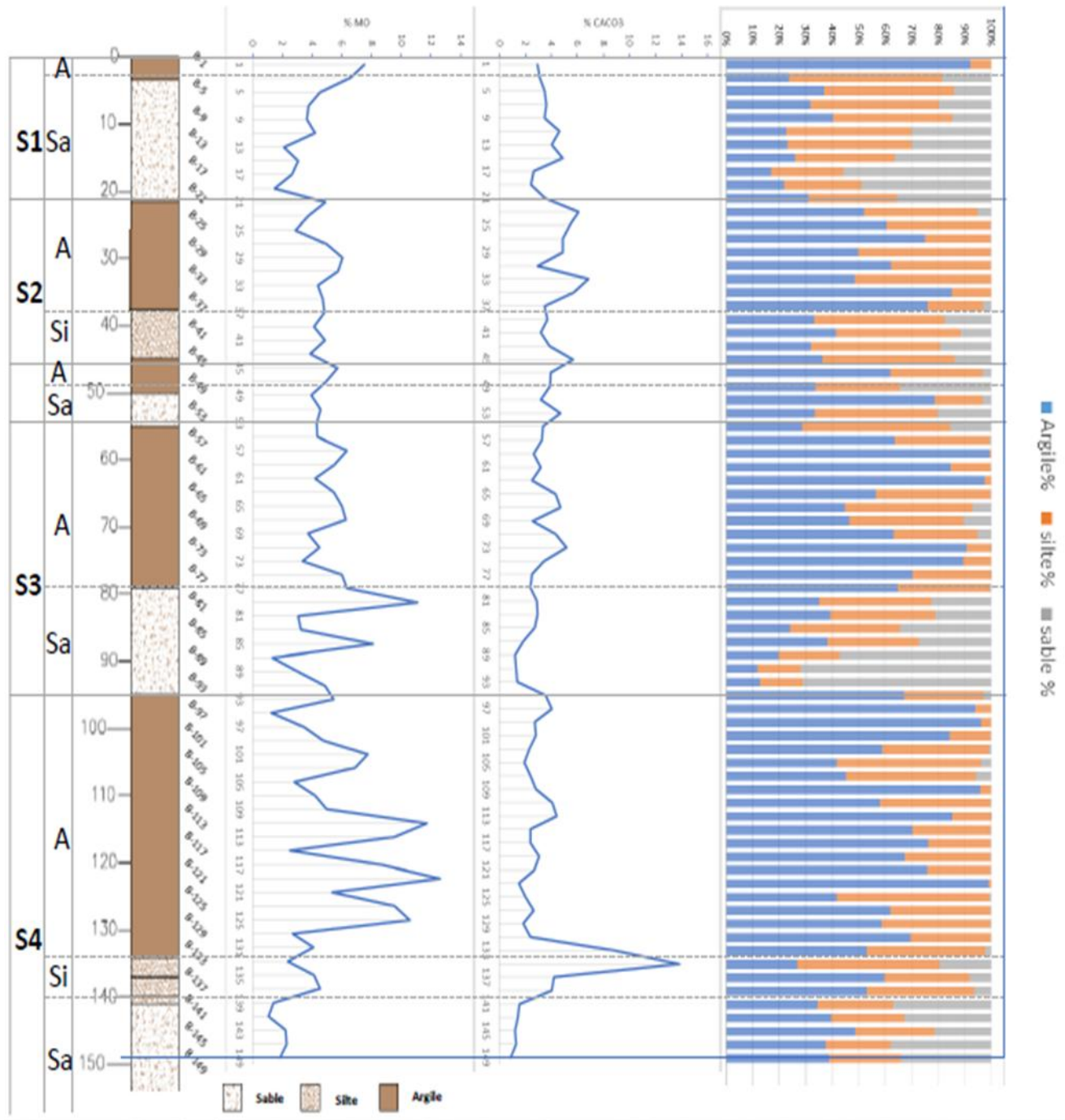


Figure 19: Evolution de la calcimétrie la matière organique et la granulométrie laser dans les échantillons de la carotte

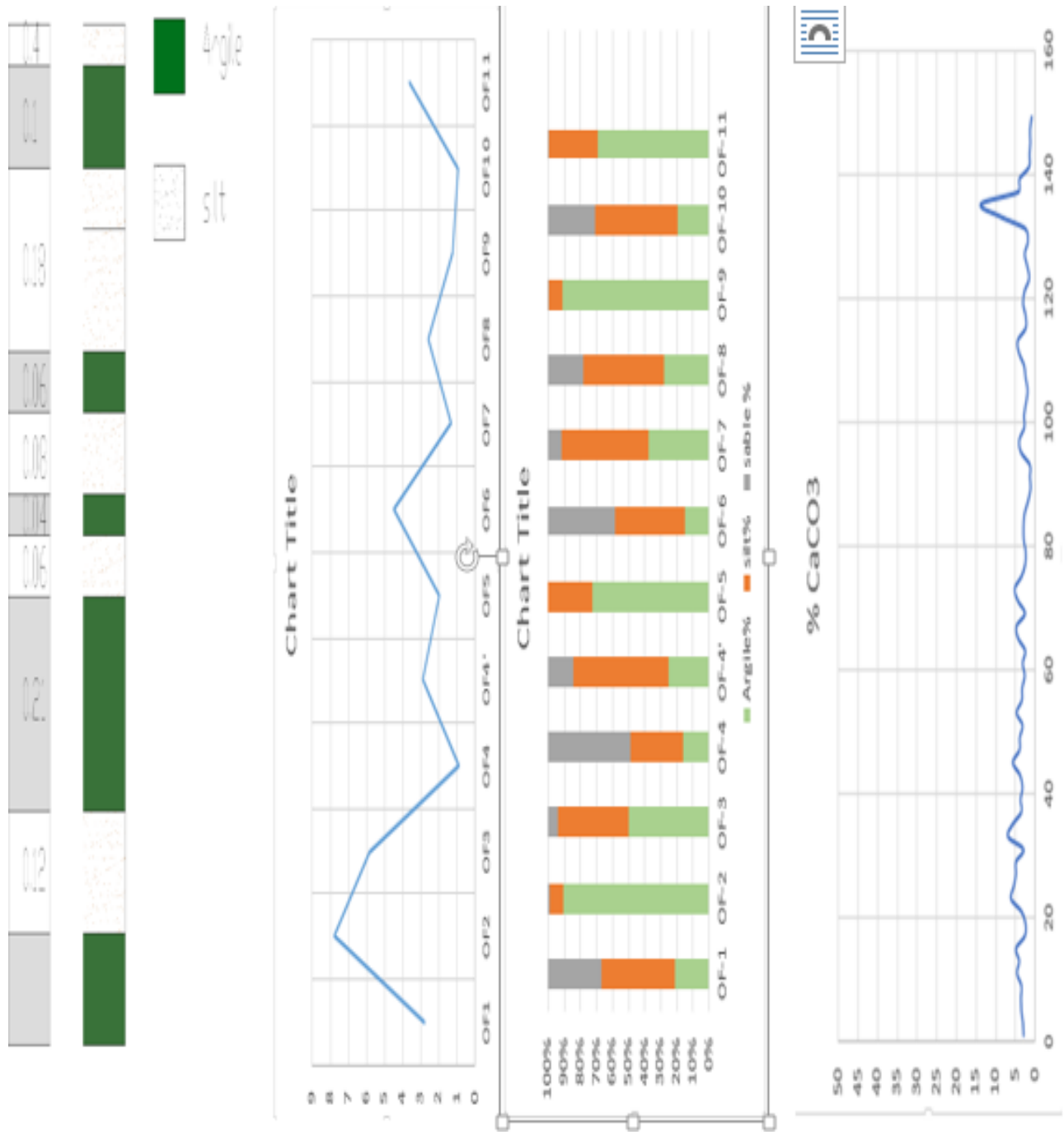


Figure 22: Evolution de la matière organique la granulométrie laser et la calimétrie dans les échantillons du profil.

- la différence obtenue entre les résultats de la carotte et de la coupe peut être due à l'endroit des deux prélèvements, la carotte a été prélevée au centre du barrage alors que le profil a été prélevé au niveau l'affluent d'Amzmiz. Allant du l'amont vers l'aval la teneur en matière organique et en CaCO_3 augmentent.
- Elle peut due aussi à l'énergie du dynamisme des courants d'eau responsable de l'absence des séquences dans l'influent d'Amzmiz milieu agitée par apport au centre du barrage qui devient calme après chaque crue.
- la texture similaire des deux vases (argile, silt et sable) donne une idée générale sur l'origine de la vase on peut dire que cette dernier peut être dus aux mêmes formations géologiques qu'ont subi l'érosion en amont ainsi que les mêmes processus et les modes de l'érosion.
- La cyclicité que nous avons remarquée dans la carotte s'explique par des événements répétitifs. Ces séquences observées correspondent certainement à des crues. Chaque séquence correspond à une crue. Plus la séquence est épaisse plus la crue est importante.
- Dans le profil, nous n'avons pas observé de séquences, ceci s'explique par le fait qu'en amont du barrage, au niveau des cours d'eau, le courant est relativement plus fort. Le courant d'une crue donnée entraine l'érosion de la partie supérieure de la crue précédente.
- Dans la retenue du barrage (zone de prélèvement de la carotte), la profondeur de l'eau permet de ralentir l'action érosive de la crue suivante ; les séquences sont plus ou moins bien complètes.

V. CONCLUSION GENERALE

Cette étude avait comme objectif la compréhension de la problématique de l'envasement des barrages et faire une étude diagnostic de ce fléau dans le barrage du Takerkoust afin de comprendre le dynamisme de la mise en place de la vase et ces caractéristiques.

Les résultats que nous avons obtenus montre que :

D'un point de vue quantitatif, la construction du barrage de Ouirgane qui est un barrage de compensation du barrage Takerkouste a permis d'obtenir un effet positif sur la réduction du taux d'envasement de ce dernier ; elle est passée de 1.19million m^3 /an avant la construction du barrage de Ouirgane à 0.16 après sa construction.

La grande surface occupée par la vase à proximité du barrage pose d'énormes problèmes écologiques et environnementaux. Ceci incite réfléchir sur la réutilisation et la valorisation de la vase dans les domaines de la construction, poterie et agronomique,

D'un point de vue qualitatif, la caractérisation de la vase montre qu'elle est riche en matière organique et en $CaCO_3$ d'autre part. D'après les résultats obtenus en granulométrie laser et à cause du taux élevé en éléments fins (argiles), la vase prélevée ne peut pas être utilisée dans le domaine agricole car elle a une mauvaise texture, une mauvaise aération et une mauvaise perméabilité. Par contre elle peut être utilisée par les artisans potiers de la région de Marrakech pour confectionner des produits artisanaux locaux.

En raison des multiples problèmes causés par le phénomène de l'envasement des barrages : réduction de la capacité des retenues, blocage des vannes, pertes économiques, risques menaçant la sécurité des barrages et risques environnementaux liés à l'eutrophisation, il apparait important de mener une étude pour la réduction des taux d'envasement. Malgré la diversité des méthodes qui tentent à réduire ce problème il n'existe pas en réalité une méthode radicale de lutte contre l'envasement, car comme il s'agit d'un phénomène naturel il est difficile de mettre en échec la nature.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Icold.2011**, commission international des grands barrages .rôle des barrages
- Leila Oualkacha** 13-14 décembre 2010, l'envasement des retenues de barrages au Maroc.
- Remini w, Remini B** (2003) La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord Laghyss
journal ISSN 1112-3680, n0 2.
- Remini** , 18 Novembre 2008 .La surélévation des barrages :une technique de lutte contre
l'envasement
- Remini B. Avenard J. Kettab A 1997** Livre de l'envasement des barrages pages 5 à 89.
- Agence du bassin hydraulique Tansifet 15/2015** .Étude bathymétrique de la retenue du
barrage Lalla Takerkoust dans la province d'AL Haouz.
- Lahlou A. 1994.** Envasement des barrages au Maroc.
- Mahfoud J. 1989.** Communication sur les barrages collinaires.
- Lahlou A., 1987.** Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. *Sciences de l'eau* 6
(3): 337-356.
- Lahlou A (1987).**Etude actualisée de l'envasement des barrages au Maroc. *Sciences de l'eau* 6
(3):337-356.
- Sadiki A. Feleh A., Zezer J., et Mastass H.**2009.quantification de l'érosion dans lae bassin
versant de l'Oued sahla.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Exemples des grands barrages.....	9
<i>Figure 2 : Exemples des petits barrages et barrages collinaires.</i>	10
Figure 3 : Exploitation des eaux des barrages pour l'irrigation.....	11
Figure 4 : Evolution s de stockage.....	13
<i>Figure 5 : Evolution des barrages et de leur capacité de stockage (Bouaicha, 2010).....</i>	13
Figure 6 : l'envasement du barrage Lalla Takerkoust.....	16
Figure 7 : Taux d'envasement des barrages dans les pays du Maghreb	19
Figure 8 : Causes du processus de l'envasement.....	21
Figure 9: Effet des pluies sur l'érosion hydrique.....	22
Figure 10: les différents modes du transport solide	23
Figure 11 : Construction des terrasses	27
Figure 12: position géographique du barrage Lalla Takerkoust	30
Figure 13: photos de l'envasement du barrage Lalla Takerkoust	33
Figure 14: Evolution du volume normal et taux d'envasement par période de mesure au barrage de Lalla Takerkoust (DRPE et ABHT).....	35
Figure 15: l'évolution de la côte NGM en fonction du volume d'eau.....	36
<i>Figure 16: Position géographique des 2 sites de prélèvement</i>	37
Figure 17: coupe du profil.....	38
Figure 18 : photo de la carotte.	39
Figure 19: Schéma du calcimètre de Bernard.	41
Figure 20: Principe de l'analyse par granulométrie laser.	42
Figure 21: Photo du granulomètre laser.....	43
Figure 22: Evolution de la matière organique la granulométrie laser et la calimétrie dans les échantillons du profil.	49

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Pertes de capacité dues à l'envasement des barrages dans certains pays du monde (Remini et al, 1997)	18
Tableau 2: Taux d'envasement des barrages du Maroc (cité par Belaabed, 2012)	20
Tableau 3: Taux d'envasement (2002)	24
Tableau 4: Caractéristiques morphologiques du bassin versant du N'Fis.	31
Tableau 5: caractéristiques générale du barrage Lalla Takerkoust	32
Tableau 6: Envasement de la retenue du barrage Lalla Takerkoust (Lahlou, 1994)	34
Tableau 7: : Les résultats des analyses pour la carotte	43
Tableau 8: Les résultats des analyses pour le profil	46