

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

LEDJILOT Mohamed

MAZARI Mourad

Soutenance en vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : HYDRAULIQUE

Option : Ressources Hydraulique

Thème :

**Mesures préventives contre l'envasement des barrages en Algérie
avec étude de cas (barrage K'sob).**

Devant le jury composé de :

Meridja Madani	MCB	UAMOB	Président
Kara Benyekhlef	MAA	UAMOB	Encadreur
Ghernaout Redhouane	MCA	UAMOB	Examineur
Khaldi Ramzy	MCA	UAMOB	Examineur

Année Universitaire 2017/2018

REMERCIEMENT

Tout d'abord, tout louange à dieu qui m'a fourni le courage, la capacité et la patience pour réaliser ce modeste travail avec toutes ses difficultés et ses obstacles.

*Je voudrais remercier spécialement notre promoteur, Monsieur **KARA Benyekhlef**, enseignant à l'université de Bouira, pour nous avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce projet et pour l'encadrement de ce travail et sa disponibilité ainsi que ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

Un merci particulier à Monsieur le directeur de barrage K'sob.

Nos respects s'adressent aux membres de jury. Qui nous feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Un remerciement aux étudiants qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce Mémoire.

Enfin, il me serait impossible de terminer ces remerciements sans adresser une pensée chaleureuse à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

- ✓ A mes parents pour les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard*
- ✓ A mon épouse qui m'a encouragé pendant toutes mes études.*
- ✓ A mes enfants, Adem et Islem.*
- ✓ A mes frères et sœurs.*
- ✓ A toute ma famille.*
- ✓ A mes amis sans exception.*

LEDJILOT Mohamed

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

- ✓ A mes parents pour les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard*
- ✓ A mon épouse qui m'a encouragé pendant toutes mes études.*
- ✓ A mes enfants Abd Elrraouf & Youcef.*
- ✓ A mes frères et sœurs.*
- ✓ A toute ma famille.*
- ✓ A mes amis sans exception.*

MAZARI Mourad.

Sommaire

Introduction générale	01
------------------------------------	-----------

Chapitre I: problématique de l'envasement et statistiques générales

I. Introduction	02
I.2 Problématique de l'envasement des barrages en Algérie	03
I.3 Historique de l'envasement des barrages Algériens.....	03
I.4 Quantification et statistiques de l'envasement des barrages algériens	05
I.5 Certain barrages envasé	07
I.5.1 Barrage de FERGOUG	07
I.5.2 Barrage de FOUM EL GHERZA	08
I.5.3 Barrage OUED EL FODDA	08
I.5.4 Barrage de BOUHANIFIA	08
I.6 Conséquences de l'envasement sur la retenue d'un barrage	08
I.6.1 sur les volumes régularisés et performances d'un barrage	09
I.6.2 Obturation des organes de vidanges.....	13
I.6.3 Sur la sécurité de l'ouvrage	13
I.6.4 Sur la sécurité des ouvrages annexe du barrage	14
I.6.5 Sur la capacité de laminage des crues.....	14
I.6.6 Sur la qualité de l'eau	14
I.6.7 Sur les infrastructures en aval	15
I.7 Conclusion	16

Chapitre II : Cause et origine de l'envasement

II.1 Introduction	17
II.2 Définition de la vase.....	18
II.2.1 Qu'est-ce qu'une vase	18
II.3 Etape de l'envasement d'un barrage	18
II.4 L'érosion des bassins versants.....	19
II.4.1 Erosion hydrique	20
II.4.1.1 Les principaux agents de l'érosion hydriques.....	21
II.4.1.1.1 Intensité et agressivité des précipitations	21
II.4.1.1.2 Le ruissellement.....	22
II.4.1.1.2.1 L'infiltration.....	23
II.4.1.1.2.2 Pente et longueur du pente	23
II.4.2 L'érosion de Sols	23
II.5 Facteurs déclencheurs de l'érosion	24
II.5.1 Le défrichement	24
II.5.2 Le surpâturage	25
II.5.3 Disparition de la terre arable.....	25
II.5.4 Inondations.....	25
II.6 Sapement des berges	25
II.7 Quantification de l'érosion	27
II.7.1 Formule universelle de Wischmeier (1959).....	27
II.7.2 Formule de Gravičovic	28
II.7.3 Formule de Tixeront	29
II.8 Le transport solide dans la retenue.....	30
II.8.1 Les apports solides par charriage	31
II.8.2 Description du phénomène	31
II.8.2.1 Formule de MEYER-PETER et MÜLLER	33
II.8.3 Les apports solides en suspension.....	34
II.8.4 Description du phénomène	35
II.8.5 Début d'entraînement des sédiments en suspension	36

II.9 Piégeage des sédiments.....	36
II.9.1 La vitesse de chute	37
II.10 Les courants de densité	37
II.11 Tassement et consolidation des vases.....	38
II.11.1 Sédimentation	38
II.11.2 Consolidation.....	38
II.12 Tassement des sédiments grossiers.....	39
II.13 Distribution des sédiments dans les retenues de barrages.....	39
II.13.1 Distribution des sédiments par courants de densité	39
II.13.2 Distribution des sédiments par l’envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines	40
II.14 Méthodes de prévision des apports solides	40
II.15 Etudes réalisées sur le transport solide et l’érosion en Algérie	40
II.15.1 Tixeront (Août 1960)	40
II.15.2 Capolini (1965-1969)	41
II.15.3 Sogreah (1969).....	41
II.15.4 Demmak (1982).....	41
II.16 Conclusion.....	42

Chapitre III : les mesures préventives contre l’envasement

III.1 : Introduction	43
III.2 Les mesures préventives contre l’envasement	44
III.2.1 Aménagement du bassin versant.....	45
III.2.1.1 Le reboisement	45
III.2.1.2 Correction torrentielle et réalisation des banquettes	46
III.2.2 Installation des obstacles émergés dans les cours d’eau.....	47
III.2.3. Réalisation de barrage de décantation à l’amont	48
III.2.4 Revêtement des berges pour réduire leur érosion.....	49
III.3 Soutirage des courants de densité	49
III.3.1 La chasse par les vidanges de fond	50
III.3.2 La chasse par vidange	51

III.3.3 Extraction par siphonage	51
III.3.4 Surélévation des barrages	52
III.3.4.1 La surélévation des barrages en Algérie	53
III.4 dragages des barrages	53
III.4.1 L'application de cette technique en Algérie.....	54
III.4.2 Les type de dragages	55
III.4.3 Les techniques de dragage	55
III.4.3.1 Les dragages mécaniques	55
III.4.3.2 Les dragages hydrauliques	55
III.5 Les dragages à l'américaine	56
III.6 Les dragues spéciales	57
III.7 Conclusion	57

Chapitre IV : Situation géographique et présentation du barrage de K'sob.

IV. 1 Introduction	58
IV. 2 Situation géographique du bassin versant K'sob.....	58
IV. 3 Historique de barrage el K'sob	59
IV. 4 Monographie du barrage	60
IV.5 Climat dans le sous bassin de K'sob	62
IV.5.1 Distribution pluies journalière maximale	62
IV.6 Caractéristiques de la disposition morphologique.....	63
IV.6.1 Surface	63
IV.6.2 Longueur	63
IV.6.2.1 Périmètre.....	63
IV.6.2.2 Longueur du bassin versant	63
IV.6.2.3 Longueur du talweg principal.....	63
IV.6.2.4 Largeur du bassin-versant	63
IV.7 Indice de pentes.....	64
IV.8 Conclusion	65

Chapitre V : Contribution aux mesures préventives contre l'envasement de barrage de K'sob.

V.1 Introduction.....	66
V.2 Le dévasement de barrage El K'sob par le dragage	67
V.3 Actions proposé pour la protection des bassins versants de K'sob	67
V.3.1 L'implantation des bassins de décantations.....	67
V.3.1.1 Définition du bassin de décantation	67
V.3.1.2 La réalisation des bassins de décantation dans le bassin versant	68
V.3.1.3 Les sites d'implantation des bassins de décantation	69
V.3.1.4 Dimensionnement d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation.....	70
V.3.1.5 Calcul de débit de pointe par la méthode rationnel.....	70
V.3.1.5.1 Calcul de temps de concentration.....	71
V.3.1.6 Détermination du débit d'évacuation du bassin	72
V.3.1.7 Volume de ruissellement (méthode de monfet 1979).....	73
V.3.1.8 Calcul de la surface minimale du bassin de stockage d'eau et de sédimentation	73
V.3.1.9 Calcul de la vitesse de chute verticale des particules par l'équation de stocks.....	73
V.3.1.10 Calcul de la surface minimale du bassin en eau	74
V.3.1.11 Calcul de la largeur de la surface de l'eau.....	75
V.3.1.12 Calcul de la longueur minimale du bassin.....	75
V.3.1.13 Calcule de la vitesse de Hazen V_H dans le bassin de décantation	75
V.3.1.14 Calcul de l'aire d'écoulement dans le cas d'un canal trapézoïdal.....	75
V.3.1.15 Calcul du volume d'eau minimal du bassin.....	76
V.3.2 Dimension du déversoir d'urgence et de la conduite d'évacuation.....	77
V.3.3 Entretien	78
V.3.4 Exemple de dimensionnement d'un bassin de stockage d'eau et de décantation.....	79
V.4 Devis quantitatif et estimatif d'un bassin de décantions.....	80
V.5 Intérêt économique.....	80
V.6 Conclusion.....	81
Conclusion générale.....	82

Liste des tableaux

Tableau I.1 : représentation des barrages les plus envasés

Tableau I.2 : Situation des barrages algériens en l'an 2001

Tableau. IV.1 : Les caractéristiques principales du barrage EL K'sob.

Tableau V.1 : présente quelques valeurs des paramètres a , b et c.

Tableau V.2 : Vitesses de sédimentation et vitesses d'entraînement des particules de sol

Tableau V.3 : Devis quantitatif et estimatif d'un bassin de décantions

Liste des figures

Figure I.1 : envasement annuel en Afrique de nord.

Figure I.2 : Envasement du barrage de BAKHADDA TIARET (2008).

Figure I.3: Évolution de l'envasement des grands barrages algériens en exploitation en 1962.

Figure I.4: Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien

Figure I.5 : Barrage de FERGOUG envasé à plus de 90 % de sa capacité en 2008

Figure I.6 : Schéma des problèmes posés par l'envasement

Figure I.7 : Courbe : Hauteur-Capacité d'un barrage

Figure I.8 : évolution temporelle de la capacité d'un barrage

Figure I.9: diagramme de l'évolution temporelle de la capacité d'un barrage

Figure I.10: carte de sensibilité des barrages à l'envasement

Figure II.1 : Formation de la vase au fond de barrage

Figure II.2 Organigramme du processus d'envasement d'une retenue

Figure II.3 Formation d'une ravine au niveau du bassin versant d'Oued Fodda.

Figure II.4 : effet de l'érosion de sol dans le bassin versant de Beni Chougrane

Figure II.5 : Après incendie d'une forêt

Figure II.6 : Un foyer de sapement des berges dans l'oued El mehir (2018).

Figure II.7 : Coupe transversale d'une section d'un oued avant et après une crue

Figure II.8 : Classification de transport solide

Figure II.9 : Schéma de la propagation d'un courant de densité au fond d'un barrage

Figure III.1 : l'organigramme des mesures préventives contre l'envasement

Figure III.2 : Gabionnage contre l'erosions

Figure III.3 : une banquette plantée d'arbre fruité sur un bassin versant

Figure III.4: Une série de seuils réalisée sur une ravine dans un bassin versant

Figure III.5: Banquettes réalisées au niveau d'un bassin versant

Figure.III.6: Retenue collinaire à l'amont du barrage Beni Amrane

Figure III.7 : Propagation d'un courant de densité

Figure III.8 : photo vidange de fond barrage k'sob

Figure III.9: Schéma de l'installation du siphon évacuateur

Figure III.10: Equipements drague du barrage K'sob M'sila

Figure III.11 : Refoulement de la vas barrage K'sob

Figure IV.1: Position géographique du barrage El K'sob

Figure IV.2 : Photo de barrage K'sob

Figure IV.3 : Pentes dans le bassin-versant de l'oued de Ksob

Figure V.1 : Image d'un bassin de décantation.

Figure V.2 : les sites d'implantation des bassins de décantation

Figure V.3: Description des paramètres de base d'un bassin de sédimentation

Figure V.4 : Description générale du dimensionnement d'une structure d'évacuation combinée (puisard et déversoir enroché).

Liste des abréviations :

ANBT : Agence national des barrages et de transfert

MRE : Ministère des ressources en eau

MAPAQ : Ministère d'agriculture et des pêcheries et de l'alimentation du Québec.

MDDEP : Ministère de développement durable et des parcs du Québec.

Introduction générale

Introduction générale :

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel d'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau. Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides comme le Maghreb et plus particulièrement l'Algérie. L'envasement qui représente les dépôts successifs des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique Algérienne forte de 82 grands barrages, d'une capacité de 8 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de plus de 50 millions de m³. A titre d'exemple, le barrage de Sidi M'Hamed Ben aouda (Relizane) a reçu un volume de vase égal à 6,7 millions de m³ par année durant la période 1995-2003. Le barrage de l'Oued Fodda (Chlef) capte annuellement un volume de vase de 3,2 millions de m³ (Remini, 1997, et Hallouche, 2007). Au total, environ 20 grands barrages sont fortement menacés par le comblement total du réservoir à court terme si les moyens techniques de lutte ne sont pris en compte (Remini et Hallouche, 2007). L'envasement des barrages est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique ; environ 180 millions de tonnes sont arrachés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord d'Algérie (Demmak, 1982). En plus de terres arrachées par l'érosion des bassins versant, une quantité non négligeable en provenance des sapements des berges participe à l'accélération de l'envasement des barrages réservoirs. La particularité de l'envasement des barrages en régions arides réside dans le mécanisme et le processus du comblement. C'est ainsi que les fortes concentrations en particules fines enregistrés dans les oueds en périodes de crues déclenchent la formation des courants de densité à l'entrée des retenues de barrages (Remini, 1997). Donc les barrages des régions arides s'ensavent en périodes de crues, lesquelles surviennent après une longue sécheresse (6 à 7 mois) où le sol devient très favorable à l'érosion par des ruissellements. Dans cette étude, nous examinons les étapes du processus de l'envasement ainsi que les principaux moyens techniques de lutte.

Le premier chapitre présente la problématique de l'envasement et les statistiques générales et un aperçu sur l'envasement des barrages dans l'Algérie.

Le deuxième chapitre présente les causes et l'origine de l'envasement.

Le troisième chapitre est consacré aux mesures préventives contre l'envasement.

Le quatrième chapitre étudie la situation géographique et la présentation de barrage de K'sob.

Le cinquième chapitre est consacré à notre contribution

Chapitre I

Problématique de l'envasement et statistique générales

Chapitre I : Problématique de l'envasement et statistique générales

I.1 Introduction :

L'envasement des barrages est l'un des grands problèmes hydrauliques qui menace l'existence de l'infrastructure hydrotechnique en Algérie. Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrages. Ces dépôts posent des problèmes aux barrages, tel que la déstabilisation de la digue, la diminution du volume utile d'eau, l'obturation des pertuis de vidange et le colmatage des canaux d'irrigation.

Les pays de l'Afrique d Nord comme l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, détiennent plus de 230 barrages d'une capacité totale de 23km³. Environ 125 hm³ de sédiments se déposent annuellement au fond de ces barrages, avec par ordre d'importance décroissante, le Maroc avec 65 hm³, l'Algérie avec 32 hm³ et la Tunisie avec 25 hm³, (Remini ,1997).

Le présent chapitre a pour objet de donner un aperçu sur l'envasement des barrages, et les problèmes posés par l'envasement.

La figure I. 1 montre l'envasement annuel en Afrique de nord.

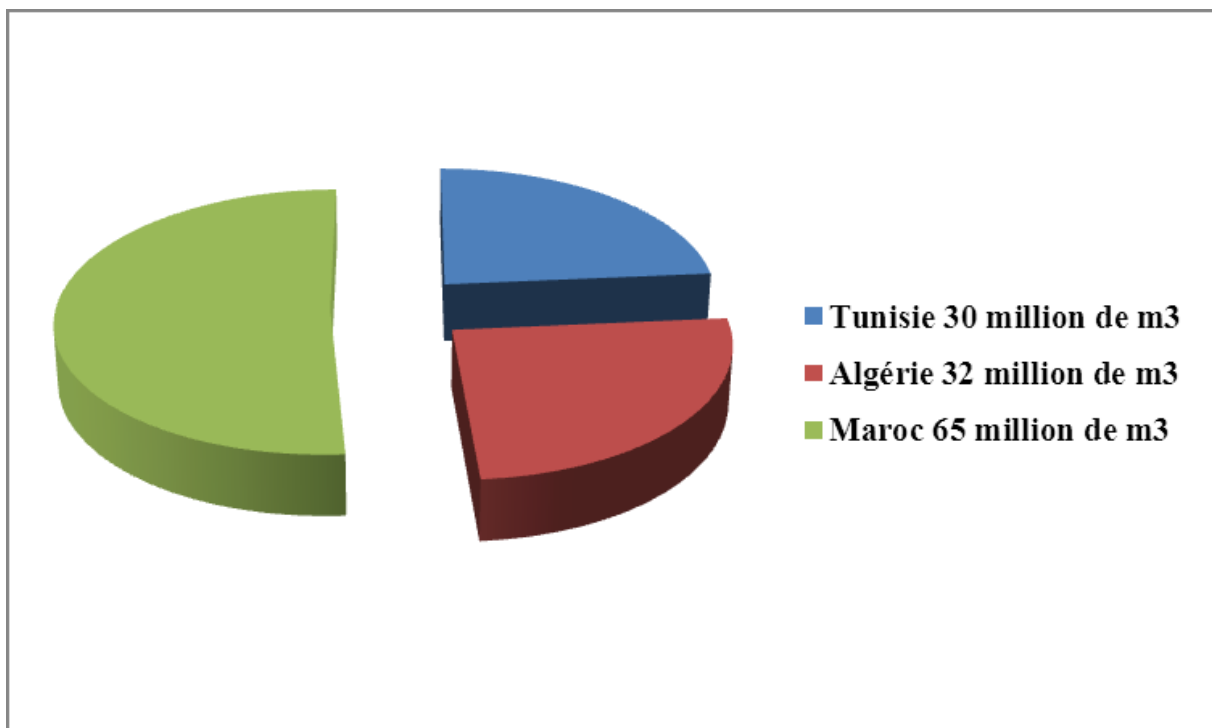


Figure I.1 : envasement annuel en Afrique de nord.

I.2 Problématique de l'envasement des barrages en Algérie :

En 1890, il existait en Algérie neuf barrages, d'une capacité de 61 Millions m^3 et un volume de vase de 2,7 Millions m^3 . Cette capacité a atteint 1 milliard de m^3 en 1962, à partir de cette date le nombre des barrages ont augmentés considérablement.

Le taux d'érosion spécifique a été évalué à 180 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versants du Nord Algérien. En effet, la région enregistre les valeurs les plus élevées de la planète. Plusieurs exemples témoignent de la gravité du problème. Le taux d'érosion spécifique atteint la valeur de $5000t/km^2/an$ sur le bassin versant de l'Oued L'Agrioum (Est de l'Algérie), (DEMMAK 1982).



Figure I.2:Envasement du barrage de BAKHADDA TIARET (2008).

I.3 Historique de l'envasement des barrages Algériens :

Le premier barrage construit en Algérie est le barrage de Sig en 1846, Il a été abandonné faute de son envasement rapide. En 1890, il existait en Algérie neuf barrages, d'une capacité de 61 Million de m^3 et un volume de vase de 2,7 Million m^3 . En 1957, les barrages d'Algérie d'une capacité de 900 Million de m^3 avaient accumulé près de 200 Million de m^3 de vase. Cette capacité a atteint 1 milliard de m^3 en 1962, à partir de cette date, le nombre de barrages a augmenté considérablement.

Récemment, l'Algérie dispose de 74 grands barrages d'une capacité totale de 08 Milliard de m^3 , la plupart de ces barrages ont été réalisés dans les 40 dernières années, les années 80 ont

connu des taux d'envasement avoisinant les 20 millions de tonnes annuels alors que les années 90 ont atteint déjà les 35 millions de tonnes annuels, les années 2000 vont crescendo et grimpent à la valeur de 45 millions de tonnes annuels, (TERFOUS A et al,2003).

Tous les spécialistes s'accordent à dire que les années à venir seront très dures pour les zones arides et semi-arides.

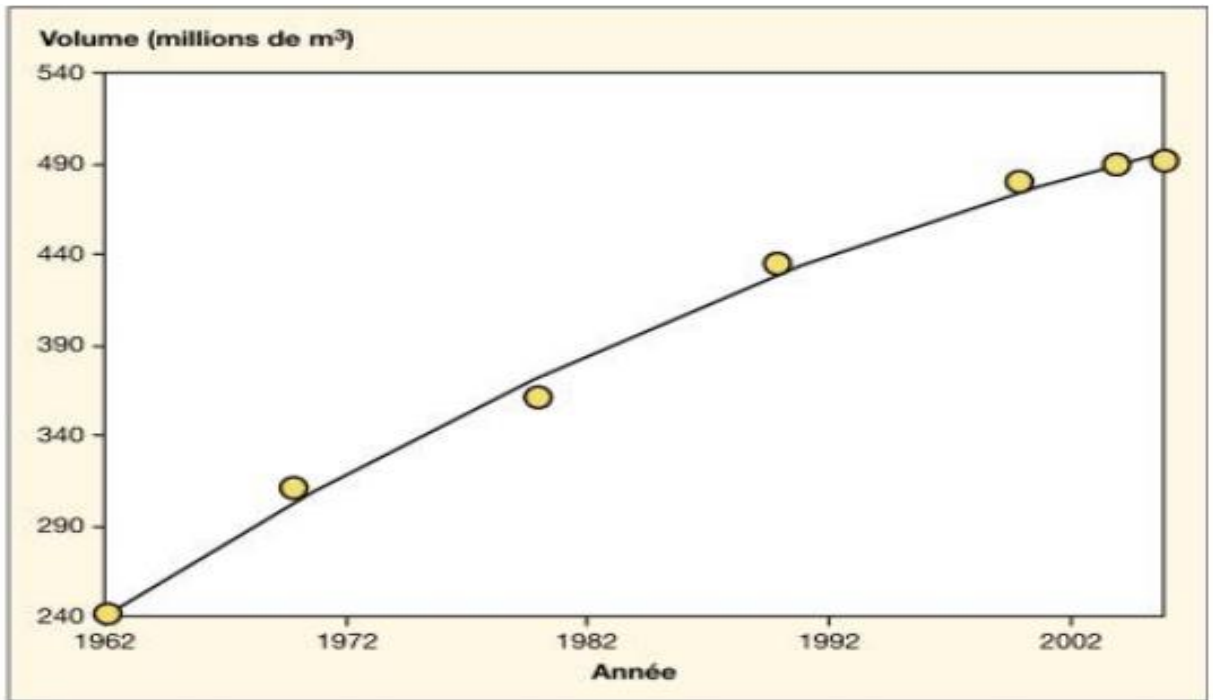


Figure I.3: Évolution de l'envasement des grands barrages algériens en exploitation en 1962, (Remini B, Leduc C, et Hallouche W, 2009).

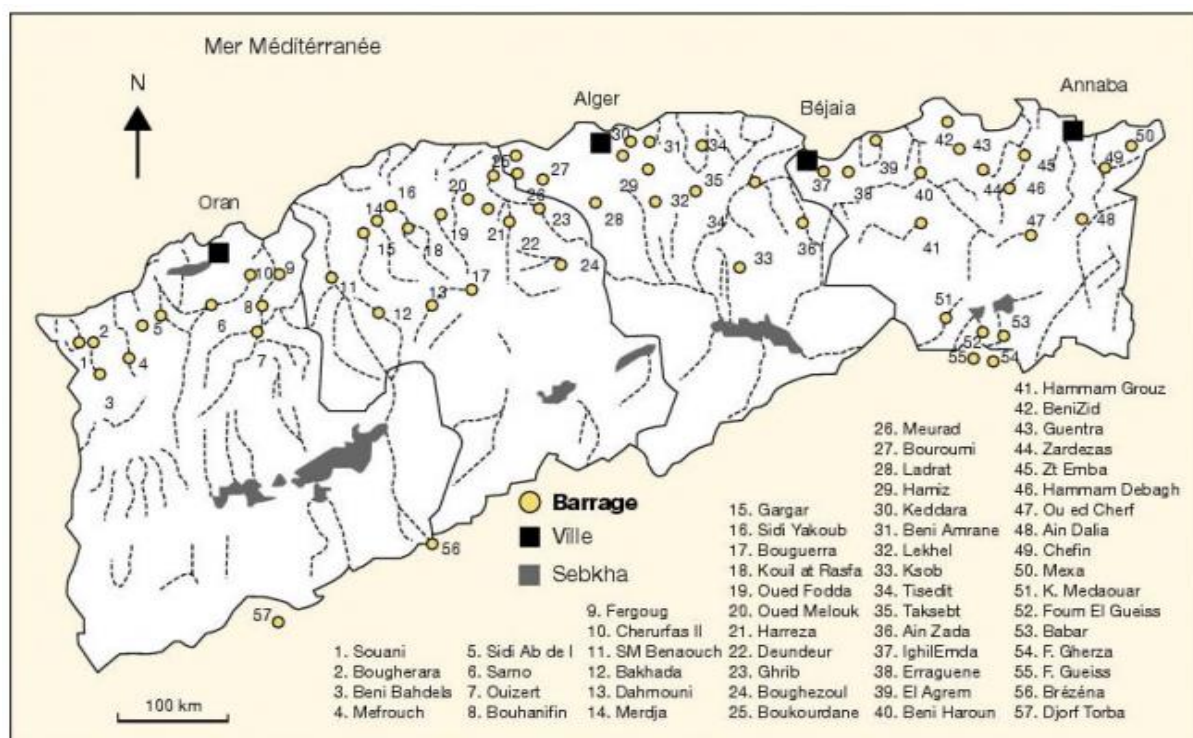


Figure I.4: Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien,(Remini B, LeducC, et Hallouche W, 2009).

I.4 Quantification et statistiques de l'envasement des barrages algériens :

Selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 80 grands barrages, l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m^3 chaque année, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,7 % de la capacité totale. Le volume de vase estimé en 2006 était de 1,1 milliards de m^3 , soit un taux de comblement de 17 %, (Remini et Hallouche, 2007). Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, l'exemple du Fergoug qui est envasé à 90 % (capacité : 16 millions de m^3 , remplissage : 300000 m^3). Nos barrages se transforment de plus en plus en réceptacles de vase que d'eau
 Tableau (I.1).

Face à ce problème, les services d'hydraulique ont déployés d'énormes efforts depuis plusieurs années. Ainsi, différents moyens techniques de lutte ont été expérimentés en Algérie, ce qui a donné comme résultats le prolongement de la durée de vie de plusieurs barrages. Le dévasement par dragage est devenu aujourd'hui une option inévitable pour prolonger leur durée de vie. Actuellement, sept barrages sont en cours de dévasement par dragage, Il s'agit de Foum el Ghzal (Biskra), K'sob (M'sila), Zardezas (Skikda), Sidi

Abdelli(Relizane), Bouhanifia et Fergoug (Mascara) et Ben Khada(Tiaret). Le coût de ces opérations est de 8 milliards de DA.



Figure I.5 : Barrage de Fergoug envasé à plus de 90 % de sa capacité en 2008.

La (figure I.5), cartographie le taux de comblement moyen (T), qui est la perte annuelle de capacité d'un barrage (en %) par l'envasement, selon quatre catégories depuis le comblement faible ($T < 0,5$ % par an) jusqu'au très fort ($T > 3$ % par an).

L'envasement a beaucoup varié durant la dernière décennie. Ainsi, la comparaison des nivellements de 1986 et 2006 montre un doublement des taux d'envasement, pour les barrages de DJORF TORBA et K'sob, passant de 1,3 à 2,6 Million de m^3 /an et de 0,3 à 0,6 Million de m^3 /an respectivement.

Tableau I.1 : Représentation des barrages les plus envasés, (ANBT, 2012).

Barrage	Mise en service	Taux d’envasement annuel	Taux d’envasement en 2010 en (%)
Meurad	1840	0.005	77.4
Oued El Fodda	1932	1.507	51.6
Bougzoul	1934	0.294	40.6
Hamiz	1935	0.083	29.7
Bakhada	1936	0.191	25.2
Ghrib	1939	2.21	56.0
Bouhnifia	1948	0.041	97.8
Foum El Gharza	1950	0.602	76.9
Beni Behd	1952	0.156	14.4
Fergoug	1970	0.469	100
K’sob	1977	0.604	67.6
Beni Amran	1988	0.89	19.6

Tableau I.2 : Situation des barrages algériens en 2001, (ANBT, GUETTARI, 2004)

Nombre des barrages en exploitation	Capacité de stockage en l’an 2000 (hm ³)	Capacité de stockage initial en (hm ³)	Volume vase en (hm ³)
48	4342.71	4861.40	521

I.5 Certain barrages envasé :

I.5.1 Barrage de Fergoug :

L’envasement de la retenue du barrage de FERGOUG I (ancien barrage: 1885-1926) a réduit la capacité utile de 27.10^6 m^3 à 14.106 m^3 durant les 31 ans d’exploitation, soit un volume de vase égal à 13.10^6 m^3 . Concernant la retenue du barrage de FERGOUG actuel, la capacité utile ainsi réduite de 17.10^6 m^3 en 1970 à 12.10^6 m^3 en 1973 et à 4.10^6 m^3 en 1985, ce qui représente respectivement un volume de vase de 13.10^6 m^3 équivalent en définitif à un taux de

comblement de 80 % ce qui a amené les services concernés à dévaser le barrage à partir de l'année 1986, par le procédé de dragage.

I.5.2 Barrage de Foum El Gharza:

La sédimentation accélérée de la retenue a été évidente dès le début de la réalisation du barrage le batardeau amont ayant été complètement comblé en deux ans (1948 - 1950) ; par la suite, elle a provoqué une montée rapide du toit de la vase, soit plus de 35 mètres en 40 années d'exploitation qui représente un volume de vase égal à $18,5.10^6 \text{ m}^3$. La capacité de la retenue à estimer en 1995 à 24.10^6 m^3 , soit un comblement de plus de 50 %, (Remini, 2012).

I.5.3 Barrage d'Oued El Fodda:

Du fait de l'envasement intensif qui affecte la retenue d'OUED EL FODDA, la capacité initiale évaluée à 228.10^6 m^3 en 1932 s'est retrouvée à 130.10^6 m^3 en 1986 et 112.10^6 m^3 en 1994. Le toit de la vase près des vannettes est à environ 36 mètres du fond, soit un taux de comblement évalué à 50 % en 1994, (Remini, 2012).

I.5.4 Barrage de Bouhnifia:

C'est dans le but de réduire la vitesse de comblement et ainsi prolonger la durée de vie du barrage de Fergoug que le barrage de Bouhnifia a été réalisé à l'amont. Malheureusement ce barrage s'est retrouvé face à une sédimentation accélérée qui a réduit sa capacité de 73 à 47.10^6 m^3 durant la période 1940 - 1986, soit une vitesse moyenne de sédimentation égale à $0,56.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Le dépôt des sédiments à estimer de 31.10^6 m^3 en 1995, soit un volume d'eau restant de 42.10^6 m^3 et un taux d'envasement de 42 %, (Remini, 2012)

I.6 Conséquences de l'envasement sur la retenue d'un barrage :

Les apports solides générés par l'érosion des bassins versants envasent les barrages et réduisent de manière significative et inquiétante le volume des ressources en eau mobilisées, et beaucoup plus posés des problèmes sur l'ouvrage et leurs équipements. La figure I.7 présente un schéma des problèmes posés par l'envasement.

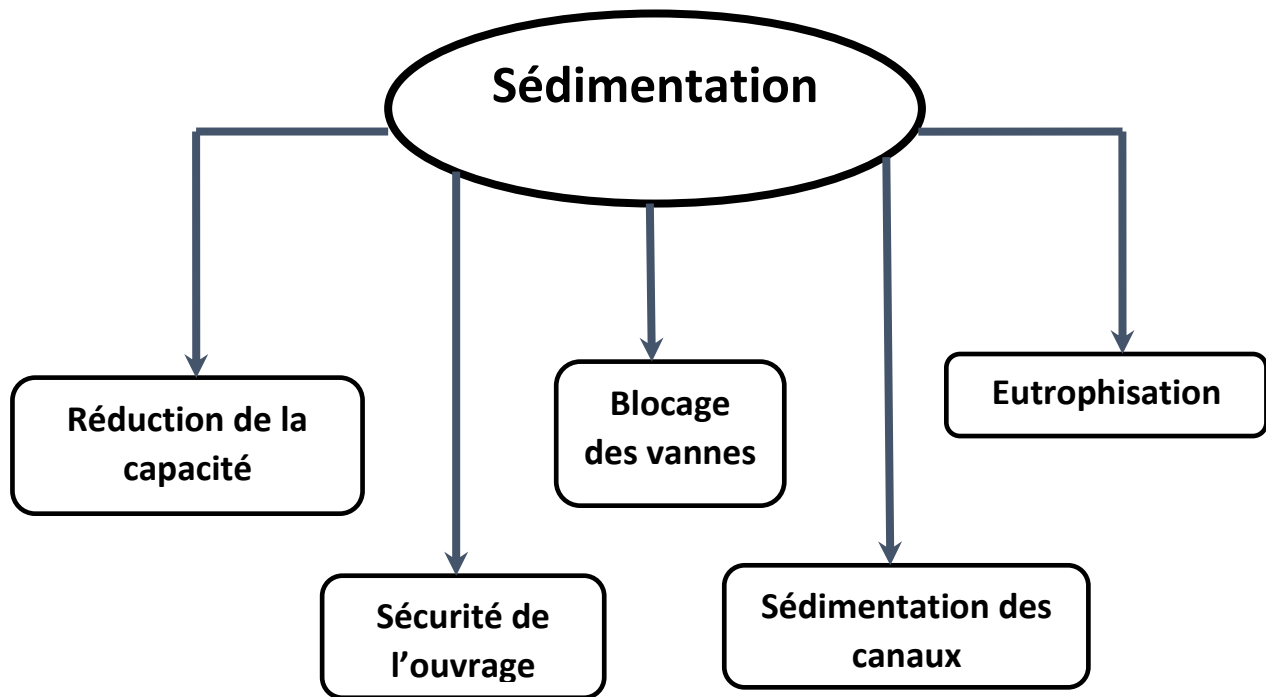


Figure I.6 : Schéma des problèmes posés par l'envasement.

I.6.1 sur les volumes régularisés et performances d'un barrage :

L'envasement de la retenue d'un barrage affecte sa capacité de stockage et par suite réduit son volume utile disponible, ce qui se traduit par une diminution des niveaux des services rendus par la retenue. Cette diminution du service rendu se manifeste soit par une diminution des volumes fournis, soit par une diminution de leur garantie ou parfois une conjugaison des deux. L'impact de la diminution annuelle du volume régularisé, faible au début de la mise en service d'un ouvrage, devient de plus en plus important au fur et à mesure de l'augmentation des besoins en eau à satisfaire à partir du barrage.

A la côte à retenue normale (RN), le volume du réservoir d'un barrage est (W_0). Il désigne la capacité initiale du barrage pour l'année de sa mise en eau. A cette date, chaque barrage possède sa propre courbe : Hauteur-capacité comme le montre la figure (I.8).

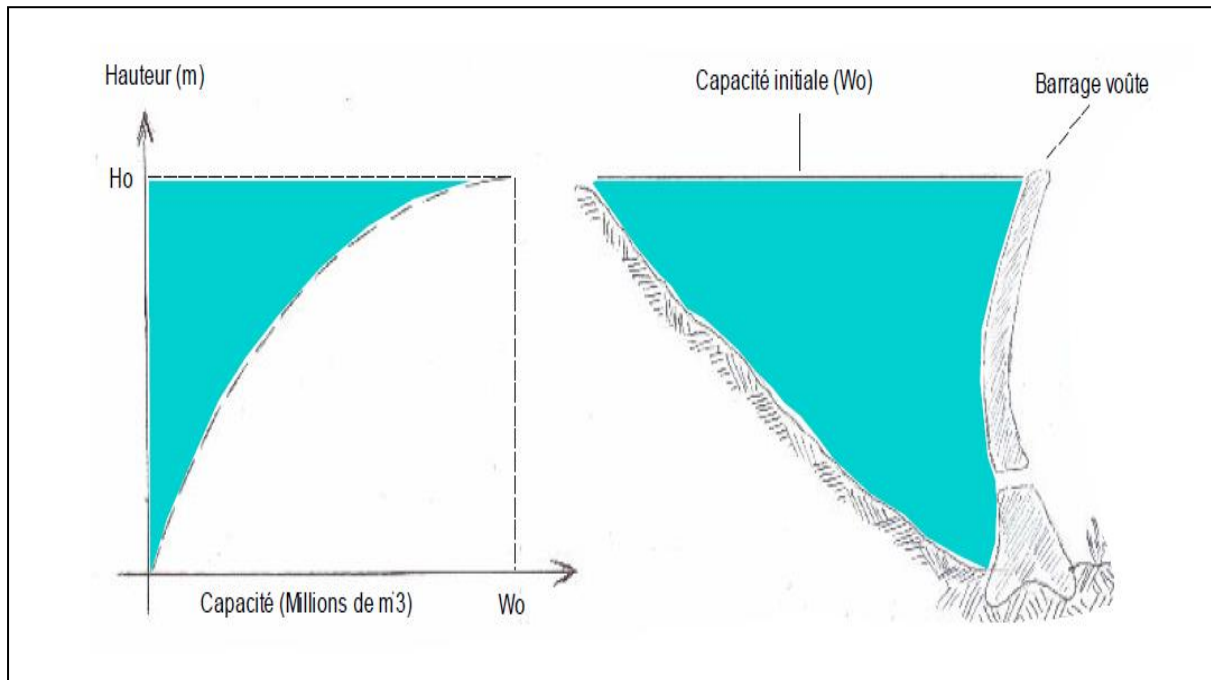


Figure I.7 : Courbe Hauteur-Capacité d'un barrage, (Remini, 2016).

Cependant, ce volume diminue dans le temps suite aux dépôts successifs de la boue au fond du barrage. Sans l'intervention de l'homme (pour le dévasement), le barrage s'envase pendant une durée de temps (nombre d'années) (T_0), on parle dans ce cas de la « durée de vie » d'un barrage qui dépend de la vitesse de l'envasement (ou le taux d'envasement), (Remini, 1997) a montré que durant les premières années de l'exploitation d'un barrage, la relation de l'envasement est linéaire.

A partir d'un seuil, l'envasement évolue avec une fonction parabolique (2^{ème} degré) jusqu'au comblement total du barrage, (Remini et al, 1997). D'une autre façon la capacité de stockage d'eau suit les mêmes lois d'évolution mais dans le sens inverse (Figure I.9).

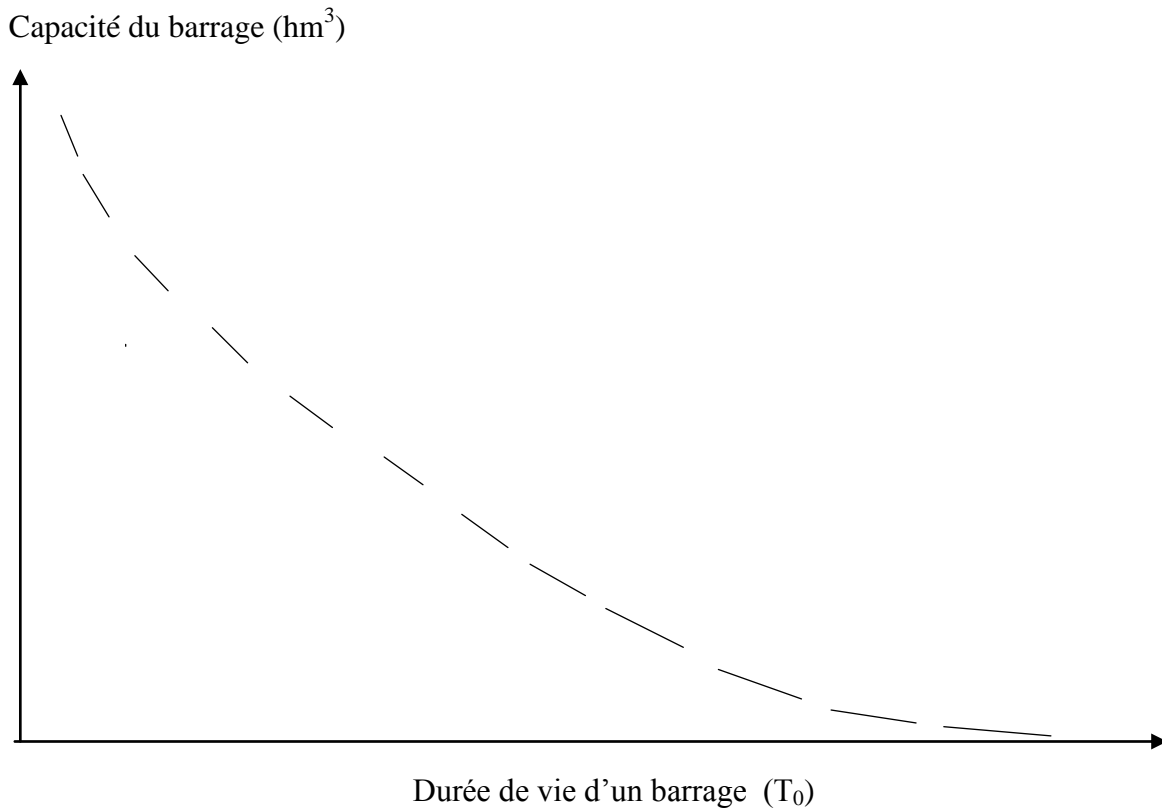
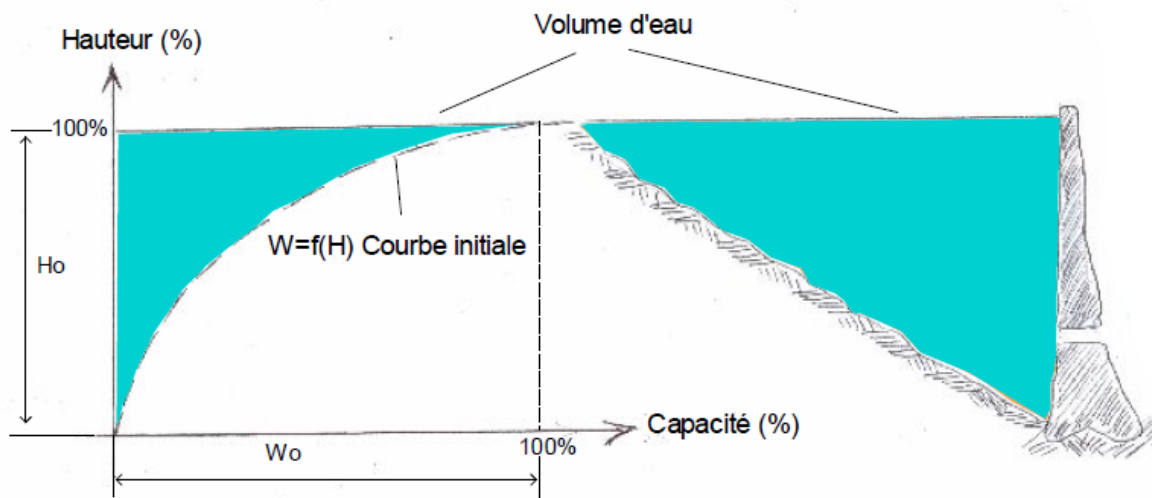


Figure I.8 : L'évolution temporelle de la capacité d'un barrage.

Sur la base du graphe de l'évolution de la capacité d'eau d'un barrage, on a représenté sur la figure (I.10), le diagramme de l'évolution temporelle de la capacité de stockage d'un barrage qui englobe la courbe Hauteur – capacité initiale du barrage, la courbe de l'envasement à une période donnée ainsi qu'un schéma explicatif du réservoir du barrage. Il est intéressant de constater l'évolution de la capacité de stockage de l'eau depuis l'année de la mise en eau jusqu'au comblement total du barrage.



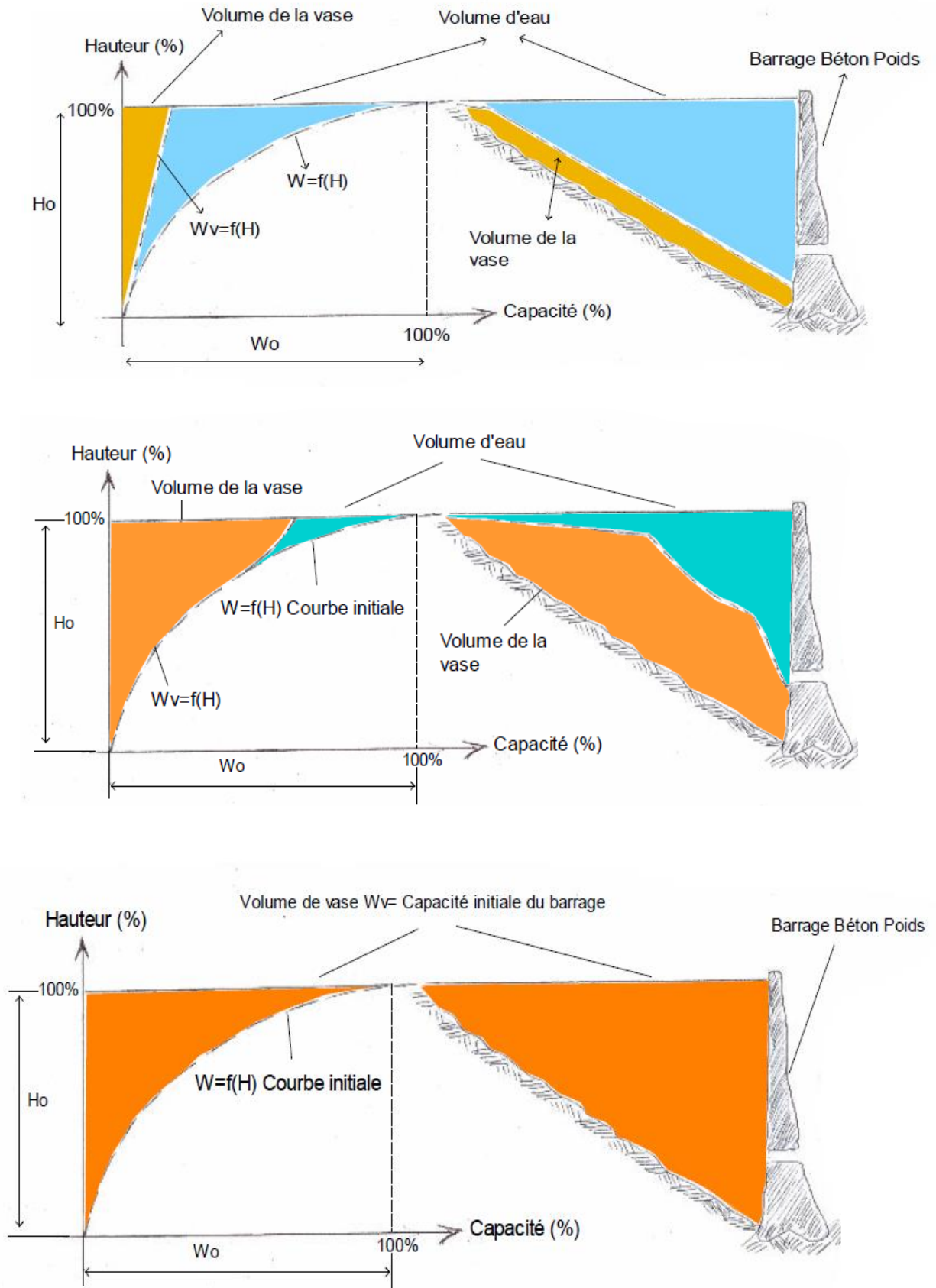


Figure I.9: Diagramme de l'évolution de la capacité d'un barrage, (Remini, 2016).

I.6.2 Obturation des organes de vidanges :

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond. Le cas du barrage d'Oued El fodda (Chleff) peut servir d'exemple. En effet, la vanne de fond a été bloquée depuis 1948 et elle se trouve maintenant sous plus de 40 mètres de vase, toute opération de vidange de la retenue est de ce fait impossible. Un autre cas à signaler pourrait être celui du barrage de Foum El gharza (Biskra) où la vanne de fond a été bloquée de 1982 à 1989,(Remini, 2007).

I.6.3 Sur la sécurité de l'ouvrage :

L'envasement des retenues affecte la sécurité des barrages par:

- la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la poussée hydrostatique causée par le remplacement progressif des volumes par les sédiments et l'accroissement de la densité des eaux stockées du fait de la suspension,
- l'opposition à l'ouverture de des vannes en cas de nécessité de diminution du plan d'eau dans la retenue dans certaines situations d'urgence,
- l'altération des caractéristiques de résistance des ouvrages due aux réactions chimiques au sein des dépôts et particulièrement celles liées au cycle du soufre et aux caractéristiques d'agressivité de l'eau,
- la gêne de l'auscultation de l'ouvrage. En effet, les sédiments déposés peuvent empêcher la mise en œuvre de moyens d'inspection subaquatiques et contrarient également les inspections visuelles après vidange en masquant le parement amont et en y interdisant l'accès depuis la cuvette.

I.6.4 Sur la sécurité des ouvrages annexes du barrage :

Les dimensions des matériaux qui sont transportés par la rivière dans la retenue et dont une partie vient en contact avec les organes de restitution constituent un danger permanent pour la sécurité du barrage. Ces dangers sont de deux types en fonction de la taille des sédiments transportés.

Le premier danger, dû essentiellement aux matériaux fins, provient de l'effet statique de ces matériaux qui en s'accumulant devant l'entonnement des prises d'eau et de vidanges de fond parfois même les évacuateurs de crues (situés dans la partie basse du barrage) risquent de créer un bouchon de vase qui devient problématique avec sa consolidation. Le risque est de se priver des services de l'organe en question, surtout quand c'est le seul moyen disponible d'abaisser le plan d'eau en cas de nécessité.

Le second danger est dû aux matériaux grossiers qui peuvent :

- arracher les blindages aménagés dans les conduites aux endroits où l'eau circule à grande vitesse.
- endommager l'étanchéité des vannes.
- endommager les vannes elles-mêmes.
- s'opposer à la fermeture des vannes par conséquent le risque de perte de volumes d'eau importants.

L'envasement accélère donc le vieillissement des ouvrages hydrauliques est rend plus délicat et plus coûteux leur entretien et leur maintenance.

I.6.5 Sur la capacité de laminage des crues :

Du fait de l'envasement de la retenue d'un barrage, le volume de la tranche réservée au laminage des crues subit une réduction progressive. Cette réduction se traduit par une augmentation du risque de déversement ce qui constitue une menace pour la sécurité de l'ouvrage et les zones inondables à l'aval et se traduit par des pertes d'eau pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et la production énergétique.

I.6.6 Sur la qualité de l'eau :

Un des plus importants effets de l'érosion sur la qualité des eaux des retenues de barrages est la dégradation très sérieuse de cette qualité due au phénomène d'eutrophisation. Ce phénomène est lié à un aspect particulier du transport solide dans les bassins versant, à savoir, sa charge en phosphore, en manganèse et en azote et à l'effet des sédiments sur la modification du chimisme de l'eau et la stratification thermique de la retenue.

La nature des formations lithologiques du bassin versant contrôlé par le barrage est le facteur déterminant dans ce processus; l'eutrophisation d'une retenue peut provenir de l'érosion des sols non couverts par une végétation.

Un autre effet, non moins important de l'érosion sur la qualité de l'eau, est la difficulté d'éliminer les quantités importantes de matières en suspension au niveau des Oueds où existent des prises d'alimentation en eau potable au fil de l'eau.

La garantie de la continuité de l'approvisionnement a exigé dans certains cas la mise en place d'équipement de débouillage, garantissant le fonctionnement des stations de traitement même en cas de forte turbidité des eaux.

I.6.7 Sur les infrastructures en aval :

Les problèmes posés par les sédiments ne se limitent pas au niveau du barrage mais ils s'étendent bien en aval. Ainsi, les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par des canaux à partir des barrages se déposent dans ces ouvrages et favorisent le développement de plantes aquatiques. Ceci réduit le débit de ces canaux et rend difficile leur exploitation et augmente considérablement les tours d'irrigation et la probabilité de déversement.

L'envasement des canaux d'irrigation impose leur entretien et leur curage d'une manière régulière.

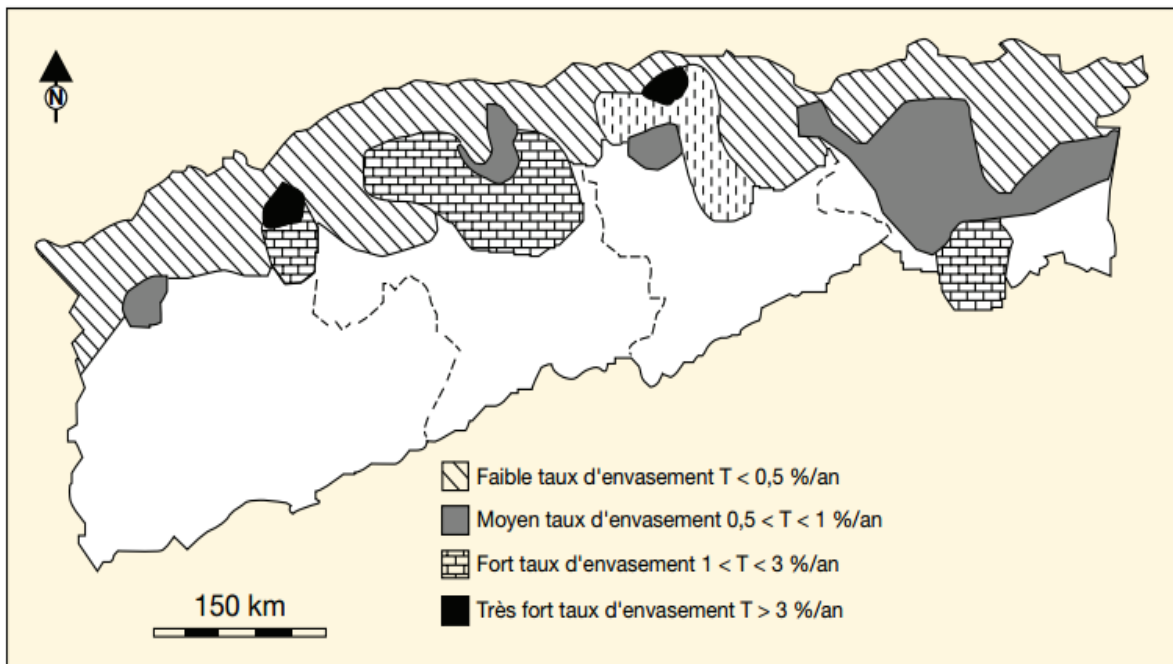


Figure I.10: carte de sensibilité des barrages à l'envasement, (Remini et Hallouche, 2007).

I.7 Conclusion :

L'envasement est un phénomène naturel très complexe, il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydrotechnique en Algérie, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile de barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause de ce phénomène, Ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle. Ce phénomène doit être une partie prenante dans la préparation d'un projet de faisabilité d'un barrage en Algérie.

Devant cet état de fait, les responsables devront définir pour les grands barrages des politiques de gestion plus fines et plus adaptées à la multiplicité des situations locales (géologie, topographie, usages de l'eau).

Chapitre II
Causes et origines
de l'envasement.

Chapitre II : Causes et origines de l'envasement.

II.1 introduction :

Les zones méditerranéennes et semi-arides tel que l'Algérie présente des conditions naturelles rudes caractérisées par un climat très agressif en automne avec des précipitations très irrégulières pouvant présenter de fortes intensités dépassant les 45 mm / h, (Touaïbia, 2000).

Dans le Sud du bassin méditerranéen, le climat semi-aride est un facteur prépondérant dans la gravité du phénomène d'érosion hydrique. En effet, le climat semi-aride est caractérisé par des périodes sèches et humides ainsi que de brusques variations spatio-temporelles des quantités de précipitation. L'évapotranspiration potentielle excède souvent les précipitations. Ces précipitations, dans les zones montagneuses, engendrent des écoulements torrentiels. Les écoulements résultant de ce régime torrentiel arrachent les particules du sol, les transportent dans les Oueds et sédimentent derrière les barrages. L'évolution climatique de ces dernières années a accentué les périodes de sécheresse qui ont touché l'ensemble des zones méditerranéennes, (Medejerab et al, 2011 ; Szczypta, 2012).

Bien que le transport solide par l'eau de pluie et de ruissellement soit un processus naturel, il est fortement accentué par les activités anthropiques : surpâturage, culture sans restitution, divers méfaits comme l'incendie, la végétation ou le déboisement fragilisant les sols qui se retrouvent parfois dégradés et laissent apparaître la roche mère.

Dans ce chapitre, ont été traités le phénomène d'érosion hydrique et le transport solide et les différentes méthodes d'évaluation de la vase.

II.2 Définition de la vase :

II.2.1 Qu'est-ce qu'une vase :

Le nom de vase (mot emprunte au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries), (Agence de l'eau de France 2002).

Les vases sont des sols contenant plus de 90 % de particules inférieures à 0,2 mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10 %. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes.

II.3 Etape de l'envasement d'un barrage :

Le processus de l'envasement d'un barrage débute dans la première phase par l'arrachage des particules fines de leurs positions initiales par le ruissèlement.

Dans la seconde phase, les sédiments seront drainés par les cours d'eau jusqu'au barrage. Enfin dans la troisième partie, les particules seront pièges pour se décanter et se tasser au fond du lac du barrage.

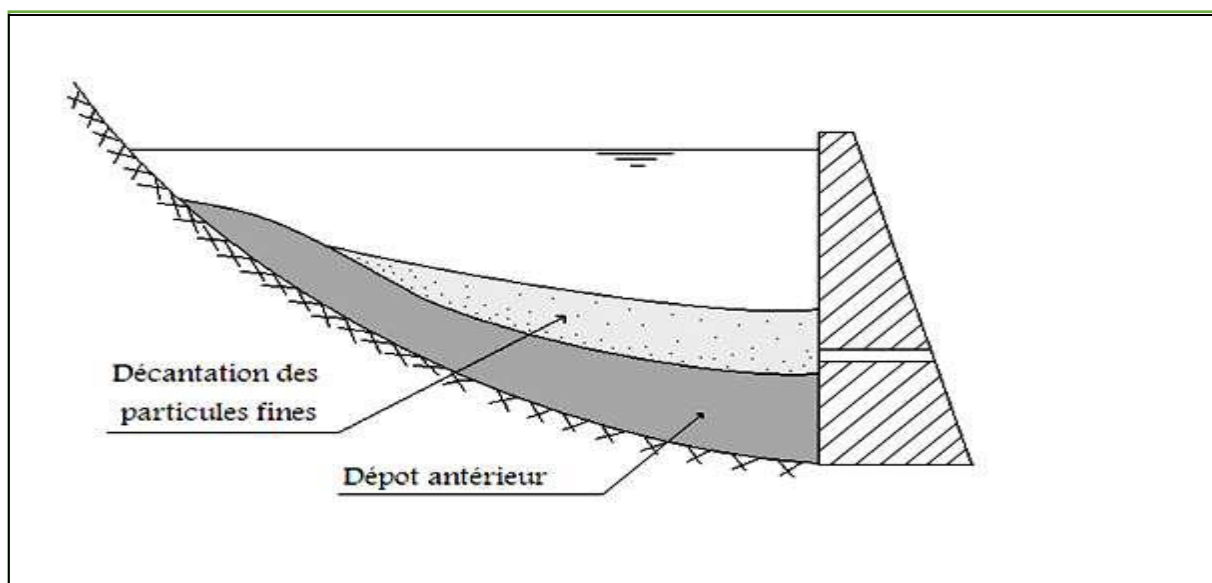


Figure II.1 : Formation de la vase au fond de barrage.

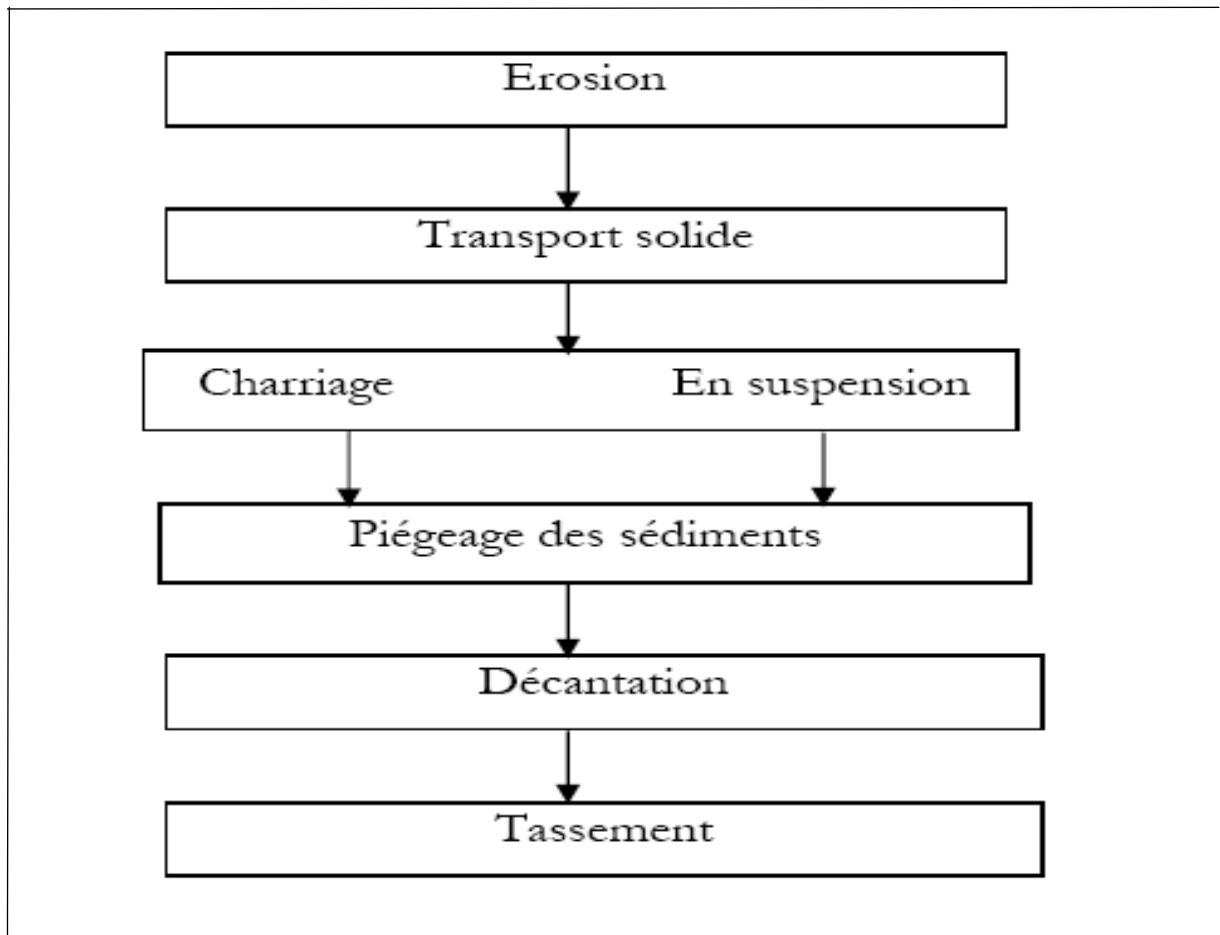


Figure II.2 : Organigramme du processus d'envasement d'une retenue.

II.4 L'érosion des bassins versants :

Le mot érosion vient de « Eroder », verbe latin qui signifie « ranger », d'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi.

L'érosion est un phénomène 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, C'est ainsi que les fortes crues de Mars 1978 d'une durée de 3 jours ont drainé 30.10^6 de tonnes de sédiments dans la région Algéroise pour les bassins Versant côtiers, (Demmak, 1982). La quantité moyenne annuelle du sol Érodé en Algérie est environ de 180.10^6 de tonnes, (Remini, 1997).

II.4.1 Erosion hydrique :

L'érosion hydrique correspond à la séparation entre la particule et son support, sans inclure le transport et la sédimentation, même s'il se produit toujours un micro-transport (Rampon, A.1990). L'érosion des bassins versants est très répandue dans la région du Maghreb, puisque toutes les conditions sont réunies pour déclencher et développer un tel processus : les irrégularités climatiques, la faible densité du couvert végétale, la nature des sols qui est peu résistante à l'écoulement et la violence des crues. En effet, la région enregistre les valeurs les plus élevées de la planète. Plusieurs exemples témoignent de la gravité du problème.

En Algérie le taux d'érosion spécifique atteint la valeur de 5000 t/km²/an sur le bassin versant d'Oued Agrioum, (Demmak, 1989).

Dans les bassins versants du Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar, et de la Tessaout au Maroc, le taux d'érosion dépasse 2000t/km²/an (Badraoui, et Hajji, 2001). En Tunisie, l'érosion hydrique dégrade les terres cultivables. Au total, 1,2 millions d'hectares sont gravement affectés par l'érosion dans le nord, et le centre de la Tunisie, soit 25 % de la superficie totale des terres, (Bouزيد, 1991).

Le ravinement est beaucoup plus grave puisque dans ce cas, le sol est entièrement évacué et la roche-mère, si elle est meuble, est profondément entaillée. Il se manifeste dans toutes les régions où ont lieu des épisodes pluvieux intenses et quand les pentes sont suffisamment fortes. Très fréquent dans les régions méditerranéennes et tropicales, il se rencontre aussi en France.

Les ravins atteignent couramment plusieurs mètres de profondeur et l'apothéose est parfois atteinte avec les remarquables cheminées de fées des zones de basses montagnes.

Au niveau mondial, le ravinement est la principale cause de disparition des sols dans les régions tropicales.



Figure II.3 : Formation d'une ravine au niveau du bassin versant d'Oued Fodda.

II.4.1.1 Les principaux agents de l'érosion hydriques :

Ils existent deux principaux agents de l'érosion hydrique, les précipitations et le ruissellement superficiels. Toutefois, un grand nombre de facteurs (agressivité, intensité de précipitations, caractéristiques de sol, pente et longueur de pente, le couvert végétal, et l'état hydrique initial) et de mécanisme affectant la relation « chute de pluie, ruissèlement, entrainement de terre ».

II.4.1.1.1 Intensité et agressivité des précipitations :

La désagrégation de la structure et le détachement des particules sous l'impact de gouttes des pluies résultent du travail exercé par les gouttes à la surface du sol. Il est donc lié à l'énergie cinétique des gouttes E_c . (Équation de Meyer, 1965).

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{II.1})$$

Avec :

E_c : l'énergie cinétique en (joules).

m : la masse de la goutte en (kg).

v : la vitesse en (m/s).

L'évaluation de l'énergie cinétique des gouttes reste un bon critère d'évaluation de l'agressivité des pluies. Il existe d'ailleurs une relation empirique reliant l'intensité des pluies et son énergie cinétique (Remy. J.C et al 1998).

$$E_c = 11.9 + 8.73 \log I_p \quad (\text{II.2})$$

Avec :

E_c : l'énergie cinétique en ($J/m^2/mm$)

I_p : l'intensité de pluies en (mm/j)

Les pluies lors de l'impact des gouttes, provoquent un détachement des matières, et une destruction des agrégats lors de la conversion de l'énergie cinétique en efforts de cisaillement, plusieurs phases sont à considérer lors d'une averse. Les premières gouttes qui arrivent au sol y pénètrent à son ameublissement et sa porosité, cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassement de sol. Puis la couche superficielle s'humidifie, et l'en assiste au développement quasi simultané de trois processus : la désagrégation de la structure, la formation d'une pellicule de battance et l'érosion par « splash » ou érosion par rejaillissement (Benkhada H, 1997).

L'impact direct des gouttes des pluies provoque non seulement le délitage et la fragmentation des agrégats du sol, mais également l'entraînement et la projection des particules en toutes directions. Ce rejaillissement peut être important. Plusieurs chercheurs ont essayé de quantifier cette masse de sol détachés expérimentalement. Les relations obtenues sont en générales de la forme (Peossen, J, 1984).

$$D_p = a . E_c^b \quad (II.3)$$

Avec :

D_p : la masse détachée en (kg).

a et b dépendent essentiellement de la texture et de la structure de sol.

E_c : l'énergie cinétique de la pluie en (joule).

Jusqu'à ce stade, on ne peut pas parler de transport proprement dit, il faut que le ruissellement démarré pour qu'il y ait une prise en charge des particules détachées par mise en suspension ou par charriage.

II.4.1.1.2 Le ruissellement :

Le ruissellement apparait dès que l'intensité d'une pluie devient supérieure à l'infiltration du sol. Il est nettement plus élevé sur les sols nus que sous cultures. Les faibles ruissellements proviennent des pluies tombantes après une période sèche. Par contre, le ruissellement et les pertes en terres les plus élevés ont eu lieu à une époque où sol est déjà très humide et dans le cas de pluie exceptionnelle et des orages automne et de printemps, (Chibani R, 1999).

Le ruissellement ne débute qu'après un cumul pluviométrique journalier de 18 à 20 mm sur sol sec même si les pluies intenses ou après un cumul de 4 mm sur les sols humides et compact (Laouina A, 1998).

II.2.1.1.2.1 L'infiltration :

Tous les sols sont plus ou moins perméables. Le coefficient de perméabilité qui représente la vitesse de l'infiltration de l'eau dans le sol dépend essentiellement de la porosité du sol.

La diminution de la capacité de l'infiltration constitue ainsi un facteur défavorable générateur de ruissellement et de transport solide. En revanche cette même diminution d'infiltration du sol joue un rôle positif contre l'érosion puisqu'elle renforce la résistance au cisaillement du sol.

II.4.1.1.2.2 Pente et longueur du pente :

L'influence de la pente est complexe, le plus souvent l'érosion augmente avec la pente, il se développe une érosion en rigoles dix fois plus agressives qu'une érosion en nappe.

II.4.2 L'érosion de Sols :

Le sol est la partie superficielle de la terre susceptible d'être cultivée en raison de ses propriétés physiques et chimiques. Il résulte de l'interaction de la biocénose et du sous-sol sous certaines conditions climatiques. La plupart des plantes cultivées puisent l'essentiel de leur nourriture dans l'horizon supérieur du sol riche en matière organique qui lui donne une structure idoine. Le fait même que cet horizon soit meuble le rend très vulnérable à l'action des agents d'agression et de transport que sont l'eau et le vent.



Figure II.4 : effet de l'érosion de sol dans le bassin versant de Beni Chougrane.

II.5 Facteurs déclencheurs de l'érosion :

Tout facteur susceptible de mettre le sol à nu est par la même générateur d'érosion puisque c'est la couverture végétale qui limite le plus la circulation des eaux superficielles et l'impact du vent.

II.5.1 Le défrichement :

Pour quelque raison que ce soit, il est évidemment le principal agent initiateur. La déforestation pratiquée depuis la sédentarisation de l'homme et les débuts de l'agriculture est la cause essentielle de la destruction des surfaces cultivables, notamment dans les zones sensibles. Le pourtour méditerranéen est devenu un désert rocailleux où des bosquets rabougris et épineux survivent, quand ils n'ont pas été totalement éradiqués, parmi les cailloux et les crêtes rocheuses qui émergent du paysage tels des squelettes blanchis. La déforestation par le feu pour la mise en culture fut l'une des premières atteintes à l'intégrité des sols, suivie par les coupes destinées à l'industrie (verrière, métallurgie, salines, papeterie).



Figure II.5 : Après incendie d'une forêt.

Cette destruction du couvert végétal expose le sol aux agents d'érosion et en particulier à l'eau, particulièrement agressive en climat aride et semi-aride.

II.5.2 Le surpâturage :

Il est la seconde cause de dégradation des sols. Son effet a été spectaculaire sur le pourtour méditerranéen. Ce sont surtout les ovins et les caprins qui dégradent la couverture végétale puisque ces animaux tondent à ras les herbes, voire même les arrachent, et que les chèvres détruisent également les végétaux ligneux.

II.5.3 Disparition de la terre arable :

La mise à nu de la roche-mère entraîne logiquement la stérilisation du terrain. La reconquête est très lente puisqu'il ne se forme qu'environ deux centimètres de sol par millénaire.

Les agronomes ne considèrent qu'une perte supérieure à 1 T/ha/an soit irréversible au-delà d'une cinquantaine d'années. Le problème est donc hautement préoccupant pour des surfaces considérables essentiellement dans des régions tropicales et montagneuses.

II.5.4 Inondations :

La disparition des ralentisseurs des eaux de ruissellement que constituaient les forêts et prairies en amont des bassins versants conduit logiquement à l'apparition d'inondations en aval.

II.6 Sapement des berges :

Le sapement des berges des Oueds dans les régions arides comme l'Algérie, l'érosion et le glissement des berges participent à l'envasement des barrages. En effet c'est en période de crues que le phénomène se produit. Pendant la montée de la crue le niveau d'eau croît très vite dans le canal naturel pour atteindre une hauteur de 5 à 6 m (tout dépend de la section de l'Oued), l'eau s'infiltré dans les berges et le fond. Généralement, dans ces régions, on parle de crues éclairées dont la durée peut atteindre de 24 à 48 h, la descente du niveau d'eau est rapide. Elle est beaucoup plus rapide que la vidange totale d'un barrage en terre. C'est en ce moment que le glissement survient : plusieurs tonnes de terres tombent au fond de l'Oued. Il faut attendre la crue suivante pour drainer cette masse de terre vers la zone de dépôt (barrage) (figure II.5 et II.6).



Figure II.6 :Un foyer de sapement des berges dans l'oued El Mehir (2018).

Ce phénomène peut être observé sur les Oueds. A titre d'exemple, plus de 30 foyers de glissement des berges ont été recensés sur l'Oued Abiod (Remini et al, 2015). Une quarantaine de foyers de glissements ont été localisés sur l'Oued Chellif le long du tronçon Boughezoul – Ghrib (Remini et al, 2015).

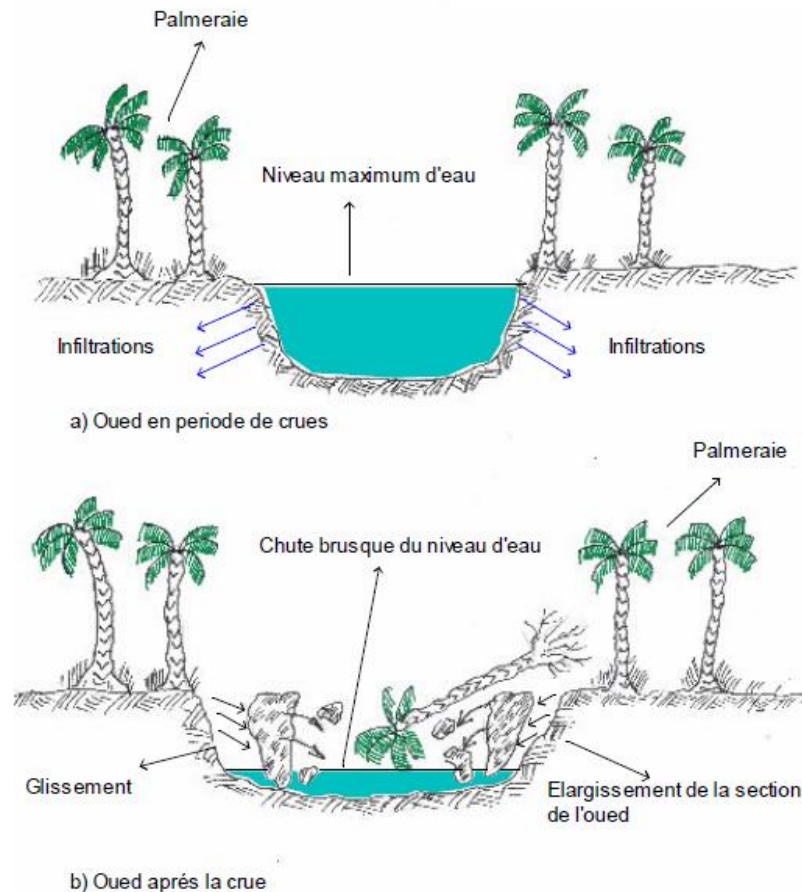


Figure II.7 : Coupe transversale d'une section d'un oued avant et après une crue, (Remini, 2015).

II.7 Quantification de l'érosion :

Plusieurs formules et méthodes qui impliquent tous les paramètres physiques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique.

II.7.1 Formule universelle de Wischmeier (1959) :

L'intensité de l'érosion peut se caractériser par la mesure des pertes de terre subies par les sols. Ces pertes de terre peuvent s'estimer par cette équation mise au point par le service américain de conservation des sols.

$$A = R. (K. Ls. C. P) \quad (II.4)$$

Avec :

A : Perte de terre(T/Ha).

R : Indice de pluie caractérisant l'agressivité de la pluie en T/Ha.

K : Indice de sol mesurant la plus ou moins grande susceptibilité du sol à l'érosion.

L_s : Indice de pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standard.

C : Indice de culture permet de tenir compte du degré de protection du sol par le couvert végétal.

P : Indice de remède de conservation du sol.

II.7.2 Formule de Graviovic :

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnel à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression suivante :

$$E_s = 3,14 \cdot T \cdot P_0 \sqrt{Z^3} \quad (\text{II.5})$$

Où :

E_s : érosion spécifique dans le bassin versant ($T/\text{Km}^2/\text{an}$).

T : coefficient de température.

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0,1 \quad (\text{II.6})$$

Avec :

t_0 : température moyenne annuelle en C^0 .

p_0 : pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

Avec :

$$Z = y \cdot (x \cdot a) \cdot (\delta + \sqrt{I_{moy}}) \quad (\text{II.7})$$

Où :

Y : valeur du coefficient de la résistance du sol du à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type du sol et du climat.

(x, a) : coefficients de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

I_{moy} : indice de pente moyenne du bassin versant.

II.7.3 Formule de Tixeront :

$$Es = (S1.Ta1 + S2.Ta2 + S3.Ta3 + \dots \dots \dots Sn.Tan) \quad (II.8)$$

Avec :

E_s : érosion spécifique (t/Km².an)

Ta_1, Ta_2, Ta_n : taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous bassins (T/Km²).

S : superficie totale du bassin (Km²).

S_1, S_2, S_n : superficie des sous bassins (Km²).

Maintenant, si on suppose que la totalité du bassin possède une même perméabilité,

On a :

$$Es = K * Le \quad (II.9)$$

Avec :

L_e : lame d'eau ruisselé moyenne interannuelle (mm).

K : constante.

K : coefficient qui tient compte de la perméabilité des terrains.

$K = 8,5$ pour les terrains d'une perméabilité élevée.

$K = 75$ pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée.

$K = 350$ pour terrains d'une perméabilité faible à moyenne.

$K = 1400$ pour les terrains d'une perméabilité faible.

$K = 3200$ pour les terrains perméables.

II.8 Le transport solide dans la retenue :

Le transport solide dans les Oueds est très important surtout en périodes de crues. Les quantités de terre érodées au niveau du bassin versant et les berges sont drainées par les Oueds vers le barrage. Des concentrations en particules fines dépassant les 100 g/l et peuvent atteindre 500 g/l ont été enregistrées à l'entrée de plusieurs retenues. La couleur jaunâtre ou noirâtre de l'eau qui indique que l'eau de la crue est chargée en particules fines. Avec une pente du lit d'oued supérieure à 1 pour mille, le charriage est très significatif dans les oueds malheureusement il n'a jamais fait l'objet d'une quantification.

Une chose est sûre est que les crues soudaines et torrentielles charrient les matériaux grossiers, les troncs de palmiers et même des cadavres d'animaux.

Les apports solides provenant de l'amont du barrage sont fonction essentiellement 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'eau transportent les sédiments sous deux formes :

- 1- Par charriage.
- 2- En suspension.

Quelques valeurs indicatifs permettent de délimiter les deux modes de transport, ces utilisent le rapport entre la vitesse de l'écoulement V sur le lit de cours d'eau, et la vitesse W de chute de particules (Graf, 1971) :

$$\frac{V}{W} > 0.10 : \text{Débit de transport par charriage.}$$

$$\frac{V}{W} > 0.4 : \text{Débit de transport en suspension.}$$

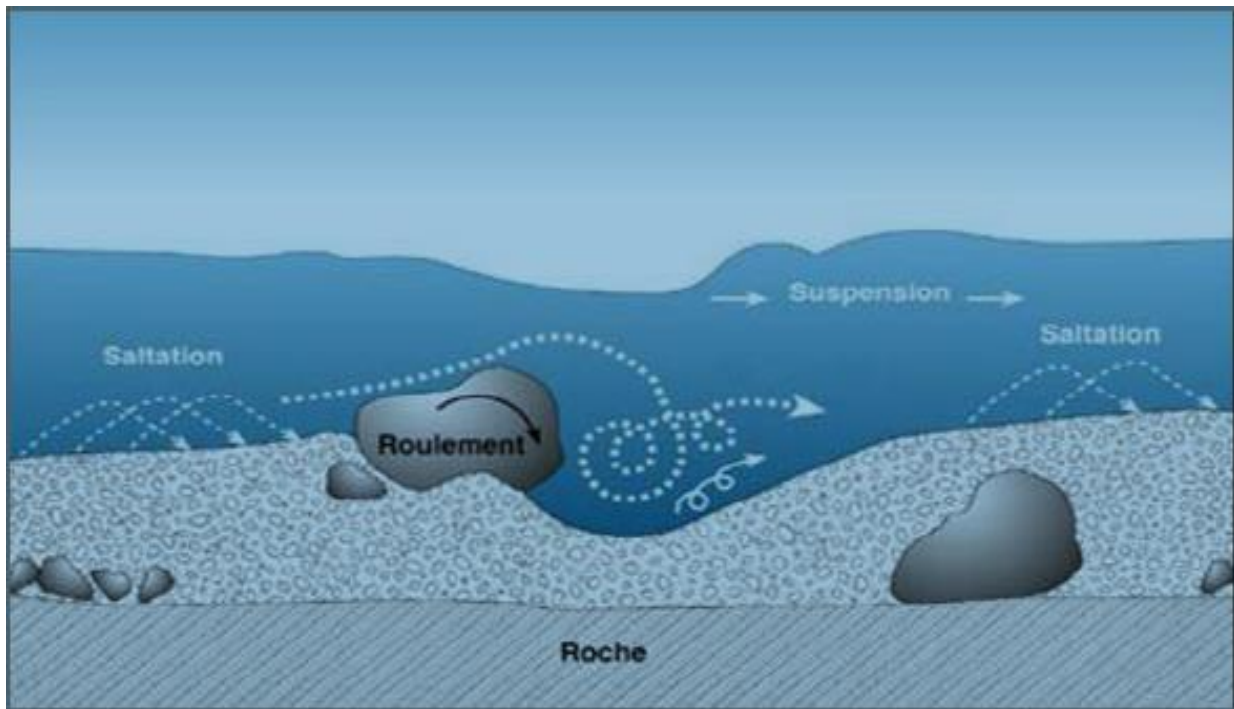


Figure II.8 : Classification de transport solide.

II.8.1 Les apports solides par charriage :

Le charriage est un mouvement des grains près du fond par roulement ou glissement des grains les uns sur les autres ou par petits sauts. Le charriage est un déplacement mais bien sûr pour qu'il y ait déplacement il faut qu'il y ait d'abord arrachement des grains. Ces déplacements sont dus à la traînée et à la portance.

Les particules charriées se déplacent sous l'effet des actions hydrodynamiques exercées par l'écoulement d'eau. Le transport solide par charriage concerne plutôt les particules grossières, typiquement de diamètre supérieur à 0,5 mm

Le charriage dit transport de fond, constitue un sérieux problème en régularisation des débits de cours d'eau, et dans la construction des ouvrages hydrotechniques.

II.8.2 Description du phénomène :

Sur le lit des matériaux sans cohésion, les grains isolés sont soumis aux forces de pesanteur et aux forces hydrauliques.

- Les forces de pesanteur sont des forces stabilisatrices.
 - Les forces hydrauliques sont des forces déstabilisatrices dues à l'écoulement (traînée et portance).

La grandeur physique explicative de ce mode de transport (charriage) est la contrainte hydrodynamique critique τ_c .

Donc les grains constituant l'interface solide-liquide, ayant un poids et un coefficient de frottement fini, ils ne peuvent être mis en mouvement par l'action du fluide que si la contrainte sur le fond τ dépasse la valeur de la contrainte critique τ_c .

Ce mouvement de granulats se traduira par un transport sur le fond dans le sens de l'écoulement.

La contrainte sur le fond de la rivière en (N/m^2) est exprimée par Meyer Peter :

$$\tau = \rho g R h j \quad (\text{II.10})$$

Avec :

τ : La contrainte sur le fond de la rivière (N/m^2) .

J : Perte de charge régulière de l'écoulement (m/m) .

ρ : Masse volumique du liquide (Kg/m^3) .

R_h : Rayon hydraulique (m) .

g : Accélération de pesanteur (m^2/s) .

Pour cela, on dit que le charriage est un phénomène à seuil et l'analyse très simplifiée pour le début de mouvement, revient à comparer directement la force déstabilisatrice due à l'écoulement à la capacité de résistance au mouvement des matériaux, qui tapissent le fond.

Vu la complexité de mesure, le charriage n'a pas été mesuré, les valeurs utilisées dans la quantification sont inspirées de travaux réalisés par des chercheurs.

Jusqu'à présent, les formules de détermination du débit solide charrié ne donnent de résultats satisfaisants que dans un domaine limité de valeurs des paramètres.

L'application de ces formules doit se faire avec beaucoup de prudence, en général, il faut rester dans le domaine de valeurs des paramètres pour lesquels la formule utilisée a été établie.

Il existe un nombre considérable de formules qui permettent de calculer le débit charrié, mais sont rares celles qui donnent plus au moins de bon résultats dans le cas particulier des cours d'eau naturels.

II.8.2.1 Formule de MEYER-PETER et MÜLLER :

En analysant plusieurs formules empiriques obtenues en laboratoire, mais en vérifiant les conditions de Froude, que MEYER-PETER et MÜLLER ont obtenu en 1948
Leur dernière formule.

$$0,25\rho^{1/3} g s'^{2/3} = \gamma R_h \zeta M j_e - 0.047(\gamma_s - \gamma) \quad (\text{II.11})$$

Cette formule présente l'avantage resté valable pour des matériaux de granulométrie largement étendue.

En posant :

$$\tau' = \zeta_M \gamma R_h j_e \quad \text{et} \quad \tau_c = 0.047(\gamma_s - \gamma).$$

Il vient :

$$g s' = 8 \sqrt{\frac{1}{\rho}} (\tau' - \tau_c)^{3/2} (\text{Kg/s}).$$

Où :

$g s' = g s (\gamma_s - \gamma) / \gamma_s$ Est le débit solide en poids dans l'eau et $g s / \gamma_s = q_s$ est le débit solide volumique net ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) :

$$q_s = 8 \left(\frac{1}{\gamma_s - \gamma} \right) \sqrt{\frac{1}{\rho}} (\tau' - \tau_c)^{3/2} \quad (\text{II.12})$$

Ou sous la forme suivante :

$$q_s = \frac{8 \sqrt{g(s_s - 1) d^3 (\tau^* - \tau^* c)} }{2} \quad (\text{II.13})$$

R_h : est le rayon hydraulique du lit.

τ^* : est la force tractrice adimensionnelle corrigée.

τ_c^* : est la tension adimensionnelle critique de frottement.

ζ_M : est un paramètre de rugosité donnée par :

$$\zeta_M = \frac{\left(\frac{K_s}{K}\right)^3}{2} \quad (\text{II.14})$$

K_s : rugosité totale du lit, évaluée avec la formule de MANING-STRICKLER

$$K_s = \frac{U}{R_h j^{1/2}} \quad (\text{II.15})$$

K'_s : est la rugosité due aux granulats, évaluée au moyen de la formule de STRICKLER.

$$K'_s = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} = \frac{21.1}{d_{50}^{1/6}} \quad (\text{II.16})$$

Pour une granulométrie non uniforme, on prend le diamètre moyen, $d=d_{50}$, comme diamètre équivalent.

Lorsque le fond est plat (s'il n'y a pas d'ondulation) $\zeta_M=1$, par contre, en présence d'ondulations (dune ou rides) une partie de l'énergie se dissipe en rugosité de forme.

La formule a été établie en canal pour des écoulements uniformes de 1 à 5000 l/s sur des granulats de 0.4 à 30 mm, de granulométrie tantôt uniforme tantôt étendue, et pour des pentes comprises entre 0,0004 et 0,024. La profondeur du canal dans les expériences allait de 1 à 120 cm. La gamme de ρ_s/ρ couverte allait de 7,25 à 4,22.

La formule de Meyer-Petere subit des extrapolations sur d'autres conditions pour représenter mieux le phénomène.

Il est donc recommandé de ne pas utiliser cette formule que pour des granulats plutôt grossiers, $d > 2$ mm, à granulométrie uniforme et non uniforme, et pour une gamme de pentes de fond allant de 0.0004 à 0.024.

II.8.3 Les apports solides en suspension :

Ils concernent les éléments fins du transport solide qui sont maintenus en suspension, par la turbulence de l'eau, créée par les matériaux du lit. La quantité de matériaux en suspension

dépend uniquement des quantités d'éléments très fins, qui proviennent de l'érosion des bassins versants, due au ruissellement des eaux de pluie.

II.8.4 Description du phénomène :

Au fur et à mesure que la vitesse du courant s'accroît dans le cours d'eau, l'intensité de la turbulence s'accroît également jusqu'au stade où les particules en saltation atteignent une hauteur au-dessus du fond où les forces extensionnelles fluctuantes dues à la turbulence dépassent le poids des particules.

A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire définie ; mais elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide.

La formule de W.Kresser définit le critère d'apparition des phénomènes de suspension qui consiste à définir la vitesse U d'écoulement du liquide, par laquelle la poussée de ce dernier sur les grains de diamètre " D " permet la mise en suspension des grains quartzeux de 0,2 à 0,85 millimètres de diamètre dans des écoulements naturels de rivières.

$$U^2 = 360 \cdot g \cdot D \quad (\text{II.17})$$

Avec :

$$U = C\sqrt{hj} \text{ et } \tau = \gamma j h \text{ D'où } \tau = 360 \left(\frac{\gamma g}{C^2}\right) d \quad (\text{II.18})$$

τ : Tension tangentielle de l'écoulement (N/m^2).

γ : Poids volumique du liquide (N/m^3).

C : Coefficient de Chezy.

h : Hauteur du liquide (m).

J : Perte de charge régulière (m/m).

U : Vitesse de l'écoulement (m/s).

d : Diamètre des grains (mm).

g : Accélération de pesanteur (m^2/s).

II.8.5 Début d'entraînement des sédiments en suspension :

Le début de transport des particules en suspension est un problème plus complexe. Rappelons que ce mode de transport se base sur la théorie de la turbulence, et l'analyse de cette théorie montre le caractère aléatoire du mouvement des grains.

La plupart des critères se basent sur la comparaison de la vitesse de frottement u^* à la vitesse de chute des particules solides w . En se basant sur des résultats expérimentaux et sur des considérations théoriques, Bagnold (1954) et Engelund (1965) indiquent que les particules solides ne peuvent être suspendues que si :

u^* dépasse la vitesse de chute soit :

$$u_*/w \geq 1 \quad (\text{II.19})$$

Graf en 1971 suggère que le transport en suspension commence si :

$$\frac{u_*}{w} \geq 0.4 \quad (\text{II.20})$$

Rijin (1984) propose ce qui suit :

$$\frac{u_*}{w} > \frac{4}{d^*} \text{ Pour } 1 < d^* \leq 10 \quad (\text{II.21})$$

$$\frac{u_*}{w} > 0.4 \text{ Pour } d^* > 10 \quad (\text{II.22})$$

II.9 Piégeage des sédiments :

Une fois l'eau de crue arrive au niveau du lac du barrage, les matériaux sont piégés par les eaux calmes du barrage. Les particules grossières seront freinées à l'entrée du barrage sous forme d'un delta. Par contre les particules fines continueront leur chemin en fonction de la concentration, soit sous forme de courants de densité ou par diffusion.

II.9.1 La vitesse de chute :

La vitesse de chute est considérée comme un paramètre de base dans les problèmes concernant l'action du courant sur le matériau granulaire du lit. Elle permet de caractériser le comportement hydrodynamique d'une particule dans un liquide.

Les vitesses de sédimentation (V_p) sont généralement calculées grâce à la loi de Stokes, indiquée à l'équation, à partir de la masse volumique de la particule, de son diamètre et de la densité du fluide dans lequel elle se trouve.

$$VP = \frac{(g*(\gamma-\gamma_p)*d^2)}{(18 \mu)} \quad (\text{II.23})$$

Où

V_p : Vitesse de chute verticale de la particule (m/s)

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

γ_p : Masse volumique réelle de la particule (kg/m³)

γ : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m³)

d : Diamètre des particules à sédimenter (m)

μ : Viscosité dynamique de l'eau (pa.s).

II.10 Les courants de densité :

Dans les régions arides, les crues drainent des quantités élevées en particules fines dépassant généralement la concentration de 100 g/l (Remini, 1997). Le contact des eaux chargées d'une crue avec celles du lac d'un barrage engendre l'apparition des courants de densité qui se propagent sur le fond au-dessous des eaux claires du lac d'un barrage sous forme d'une couche très dense bien individualisée (fig. II.8). Arrivés devant l'obstacle (digue), les courants de densité après avoir buter contre le mur se stabilisent sous forme d'un lac boueux sous les eaux claires du lac. La succession des courants de densités provoquées par les différentes crues durant la saison d'automne augmentera rapidement l'envasement du barrage. L'apparition des courants de densité à l'entrée d'un lac (point de plongée) est conditionnée par des concentrations très élevées en particules fines (Remini, 1997). La géométrie du lac du barrage de type « canal » favorise la propagation des courants de densité. Ils peuvent parcourir une distance de plus de 10km du point de plongée jusqu'au pied du barrage.

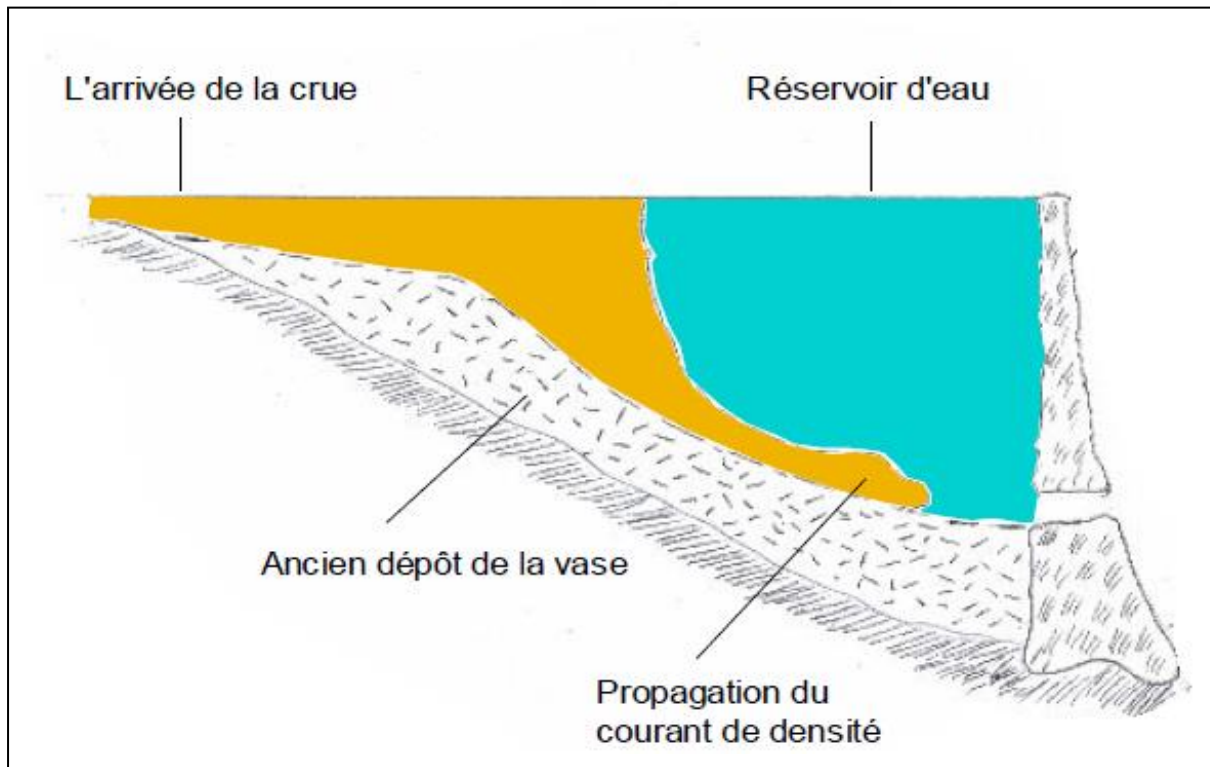


Figure II.9 : Schéma de la propagation d'un courant de densité au fond d'un barrage (Remini, 2016).

II.11 Tassement et consolidation des vases :

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 :

II.11.1 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.

II.11.2 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.

II.12 Tassement des sédiments grossiers :

Les sédiments non cohésifs une fois déposés sur les fonds ne se tassent pratiquement pas sous leur propre poids mais peuvent subir une « mise en place » avec une imbrication entre eux, leur permettant d'avoir une portance et de mieux résister aux actions hydrodynamiques. Des sols constitués par de tels matériaux grossiers (galets, graviers et sables) sont pratiquement stables dans le temps. Leurs indices des vides et leurs masses spécifiques dépendent du type de grains de sable.

II.13 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.
2. Distribution des sédiments par envasement des sédiments grossiers et décantation des particules fines.

II.13.1 Distribution des sédiments par courants de densité :

La formulation des courants de densité dans une retenue est conditionnée par deux paramètres:

- ✓ Apport solide important (concentration élevée) dans la retenue.
- ✓ Ecoulement torrentiel à l'entrée de la retenue, c'est-à-dire que le courant principal présente une forte pente.

II.13.2 Distribution des sédiments par l'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.

II.14 Méthodes de prévision des apports solides :

Pour prévoir la quantité de sédiments déposés dans les retenues, plusieurs méthodes sont utilisées, la plupart d'entre elles se fondent, soit directement soit indirectement sur des mesures par prélèvement d'échantillons, ou sur des levéstopographiques (bathymétriques) dans les retenues. Ces méthodes sont classées en trois types :

- 1) Méthode empirique.
- 2) Méthode d'application des équations du transport solide.
- 3) Méthode par modélisation.

II.15 Etudes réalisées sur le transport solide et l'érosion en Algérie :

De nombreuses études expérimentales avaient été consacrées au problème de l'érosion. Les principaux résultats ont permis d'appréhender, sur une base scientifique, le mécanisme de l'érosion.

II.15.1 Tixeront (Août 1960) :

Les travaux de Tixeront sont basés de 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie. Les superficies varient de 90 à 22300 km² et les observations portent sur une durée de 2 à 22 ans. L'auteur a procédé à la correction et l'homogénéisation des séries qui figurent dans les annuaires hydrologiques de l'Algérie. Puis a regroupé les bassins en 3 classes suivant un critère régional, et pour chacune d'elles une relation débit solide et ruissellement.

Les principales conclusions des travaux de Tixeront sont résumées comme suit :

Les teneurs en suspension des 3 groupes de bassins augmentent d'une façon générale, quand le ruissellement diminue.

Les terrains des régions fortement plissées, fournissent des taux d'abrasion et des teneurs en suspension particulièrement élevés.

La distribution régulière des précipitations avec un maximum en pleine saison végétative est favorable aux faibles teneurs. La distribution la plus favorable est celle qui emporte au maximum en automne.

La répartition pluviométrique permet la différenciation de 3 zones

Une zone où la pluviométrie inférieure à 300 mm est insuffisante pour causer une érosion appréciable.

Une zone de 300 à 700 mm où l'érosion est très active $1200 \text{ T/km}^2/\text{an}$.

Une zone de pluviométrie supérieure à 700 mm, mais qui bénéficie d'un couvert végétal protecteur où l'érosion est de l'ordre de $350 \text{ T/km}^2/\text{an}$.

II.15.2 Capolini (1965-1969) :

Cet auteur a effectué une étude géomorphologique régionale sur le bassin du Cheliff (pente, formation lithologique, superficielle, couvert végétal). L'étude a permis de :

- Quantifier les débits solides en associant à chaque formation lithologique un débit solide spécifique.
- Etablir une relation statistique entre l'érosion spécifique des bassins versants et les coefficients de torrencialité.
- De Suggérer une méthode de cartographie de la susceptibilité à l'érosion à partir de la cartographie du coefficient de torrencialité, en partant de l'hypothèse, vérifiée sur les bassins du Fodda et de Rhiou, que les zones fortement érodées coïncident avec les zones à coefficient de torrencialité élevé.

II.15.3 Sogreah (1969) :

L'étude est basée sur les données recueillies dans 27 bassins, les durées d'observation sont très variables.

Cette étude a montré que le transport solide des oueds est fonction du ruissellement annuel des crues et de la perméabilité des bassins versants, en admettant que le degré de perméabilité est un facteur qui intègre en 1^{ère} approximation les paramètres géomorphologiques.

Sur un bassin de nature géomorphologique donnée, le transport solide apporté par les crues croît avec le volume ruisselé.

II.15.4 Demmak (1982) :

Demmak a mis en relief l'importance de cette érosion et ses conséquences, et a proposé une méthodologie d'étude et de lutte.

A cet effet, il a procédé à la sélection de 30 bassins versants représentatifs de l'Algérie du nord de différentes conditions physiques, géomorphologiques, climatiques et hydrologiques. Il a défini une corrélation multiple très significative incluant plusieurs paramètres physiques pour un bassin versant côtier à très forte érosion, qui n'est valable que pour les bassins versants Téliens ayant un pourcentage marneux érodable supérieur à 10 % et une pluviométrie supérieur à 300 mm

Les travaux de Demmak ont montré que l'érosion spécifique dépasse 2000 T/km²/an sur la plupart des bassins versants de l'Atlas Téliens. Il atteint 4000 T/km²/an sur la chaîne des côtières de Dahra (Ben Hamed H, 2015).

II.16 Conclusion :

Comme on a mentionné au début de ce chapitre, le phénomène de l'envasement des barrages est beaucoup plus important dans les régions arides à cause d'une forte érosion des sols des bassins versants et aussi du sapement des berges des Oueds qui peut être spectaculaire en périodes de crues.

A la fin de ce deuxième chapitre, on peut dire que la sédimentation des barrages est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à l'aval du barrage. Les conséquences de ce phénomène sont extrêmement gênantes. Elle a un impact au niveau du réservoir lui-même, mais aussi en amont et en aval du barrage. Le mécanisme de la sédimentation et plus particulièrement les courants de densité restent l'étape la plus délicate de ce processus et leur maîtrise aboutira directement à la proposition des méthodes de lutte adéquates.

Chapitre III

**Les mesures
préventives contre
l'envasement**

Chapitre III : Les mesures préventives contre l'envasement

III.1 : Introduction :

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes, tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb d'ici à 2025 connaîtront des problèmes aigus d'eau. Pour prolonger la durée de vie des grands barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services d'hydraulique. En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. 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.

III.2 Les mesures préventives contre l'envasement :

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

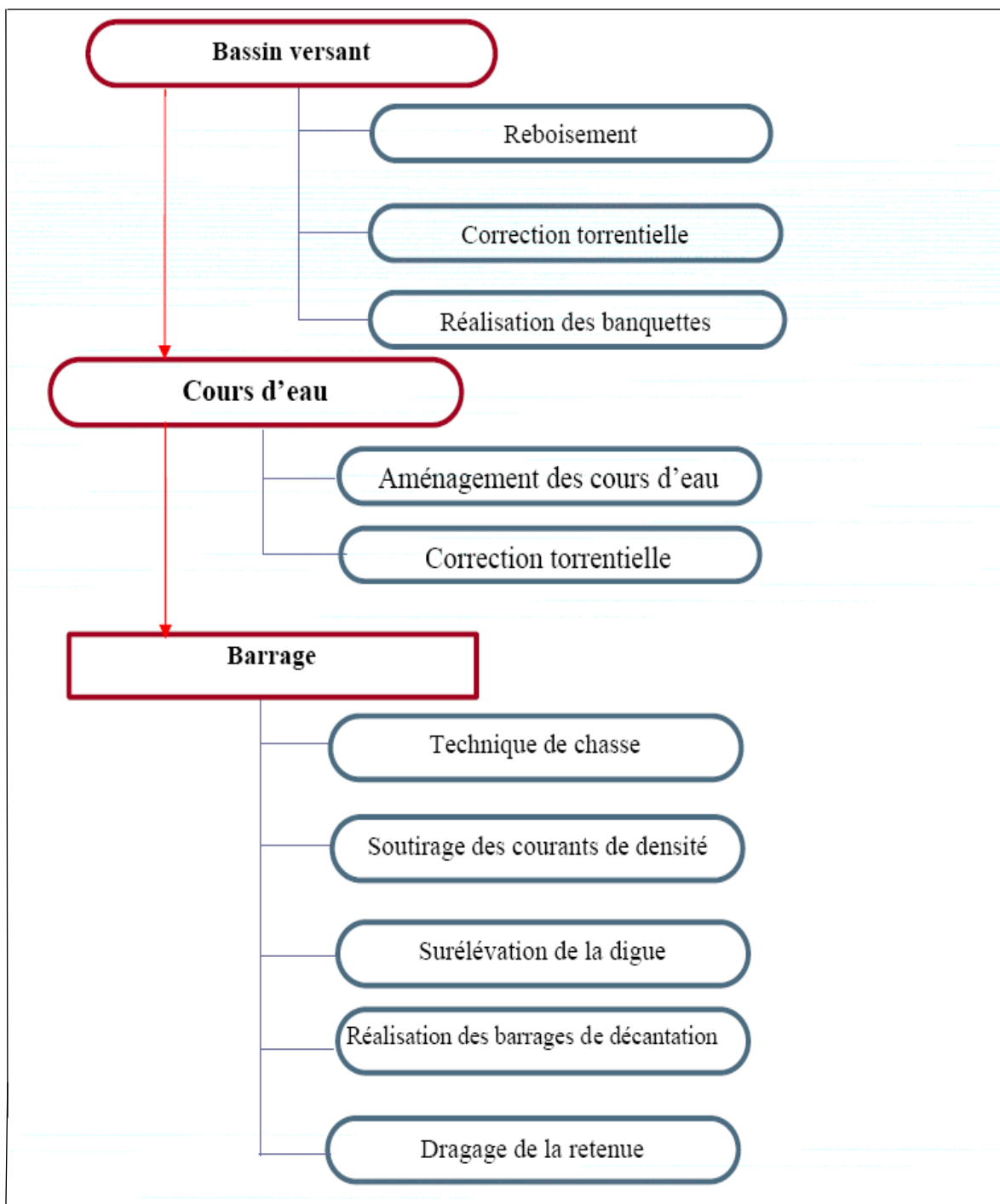


Figure III.1 : l'organigramme des mesures préventives contre l'envasement.

III.2.1 Aménagement du bassin versant :

Le meilleur moyen technique de lutte contre l'envasement est situé au niveau de la source de production des particules, c'est-à-dire au niveau du bassin versant.

Deux méthodes de conservation des sols utilisées pour freiner l'érosion et la pénétration des matériaux solides dans une retenue sont : l'implantation de structures anti-érosion et l'aménagement des sols dans le bassin versant. On peut construire plusieurs types de structures dans le bassin ; par exemple, des bassins de rétention conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement créé par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques, le revêtement des berges pour réduire leur érosion, et des seuils (figure III.2) ou des déversoirs pour la stabilisation du lit. 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.



Figure III.2 : Gabionnage contre l'érosions.

III.2.1.1 Le reboisement :

Pour lutter contre le phénomène de l'envasement, les chercheurs ont pensé à utiliser au mieux l'effet de la végétation pour piéger et retenir ces sédiments à l'amont des cours d'eau. Des

études ont donc été menées sur des placettes et sur des ravines pour connaître l'efficacité des barrières végétales naturelles. Elles ont mis en évidence que si 20 % de la zone érodée était recouverte de végétaux et si ces végétaux sont situés à l'aval de cette zone, les sédiments étaient efficacement piégés.

Un écran de végétation peut servir de façon efficace à empêcher les matériaux solides de pénétrer dans 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 à l'entrée de la retenue et les empêcher d'aller plus loin.



Figure III.3 : Reboisement d'un versant de montagne à Lakhdaria (Bouira).

III.2.1.2 Correction torrentielle et réalisation des banquettes :

Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle des thalwegs, et l'aménagement de cours d'eau : en créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent, ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, qui sont des aménagements, réduisant l'érosion a sa source. Ci-après les figures (III.3 et III.4) fournissent quelques exemples de seuils de sédimentation en pierres sèches réalisés dans le bassin versant du Beni chougane, et des banquettes en vue de réduire la torrentialité du réseau hydrographique.



Figure III.4: Une série de seuils réalisée sur une ravine dans un bassin versant, (Remini 2014).



Figure III.5: Banquettes réalisées au niveau d'un bassin versant.

III.2.2 Installation des obstacles émergés dans les cours d'eau :

L'année hydrographique en Algérie peut être répartie en deux saisons : sèche et humide. La période sèche s'étend du mois de Mai au mois d'Octobre, elle est caractérisée par de faibles précipitations et les Oueds sont à sec. Quant à la saison humide qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril, il y a généralement un écoulement dans les rivières, et on assiste des fois à de fortes crues. Une année hydrologique 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) pour piéger des sédiments fins en amont de la retenue dans le cours d'eau principal). Durant la saison humide, l'apport solide dans les Oueds est considérable, la concentration en particules dépasse souvent la valeur de 100 g/l, 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. Ensuite ces vases peuvent être récupérées pour d'éventuelles utilisations industrielles (briques, tuiles et poterie...) et comme amendement pour les sols pauvres en matières organiques. 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 l'oued lui-même et peut être même utilisée pour la réalimentation des nappes.

III.2.3 Réalisation de barrage de décantation à l'amont :

La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage. Cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont du barrage principal.

L'exemple du barrage de Boughezoul (situé à l'amont du Ghrib) qui est exploité partiellement comme réservoir de décantation au barrage de Ghrib, a permis de retenir depuis sa création 35 millions de m³ de vase. Il a réduit ainsi l'envasement de Ghrib de près de 24 %.



Figure III.6: Retenue collinaire à l'amont du barrage Beni Amrane (2018).

III.2.4 Revêtement des berges pour réduire leurs érosions :

Les méthodes de lutte contre l'érosion des berges des cours d'eau sont des techniques naturelles réalisées par la pierre ou en béton si nécessaire ou par l'implantation des arbres. Elles permettent également de diminuer l'érosion ultime des berges et la connexion physique avec les oueds en période de crue.

III.3 Soutirage des courants de densité :

La pratique des soutirages, particulièrement lorsque la configuration de la retenue du barrage est favorable à l'apparition des courants de densité, conduit à l'évacuation d'un volume de vase avec évidemment une perte d'eau. La forte concentration en sédiments dans les cours d'eau surtout en période de crues et la forme géométrique de la cuvette donnent naissance aux courants de densité à l'entrée d'une retenue et peuvent se propager jusqu'au pied du barrage. L'ouverture des vannes de fond au moment favorable peut évacuer une forte quantité en sédiment. Si une opération de soutirage n'est pas effectuée au bon moment pour une raison quelconque, on perd alors tout simplement 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). Donc de ne négliger aucune occasion de soutirer la vase chaque fois que cela est possible. Comme fut 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 Zardezas, bloquée durant les années quatre-vingt, ou celui de vanne de fond du barrage de Foum El Gherza, obturée en 1982, (BENAHMED, 2015).

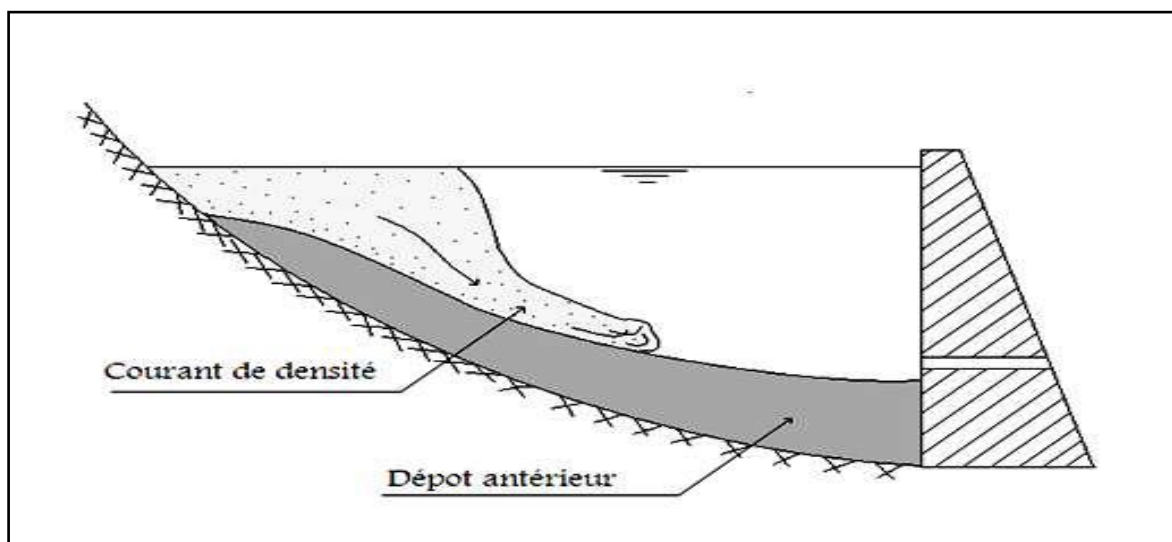


Figure III.7 : Propagation d'un courant de densité.

III.3.1 La chasse par les vidanges de fond :

La vidange de fond du barrage a été conçue spécialement pour la chasse annuelle des sédiments de la retenue.

Dans chaque retenue menacée par le problème de la sédimentation, il est souhaitable 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, l'utilisation des vidanges de fond semble être la plus efficace.

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.

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. D'une façon analogue, on peut évacuer des courants de densité de retenues servant au stockage.

Quand les vidanges de fond sont situées en dessous des prises d'eau, elles empêchent les matériaux solides de pénétrer dans la prise d'eau, et elles minimisent ainsi l'usure des turbines.



Figure III.8 : vidange de fond barrage k'sob (2018).

III.3.2 La chasse par vidange :

La vidange d'une retenue est une méthode fréquemment employée pour freiner la sédimentation ou pour encourager une érosion des sédiments afin de récupérer du volume.

Cette méthode est notamment utilisée pour des retenues destinées à la production d'électricité. L'efficacité de la chasse des sédiments dépend de la situation topographique de la retenue, de la capacité d'évacuation des vidanges, de la hauteur des vidanges, des caractéristiques des matériaux solides entrants, du type d'exploitation, de la durée de l'opération de chasse, du débit de la chasse, etc.

III.3.3 Extraction par siphonage :

La méthode d'évacuation des sédiments par un siphon à un barrage a été envisagée pour la première fois par Jandin, au siècle dernier (BROWN, 1944) L'ingénieur Jandin a développé et utilisée cette méthode entre 1892 et 1894, pour évacuer des sédiments avec un siphon à travers le barrage de Djidiowia. $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ de limons et d'argile ont été évacués en trois ans. L'appareil de Jandin se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61 cm, avec une capacité d'évacuation de $1,53 \text{ m}^3/\text{s}$ dans des conditions normales d'opération. A partir d'une

ouverture dans le bas du barrage, il était lié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1.6 km. Une turbine installée près de l'embouchure du tuyau, et actionnée par l'écoulement dans le tuyau, était reliée à un appareil à roues coupantes près de la prise d'eau du tuyau, qui était conçu pour empêcher les sédiments. Hannoyer (1974) a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro aspirateur" proposé par Jandin 80 ans auparavant. Un tuyau flexible est lié à la vidange de fond. Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. Il n'y a pas besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2 km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase, (PANEL, 1986).

La figure suivante représente de façon schématique la disposition de (l'hydro aspirateur).

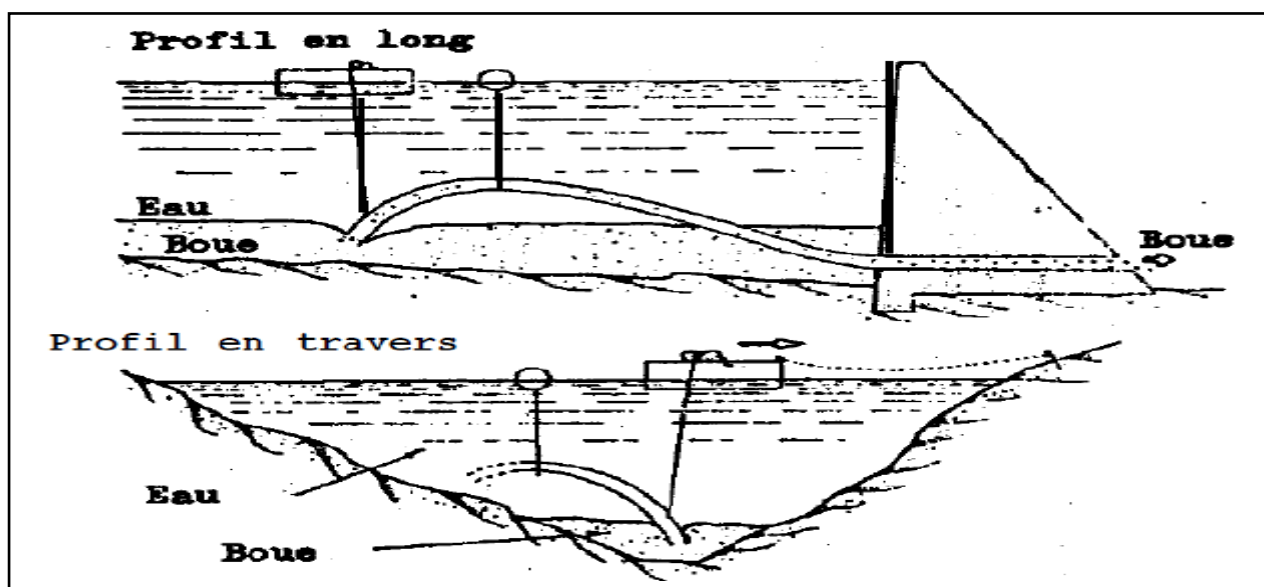


Figure III.9: Schéma de l'installation du siphon évacuateur Hannoyer 1974

III.3.4 Surélévation des barrages :

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage. L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très encourageante. La surélévation d'un barrage permet d'augmenter la capacité de la retenue et donc de compenser la valeur envasée. 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. Spécialement, si elle n'entraîne pas de contestations sociales.

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.

III.3.4.1 La surélévation des barrages en Algérie :

En Algérie la première technique a été réalisée sur cinq barrages : Fergoug ,Mefrouch, Bakhada, K'sob, Zardezas. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de retenue et donc de compenser la valeur envasée.

✓ **Barrage El Hamiz** : l'envasement accéléré de la retenue a permis à l'administration en 1883 de surélever la digue du barrage de 7 m pour porter sa capacité à 23 millions de m³.

✓ **Barrage de K'sob**: du fait de la progression de l'envasement du barrage, la capacité a été réduite à moins de 4 millions de m³. En 1976, la hauteur du barrage a été portée à 46 m (15 m) pour porter sa capacité à 30 millions de m³.

✓ **Barrage de Zérdézas** : du fait de l'envasement accéléré, la capacité du barrage est passée à 7,5 millions de m³ en 1974. En 1977, la hauteur du barrage a été portée à 45 m (12,5 m de plus). Le volume ainsi obtenu est de 31 millions de m³.

III.4 dragages des barrages :

Le dragage est une technique de dévasement sûre, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues. 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.

D'une façon générale, le dragage constitue une méthode de récupération de capacité qui coûte cher, à moins que les sédiments puissent être recyclés de façon intéressante.

On fait recours au dragage pour enlever les sédiments d'une retenue si :

- 1- les opérations de chasse ne sont pas efficaces.
- 2- la construction d'une galerie de dérivation est impossible.
- 3- l'abaissement de la retenue pour la chasse est impossible pour des raisons de conservation de l'eau.
- 4- le barrage est irremplaçable et ne peut être surélevé.

III.4.1 L'application de cette technique en Algérie :

La technique du dragage a été utilisée en Algérie depuis les années cinquante. Le premier barrage ayant subi des opérations de dragage en Algérie est celui de Fergoug, situé dans la région de Perrégaux (Ouest algérien) : de 1986 à 1989 plus de 10 millions de m³ de vase ont été dragués. Le dragage a été réalisé avec une drague suceuse rouleuse flottante. Après remaniement local, les sédiments sont aspirés par la drague et refoulés à travers une canalisation constituée d'une partie flottante et d'une partie fixe sur plusieurs centaines de mètres de longueur. Cette canalisation sert aussi au transport par refoulement des sédiments jusqu'à la zone de rejet située en aval du barrage.

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

De cette première expérience de dragage en Algérie, sont apparues des désordres sur l'environnement, et des renseignements sont à tirer pour les prises de décisions futures. Les moyens de dragage sont très variés, allant du simple pelletage aux systèmes automatisés qu'il est possible de concevoir. La réalité a montré la nécessité de prise en charge des opérations de dragage sur toutes ses facettes :

- ✓ La caractérisation initiale des matériaux à draguer.
- ✓ La mise en état des matériaux avant dragage (séparation de phases).
- ✓ Le transport et la mise en dépôt des matériaux dragués.
- ✓ Les questions de dépollution des matériaux à déposer dans les sites naturels.
- ✓ Les aspects de valorisation des matières pouvant être exploitées.
- ✓ Les retombées économiques immédiates et à long terme.

Malgré la diversité des problèmes liés à l'envasement des retenues, la récupération des volumes de stockage des moyens existants est une priorité. Même si la construction de nouvelles retenues est envisageable, elle est confrontée dans de nombreux cas à l'inexistence de sites nouveaux. Ainsi que ce soit par soutirage ou par dragage, plus de 650 millions de m³ de sédiments cumulés sont estimés en 2000 et répartis dans les 98 barrages Algériens (ANBT, 2000).

III.4.2 Les type de dragages :

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

III.4.2 .1 Entretien :

Sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments repos qui gênent la navigation.

III.4.2.2 Aménagements :

Sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigable.

III.4.2.3 L'approfondissement:

Sont commencé lorsqu'il devient nécessaire d'adapter le seuil de navigation et prolonger la durée de vie des barrages, les travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiments, sa demande des moyens de dragage importants.

III.4.3 Les techniques de dragage :

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

III.4.3.1 Les dragages mécaniques :

Ils s'effectuent grâce à des engins à godet qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godet....etc.).

III.4.3.2 Les dragages hydrauliques :

Ils sont réalisés par des dragues suceuses aspiratrices, les matériaux sont désagrégés par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage. Cette technique est utilisée dans le barrage de K'sob de M'sila, la drague utilisée est une drague suceuse à désagrégateur (figure III.10). La vase fait 20 mètres de profondeur ce qui à amener spécialement dans ce barrage à utiliser une élinde de 30 mètres pour l'atteindre (ANBT, 2016).



Figure III.10: Equipements drague du barrage K'sob M'sila (ANBT, 2016).



Figure III.11 : Refoulement de la vase du barrage K'sob (ANBT, 2016)

III.5 Les dragages à l'américaine:

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice d'air comprimé dans les cours d'eau ou chéneau à fort

courant. Les sédiments sont repris dans le flux et se déposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transport des sédiments à plusieurs kilomètres du barrage.

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

III.6 Les dragues spéciales :

Plusieurs systèmes de dragage de conception spéciale ont été développés ces dernières années aux États-Unis et au Japon.

La plupart des dragues de conception spéciale sont destinées à des travaux de petite et de moyenne envergures et elles sont surtout utilisées pour les projets des restaurés, nettoyage ou encore pour des interventions très particulières.

III.7 Conclusion :

Les barrages algériens sont menacés par l'envasement en raison de désertification accélérée et l'érosion hydrique intense des bassins versants telliens. Pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 6 % du volume total. Les effets néfastes de ce phénomène sont nombreux, allant de la réduction considérable de la capacité d'emmagasinement et de stockage du barrage, jusqu'à la dégradation nette de la qualité de l'eau du barrage. Il existe plusieurs moyens de lutte contre ce phénomène, l'aménagement du bassin versant, la correction torrentielle à l'amont, le reboisement, la réalisation des bassins de décantation et les retenues collinaires pour empêcher les sédiments d'arriver au barrage, la chasse par vidange de fond, le soutirage des courants de densité, le dragage, Il y a aussi la surélévation de la digue.

Chapitre IV
Situation
géographique et
présentation du
barrage de K'sob

Chapitre IV : Situation géographique et présentation du barrage de K'sob

IV.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à une description générale du bassin versant étudié afin de déterminer les caractéristiques géographiques, physiographiques et géologiques, qui sont des bases indispensables à la compréhension du phénomène de transport solides dans les cours d'eau.

Le bassin versant fonctionne donc comme un collecteur chargé de recueillir les précipitations et de les transporter par écoulement vers le point le plus bas appelé exutoire. Cette transformation est plus ou moins rapide suivant les caractéristiques physiques du bassin versant.

La couverture végétale dans le bassin versant de K'sob est pauvre, en exception de quelques régions limitées. Le barrage de K'sob est située dans une région caractérisées par un indice d'érosion variant entre $k = 1$ et $k = 3.5$ (ANBT, 2008). Donc, ces dernières présentent une érosion moyenne à très forte, ce phénomène est accentué par l'absence de couvert végétal.

IV.2 Situation géographique du bassin versant K'sob :

Le bassin versant de l'oued K'sob est situé dans le grand bassin du Hodna au Nord de l'Algérie (Figures IV.1). Il est limité au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans au Sud et au Sud-Ouest par les monts du Hodna et à l'Est par les hautes plaines de Sétif. Il se situe aussi entre les méridiens de longitudes $5^{\circ}6'$ et $4^{\circ}34'$ Est et les parallèles de latitude $35^{\circ}33'$ et $36^{\circ}18'$ Nord. Le bassin versant de K'sob, Il s'étend sur la totalité de la Wilaya de Bordj Bou Arreridj et l'exutoire du bassin versant est situé à la limite Nord de la wilaya de Msila.

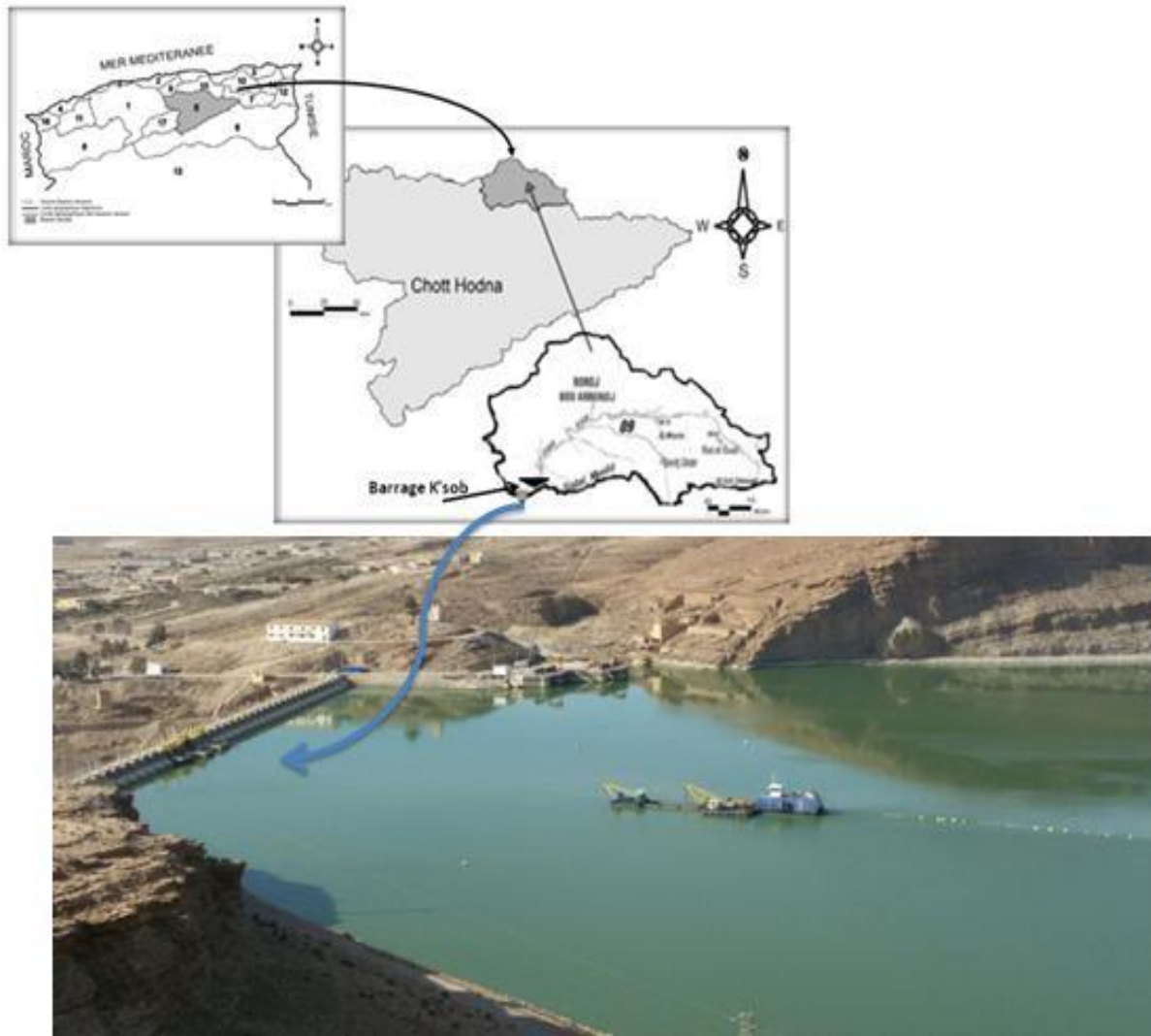


Figure IV.1: Position géographique du barrage El K'sob.

IV.3 Historique de barrage el K'sob :

1920 :L'édification d'un barrage de dérivation des eaux de crue de l'oued k'sob inférieur fut inscrite au programme de travaux publics de novembre 1920.

1927 :La possibilité de construire sur l'oued k'sob, non pas un barrage de dérivation mais un barrage réservoir fut examinée par les ingénieurs de la circonscription de Bougie (Bejaia).

1930 :La réalisation du barrage est soumise à la concurrence le 25 novembre 1929 avec six entreprises soumissionnaires. Par jugement du 2 décembre 1930 les travaux furent confiés à la société THEG. Il s'agissait alors d'un barrage type "poids évidé" arasé à la côte 610 d'une hauteur de 50 m et d'une capacité de 50 hm³. L'ouvrage ainsi conçu pouvait assurer la régularisation interannuelle du débit de l'oued K'SOB.

1933 :Les travaux préparatoires étaient achevés lorsque des compressions budgétaires imposèrent une limitation des dépenses entraînant une modification du projet. Le marché passé avec la société THEG fut approuvé le 23 octobre 1933.

1934 :Les fondations furent terminées en 1934.

1935 :Une crue de 680 m³ survint le 5 octobre endommageant les rives en aval du barrage.

1939 :Le corps du barrage fut achevé dans le courant de l'année.

1940 : Les évacuateurs étant terminés à la fin du premier semestre la mise en eau débuta en juillet 1940.

1947 :Le câble de la vanne de garde de vidange se rompit provoquant l'interruption des validations. Il fallut vidanger le barrage par les vannes de prise.

1954 :L'aménagement d'un deuxième pertuis de vidange fut terminé en Mai 1954.

IV.4 Monographie du barrage :

Le barrage du K'sob est de type contreforts à voûtes multiples, posé sur deux culées en rive droite et rive gauche. Le barrage actuel présente une hauteur maximale sur sa fondation de 46 mètres, pour une longueur de crête de 280 mètres, la capacité initiale de la retenue est de 29.5 hm³ sous le niveau de retenue normale.

La partie principale est constituée de trente-huit voûtes reposant sur trente-sept contreforts intermédiaires et aux extrémités, sur deux culées formant barrage poids.

Le tableau (IV.1) résume les principales caractéristiques du barrage.

Tableau. IV.1 : Les caractéristiques principales du barrage EL K'sob (ANBT, 2008)

Caractéristiques générales Données	Donné		
Superficie du bassin versant	1460 KM ²		
Périmètre du bassin versant	180 KM		
Altitude moyen	1070 M		
Apport annuel moyen	51,5 HM ³		
Précipitation annuel moyen	220.0 mm		
Déversoir	Evacuateur de crue en rive droite		
Caractéristique du barrage	Barrage initial	Après surélévation	Récent
Début et fin des travaux	1934 à 1940	1972 à 1976	-
Année de mise en eau	1940	1977	-
Surface de plan d'eau	1921 ha	252.5 ha	-
Altitude maximal de la retenue	591m	652 m	-
Hauteur de la surélévation	-	15 m	-
Hauteur maximal	31 m	46 m	-
Longueur de la crête	254.5 m	280 m	-
Largeur de la crête	5.5 m	3 m	-
Base de la digue	45 m	56 m	-
Capacité de retenue normale	11.5 hm ³	29.5 hm ³	11,6 hm ³
Taux d'envasement	69% levé 1968	60 % levé 2008	levé 2008



Figure IV.2 : Photo du barrage K'sob (2018).

IV.5 Climat dans le sous bassin de K'sob :

Les paramètres climatiques d'un bassin versant sont les éléments les plus déterminants de l'écoulement, les précipitations sont le facteur principal qui influence directement l'écoulement, pour notre bassin versant de l'oued K'sob, la pluviométrie moyenne inter mensuelle est de l'ordre 3 à 20 mm. Pour la pluie journalière maximale interannuelle, elle est de l'ordre de 36.3 mm.

La température est un facteur très important, qui conditionne les phénomènes et les paramètres du bilan hydrologique en particulier.

La saison chaude s'étend de Mai à Octobre, avec un maximum en Juillet, qui atteint la valeur 34.7° C. Alors que la saison froide correspond à la période de Novembre à Avril.

IV.5.1 Distribution des pluies journalière maximale :

L'analyse des précipitations journalières maximales et même des hauteurs de pluie horaire présente un intérêt particulier, pour les études de protection contre les crues.

Pour dégager une idée générale sur l'importance des pluies extrêmes, on base sur des données d'observations disponibles pour cinq stations et pour une période différentes par exemple période plus longue (Station de Bordj Bou Arreridj, 1913-2012) période plus court station

(Medjez, 1974-2012). Il s'avère que la hauteur d'eau journalière maximale décroît d'une manière générale, en allant du secteur montagneux vers les plaines, à titre de comparaison, la station de Medjana a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 41.7 mm ; la station de Bordj Bou Arreridj 34,2 mm, Bordj Ghdir a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 36.7 mm ; la station Medjez : 37.3 mm, alors que K'sob a reçu 30 mm donc ces hauteurs maximales recueillies en 24 heures. Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et les apports solides des oueds surtout dans les terrains fortement dénudés qui occupent une partie importante du bassin, là où les inondations risquent de se produire.

IV.6 Caractéristiques de la disposition géomorphologique :

IV.6.1 Surface :

La surface du bassin-versant de l'oued K'sob elle est de l'ordre $A = 1491 \text{ Km}$.

IV.6.2 Longueur :

On utilise différentes caractéristiques de longueur ; Parmi ces dernières on cite :

IV.6.2.1 Périmètre :

Le périmètre du B.V de l'oued K'sob est de $P = 184.7 \text{ Km}$.

IV.6.2.2 Rectangle équivalent :

C'est la ligne droite qui relie l'exutoire et le point le plus éloigné situé à l'amont du bassin.

Pour le Bassin de l'oued de K'sob elle est : Le fatch = 54.79 Km .

IV.6.2.3 Longueur du talweg principal :

On admet qu'il faut poursuivre le talweg indiqué sur les cartes topographiques, vers l'amont jusqu'à la limite du bassin.

La longueur du talweg principal du bassin versant K'sob est de $L = 66.24 \text{ Km}$.

IV.6.2.4 Largeur du bassin-versant :

Elle se définit comme la plus grande largeur (l) perpendiculaire à la plus grande longueur

(L). Elle peut être également calculée par la relation suivante :

$$l = \frac{S}{LBV} \quad (\text{IV.1})$$

S : superficie du bassin-versant en Km^2 .

LBV : longueur du bassin-versant en Km.

Pour le B.V de l'Oued de K'sob, elle est égale : $LBV=27.21$ km.

IV.7 Indice de pentes

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin-versant et de comparer les bassins versant entre eux. La carte des pentes est l'instrument qui permet de visualiser les distinctions topographiques à l'intérieur de l'espace étudié ; elle peut être établie à partir des cartes topographiques d'échelle 1/25000.

Dans le bassin de l'oued de K'sob, on distingue les pentes seuils suivantes :

- ✓ Plus de 17 % : versants érodés, absence de sol.
- ✓ 8 – 17 % : bas de versant, quelques dépôts, sol mince cultivé.
- ✓ moins 8 % : plaine et terrasse alluviales, dépôts alluviaux et colluviaux.

La carte de la pente (Figure IV.3) montre une forte proportion de terrains dont la pente est variable de 5 à 20 %, ce qui marque le caractère peu montagneux de ce bassin.

Tribart (1962), a divisé l'écoulement suivant la pente en trois catégories :

- ✓ Écoulement faible : pente < 3 %.
- ✓ Écoulement fort : pente à limite de 10 %.
- ✓ Écoulement très fort: pente > 10 %.

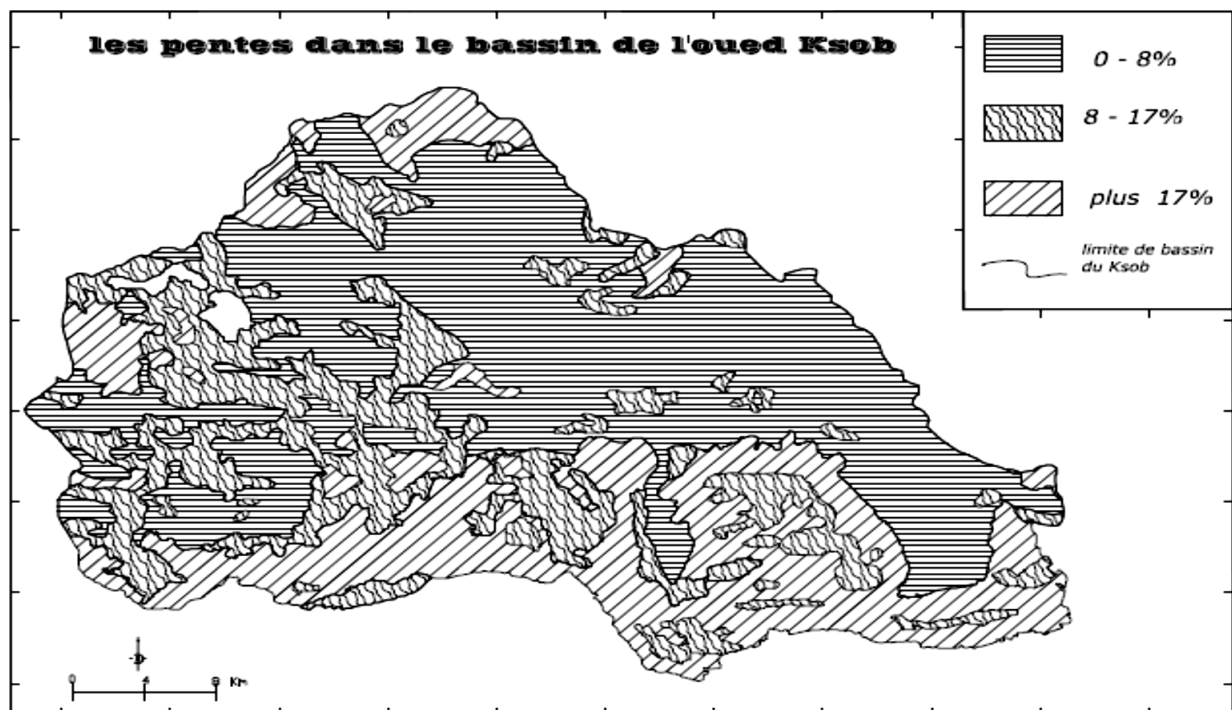


Figure IV.3 : Pentes dans le bassin-versant de l'oued de K'sob, (Blissag et charabi 2011).

IV.8 Conclusion :

Le bassin versant de l'oued K'sob est un sous bassin du Hodna, il est situé dans sa partie Nord. Le K'sob est constitué de deux ensembles physiques distincts, il s'agit des bordures montagneuses, entre les quelles s'étend une vaste plaine, appelée hautes plaines de Bordj Bou Arreridj. Il se caractérise par une structure complexe et charriée ; très écalée et très varié dans des formations secondaires ; comme les calcaires, les grés les schistes, les marnes, et les formations triasiques.

La couverture végétale est pauvre, en exception de quelques régions limitées, les zones d'irrigation au niveau de la plaine de M'sila et au niveau des monts de Messaad, Maadhid, Hourane. Les précipitations moyennes annuelles du bassin sont comprises entre 200 mm et 400 mm, et un volume de transport solide important

Chapitre V

Contribution aux

mesures

préventives contre

Chapitre V : Contribution aux mesures préventives contre l'envasement du barrage de K'sob

V.1 Introduction :

L'érosion des bassins versants est très répandue dans la région du Maghreb, puisque toutes les conditions sont réunies pour déclencher et développer un tel processus : les irrégularités climatiques, la faible densité du couvert végétale, la nature des sols qui est peu résistante à l'écoulement et la violence des crues. En effet, la région enregistre les valeurs les plus élevées de la planète. Dans le bassin versant de K'sob le taux d'érosion spécifique atteint la valeur de 4500 T/KM²/AN (ANBT, 2010). La saison hydrologique en Algérie peut être répartie en deux saisons : sèche et humide. La période sèche est caractérisée par de faibles précipitations et les oueds sont à sec, et s'étend du mois d'Avril au mois de Novembre. Quant à la saison humide qui s'étale du mois de Novembre au mois d'Avril, il y a généralement un écoulement dans les rivières, et on assiste des fois à de fortes crues. Cette occasion 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 (bassin de décantation) pour piéger les sédiments fins en amont de la retenue lors des crues. La vase sera enlevée par des moyens des travaux publics durant la saison sèche. La vase peut être utilisée dans plusieurs domaines.

On propose dans cette étude une approche de lutte contre l'envasement du barrage de K'sob, par la mise en œuvre des bassins de décantation, l'objectif de notre contribution est de protection le barrage de K'sob contre l'envasement par l'emplacement des bassins de décantation à l'amont de barrage en exploitation pour les causes suivant :

- Son coût est très raisonnable si l'on compare avec le cout de dragage.
- Son entretien est très facile par des moyens simples.
- Facile à construire et pratique.

L'implantation des bassins de décantations de différentes dimensions selon la largeur de cours d'eau et le débit qui le traverse. Les résultats obtenus montrent que la disposition des bassins de décantation dans les cours d'eau permet d'avoir un rendement de 80 %. Les sédiments fins sont déposés au fond des bassins.

V.2 Le dévasement de barrage EL K'sob par le dragage :

Le dévasement de barrage EL K'sob par le dragage est une technique sûre, mais la récupération d'une capacité de stockage par ce procédé est une opération très coûteuse et n'est pas économique pour les grandes retenues. Le problème du rejet de la vase draguée se pose acuité après chaque opération de dévasement.

Généralement, les sédiments dragués sont jetés directement dans le cours d'eau à l'aval du barrage ou transportés jusqu'à la zone de dépôt la plus proche sans tenir compte des problèmes d'ordre esthétique ou autres qui ont un impact écologique.

Le rejet à l'aval du barrage peut poser des problèmes à l'irrigation du fait de l'augmentation probable de la concentration en particules fines (forte turbidité) dans le cours d'eau pouvant être préjudiciables à la flore et à la faune.

V.3 Actions proposées pour la protection du bassin versant de K'sob :

Le captage des sédiments en amont du barrage de K'sob par des petits aménagements antiérosifs (bassins de décantation) faciles à entretenir et réalisés en priorité dans les principaux cours d'eau alimentant le barrage à étendre par la suite à l'ensemble du bassin versant.

V.3.1 L'implantation des bassins de décantations :

V.3.1.1 Définition du bassin de décantation :

Un bassin de stockage d'eau et de sédimentation est une structure aménagée dans un champ, en bordure à l'intérieur du réseau hydrique, excluant les cours d'eau. Il a pour but de retenir, en permanence ou provisoirement, l'eau de ruissellement chargée de particules de sols et de matière organique pour capter par décantation une partie de celles-ci. La vidange graduelle du bassin est réalisée par un puisard avec conduite souterraine, dimensionné selon des critères bien définis.

Quand ces bassins sont prévus pour se drainer complètement entre deux évènements pluvieux, ils sont appelés des étangs secs. Les bassins de décantations, sont des structures encore plus efficaces pour capter les nutriments et les sédiments, car le ralentissement de l'écoulement est amélioré.



Figure V.1 : Image d'un bassin de décantation.

V.3.1.2 : La réalisation des bassins de décantation dans le bassin versant :

La réalisation des bassins de décantations de différentes dimensions selon la largeur de cours d'eau et le débit qui le traverse, à l'amont du barrage de K'sob.

Cette technique qui n'a été jamais utilisée en Algérie comme mesures préventives contre l'envasement des barrages. Les bassins sont conçus pour diminuer la charge de particules en suspension dans les cours d'eau récepteurs et intercepter, si possible, une partie des nutriments. Plus le débit à gérer est élevé ou la taille des particules visées est faible, plus les dimensions du bassin devront être importantes.

V.3.1.3 Les sites d'implantation des bassins de décantation :

On a proposé d'implanter ces bassins de décantations dans les zones qui sont caractérisées par des faibles pentes et faibles vitesses de ruissellement entre 0 et 8 % comme indiquée dans la figure V.3. Cette zone représente une grande surface dans le bassin versant de K'sob.

L'avantage de choisir les sites de faible pente est pour favoriser la décantation et réduire la vitesse d'écoulement des eaux et pour diminuer la hauteur de la digue et éviter de réaliser une structure de grande dimension alors un coût raisonnable.

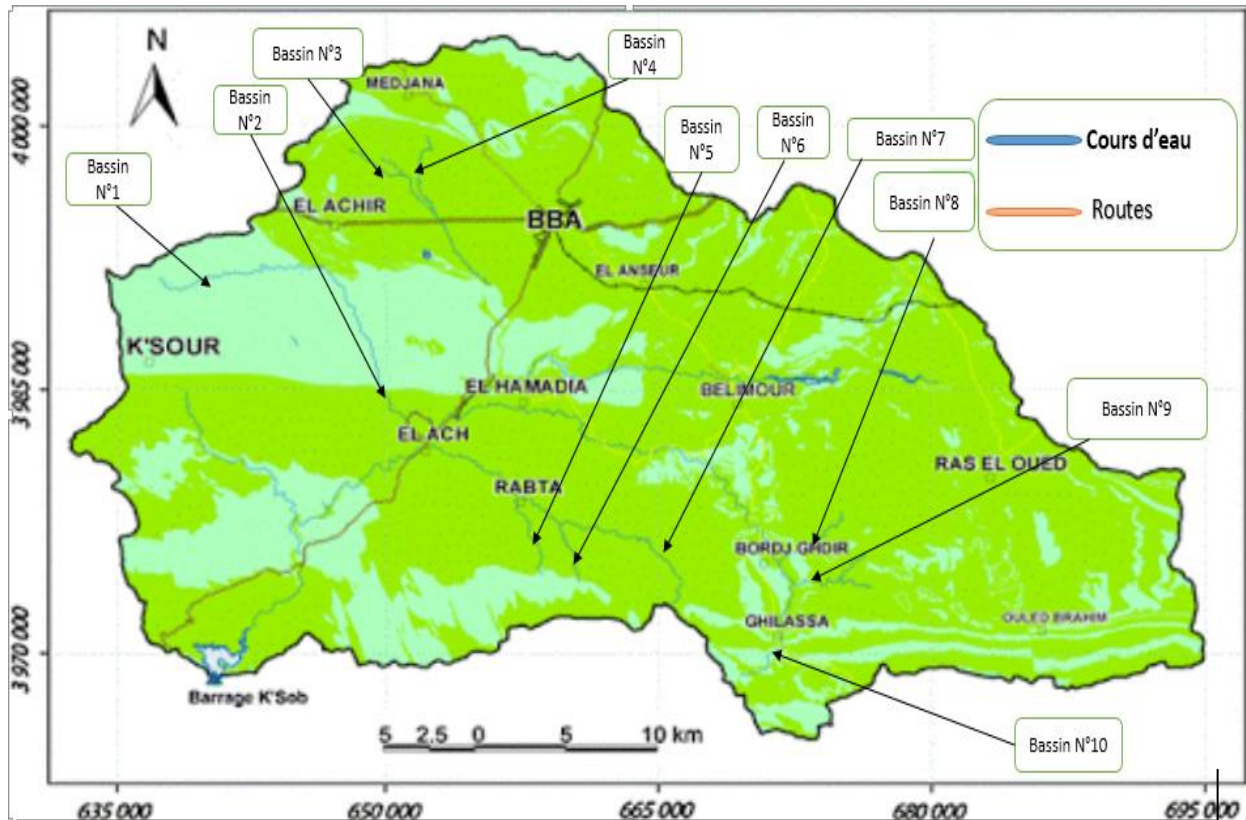


Figure V.2 : les sites d'implantation des bassins de décantation.

V.3.1.4 Dimensionnement d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation :

Pour déterminer le volume minimal d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation des équations théoriques sont utilisées. Ce volume permet de capter une partie des sédiments visée par le concepteur. Pour dimensionné le bassin il faut connaître le débit de pointe et la surface du bassin versant et le type des particules qui vont se sédimenter.

V.3.1.5 Calcul de débit de pointe par la méthode rationnel :

Le débit de pointe est le débit maximal d'un bassin versant pour une précipitation donnée. Il peut être évalué en utilisant la méthode rationnelle. Celle-ci est bien adaptée aux bassins versants de moins de 250 ha et dont la pente longitudinale moyenne est supérieure à 0,5 %.

La méthode rationnelle est basée sur l'hypothèse qu'une pluie constante et uniforme sur l'ensemble d'un bassin versant produit un débit de pointe lorsque toutes les sections du bassin versant contribuent à l'écoulement, soit après un temps égal au temps de concentration. Par simplification, la méthode rationnelle suppose aussi que la durée de la pluie est égale au temps de concentration. Le débit de pointe de récurrence 10 ans, servant de base au calcul,

Chapitre V Contribution aux mesures préventives contre l'envasement du barrage de K'sob

sera évalué en fonction des caractéristiques du bassin versant (type de sol, culture, pente, taille du bassin versant, longueur du parcours de l'eau).

$$Q = \frac{Hru * A}{360 * TC} \quad (V.1)$$

Où :

A : superficie du bassin versant (ha)

TC : temps de concentration.

Hru : hauteur de ruissellement en mm (Méthode de Wischmeier)

$$Hru = C * P \quad (V.2)$$

Où :

P : hauteur de la précipitation en mm.de 24 heures.

C : coefficient de ruissellement.

Le coefficient de ruissellement est influencé additivement par un facteur topographique, un facteur sol et un facteur couvert végétal (Méthode de Wischmeier). Afin d'assurer un dimensionnement suffisant des structures, il est préférable de choisir une valeur du coefficient C qui représente les pires conditions de ruissellement du bassin versant. :

$$C = 1 - [a + b + c] \quad (V.3)$$

Où :

C : coefficient de ruissellement

a : facteur topographique

b : facteur de sol

c : facteur de couvert végétal.

V.3.1.5.1 Calcul de temps de concentration :

La formule de Kirpich a été développée en 1940, à partir de données de six bassins versants du Tennessee de moins de 45 ha, pentus (3 % à 12 %), dont le couvert forestier variait entre 0 et 56%. La formule de Kirpich a été développée sur des sols nus et peut être utilisée sur des bassins versant de 0,4 à 80 ha.

$$tc = \frac{0,000325 L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad (V.4)$$

Où :

t_c : temps de concentration (h)

L : longueur maximale du parcours de l'eau dans le bassin versant (m)

S : pente moyenne de l'écoulement (m/m).

Tableau V.1 : présente quelques valeurs des paramètres a , b et c. (MTQ, 2004)

Type de surface	
Topographie (facteur a)	Valeur
Terrain plat, pente moyenne de 0,2 à 0,5 (m/km)	0,30
Terrain vallonné, pente moyenne de 2 à 4 (m/km)	0,20
Terrain montagneux, pente moyenne de 25 à 50 (m/km)	0,10
Sol : facteur b	valeur
Argile compacte, imperméable	0,10
Mélange d'argile et de limon	0,20
Limon sableux bien aéré	0,40
Couvert végétal : facteur c	valeur
Terrains cultivé	0,10
Boisés	0,20

V.3.1.6 : Détermination du débit d'évacuation du bassin :

Le débit d'évacuation utilisé pour la conception d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation doit correspondre aux conditions de ruissellement habituellement observées

lors des évènements de pluies les plus fréquents. Ce débit est associé uniquement aux perforations de la colonne verticale du puisard. Il faut éviter de concevoir une structure ayant un débit d'évacuation trop important, équivalent par exemple à la totalité du débit de pointe d'une pluie de courte durée et de récurrence rare (10 ans). Dans ce cas, le bassin de stockage d'eau et de sédimentation ne contrôlera le débit et ne permettra la sédimentation que lors de quelques évènements de ruissellement durant sa vie utile, tout en requérant un volume limité pour favoriser la sédimentation en contrôlant le débit de pointe des évènements pluvieux les plus fréquents.

Pour favoriser une réduction du débit de pointe et un stockage d'eau lors d'évènements de ruissellement associés à des pluies fréquentes, la structure d'évacuation à privilégier en bassin de stockage d'eau et de sédimentation est un puisard dont les perforations de la colonne verticale permettent l'évacuation théorique de 5% du débit de pointe, d'une pluie de durée égale au temps de concentration. Ce débit d'évacuation servira de base au calcul du volume minimal de stockage d'eau. Et pour déterminer le nombre de perforations requis dans la colonne verticale du puisard.

V.3.1.7 Volume de ruissellement (méthode de monfet 1979):

Le volume de ruissellement est le produit de la hauteur de ruissellement par la surface en tenant compte des unités :

$$VR = 10 Hru * A \quad (V.5)$$

VR : volume de ruissellement (m³).

A : superficie du bassin versant (ha).

V.3.1.8 Calcul de la surface minimale du bassin de stockage d'eau et de sédimentation :

Les vitesses de sédimentation V_p sont généralement calculées grâce à la loi de Stokes Eq. V.6, à partir de la masse volumique de la particule, de son diamètre et de la densité du fluide dans lequel elle se trouve. Les vitesses de sédimentation sont également données à titre indicatif dans le tableau (V.2), mais elles présentent de légères différences avec les résultats de l'équation (V.6), en raison de l'utilisation de valeurs de masse volumique réelle différentes.

V.3.1.9 Calcul de la vitesse de chute verticale des particules par l'équation de stocks :

$$V_p = \frac{(g * (\rho_p - \rho_e) * d^2)}{(18 * \eta)} \quad (V.6)$$

Où :

V_p : Vitesse de chute verticale de la particule (m/s).

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

ρ_p : Masse volumique réelle de la particule (kg/m³).

ρ_e : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m³).

d : Diamètre des particules à sédimenter (m).

h : Viscosité dynamique de l'eau (10⁻³ pa.s).

Le temps de sédimentation à l'intérieur d'une colonne d'eau d'un mètre de hauteur pour différents diamètres de particules de sol est présenté au tableau (V.2). Un temps de stockage d'eau de quelques heures permet de retenir une bonne partie des limons. Par contre, l'objectif de sédimenter des particules argileuses est peu réaliste. Pour ralentir le ruissellement, le bassin de stockage d'eau et de sédimentation doit avoir une surface minimale en eau A_s adéquate. Celle-ci est déterminée grâce à l'équation V.8, (MAPAQ, 1990).

V.3.1.10 Calcul de la surface minimale du bassin en eau :

$$AS = \frac{\theta * Q}{Vp} \quad (V.8)$$

Où

A_s : Surface minimale du bassin en eau (m²).

Q : Débit d'évacuation (m³/s) correspondant à 5 % du débit de pointe de récurrence 10 ans.

θ : Facteur d'ajustement lié aux turbulences (θ prend la valeur de 1, 1.2 ou 1.5 selon l'importance des turbulences dans le bassin de sédimentation).

V_p : Vitesse de sédimentation (m/s).

Lors de la conception d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation, une forme allongée est recommandée (ratio longueur/largeur supérieure à 2) pour favoriser un écoulement de type piston dans le bassin, (Rivard et al, 2012).

La largeur de la surface de l'eau W peut être calculée grâce à l'équation V.9, (MAPAQ.1990) pour un canal trapézoïdal, puis la longueur minimale du bassin par l'équation V.10. La profondeur d'eau P est choisie au départ par le concepteur et représente la hauteur d'eau prévue dans le bassin avant surverse, en fonction de la topographie du champ ou du fossé existant.

V.3.1.11 Calcul de la largeur de la surface de l'eau :

$$W = L + 2 * P * z \quad (V.9)$$

V.3.1.12 Calcul de la longueur minimale du bassin :

$$l = \frac{AS}{W} \quad (V.10)$$

Où

W : Largeur de la surface de l'eau (m).

L : Largeur au fond du bassin (m).

P : Profondeur d'eau dans le bassin en opération (m).

z : Pentés des talus (pour 1:1.5, $z = 1.5$).

l : Longueur minimale du bassin (m).

As : Surface minimale du bassin en eau (m^2).

V.3.1.13 Calcul de la vitesse de Hazen V_H dans le bassin de décantation (méthode de Hazen) :

$$V_H = \frac{Q}{SH} \quad (V.11)$$

V : Vitesse de Hazen (où charge hydraulique superficielle) en m/s.

Q : le débit permanent entrant dans le bassin en m^3/s .

$SH = l * L$: surface horizontale du décanteur en m^2 .

On note que $V_H < V_P$ pour assurer une meilleur décantation. Dans la formule (V.11) on constate que plus V_H est faible, plus un pourcentage élevé de particules présentés à l'entrée peut décanter.

V.3.1.14 Calcul de l'aire d'écoulement dans le cas d'un canal trapézoïdal équation (V.12)

$$Ai = (L + (p * z)) * p \quad (V.12)$$

Tableau V.2 : Vitesses de sédimentation de quelques particules de sol (MDDEP).

Type de Particule	Diamètre des particules à sédimenter (mm)	Masse volumique réelle (kg/m ³)	Vitesse de sédimentation (Vp en m/s)	Temps de sédimentation sur 1 mètre de colonne d'eau
Sable grossier	0.5	2700	0.058	17 secondes
Sable moyen	0.2	2681	0.020	50 secondes
Sable fin	0.1	2665	0.007	2 minutes
Limon grossier	0.05	2650	0.0019	9 minutes
Limon moyen	0.02	2633	0.00029	57 minutes
Limon fin	0.01	2617	0.000073	3.8 heures

V.3.1.15 Calcul du volume d'eau minimal du bassin:

$$VI = Ai * l \quad (V.13)$$

Où :

VI : Volume de stockage d'eau du bassin (m³).

Ai : Aire d'écoulement dans le bassin (m²).

l : Longueur minimale du bassin (m).

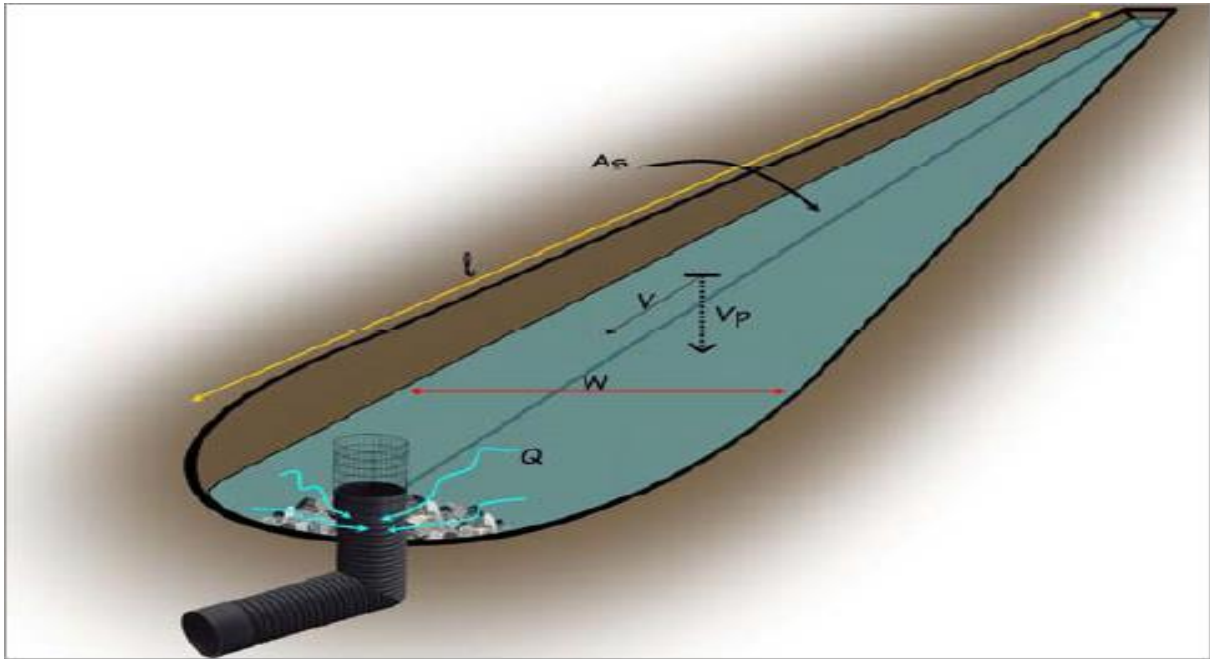


Figure V.3 : Description des paramètres de base d'un bassin de sédimentation. (Mikael Guillou, MAPAQ, 2013)

V.3.2 Dimension du déversoir d'urgence et de la conduite d'évacuation :

Certains événements de ruissellement peuvent dépasser la capacité d'évacuation de l'eau par les perforations du puisard. Il faut donc prévoir d'autres possibilités pour évacuer l'eau sans provoquer d'érosion.

Un bassin de stockage d'eau et de sédimentation doit idéalement être muni d'un déversoir d'urgence situé en aval et conçu pour évacuer le débit de pointe de récurrence 10 ans du bassin versant en cas de crue importante. Si le ruissellement est concentré à l'entrée du bassin, un autre déversoir enroché peut être requis en amont. Le fond du déversoir d'urgence doit être situé à plus de 0.20 m de la surface du champ environnant pour permettre une évacuation de l'eau en limitant les débordements.

Quand un déversoir d'urgence enroché est aménagé, la conduite d'évacuation, ainsi que la partie supérieure du puisard auront une capacité allant de 10 à 30 % du débit de pointe de récurrence 10 ans, d'une pluie de durée égale au temps de concentration. En l'absence de déversoir d'urgence, la capacité de la conduite et de la partie supérieure du puisard devra être de 100% du débit de pointe de récurrence 10 ans.

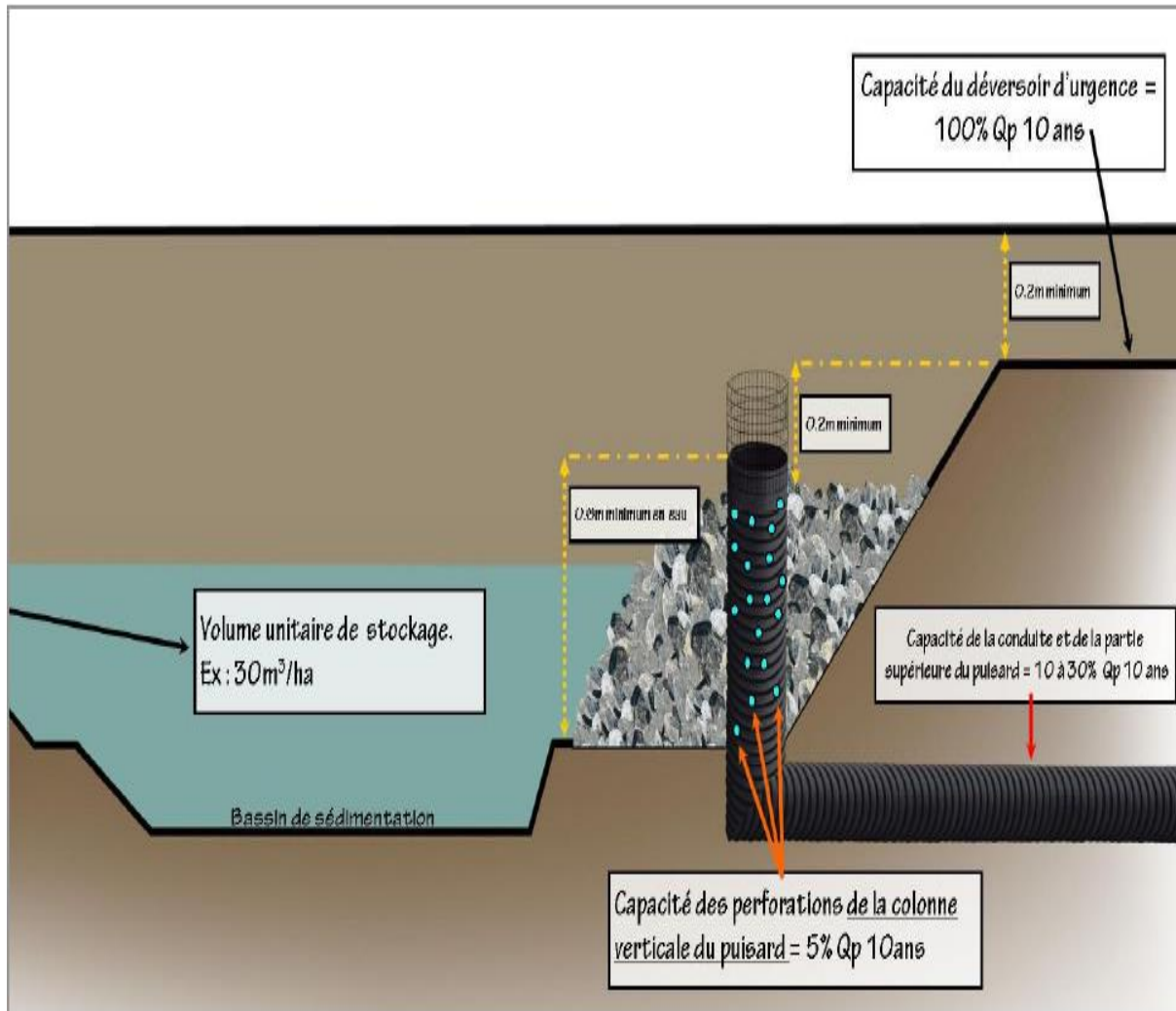


Figure V.4 : Description générale du dimensionnement d'une structure d'évacuation combinée (puisard et déversoir enroché) (Mikael Guillou, MAPAQ, 2013).

V.3.3 Entretien :

Le fond et les talus d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation doivent préférablement être semés en végétation herbacée dès la fin des travaux et maintenus sous couvert végétal durant toute sa vie utile pour stabiliser les talus et améliorer le captage des sédiments. Un bassin doit être inspecté après chaque crue pour dégager les résidus de la grille du puisard et vérifier si le niveau d'accumulation des sédiments réduit son efficacité de captage. La fréquence de curage peut varier d'un an à quelques années selon l'importance de l'érosion du sol dans le bassin versant.

V.3.4 Exemple de dimensionnement d'un bassin de stockage d'eau et de décantation :

• **Données de base :**

Bassin versant peu pentu : $A = 10$ hectares.

Particules à sédimenter : Limons moyens $\rho_p = 2633 \text{ kg/m}^3$. (Selon une analyse granulométrique réalisée par département de génie civil de l'université de Tlemcen en 2011 sur les sédiments du barrage BAKHADDA dans la wilaya de Tiaret, ont observent 77 % des sédiments sont des limons et 9 % sont des sables et 14 % sont des argiles).

$d : 2 * (10^{-5}) \text{ m}$

Largeur au fond du bassin : $L = 3 \text{ m}$

Pentes des talus 1:1.5 donc fruit $z = 1.5$

Profondeur d'eau en opération : $P = 1 \text{ m}$

Hauteur de la précipitation journalière maximale: $p_{jmax} = 42 \text{ mm}$. (Selon une étude fait par ZAROUAL.S en 2016 pour l'obtention du diplôme master en hydraulique sous thème Etude de la sensibilité du sous bassin versant de K'sob a l'érosion hydrique par une approche quantitative, elle a évaluée la pluie journalière maximale de l'ordre de 37.5mm).

Pente moyenne de l'écoulement : $S = 0.02 \text{ m/m}$

• **Calcul de débit de pointe (la méthode rationnel):**

$$Q_P = \frac{H_{ru} * A}{360 * TC}$$

$$H_{ru} = C * P \quad \text{avec } C = 1 - [a + b + c]$$

On prend $a = 0,20$ (terrain vallonné) et $b = 0.20$ (mélange d'argile et de limon) et $c = 0.10$ (terrain cultivé).

$$H_{ru} = (1 - [0.20 + 0.20 + 0.10]) * 42 = 21 \text{ mm}$$

$$TC = \frac{0,000325 L^{0,77}}{S^{0,385}} = \frac{0,000325 * 5000^{0,77}}{0,02^{0,385}} = 0.81 \text{ h}$$

$$Q_P = \frac{21 * 10}{360 * 0.81} = 0.713 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Calcul de la vitesse de chute V_p :**

$$V_p = \frac{(9.81 * (2633 - 1000) * (2.10^{-5})^2)}{(18 * 10^{-3})} = 0.000222 \text{ m/s}$$

- **Calcul de débit d'évacuation :**

$$Q = 0.05 Q_P = 0.05 * 0.713 = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Surface minimale du bassin A_s :**

$$A_s = \frac{\theta * Q}{V_p} = (1.2 * 0.035) / 0.000222 = 190 \text{ m}^2$$

- **Largeur de la surface de l'eau W :**

$$W = 3 + 2 * 1 * 1.5 = 6 \text{ m}$$

- **Longueur minimale du bassin l :**

$$l = 190 / 6 = 31,6 \text{ m}$$

- **Calcul de la vitesse horizontale dans le bassin (vitesse de Hazen) :**

$$V_H = \frac{Q}{SH} = \frac{0.035}{(31.6 * 6)} = 0.00018 \text{ m/s}$$

$V_H < V_p$ c'est-à-dire une meilleur décantation des particules (limons et sables).

- **Calcul de l'aire d'écoulement pour une profondeur d'eau A_i :**

$$p = 1 \text{ m}$$

$$A_i = [3 + (1 * 1.5)] * 1 = 4.5 \text{ m}^2$$

- **Calcul du volume minimal d'eau dans le bassin VI :**

$$VI = 4.5 * 31.6 = 142.2 \text{ m}^3 \text{ ou } (14.2 \text{ m}^3/\text{ha de bassin versant}).$$

Les dimensions de bassin de sédimentation sont :

La largeur de fond : $L = 3 \text{ m}$

Chapitre V Contribution aux mesures préventives contre l'envasement du barrage de K'sob

La largeur de la surface de l'eau : $W = 7,5\text{m}$

La longueur minimale du bassin : $l = 25\text{m}$

V.4 Devis quantitatif et estimatif d'un bassin de décantions :

Le bassin de décantation est d'une longueur de 150m et d'une largeur de 6 m, son profondeur est 1,5 m, son volume est de l'ordre de 1350 m^3 .

Tableau V.3 : Devis quantitatif et estimatif d'un bassin de décantions

N°	Désignations des travaux	U	Quantité	PU	Montant
1	Terrassements généraux en grande masse effectués à l'engin y compris réglage de la forme de barrage	M^3	35.000	350.00	12 250.00
2	Evacuation Transport des terres à la D.P jusqu'à 5km des terres y compris le foisonnement 0.25	M^3	35.000	250.00	8 750.00
3	Réalisation d'un massif (digue) en TVO pour bloquer les eaux	M^3	15.000	2 500.00	37 500.00
4	F/P film polyamide	M^2	15.00	150.00	2 250.00
5	F/P d'une couche en grosse pierres pour protéger la digue	M^2	12.00	700.00	8 400.00
6	F/P Buse d'évacuation Ø300 en PVC PN6	MI	3.00	1 500.00	4 500.00
Total général en HT					73 650.00
TVA 19 %					13 993.50
Total général en TTC					87 643.50

Un petit bassin de décantation d'un volume de 1350 m^3 coût d'un montant de 87700 de DA en TTC. Donc le coût favoriser plus pour réaliser plusieurs bassins de décantation par rapport au coût général d'un projet de protection d'un barrage.

V.5 Intérêt économique :

Si on prend le taux de perte de sol 45 T/ha/an (source ANBT) et la densité des sédiments 2.65 (limon moyens).

$$V \text{ sédiment} = T * A * t / d \quad (\text{V.14})$$

V sédiment : volume des sédiments capturés par le bassin de décantation après une année d'opération (m^3).

T : perte de sol (T/ha/an).

A : surface du bassin versant.

Chapitre V Contribution aux mesures préventives contre l'envasement du barrage de K'sob

t : taux des sédiments qui peut être capturés par le bassin de décantation (dans notre cas sont des limons et sables, on prend 86%).

d : la densité des sédiments.

- **Le volume des sédiments en 10 ha :**

$$V_{\text{sédiment}} = (45 * 10 * 0.86) / 2.65 = 146 \text{ m}^3.$$

Si on implante un bassin de décantation au niveau de bassin versant, on peut capter un volume des sédiments de 146 m^3 /an.

Si l'on compare avec l'opération de dragage au barrage de K'sob :

Le coût de dragage de 1 m^3 est entre 150 et 200 DA et le barrage contient des millions de m^3 de la vase donc le coût sera très considérable

Le prix unitaire de dragage est $200 \text{ DA} / \text{m}^3$.

- **Le Coût de dragage :**

$$\text{Coût de dragage} = \text{volume} * p.u = 146 * 200 = 29200 \text{ DA}$$

On gagne 29200 DA chaque année.

On peut récupérer le coût de réalisation du bassin de décantation dans 3 ans c'est qui rentable par rapport à l'opération de dragage.

La vase sera enlevée par des motopompes s'elle est en état liquide ou par des engins de travaux publics s'elle est consolidée durant la saison sèche.

La vase peut être utilisée dans plusieurs domaines agriculture, fabrication de brique...etc

V.6 Conclusion :

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, notre étude s'est basée sur la conception des bassins de décantation placés dans le cours d'eau qui alimente le barrage. Les bassins de décantation peuvent être réalisés en différents volumes selon la largeur du cours d'eau.

Cette technique peut être utilisée pour piéger les sédiments fins en amont de la retenue lors des crues et même pour la recharge artificielle des nappes et même pour l'irrigation et peuvent être utilisés comme prise d'eau en cas d'un incendie.

La vase sera enlevée par des motopompes ou par les engins des travaux publics et même par les paysans pour les utiliser comme des engrais durant la saison sèche. La vase elle peut être utilisée en plusieurs domaines.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Comme nous l'avons cité dans ce travail, le phénomène de l'envasement des barrages est beaucoup plus important dans les régions arides et semis arides.

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

Aujourd'hui, le réseau hydrographique du nord Algérien est saturé. Il y a peu de sites favorables pour la réalisation de nouveau barrages. La priorité sera donnée à l'entretien et protection des barrages contre le phénomène de l'envasement.

Pour cette raison on a proposé l'emplacement des bassins de décantation à l'amont de barrage en exploitation comme un système de lutte contre l'envasement pour les causes suivantes :

- Son coût est très raisonnable si l'on compare avec le cout de dragage.
- Son entretien est très facile par des moyens simples.
- Facile à construire et pratique.
- On peut l'utiliser pour la recharge artificielle des nappes souterraines.
- Système de protection contre les inondations.
- Un moyen de préservation du système écologique.
- Une protection pour les annexes des barrages contre la poussé de la vase.
- protection des eaux de barrages contre le phénomène d'eutrophisation.

La rareté de l'eau qui croit d'année en année accentuée par la croissance démographique fait que cette précieuse denrée devient l'un des enjeux cruciaux du 21^{ème} siècle, par conséquent la bien préservée devient une préoccupation pour l'humanité.

Référence bibliographique :

- 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) Demmak A (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale (Doctoral dissertation).
- 3) REMINI B (2016). Envasement des barrages dans les régions arides exemple algériens
- 4) REMINI B, AVENARD J-M., KETTAB A (1997). La technique du soutirage: un moyen de lutte contre l'envasement, Revue Techniques Sciences et Méthodes (Paris) n° 3, Mars, pp 69-76.
- 5) REMINI B, hallouche W, (2007) Evolution de l'envasement du barrage d'Oued El Fodda. Revue Eau énergie air, n°1, Avril, pp 75-78.
- 6) REMINI B, Benfatta H, (2015). Le barrage reservoir de Gargar est- il menace par l'envasement, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre 2015, pp. 175-192
- 7) BADRAOUI A, HAJJI A (2001). Envasement des retenues de barrages. Revue la Houille Blanche n° 6/7, 72-75.
- 8) BOUZID A (1991). L'expérience de la Tunisie dans la protection des sols et des barrages. Séminaire national sur l'érosion et l'envasement des barrages, Alger.
- 9) ANBT (2010) Rapport régional sur la gestion des sédiments dans les barrages en méditerranée
- 10) ANBT (2016) le dévasement (document barrage k'sob).
- 11) ZEROUAL S (2016). Etude de la sensibilité du sous bassin versant de K'sob à l'érosion hydrique par une approche quantitative, (mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en hydraulique, Université de M'sila).

- 12) Remini B, (2012) l'envasement des barrages quelques exemples algériens.
- 13) ANBT (2008) monographie 01 et monographie 02 (document barrage K'sob).
- 14) Mikael Guillou, MAPAQ, (2013) Bassin de stockage d'eau et de sédimentation, Concept et dimensionnement.
- 15) BENAHMED H (2015), université de Tlemcen sous thème Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de kramis dans le domaine de génie civil (thèse de magistère)

ملخص

تطرقنا في هذا العمل إلى دراسة ظاهرة توحل السدود في المناطق الجافة، والتي تزداد تعقيدا وتضع مسيري السدود في عدة مشاكل.

التوحل هو نتيجة تراكم الأتربة في الأحواض الساكنة جراء الانجرافات وتآكل أطراف المجاري المائية في فترات الفيضانات، حيث تتوحل السدود بفعل الكثافة العالية للطين.

أطنان من الأتربة تجرف سنويا وتجرح نحو السدود، نقل هذه الأجسام الصلبة هو جزء مهم جدا في عملية توحل السدود، والتي قمنا بالتطرق إليها في هذا العمل.

في الفصلين الأخيرين طرحنا حالة سد القصب وطرحنا حلول للحد أو التقليل من توحل هذا السد الكلمات المفتاحية: السدود، التوحل، الحوض الساكن، حوض الترسيب

Résumé

Le présent travail étudié le phénomène de l'envasement des barrages dans les régions arides. Sa complexité pose d'énormes problèmes aux gestionnaires des barrages. L'envasement est le résultat de dépôts de la boue de l'érosion des sols dans les bassins versants et le sapement des berges des cours d'eau. C'est en périodes de crues que les barrages s'ensavent par les courants de densité. Ce sont les premières crues d'automne qui drainent la quantité la plus importante de la boue. Nous avons abordé le processus de l'envasement des barrages.

Des tonnes de terres sont érodées annuellement et transportés directement vers les barrages. Le transport solide ; un volet très important dans le processus de l'envasement a été examiné dans ce travail. La dernière chapitre a été consacrée aux moyens de lutte contre l'envasement de barrage de K'sob.

Mots clés : Barrage - Envasement – dragage - bassin de décantation.

Abstract:

This study examines the phenomenon of silting of dams in arid regions. Its complexity poses enormous problems to managers of dams. Siltation is the result of deposits of mud of soil erosion in watersheds and the sapient of

riverbanks. It is in times of flood dams are silting by density currents. It is the first floods of autumn that bring the greatest quantity of mud. We approached the process of siltation of dams. Tons of land is eroded annually and transported directly to the dams. Sediment transport; a very important part in the process of silting was reviewed in this paper. The last chapter was devoted to the ways to fight against the silting of dams K'sob.

Keywords: Dam - Siltation - dredged- decant pelvis.