

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE L'EAU ET ENVIRONNEMENT



MEMOIRE DE MASTER

Spécialité : Ressources hydrauliques

Par :

ABBAS Brahim

Intitulé

**Impact du barrage Koudiat Rosfa sur l'envasement du barrage
Oued Fodda.**

Devant le jury, composé de :

Mme. BENKACI Souhila	MCB	Examinatrice
Mr. HADDAD Ali	MCB	Président
Mr. REMINI Boualem	PROFESSEUR	Promoteur

Blida, Juillet 2021

Résumée :

D'une capacité initiale de 228 Mm³, le barrage d'Oued Fodda joue un rôle très important dans l'irrigation dans le bassin versant de Chéelif. Ce réservoir est conforté aujourd'hui au problème de l'envasement. Sur la base des levées bathymétriques réalisées par l'Agence National des Barrages et Transfères au niveau de cuvette du barrage, nous avons étudié l'évolution des dépôts sédimentaires au fond du barrage.

Contrairement à la durée 1986-2004, 29.95 Mm³ déposé au fond du barrage Oued Fodda où le taux d'envasement avoisiner la valeur 1.66 Mm³/an et la vitesse de comblement est de 0.7 %/an, durant la période 2004-2019 le taux d'envasement à diminuer pour atteindre la valeur de 0.4 Mm³/an où le taux de comblement est de 0.1 %/an.

Envasement de barrage Oued Fodda en 2019 a plus de 57.5 % de sa capacité initiale, la durée de vie de barrage atteindra 124 ans d'exploitation. Ce résultat est dû à la réalisation du barrage de Koudiat Rosfa situé a 25Km a l'amont de barrage Oued Fodda qui a retenu 9 Mm³ de vase pendant la période 2004-2014.

Mot clé : bassin versant, envasement, taux d'envasement, taux de comblement, durée de vie

Abstract:

With an initial capacity of 228 Mm³, the Oued Fodda dam plays a very important role in irrigation in the Chéelif watershed. This reservoir is now supported by the problem of siltation. Based on the bathymetric surveys carried out by the National Agency for Dams and Transfers at the basin level of the dam, we studied the evolution of sedimentary deposits at the bottom of the dam.

Unlike the 1986-2004 period, 29.95 Mm³ deposited at the bottom of the Oued Fodda dam where the siltation rate is around 1.66 Mm³/year and the filling speed is 0.7%/ year, during the period 2004-2019 the rate siltation to decrease to reach the value of 0.4Mm³/year where the filling rate is 0.1%/year.

Siltation of the Oued Fodda dam in 2019 has more than 57.5% of its initial capacity, the life time of the dam will reach 124 years of operation. This result is due to the construction of the Koudiet Rosfa dam located 25 km upstream of the Oued Fodda dam which retained 9 Mm³ of silt during the period 2004-2014.

Key words: watershed, Siltation, siltation rate, filling rate, life time

ملخص:

بسعة أولية تبلغ 228 مليون متر مكعب ، يلعب سد واد الفضة دورًا مهمًا للغاية في الري في مستجمعات المياه في الشلف. هذا الخزان يواجه الآن بمشكلة الطمي. بناءً على مسوحات الأعماق التي أجرتها الوكالة الوطنية للسدود والتحويلات على مستوى حوض السد ، قمنا بدراسة تطور الرواسب في قاع السد.

في الفترة 1986-2004 ، تم إيداع 29.95 مليون متر مكعب في قاع سد واد الفضة حيث اقترب معدل الطمي من القيمة 1.66 مليون متر مكعب / سنة وسرعة الملء 0.7٪ / سنة ، خلال الفترة 2004-2019 انخفض معدل الطمي ليصل إلى قيمة 0.4 مليون متر مكعب / سنة حيث معدل التآكل 0.1٪ / سنة.

بلغت نسبة طمي سد واد الفضة في عام 2019 قيمة 57.5٪ من سعته الأولية ، حيث قدر عمر السد بـ 124 عامًا من الاستعمال. ترجع هذه النتيجة إلى بناء سد كودية الرصفة الذي يقع على بعد 25 كيلومترًا أعلى منبع سد واد فودة والذي احتفظ بـ 9 مليون متر مكعب من الطمي خلال الفترة 2004-2014.

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه ، الطمي ، معدل الترسيب ، معدل التآكل ، العمر الافتراضي.

Dédicace

*Aujourd'hui notamment suite à la clôture de mon parcours
universitaire je rends grâce à ALLAH
de m'avoir donné le courage, la sante et la patience
pour faire mon devoir*

Je ne sais pas si le mot remerciement est adéquat envers

Ma mère

Mes frères et mes sœurs et ses petits

Merci

de m'avoir soutenu

Remerciements

*Je remercie en premier lieu DIEU en suite ma chère maman
mes frères mes sœurs et tous mes collègues*

*J'adresse aussi ma sincère sentiment a gratitude à mon
promoteur Mr : REMINI Boualem qui a fait plus que leur
devoir pour hausser mon niveau intellectuel*

*Je remercie également le chef du département Mme :
BENKACI Souhila et Mr : BOUZERIA Housseyn pour leurs
aides et leurs conseils*

*Je tiens à remercier toutes personne ayant contribué de près
ou de loin à la concrétisation de ce mémoire*

*J'espère que ce mémoire servir d'exemple et de support pour
les années à venir*

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1.....	2
APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ENVASEMENT DES BARRAGES.....	2
1.1. INTRODUCTION.....	3
1.2. PROCESSUS DE L'ENVASEMENT DES BARRAGES.....	3
1.2.1. Erosion du sol dans les bassins versants	4
1.2.2. Les apports solides dans la retenue	5
1.3. PROBLEMES POSES PAR L'ENVASEMENT	6
1.3.1. Réduction de la capacité.....	7
1.3.2. Obturation des organes de vidange	7
1.3.3. Sécurité de l'ouvrage.....	7
1.3.4. Envasement des canaux d'irrigation.....	7
1.3.5. Dégradation de la qualité de l'eau	7
1.4. LES MODELES D'ESTIMATION DE L'ENVASEMENT.....	7
1.4.1. Bathymétrie par nivellement	8
1.4.2. Bathymétrie par sondeurs « Echosondeur bathymétrique »	8
1.5. LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT	8
1.5.1. Aménagement des bassins versants.....	9
1.5.2. Dévasement des barrages	9
1.5.3. Surélévation du barrage	11
1.5.4. Réalisation de barrage de décantation	12
1.6. L'ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LES PAYS DE GRAND MAGHREB	12
1.6.1. Le Maroc.....	12
1.6.2. L'Algérie.....	12
1.6.3. La Tunisie	13
1.7. L'ENVASEMENT DES BARRAGES DANS LE MONDE.....	13
1.8. CONCLUSION	14
CHAPITRE 2.....	15
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	15
2.1. INTRODUCTION.....	16
2.2. ZONE D'ETUDE	16
2.3. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT OUED FODDA	16
2.3.1. Climatologiques.....	17
2.3.2. Pluviométrie.....	17
2.4. LES BARRAGES DANS CE PERIMETRE	17
2.4.1. Barrage d'Oued Fodda.....	18
2.4.2. Koudiat Rosfa	25
2.5. CONCLUSION	28
CHAPITRE 3.....	29
RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
3.1. INTRODUCTION.....	30
3.2. LE TAUX DE COMBLEMENT DES BARRAGES DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU CHELLIF ZAHREZ.....	30
3.3. CLASSEMENT DU BARRAGE OUED FODDA VIS-A-VIS DE L'ENVASEMENT	31
3.4. MECANISME DES COURANTS DE TURBIDITE	32
3.5. LES CONSEQUENCES DES COURANTS DE DENSITE SUR LE BARRAGE D'OUED FODDA.....	33
3.6. EVOLUTION DE L'ENVASEMENT DANS LE RESERVOIR DU BARRAGE D'OUED FODDA.....	34
3.6.1. Délimitation de la retenue en trois parties	34
3.6.2. Evolution de l'envasement dans le temps.....	37
3.6.3. Evolution de l'envasement suivant la hauteur	41

3.7.	MOYENNE DE LUTTE CONTRE L'ENVAISEMENT DU BARRAGE OUED FODDA.....	42
3.7.1.	<i>Soutirage des courants de densité.....</i>	43
2.7.2.	<i>Réalisation du barrage en amont.....</i>	44
3.8.	LA DUREE DE VIE DE BARRAGE OUED FODDA	45
2.9.	CONCLUSION	46
	CONCLUSION GENERALE.....	47
	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	48

Liste des figures

Figure 1. 1 : Schéma de la propagation d'un courant de densité au fond d'un barrage	3
Figure 1. 2 : Mécanisme d'envasement d'un barrage Réservoir.....	4
Figure 1. 3 : Processus de l'érosion hydrique.....	5
Figure 1. 4 : Différents modes de transport.....	6
Figure 1. 5 : Différents modes de transport.....	7
Figure 1. 6 : Schématiquement de la bathymétrie par nivellement	8
Figure 1. 7 : Estimation de l'envasement par échosondeur.....	8
Figure 1. 8 : Une série de seuils réalisée sur une ravine du bassin versant de Beni Chougarne.....	9
Figure 1. 9 : Banquettes réalisées au niveau du bassin versant d'oued Mina	9
Figure 1. 10 : Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage	10
Figure 1. 11 : Dévasement du barrage Oued Fodda par la vannette de soutirage	10
Figure 1. 12 : Schéma synoptique d'une opération de dragage dans un barrage	11
Figure 1. 13 : Rejet de la vase lors de l'opération de dragage de 2005-2006.....	11
Figure 1. 14 : Schéma synoptique d'une surélévation d'un barrage.....	12
Figure 1. 15 : Capacité de stockage en pays de grand Maghreb.....	13
Figure 1. 16 : Envasement dans les pays de Maghreb	13
Figure 2. 1 : Envasement dans les pays de Maghreb.	16
Figure 2. 2 : Photo satellitaire du sous bassin versant d'Oued Fodda.	16
Figure 2. 3 : Les barrages dans le sous bassin versant d'Oued Fodda.....	18
Figure 2. 4 : Retenue du barrage Oued Fodda	19
Figure 2. 5 : Barrage d'Oued Fodda.....	19
Figure 2. 6 : Barrage en l'aval de barrage Oued Fodda	20
Figure 2. 7 : L'évacuateur de crues latéral	20
Figure 2. 8 : l'amont de l'évacuateur Complémentaire	21
Figure 2. 9 : l'aval de l'évacuateur complémentaire.....	21
Figure 2. 10 : les 5 pertuis de dévasement.....	22
Figure 2. 11 : évolution de la capacité de barrage Oued Fodda.....	25
Figure 2. 12 : le barrage de koudiat Rosfa.....	26
Figure 2. 13 : Evacuateur des crues.....	26
Figure 2. 14 : Evacuateur des crues.....	26
Figure 2. 15 : La vanne de fond	27
Figure 2. 16 : La prise d'eau.....	27
Figure 3. 1 : Taux de comblement des barrages en 2014 suivant.....	30
Figure 3. 2 : Schéma de la propagation des courants de densité.....	33
Figure 3. 3 : Propagation des courants de turbidité dans la retenue du barrage d'Oued Fodda	34
Figure 3. 4 : Les zones de dépôts dans le lac du barrage d'Oued.....	34
Figure 3. 5 : Délimitation de la retenue en trois parties	35
Figure 3. 6 : évolution de la vase suivant la profondeur du barrage	35
Figure 3. 7 : Evolution des dépôts vaseux dans la partie centrale du barrage d'Oued Fodda.....	36
Figure 3. 8 : Evolution des dépôts vaseux dans la partie haute du barrage d'Oued Fodda.....	37
Figure 3. 9 : évolution de l'envasement 1932-2019.....	37

Figure 3. 10 : variation temporelle du taux d'envasement	38
Figure 3. 11 : difficultés de soutirage par la vanne de fond avant 1948	38
Figure 3. 12 : blocage de vanne de fond en 1948	38
Figure 3. 13 : réalisation des vannettes de dévasement en 1961	39
Figure 3. 14 : la vanne d'essai.....	40
Figure 3. 15 : les 5 vannette de dévasement	40
Figure 3. 16 : blocage des 5 vannettes	41
Figure 3. 17 : diagramme des capacités du barrage d'Oued Fodda 1986	41
Figure 3. 18 : Diagramme des capacités du barrage d'Oued Fodda 2004	42
Figure 3. 19 : Diagramme des capacités du barrage d'oued fodda 2019.....	42
Figure 3. 20 : Batterie de 5 vannettes de dévasement du barrage d'Oued Fodda	43
Figure 3. 21 : soutirage des courants de densité par les vannettes.....	43
Figure 3. 22 : Schéma synoptique du soutirage du courant de densité lors de la crue	44
Figure 3. 23 : situation de barrage Koudiat Rosfa à l'amont du barrage Oued Fodda.....	45

Liste des tableaux

Tableau 2. 1 : comparaison du volume de barrage Koudiat Rosfa.....	28
Tableau 2. 2 : caractéristique du barrage Koudiat Rosfa	28
Tableau 3. 1 : Classe des barrages vis-à-vis de l'envasement	31
Tableau 3. 2 :Comblement d'un barrage.....	31
Tableau 3. 3 : Classe des barrages étudiés.....	31
Tableau 3. 4 : Classe de barrage Koudiat Rosfa.....	45

Introduction générale

L'envasement des barrages dans les régions arides et semis arides est un phénomène naturel dans les conséquences sont néfaste pour l'infrastructure hydrotechniques, de quantité du terre et de boue drainés par les crues en provenance de l'érosion des Bassin Versant se dépassent au fond des barrages ; au cours des années ces sédiment ce tasse et se consolide et pose ainsi d'énorme problèmes pour les gestionnaire des barrages .a assavoir le blocages des pertuis de vidange et la réduction de la capacité du barrage

En Algérie le phénomène de l'érosion enregistre de valeur spectaculaire dépassant la valeur du 5000 T/KM²/an dans certain Bassin Versant du nord ce qui provoque un taux d'envasement de 60Mm³/an [1]. Actuellement ont estimé le volume de la vase déposé dans les 78 barrages en exploitation a plus de 2milliard de m³

Plus de 20 barrages sont dans un état critique vis-à-vis de l'envasement. Le barrage d'Oued Fodda que fera l'objet de notre étude n'a pas échappé à ce phénomène naturel.

Le barrage d'Oued Fodda destiné à l'irrigation d'une partie de moyen Chéelif, le barrage d'une capacité initiale de 228Mm³ a été mis en service en 1932 aujourd'hui ce barrage trouve des difficultés pour satisfaire la demande en irrigation faute d'un envasement très avance. Réaliser à l'emboucheur d'un Bassin Versant d'une superficie de 800Km² réputé par l'ampleur de son érosion puis que le taux érosion est estimé de 3828 t/km²/an.

Dans ce modeste travail nous comptons étudier l'évolution des dépôts sédimentaires dans le temps et en fonction de la hauteur du barrage d'Oued Fodda.

Le barrage Koudiat Rosfa réalise à l'amont d'Oued Fodda fera l'objet de notre étude. Bâti comme une solution à l'envasement de barrage Oued Fodda.

Pour atteindre cette objectif notre mémoire est structure comme suite :

- Une aperçue bibliographique sur l'envasement des barrages
- Présentation de la zone d'étude
- Les résultat et discussion

Chapitre 1

APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ENVASEMENT DES BARRAGES

1.1.Introduction

Suite à la forte érosion hydrique dans les bassins versants, des quantités considérables des sédiments sont drainées directement dans les retenues de barrages. Le phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages de la planète. Correspondant la vitesse de l'envasement diffère d'une a une autre. L'Afrique du nord enregistre des taux d'envasement les plus élevés du monde. L'Algérie n'a pas a échappé à ce problème épineux. Nous traitons dans ce chapitre un aperçu bibliographique sur l'envasement des barrages.

1.2.Processus de l'envasement des barrages

Les sédiments pénétrant dans une retenue provenant du bassin versant sont transportés par le réseau hydrographique jusqu'à la retenue, ces sédiments étant dans une retenue s'y déposent ou franchissent le barrage (Fig 1.1). La partie disposée peut avoir un caractère permanent. Ces dépôts peuvent progresser rapidement lors des crues importantes entrant dans le réservoir du barrage à niveau minimum d'exploitation, comme ils peuvent être chassés à travers les vidanges de fond. [2].

La portion des sédiments qui franchissent le barrage est généralement constitués des particules fines en suspension ou déplacées par des courants de densité au début de la mise en eau de la retenue

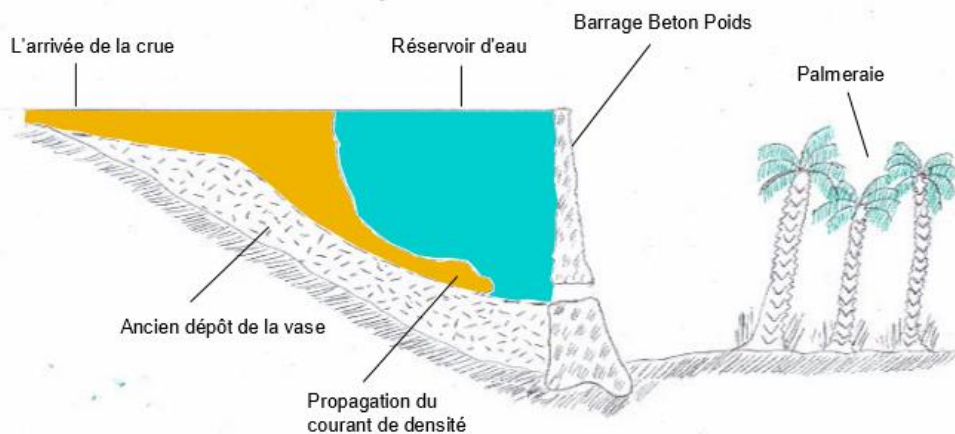


Figure 1. 1 : Schéma de la propagation d'un courant de densité au fond d'un barrage [3].

L'organigramme de la (fig 1.2) donne les étapes du processus de l'envasement des retenues :

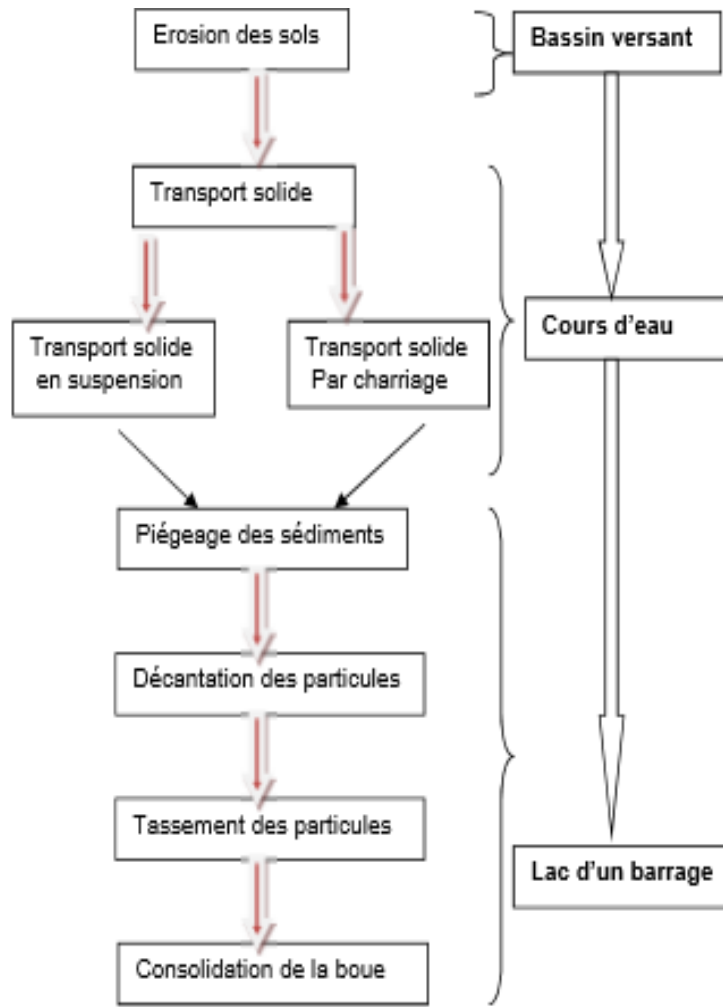


Figure 1. 2 : Mécanisme d'envasement d'un barrage Réservoir [4].

1.2.1. Erosion du sol dans les bassins versants

L'érosion du sol à l'échelle mondiale, est un processus majeur de dégradation des sols [5]. Elle est définie comme le détachement et la translocation des particules de sol par l'eau (érosion hydrique) ou le vent. C'est un phénomène qui est communément reconnue par des incisions ou des sédimentations qui se forment à la surface de la terre [6].

L'érosion hydrique constitue l'un des principaux facteurs de la dégradation des terres [7].la combinaison entre la Pluie et le ruissellement conséquent l'érosion hydrique qui correspond au la résistance du milieu et de la topographie (Fig 1.3)

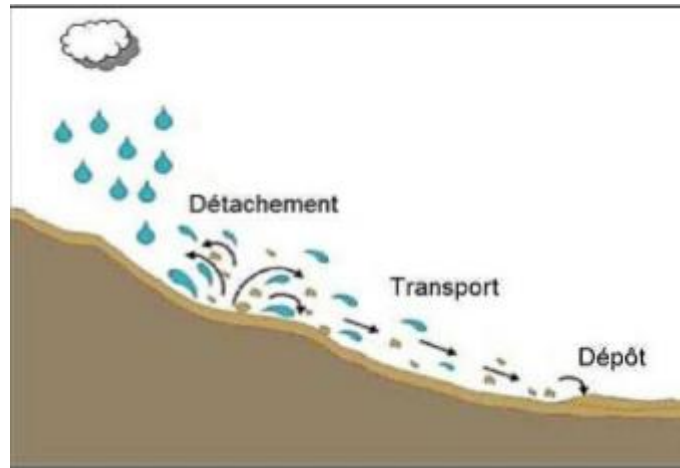


Figure 1. 3 : Processus de l'érosion hydrique [8].

1.2.2. Les apports solides dans la retenue

Le transport solide représente l'entraînement de granulat sous l'action d'un écoulement fluide ; il existe dans différents phénomènes physiques ; naturels ou industriels, et constitue un écoulement à surface libre ou en charge. Le transport solide dans les cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion, il relève essentiellement du ruissellement et met en jeu diverses formes d'écoulement de l'eau dans la nature [2].

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 du 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,).

On distingue trois types de transport solide (Fig 1.4)

- a. Transport par charriage,
- b. Transport en suspension,
- c. Transport par saltation.

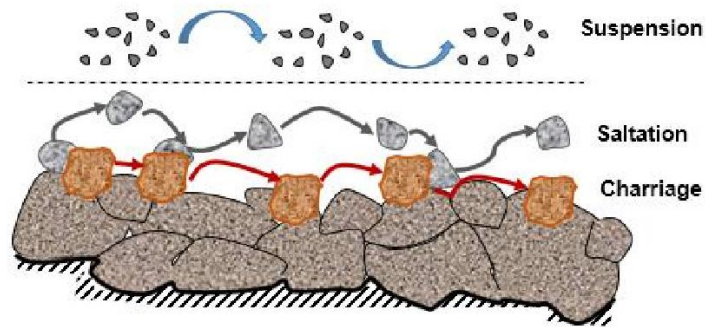


Figure 1. 4 : Différents modes de transport [9].

a. Transport par charriage

Le charriage correspond aux éléments grossiers du lit (blocs, galets, graviers, sables grossiers) qui sont mis en mouvement par glissement ou roulement sur le fond, principalement lors des crues importantes du fleuve. Les interactions avec le lit sont alors prépondérantes et ce type de transport est directement lié à la morphologie du lit. Le transit par charriage est très lent, de l'ordre de plusieurs décennies pour faire progresser les matériaux grossiers sur une centaine de kilomètres [10]. Généralement, on se contente d'études sur modèles réduits pour déterminer la proportion du charriage par rapport à la suspension ou au transport total [11]

b. Transport en suspension

Le transport solide par suspension correspond au déplacement des matériaux fins du lit (sables fins) et les matériaux très fins issus du lessivage des versants (limons et argiles) au sein de l'écoulement. Ces particules sont entraînées par le courant sans jamais se déposer sur le fond [12]. Ce sont eux qui expliquent la couleur de l'eau lors des débits élevés. Ils n'ont pas d'influence majeure sur le comportement de l'écoulement et la morphologie du lit mineur. Par contre, ils peuvent jouer un rôle prépondérant pour le développement des terrasses élevées ou l'envasement des retenues. [10] [13].

c. Transport par saltation

Ce type de transport correspond à un déplacement par bonds successifs, en alternant le charriage et la suspension [14], [15]. Ce phénomène ne possède pas de théorie particulière. Il est considéré avec le charriage [16].

1.3. Problèmes posés par l'envasement

Parmi les problèmes que pose l'envasement des retenues de barrages (fig 1.5), on peut retenir quatre inconvénients majeurs qui sont [17] :

Réduction de la capacité de la retenue

Obturation des organes de vidange

Sécurité de l'ouvrage

Envasement des canaux d'irrigation

La dégradation de la qualité de l'eau.

L'obturation des pompes.

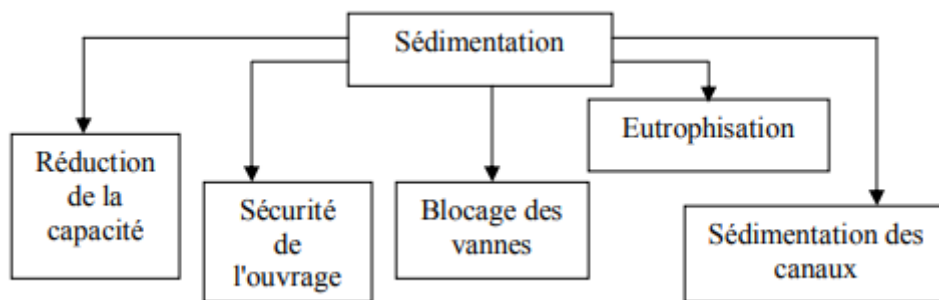


Figure 1. 5 : Différents modes de transport

1.3.1. Réduction de la capacité

Cette réduction de la capacité de stockage de l'eau est sans aucun doute la conséquence la plus dramatique de l'envasement, chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue. [17].

1.3.2. Obturation des organes de vidange

Un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond, et de ce fait toute opération de vidange de la retenue est impossible. [17].

1.3.3. Sécurité de l'ouvrage

La sédimentation des retenues a un impact sur la sécurité des barrages, par la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la force hydrostatique produite par le remplacement accéléré du volume d'eau par la vase

1.3.4. Envasement des canaux d'irrigation

Le dépôt des sédiments dans une retenue de barrage destinée à l'irrigation, pose le problème de comblement du réseau (des canaux) d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage. [17]. Le curage et le nettoyage des canaux deviennent des opérations quotidiennes.

1.3.5. Dégradation de la qualité de l'eau

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

1.4. Les modèles d'estimation de l'envasement

L'accumulation des sédiments véhiculés dans le cour d'eau se déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. On distingue deux méthodes de mesures [18].

1.4.1. Bathymétrie par nivellement

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiment et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu (Fig 1.6) [19].

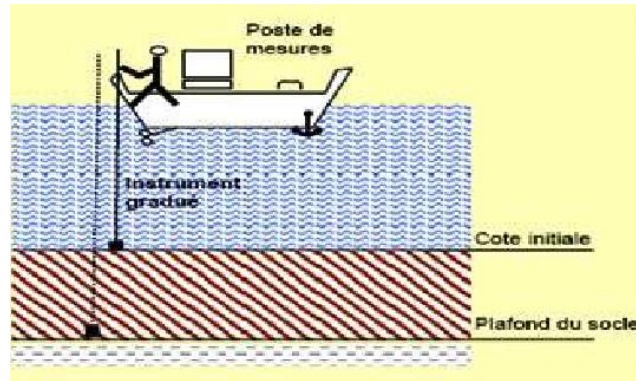


Figure 1. 6 : Schématisation de la bathymétrie par nivellement [19].

1.4.2. Bathymétrie par sondeurs « Echosondeur bathymétrique »

Le dernier appareil à mesurer la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés. Bathymétrie par sondeurs (Fig I.7) Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre [19].

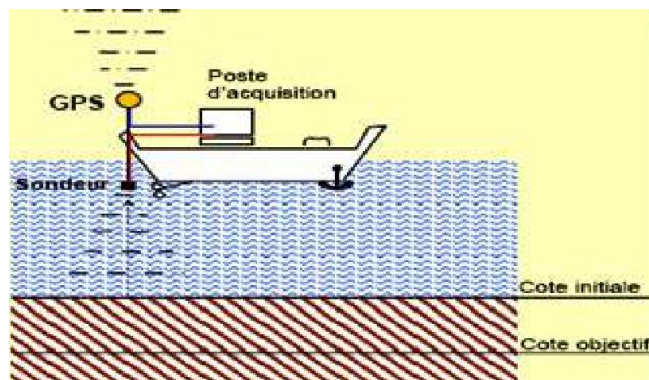


Figure 1. 7 : Estimation de l'envasement par échosondeur [19].

1.5. Lutte contre l'envasement

Les ouvrages hydrauliques qui souffrent directement des conséquences de l'érosion et du transport solide (envasement ou sédimentation) voient leurs capacités diminuées sous l'effet de ces phénomènes. Nous ne pouvons donc nous abstenir sur l'énumération des moyens de lutte contre l'envasement des barrages

On peut citer quelque exemple technique de lutte contre l'envasement

1.5.1. Aménagement des bassins versants

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. Diverses méthodes sont appliquées comme le reboisement, la réalisation des banquettes et l'aménagement des ravines par la correction torrentielle (Fig. 1.8 et 1.9) [3].



Figure 1. 8 : Une série de seuils réalisée sur une ravine du bassin versant de Beni Chougarne [3].



Figure 1. 9 : Banquettes réalisées au niveau du bassin versant d'oued Mina [3]

1.5.2. Dévasement des barrages

Pour des solutions préventives, des tentatives de reboisement et des corrections torrentielles ont été appliquées sur plusieurs bassins versants. En parallèle, des opérations de dévasement se déroulent sur plusieurs barrages. Deux modes de désenvasement peuvent être opérés au niveau d'un barrage. Il s'agit d'un dévasement périodique et d'un dévasement occasionnel [3].

a. Évacuation des courants de densité :

L'évacuation des courants de densité (Fig 1.10) est considérée depuis longtemps comme une méthode efficace pour diminuer le taux d'envasement d'une retenue

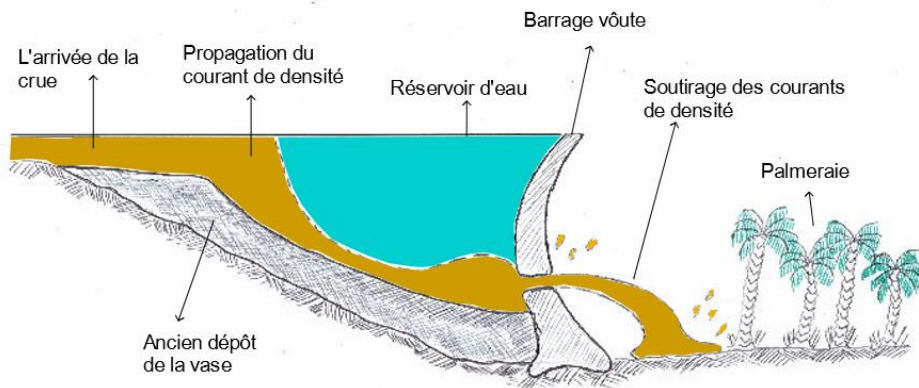


Figure 1. 10 : Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage [3]

b. Vidange de fond

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 (Fig I.9).



Figure 1. 11 : Dévasement du barrage Oued Fodda par la vanne de soutirage (Archives ANBT)

c. Dragage d'un barrage

Dans le cas où l'envasement atteint un niveau très élevé dépassant un taux de 50%, le dragage peut s'avérer comme ultime solution pour sauver le barrage et prolonger sa durée de vie (Fig 1.12 et 1.13) [3]

On fait aussi le dragage d'une retenue si :

- Les opérations de chasse ne sont pas efficaces,
- La construction d'une galerie de dérivation est impossible,
- L'abaissement de la retenue pour la chasse est impossible pour des raisons de Conservation de l'eau,
- Le barrage est irremplaçable et ne peut être surélevé,
- La quantité d'énergie requise pour réduire l'envasement en vidangeant la retenue représente une trop grande perte économique.

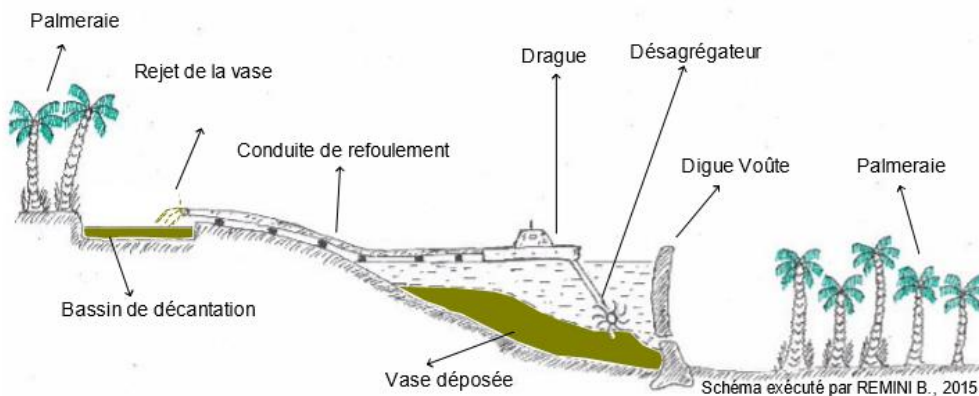


Figure 1. 12 : Schéma synoptique d'une opération de dragage dans un barrage [3]



Figure 1. 13 : Rejet de la vase lors de l'opération de dragage de 2005-2006 [3].

1.5.3. Surélévation du barrage

Dans le cas d'un envasement très avancé, la surélévation d'un barrage surtout s'il s'agit d'un grand barrage peut s'avérer une solution efficace [20] [21]. Au lieu d'enlever la vase de la cuvette, on surélève la digue de quelques mètres pour un gagner un volume supplémentaire (Fig 1.14). Comme le cas de barrage de Foum El Gherza.

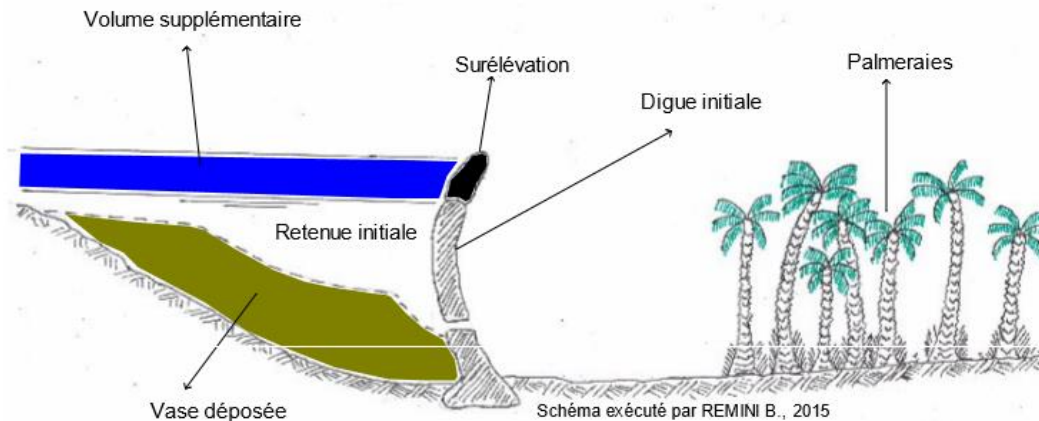


Figure 1. 14 : Schéma synoptique d'une surélévation d'un barrage [3]

1.5.4. Réalisation de barrage de décantation

Parmi Les meilleures 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) et barrage de Koudiat Rosfa (situé à l'amont de l'Oued Fodda)

1.6. L'envasement des barrages dans Les pays de grand Maghreb

Les pays du grand Maghreb l'Algérie, le Maroc, et la Tunisie, contiennent un grand nombre de barrages mais en revanche ils sont fortement touchés par l'envasement. Détiennent plus de 247 barrages d'une capacité totale de 29.3 km³(fig 1.15). Environ 4 milliards de m³ de sédiments se déposent au fond de ces barrages (fig 1.16)

1.6.1. Le Maroc

Il est situé à l'extrême ouest de l'Afrique du nord, il contienne 148 grand barrages avec une capacité initiale qui touche 17.96 hm³. [22].

Le Maroc a un taux d'érosion qui se dépasse 25.77t/ha/an [23]., et cela en fait la première place dans les pays de grand Maghreb avec un volume de vase qui touche 2.1 milliard m³ [23].

1.6.2. L'Algérie

Le secteur hydraulique en Algérie compte 78 barrages sa capacité initial est de 8.62 hm³[22].

L'érosion spécifique varie de 2000 à 4000 t/km².an.et selon ANBT 1.1 milliards de m³ de vase se dépose come un volume mort au fond des barrages algériens

1.6.3. La Tunisie

Elle a plus de 40 barrages qui ont une capacité initiale de 2.69 hm^3 [22]. Le taux d'érosion en Tunisie varie de 22 au 37 t/ha.an [24]. Selon ANB tunisienne 0.75 milliards de m^3 de vase a été stocker dans le lac des barrages tunisienne.

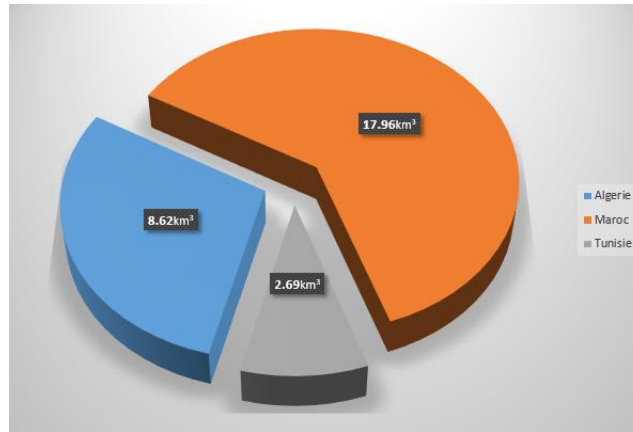


Figure 1. 15 : Capacité de stockage en pays de grand Maghreb

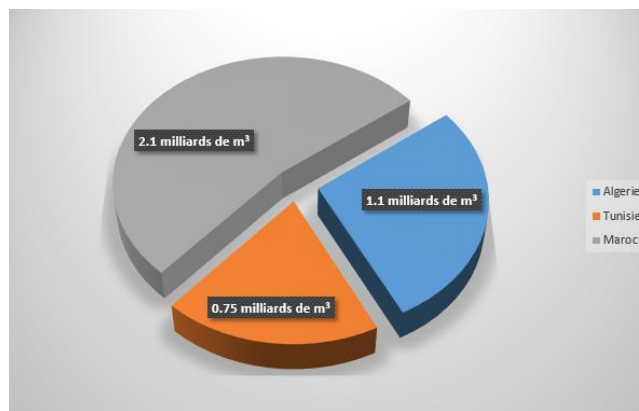


Figure 1. 16 : Envasement dans les pays de Maghreb

1.7.L'envasement des barrages dans le monde

L'envasement réduit les avantages des barrages construits avec une énorme quantité de l'argent par n'importe quelle nation. Cela pourrait aussi avoir un nombre d'impacts, y compris une augmentation des pertes par évaporation et pourrait endommager turbines [25]. Plusieurs barrages australiens ont échoué lentement en raison de l'envasement du réservoir [26].

Le taux de sédimentation dans 1 105 réservoirs d'une capacité inférieure à $1,235 \times 10^3 \text{ m}^3$ était d'environ 3,5 pour cent par an. Dans le cas des réservoirs de taille moyenne, la perte de stockage annuelle était de 2,7 pour cent par an et le taux moyen de sédimentation était de 1,5 pour cent. Pour les réservoirs d'une capacité de stockage supérieure à $1,235 \times 10^9 \text{ m}^3$, le taux de la sédimentation n'était que de 0,16 pour cent par an, avec un taux moyen de 0,11 pour cent par an. [27].

En Chine, le réservoir de Sanmenxia, qui a été achevé en 1960, a dû être mis hors service en 1964 en raison d'un envasement prématuré. Pire encore, le réservoir de Laoying ensablée avant que son barrage ne soit achevé [28]. En Inde, le taux d'envasement attendu de le barrage de Nizamsagar dans l'Andhra Pradesh a été 654 550 m³ par an. Le taux réel était plus proche à 1,07 x 10⁷ m³ par an. En effet, les barrages le réservoir a déjà perdu 60 pour cent de sa capacité de stockage [29].

Etudes réalisées sur 19 réservoirs en Europe centrale avec une capacité de stockage comprise entre 1,48 x 10⁵ et 2,26 x 10⁸ m³ ; montré qu'ils ont été appauvris par sédimentation à un taux moyen de 0,51 pour cent par an [30]. En Afrique du sud 4.03 milliards de m³ tasse en bas des barrages qui ont une capacité initiale de 31.02 milliards de m³ [31].

1.8. Conclusion

Comme nous allons mentionne au début de ce chapitre que l'envasement reste problème crucial pour les barragistes. A travers ce chapitre nous avons décrit les étapes de l'évasement d'un barrage, les différents moyens de lutte contre l'envasement et nous avons donné quelque exemple de l'envasement des barrages dans le monde.

Chapitre 2

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Introduction

Ce chapitre sera consacré à la présentation de la zone d'étude et ses caractéristiques climatiques. Ainsi, les deux barrages Oued Fodda et Kodiât Rosfa, les levées bathymétriques, les caractéristiques hydro-morphométriques des bassins des barrages seront présentées.

2.2. Zone d'étude

Le sous bassin versant d'Oued Fodda fait partie du bassin versant haut et moyen Cheliff. Ce dernier appartient au bassin du Cheliff qui représente plus de 77 % de la superficie totale du bassin Cheliff-Zahrez (Fig 2.1 et 2.2) [32].

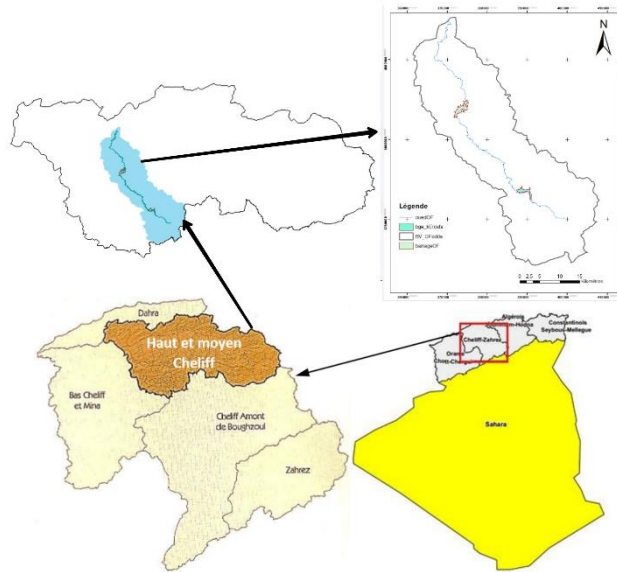


Figure 2. 1 : Envasement dans les pays de Maghreb.

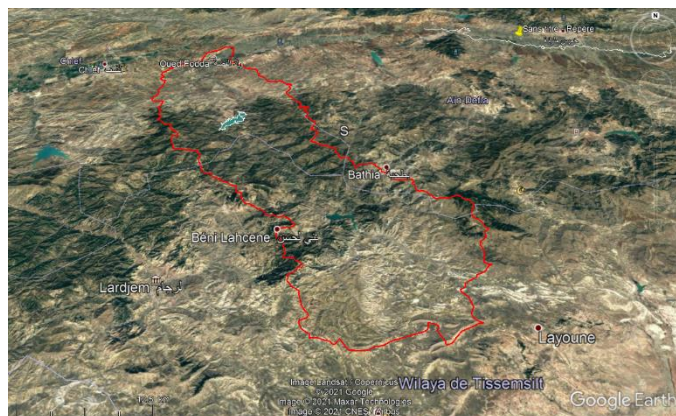


Figure 2. 2 : Photo satellitaire du sous bassin versant d'Oued Fodda.

2.3. Caractéristiques du bassin versant Oued Fodda

La surface du bassin versant est de 800Km², sa longueur est de 48Km, son altitude varie entre 280 et 1985 m, l'altitude moyenne est de 838 m. Le relief est vigoureux, son coefficient de ruissellement moyen est de 22 % [33].

Selon Chaumont (1920), trois zones sont distinguées pour ce bassin :

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

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

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

Au total, on a 55% de terrains crétacés et 45% de terrains essentiellement marneux.

Le pourcentage de reboisement d'environ 30%, est faible pour une région au relief abrupt.

La forêt se trouve d'ailleurs localisée dans les terrains crétacés qui sont les plus résistants à l'érosion.

2.3.1. Climatologiques

Le Sous bassin versant d'Oued Fodda est caractérisé par des étés très chaudes et des hivers tièdes et ce malgré la proximité de la mer (climat semi-aride de type méditerranés) [32].

2.3.2. Pluviométrie

Les annuaires hydrologiques d'Algérie donnent pour le bassin versant une pluviométrie moyenne annuelle de 554.6 mm [34]

2.4. Les barrages dans ce périmètre

Le sous bassin versant d Oued Fodda contient 2 barrages

- Barrage Oued Fodda
- Barrage Koudiat Rosfa

Les deux barrages sont placés aux mêmes cour d'eau principale Oued Fodda (Fig 2.3)

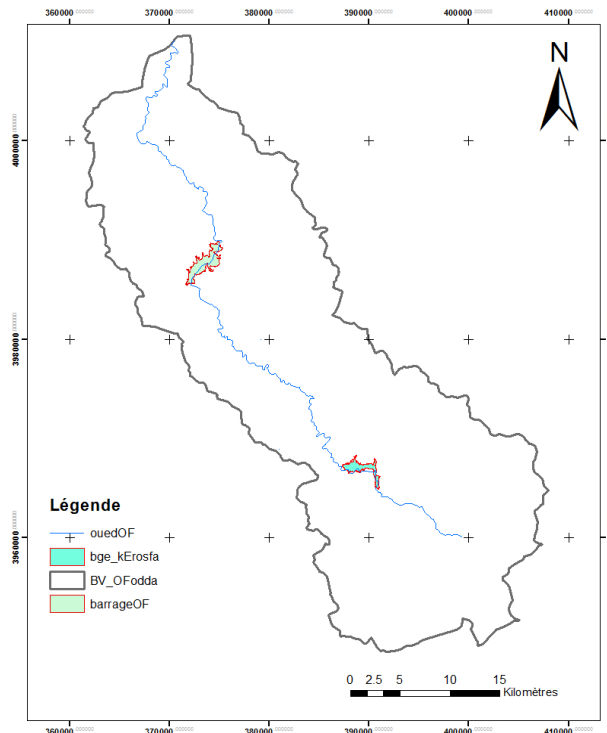


Figure 2. 3 : Les barrages dans le sous bassin versant d'Oued Fodda

2.4.1. Barrage d'Oued Fodda

Il est de type poids en béton. Largeur en crête : 5 m ; largeur sur fondations : variable entre les profils et de l'ordre de 65 m sur plot central ; Longueur en crête : 182 m environ ; Hauteur maximale sur fondations : 101 m ; cote de la crête : 373,80 m NGA ; cote de la retenue normale : 370,50 m NGA. La structure est composée de 9 plots de 18 m à 19 m de largeur. Les 8 joints qui divisent le barrage sur toute sa hauteur, sont fermés à l'amont par un calfat à l'étoupe goudronnée, d'une feuille de cuivre, puis d'une clavette en béton [33].

a. Périmètre du barrage

Le barrage de l'Oued Fodda est considéré comme étant l'un des premiers grands barrages construits en Algérie. Il est destiné à l'irrigation du périmètre du Moyen Cheliff [32]. Ce barrage capte annuellement un volume de vase de 3,2 millions de m³ (Fig 2.4 et 2.5) [35].



*Figure 2. 4 : Retenue du barrage Oued Fodda
(Photo : B. ABBAS, avril 2021)*



*Figure 2. 5 : Barrage d'Oued Fodda
(Photo : B. ABBAS, avril2021)*

Le barrage est situé à 45 kilomètres au sud de la ville de Chlef ; parfois appelé barrage de Steeg, cet ouvrage a pour missions l'irrigation du périmètre du Moyen Chélif, l'alimentation en Eau Potable du barrage et des localités avoisinantes, ainsi que le transfert vers le barrage de Bouroumi (SAA) [33].

b. Ouvrages constitutifs

Les ouvrages essentiels du périmètre sont :

-Le barrage de prise de Pontéba sur le Chélif a été construit en 1868. Il se trouve à l'aval du confluent de l'Oued Fodda. Il permet de dériver dans la zone Ouest du périmètre une partie des eaux des barrages du Ghrib et de l'Oued Fodda.

-Le barrage réservoir de l'Oued Fodda (appelé aussi barrage steeg), il assure la régularisation inter annuelle des eaux.

-Le barrage de prise des portes de fer, construit en béton précontraint en 1938 à l'aval du barrage (Fig 2.6), son rôle est d'assurer la continuité des débits d'irrigation pendant les arrêts journaliers de l'usine hydroélectrique placée à l'amont [36].



Figure 2. 6 : Barrage en l'aval de barrage Oued Fodda
(Photo : B. ABBAS, avril2021)

c. Les ouvrages annexes

- **L'évacuateur de crues :**

L'évacuateur de crues principal comprend :

- Un déversoir latéral (longueur : 170 m, à la cote 370,5 m NGA) débouchant dans une galerie qui contourne l'appui en rive gauche et restitue à l'aval de l'ouvrage (fig 2.7). Il peut évacuer 820 m³/s sous une lame de 3,5 m [33].



Figure 2. 7 : L'évacuateur de crues latéral
(Photo : B. ABBAS, avril2021)

- Un évacuateur complémentaire en rive droite (large de 7,5 m, à la cote 367 m NGA) et équipé d'une vanne levant équilibrée par un contrepoids (Fig 2.8 et 2.9). Il débite 280 m³/s pour un plan d'eau à la cote 374 m NGA [33].



*Figure 2. 8 : l'amont de l'évacuateur Complémentaire
(Photo : B. ABBAS, avril2021)*



*Figure 2. 9 : l'aval de l'évacuateur complémentaire
(Photo : B. ABBAS, avril2021)*

- ***La vidange de fond***

Une ancienne vidange de fond se trouve dans le souterrain de dérivation rive gauche. Elle est immobilisée à la suite d'un choc survenu dans les années 40, le pointeau amont de sa vanne annulaire Larner Johnson, à double pointeau, étant endommagé. Elle est actuellement noyée sous plus de 40 m de vase [33].

Pour remédier à l'envasement de la retenue, en 1961, 5 pertuis de dévasement de diamètre 700 mm furent exécutés à travers le barrage dont 4 à la cote 312,50 m NGA et un à la cote 327,50 m NGA (Fig 2.10). Chaque orifice peut déborder de 5 à 9 m³/s selon la charge [33].



*Figure 2. 10 : les 5 pertuis de dévasement
(Photo : B. ABBAS, avril2021)*

- ***La tour de prise :***

La prise d'eau est implantée en rive gauche assez loin à l'amont de l'ouvrage et se situe à la cote 324 m NGA. A son aval, la galerie de prise d'eau, se terminant en 3 conduites forcées, alimentait chacune trois turbines de type Francis (puissance 5.150 kW ; 112,5 m de chute ; débit 6 m³/s) [33].

La prise d'eau fut dévasée en 1957 ; en parallèle, une prise d'eau de secours, consistant en une galerie de 1 m de diamètre et de 4 m de long fut percée dans le parement amont du barrage jusqu'au puits n° 8. Cependant, la vanne glissière amont qui condamne le pertuis a été rapidement tordue par des chutes de blocs et il semble que le système n'ait jamais été utilisé [33].

d. Historique

1910-1928 : L'aménagement de l'Oued Fodda, dont les études ont commencé en 1910, a été construit à partir de 1928

1926-1928 : L'Entreprise Dufour réalise les études dès 1926 et commence la construction en 1928.

1931 : Un incendie détruit les installations de chantier en 1929.

1931 : L'entreprise Campenon-Bernard reprend les travaux en 1931 et finit la construction de tous les aménagements sauf la prise d'eau, celle-ci est réalisée par la Société Escher Wyss.

Au début de la mise en eau, on observa d'assez importantes pertes par le réseau de fissuration de calcaire ; e fortes injections de ciment sont décidées. La société « Les Travaux Souterrains » réalise l'étanchement des fondations.

1932 : La mise en eau commencée à la fin de cette année, s'accompagna d'ébranlements de sol localisés comparables à des secousses sismiques. Le retour au calme se fit, suite à la mise en eau.

Travaux de confortement après la mise en eau du barrage

: En 1957 :

- Dévasement de la prise d'eau ;
- Réalisation d'une prise d'eau de secours, consistant en une galerie de Ø 1 m et 4 m de long, percée dans le parement amont du barrage jusqu'au puit n° 8.

En 1961 :

- Réalisation de 5 pertuis de dévasement de Ø 700 mm exécutés à travers le barrage ;
- Élargissement du puits n° 4 pour l'équiper d'un ascenseur ;

e. Equipements et fonctionnement

Le barrage de l'Oued Fodda est équipé de [36] :

- 121Km de conduites forcées construit en béton précontraint dont 45Km conduites principales et 76Km conduites secondaires ;
- 124Km canaux principaux et secondaires ;
- 185Km d'anciens canaux principaux et secondaires.

De ce barrage, il part un canal principal, se départageant à l'aval du village ElKarimia, ces canaux assurent l'alimentation de la zone Est du périmètre et une conduite forcée se départageant à l'amont du village de l'Oued Fodda, ces canaux assurent l'alimentation de la zone Ouest du périmètre [37].

f. Les apports

D'apprêt ANBT 2020, En se référant à l'apport moyen annuel de l'Oued Fodda est de 38.38×10^6 m³. Depuis 1942, l'apport annuel maximum enregistré a été de 116.313×10^6 m³ (1997_1998), l'apport minimum a été de 3.75×10^6 m³ (2004_2005) , la plus forte crue connue a été estimée à 400 m³/s

g. Utilisation

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

6000 ha pour la zone Est ;

13000 ha pour la zone Ouest.

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

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

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

-Une vers Relizane ;

-Une vers El-Khemis ;

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

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

h. PERTE DE CAPACITE DANS LE BARRAGE de O. Fodda

La perte de capacité se déroule sur trois principaux problèmes

- ***Evaporation***

A partir des observations de 4 années (2016-2020), l'évaporation moyenne annuelle a été estimée de 7.43×10^6 m³(ANBT).

- ***Les fuite d'eau***

Selon le directeur du barrage, il n'a subi aucune fuite due à des fissures, Toute les fuites sont causées par l'infiltration Qu'il a estimée par ANBT durant l'année 2000 jusqu'au 2020 plus de 4.67×10^6 m³

- ***L'envasement***

Selon Les 4 levées bathymétriques 1974 ,1986,2004 et 2019, la capacité du barrage d'Oued Fodda a été diminuer de 228 jusqu'à 96.79Mm³ conséquent de l'envasement (fig 2.11) [38] [39].

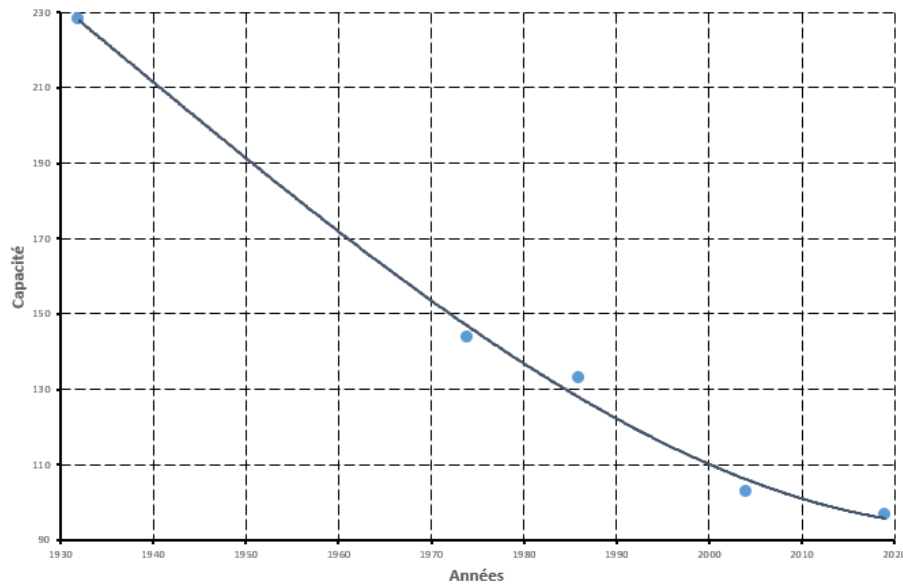


Figure 2. 11 : évolution de la capacité de barrage Oued Fodda

2.4.2. Koudiat Rosfa

Le barrage Koudiat Rosfa est un barrage de décantation construit pour sauver le barrage d'Oued Fodda

a. Situation et fonctionnement

Koudiat Rosfa est implanté sur l'Oued Fodda entre la commune de Béni-Chaib et Sidi-Slimane sur le CW 05 à 40 Km au Nord-Ouest de Tissemsilt. Il a pour but la récupération du volume envasé du barrage d'Oued Fodda, l'alimentation en eau potable de la ville de Tissemsilt (15 Hm³/an), ainsi que l'irrigation, via le barrage d'Oued Fodda, des périmètres en aval (6 Hm³/an). [40].

b. Hydrologie

L'Oued Fodda est un affluent en rive gauche de l'Oued Chélif ; il coule du nord au sud, est intercepté en aval du site du barrage de Koudiat Rosfa par la cuvette du barrage Fodda. Le bassin versant à l'amont du barrage Fodda dépasse 800 Km² tandis que le bassin versant relatif au barrage koudiat Rosfa est de 440Km² ; la longueur du thalweg le plus long est de 31km et sa pente moyenne de 25.9%, la pente moyenne du bassin est de 11.2%.

La température moyenne mensuelle est estimée à 15.8°C et l'évaporation annuelle moyenne est de 1.241mm, avec un minimum de 1.005,5 mm et un maximum de

1.454,5mm. Les précipitations moyennes annuelles sont de 520 mm ; l'apport moyen est de 44.58 Hm³/an. Le volume régularisé est de 21 Hm³ et l'envasement moyen est estimé à 1,15 Hm³/an. [38].

c. Caractéristique du barrage

Le barrage est de type remblai zoné à noyau argileux et recharges en alluvions avec une capacité de 73 hm³ (Fig 2.11) avec un Hauteur de 57 m et 226 m de Longueur



Figure 2. 12 : le barrage de koudiat Rosfa
[38].

d. Les ouvrages annexes

• ***Evacuateur des crues :***

C'est un évacuateur à seuil libre, avec un coursier et saut de ski (Fig 2.12 et 2.13) [38].



Figure 2. 13 : Evacuateur des crues
[38].



Figure 2. 14 : Evacuateur des crues
[38].

• ***La vidange de fond :***

Elle est sous forme d'un entonnoir à la base de la tour de prise et passage par la partie supérieure du tunnel de dérivation (Fig 2.14). [38].



Figure 2. 15 : La vanne de fond
[38].

- **La Tour de prise d'eau :**

Entonnement dans la tour de prise puis conduite $\varnothing 1400$ dans la partie inférieure du tunnel de dérivation (Fig 2.14) ; il existe quatre prises à des cotes (605 ; 613 ; 621 et 630) et quatre vannes à glissière (1.5 x 2.58 m). L'irrigation est assurée par une vanne à jet creux (DN700) dans l'oued et l'AEP par une conduite ($\varnothing 600$) à raccorder avec la station de traitement. [38].



Figure 2. 16 : La prise d'eau
[38].

e. Historique

1989 : étude de faisabilité du barrage de Koudiat Rosfa établie par Hydro projet Centre. 1994-1995 : une étude d'avant-projet détaillé a été établie par l'Entreprise nationale des études hydrauliques (ENHYD). Dans ce cadre, deux variantes de base ont été considérées :

- La surélévation du barrage d'Oued Fodda,
- La réalisation propre du barrage Koudiat Rosfa. La deuxième variante a été retenue et l'ANBT a décidé la construction du barrage Koudiat Rosfa.

1998 : entame des travaux de construction

2004 : achèvement du projet.

La construction du barrage a été confiée à l'entreprise CETIC (Chine) et les équipements hydro-électromécaniques ont été fournis par l'entreprise INGRA (Croatie-Slovénie). Les études

d'exécution et de surveillance des travaux ainsi que l'assistance technique ont été assurées par le bureau d'études Dar-Al-Handasah .

Août – septembre 2016 : Réfection des routes d'accès de barrages

31 Décembre 2014 – 20 Janvier 2015 : Entretien de la centrale Oléo-hydraulique pour la remise en fonction du système de manœuvre des vannes de vidange de fond du barrage, contracté avec l'entreprise Hydrostal.

f. L'envasement

Selon la levée bathymétrique on a enregistré une réduction de 9.5% de sa capacité initiale dans 10 ans consécutif d'accumulation de la vase dans le lac de barrage Koudiat Rosfa (tableau 2.1)

Tableau 2. 1 : comparaison du volume de barrage Koudiat Rosfa

Année	2004	2014
Capacité	73	66.04 Mm ³
Perte de capacité	0	6.96 Mm ³
Nombre d'année	0	10

Source ANBT

g. Le barrage en chiffres

Nous résumons les caractéristiques du barrage dans le tableau 2.2

Tableau 2. 2 : caractéristique du barrage Koudiat Rosfa

Construction	Avril 2001 Achevé en 2004
Mise en eau	2004
Capacité	73 hm ³
Capacité au dernier levé (2014)	66.04 hm ³
Surface du plan d'eau	365 HA
Apport moyen annuel	44, 58 hm ³ /an
Envasement annuel	0.69 hm ³ /an
Surface du bassin versant	440 Km ²

Source ANBT

2.5.CONCLUSION

L'envasement reste un complexe problème qui inquiète les gestionnaires du secteur de l'eau. Le barrage Oued Fodda et Koudiat Rosfa n'ont pas échappé de ce phénomène, ou le volume vaseux du barrage Oued Fodda atteint une énorme valeur de 131.2Mm³ dans durant son exploitation (87 ans d'exploitation). Ainsi la quantité de vase de barrage Koudiat Rosfa en 2014 a été évalué à 6.96Mm³

Chapitre 3
Résultats et discussions

3.1.Introduction

Nous traitons dans ce chapitre l'envasement de barrage Oued Fodda durant les périodes d'exploitations par le classement de barrage vis-à-vis de l'envasement et en étudiant l'évolution de l'envasement, et aussi nous avons également montrée des techniques utilisées au niveau du barrage et bassin versant comme des moyennes de lutte contre l'envasement pour augmenter la durée de vie du barrage.

3.2.Le taux de comblement des barrages du bassin hydrographique du Chellif Zahrez

L'Algérie est partagée en 5 bassins hydrographiques :

- Constantinois Seybousse Mellegue
- Algérois Hodna Soumam
- Chellif Zahrez
- Oranie Chott Chergui
- Sahara

Selon Remini (2017), la dernière étude sur l'envasement des barrages faite de 20014 a montré que le taux de comblement des barrages du bassin hydrographique de Chellif Zahrez a continué son accroissement depuis 1986 pour atteindre la valeur de 35%. Il est du surtout aux dépôts successifs des particules des fines dans les 17 barrages implantés dans la région. Cependant, il est intéressant de soulever que 9 sur les 17 barrages sont classés parmi les barrages les plus envasés de l'Algérie. Ils de véritables piègeurs de sédiments. A titre d'exemple, les deux barrages Gargar et Ghrif reçoivent annuellement 10 millions de m³ de particules solides. La même observer dans le bassin hydrographique du Sahara. Avec 34%, le taux de comblement des barrages reste suffisamment élevé à cause des apports solides dans les barrages de Djorf Torba, Brezina et Foum El Gherza. Quant aux bassins hydrographiques de l'Oranie, le Constantinois et l'Algérois, le taux de comblement des barrages est resté pratiquement faible à moyen. Finalement, on peut dire que les barrages du bassin hydrographique du Chellif Zahrez sont les barrages les plus exposés à l'envasement (Fig 3.1).

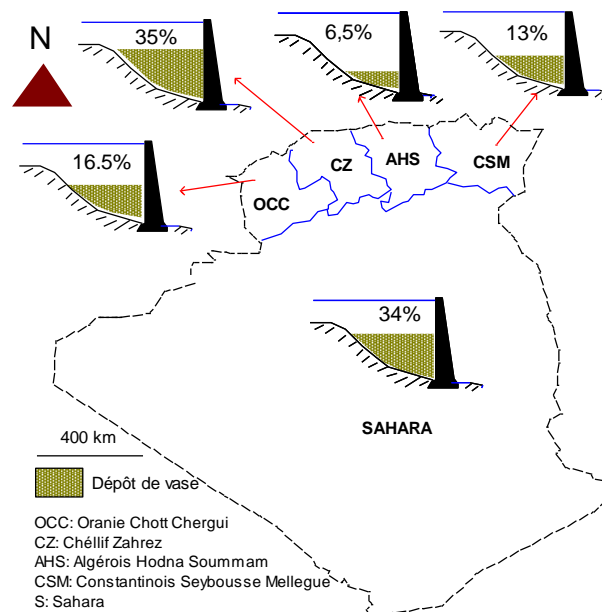


Figure 3. 1 : Taux de comblement des barrages en 2014 suivant

3.3. Classement du barrage Oued Fodda vis-à-vis de l'envasement

Selon Remini (2017), le degré d'envasement d'un barrage se caractérise par la vitesse de comblement ou le taux de comblement annuel qui s'exprime en % de capacité par année (%/an).

Il est égal à : $\eta = (W_v/W_o) / T$

Avec :

W_v : Volume de vase (millions de m³)

W_o : Volume initial du barrage (millions de m³)

T : Durée d'exploitation du barrage (an)

Remini (2017) a établi un classement des barrages par ordre de gravité à l'envasement, défini sur la base du taux de comblement annuel (%/an). A cet effet, trois types de barrages se dégagent. Le tableau 1 donne les valeurs du taux de comblement annuel pour chaque catégorie (tableau 3.1).

Tableau 3. 1 : Classe des barrages vis-à-vis de l'envasement

Classe	Type de barrage	Taux de comblement annuel η (%/an)
1	Fortement menacé par l'envasement	$\eta > 1$
2	Moyennement menacé par l'envasement	$0,5 > \eta > 1$
3	Faiblement menacé par l'envasement	$\eta < 0,5$

Selon Remini (2017), le taux de comblement défini par W_v / W_o peut donner une idée sur la durée de vie du barrage. Le tableau 2 donne la classification d'un barrage vis-à-vis de l'envasement (tableau 3.2).

Tableau 3. 2 : Comblement d'un barrage

Classification barrage vis-à-vis de l'envasement	Taux de comblement
Barrage fortement envasé	$W_v / W_o > 20\%$
Barrage Moyennement envasé	$10\% < W_v / W_o < 20\%$
Barrage Faiblement envasé	$W_v / W_o < 10\%$

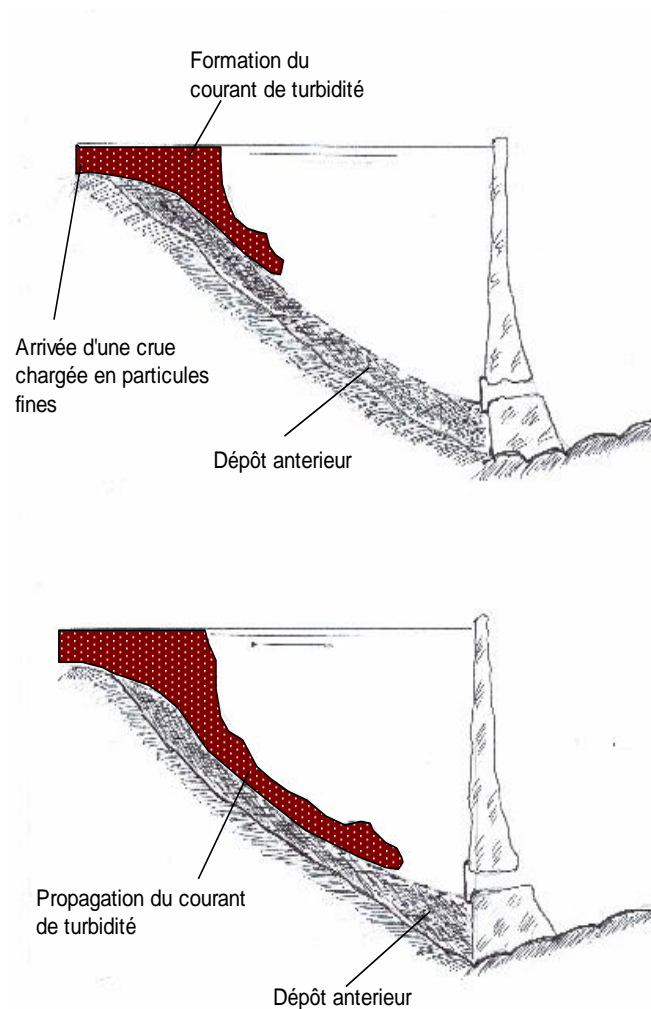
Sur la base de la vitesse de comblement des barrages, nous avons établi le classement du barrage d'Oued Fodda par ordre de gravité à l'envasement (tableau 3.3).

Tableau 3. 3 : Classe des barrages étudiés

Période	η (%/an)	W_v / W_o (%)	Observation
1986-2004	0.7	54.91	Barrage moyennement menacé par l'envasement
2004-2019	0.1	57.54	Faiblement menacé par l'envasement

3.4. Mécanisme des courants de turbidité

Dans le bassin hydrographique de Chellif Zahrez, une région semi arides caractérisée par fortes taux d'érosion. Ceci engendre des crues chargées de particules fines et plus particulièrement celles d'automne. Arrivant au niveau du lac du barrage d'oued Fodda, le contact entre l'eau chargée de densité supérieure à 1 avec celle des eaux calmes du lac (densité =1), provoque la formation d'un courant de densité. Ce dernier bien individualisé qui se propage sans dilution sur le fond du lit de la retenue jusqu'à ce qu'il atteigne le pied du barrage. En l'absence de soutirage, l'onde du courant de densité butte contre la digue et tend à revenir dans le sens inverse. Une fois l'onde s'est stabilisée, les particules fines en quantité élevée se décantent et se tassent. On parle d'un envasement accéléré. Si les vannettes de dévasement sont ouvertes au moment de l'arrivée du courant de densité, une quantité importante de sédiments sera soutirée (fig. 3.2) [41] [42].



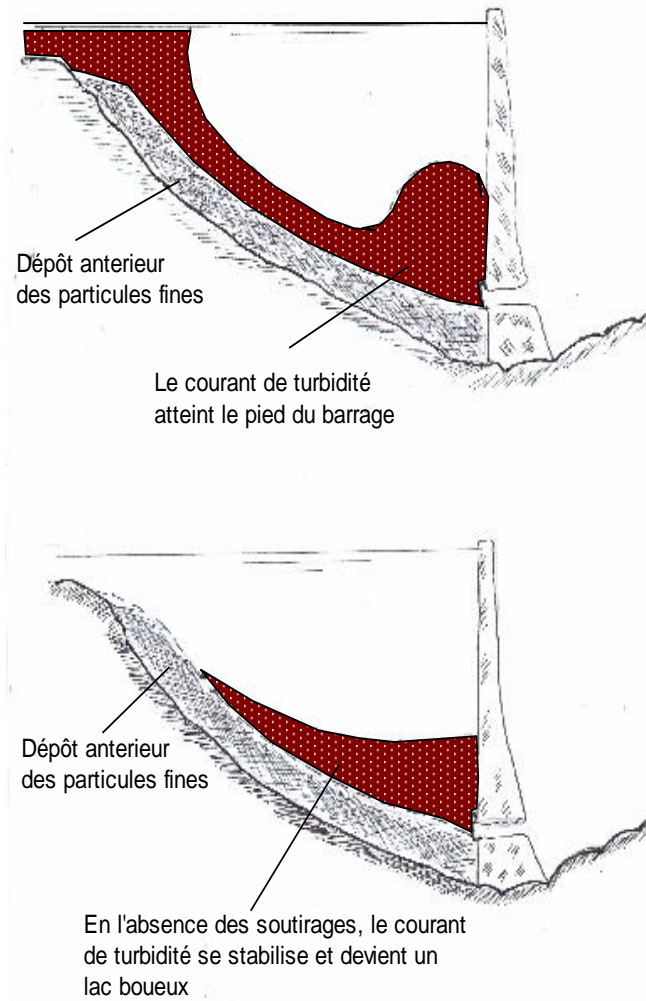


Figure 3. 2 : Schéma de la propagation des courants de densité [43].

3.5. Les conséquences des courants de densité sur le barrage d'Oued Fodda

Avec des densités supérieures à 1.025, les courants de densité se forment et se propagent dans l'oued Fodda. La forme géométrique de l'oued Fodda de type canal est très favorable à la propagation des courants de densité. La cuvette d'une longueur de 6 km et d'une largeur moyenne de 800m ; une forme idéale qui favorise la propagation des courants de turbidité du point de plongée jusqu'au pied du barrage (Fig 3.3). Cependant, la cuvette présente 3 élargissements qui peuvent provoquer l'évanouissement des courants de densité et par conséquent un dépôt accéléré des sédiments (Fig 3.4).

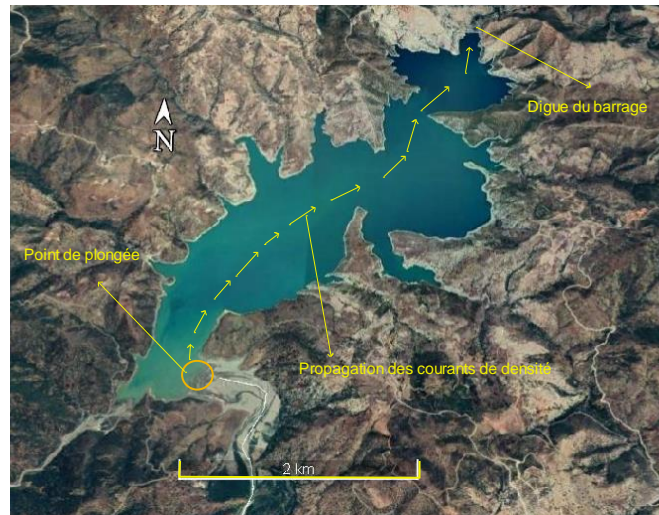


Figure 3. 3 : Propagation des courants de turbidité dans la retenue du barrage d'Oued Fodda

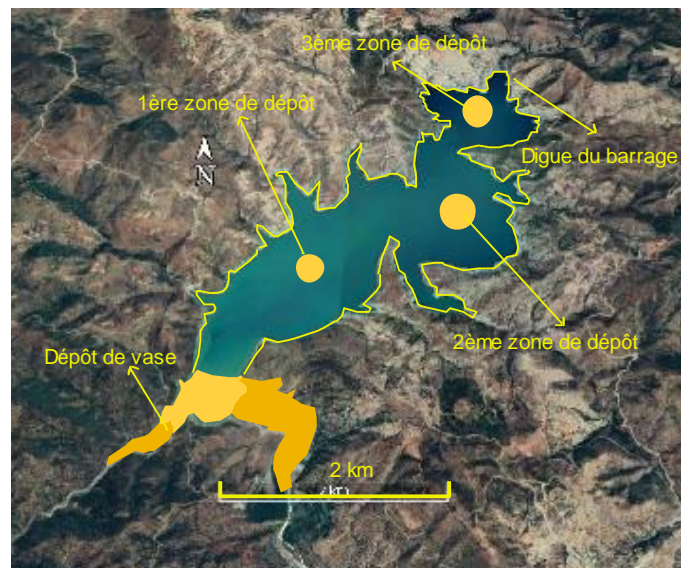


Figure 3. 4 : Les zones de dépôts dans le lac du barrage d'Oued

3.6. Evolution de l'envasement dans le réservoir du barrage d'Oued Fodda

3.6.1. Délimitation de la retenue en trois parties

Selon Remini (1997 et 2017), la retenue d'un barrage peut être délimitée en 3 parties (fig. 10) [44] : La basse désignée par la zone 1, la centrale par la zone 2 et la partie haute par la zone 3 (Fig 3.5). Chacune de ces parties possède ces propres caractéristiques. Dans la partie basse, on assiste à des dépôts des sédiments ramenés par les courants de densité et aussi aux remaniements de la vase suite aux manœuvres des vannettes de dévasement. C'est une zone très perturbée par l'arrivée des courants et les soutirages. Dans ce cas, l'évolution du toit de vase devient compliquée et qu'elle ne suit aucune loi. Mêmes constatations peuvent être tirées

de la zone 3 sauf que les perturbations du toit de vase sont provoquées par les variations du plan d'eau à l'arrivée des crues. Cette zone est le lieu de la plongée des courants de densité avec les dépôts de particules fines qui découlent de la formation des courants de densité. Elle marque aussi le terminus du charriage ; les crues font leurs dépôts de particules grossières dans la partie haute du barrage. La partie centrale se trouve à l'abri de toutes ces perturbations qui se manifestent dans les zones 1 et 3.

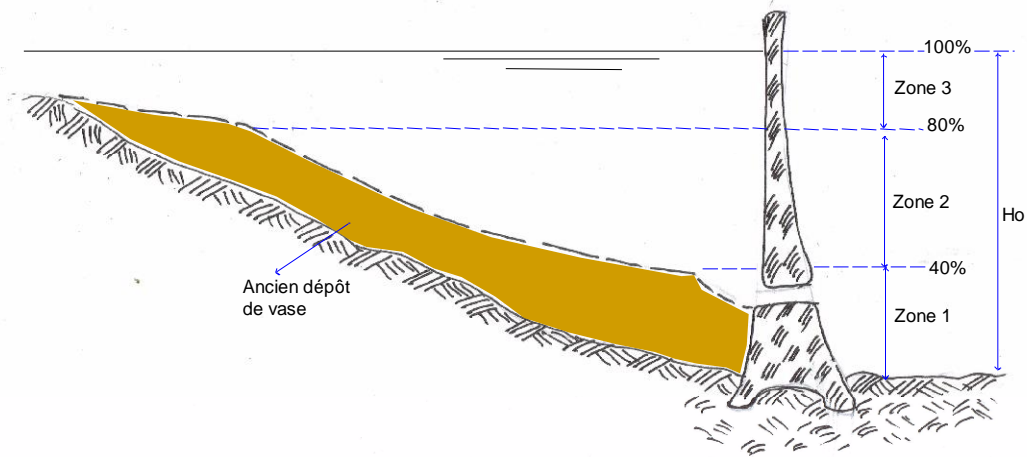


Figure 3. 5 : Délimitation de la retenue en trois parties [43].

a. Evolution de l'envasement dans la partie basse

Pour suivre l'évolution du toit de la boue dans la zone 1, il est indispensable d'avoir 3 levés bathymétriques pour suivre le point d'intersection des courbes de l'envasement [44]. La figure 3.5 représente l'évolution de l'envasement dans la partie basse Pour les trois périodes 1932-1986, 1932-2004 et 1932-2019. Il est intéressant de constater que l'intersection des trois levés bathymétriques situe au zone 2, donc on peut dire que la zone 1 a été complètement saturé par les dépôts vaseux, c'est-à-dire la vase dépasse le 40% de la hauteur H_0 à partir du fond.

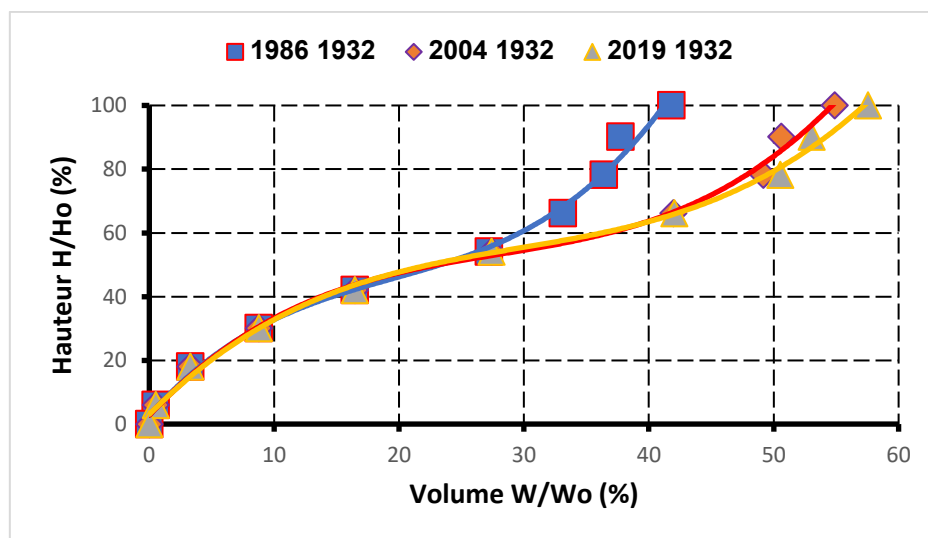


Figure 3. 6 : évolution de la vase suivant la profondeur du barrage

b. Evolution de l'envasement dans la partie centrale

La partie centrale est loin des perturbations provoquées par les manœuvres des vannettes de dévasement dans la zone 1 et les perturbations du plan d'eau à l'arrivée des crues. La vase engendrée par l'évanouissement des courants de densité de faible concentration se dépose sans être perturbée [44].

Selon la figure 3.6 on peut déterminer la hauteur de la vase dans la zone 2 en 2004, le point d'intersection entre les deux courbes d'envasement (1986-2004) est situé à 45% de la hauteur H_0 à partir du fond, soit une hauteur de vase égale à 29.92 m durant la période 1986-2004 et à 55% de la hauteur H_0 à partir du fond, soit une hauteur de vase égale à 36.57m durant la période 2004-2019. Donc 55% de la hauteur H_0 à partir du fond (36.57m) a été envasé.

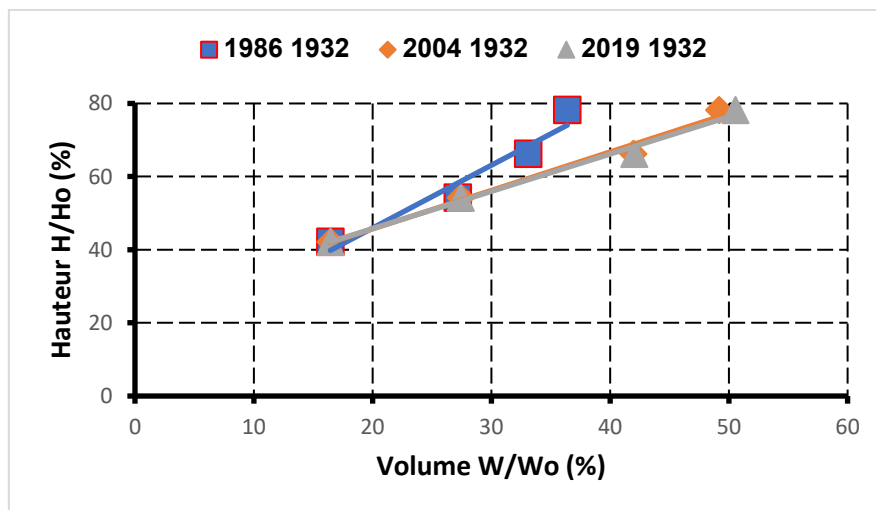


Figure 3. 7 : Evolution des dépôts vaseux dans la partie centrale du barrage d'Oued Fodda

c. Evolution de l'envasement dans la partie haute

C'est comme la zone 1, il est impossible de suivre l'évolution du toit de vase dans la partie haute du barrage à cause des variations du plan d'eau et les conséquences provoquées par le freinage des crues à l'entrée du lac. Il s'agit de la plongée des courants de densité et tout ce qu'elle peut apporter sur le dépôt de particules fines. Les particules grossières charriées par les crues font leur arrêt au niveau de cette zone 3. Délimitée entre les cotes 80 et 100% est la première zone qui se comble dans le processus de l'envasement d'un barrage [44].

Dans notre cas, la figure 3.7 représente l'évolution de l'envasement dans la partie haute pour les périodes : 1932-1986, 1932- 2004 et 1932-2019. Il est constaté que pour ces trois périodes, la relation est linéaire. Ce qui veut dire que le toit de la vase évolue parallèlement au fond du lac.

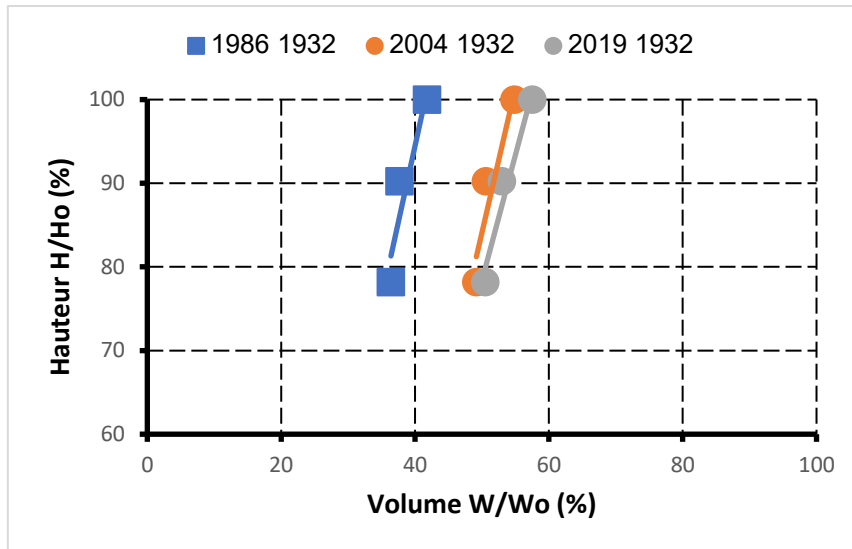


Figure 3. 8 : Evolution des dépôts vaseux dans la partie haute du barrage d'Oued Fodda

3.6.2. Evolution de l'envasement dans le temps

Sur la base des 4 levées bathymétrique effectuées par l'Agence National des Barrages et Transferts 1974, 1986, 2004 et 2019 et les données de volume de vase entre 1932-1961, nous avons représenté sur la figure 3.8 et 3.9 l'évolution temporelle de l'envasement et le taux d'envasement

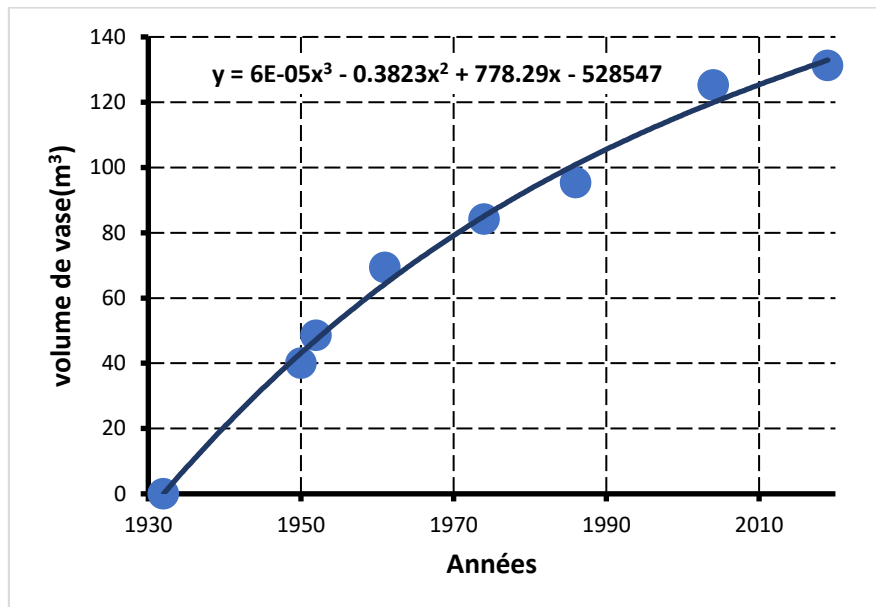


Figure 3. 9 : évolution de l'envasement 1932-2019

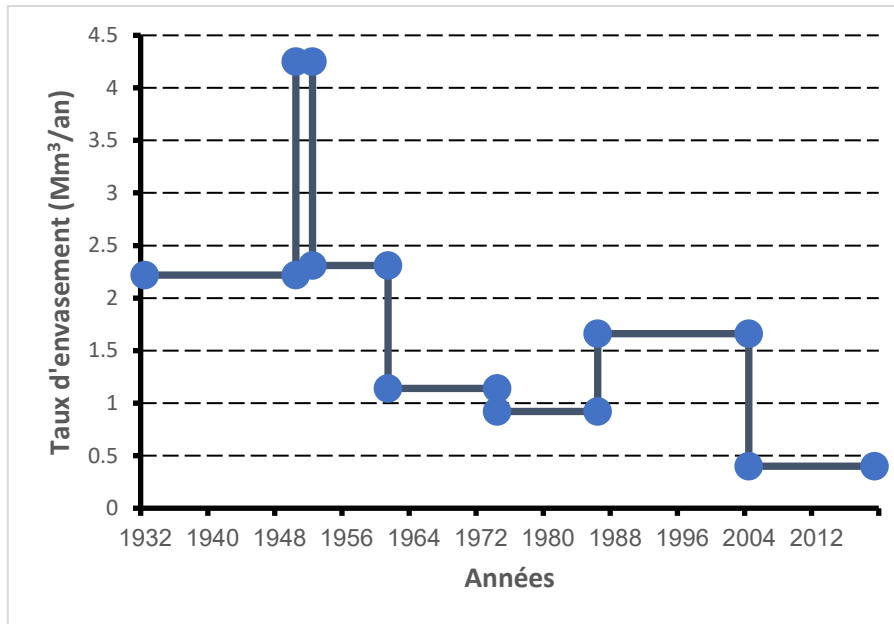


Figure 3. 10 : variation temporelle du taux d'envasement

L'obturation de la vanne de fond par les dépôts vaseux après 16 ans d'exploitation (1948) créer un problème pour les responsables du barrage, ce qui leur a fait mesurer le volume de vase en années 1950, 1952 et 1961 (période d'absence de soutirage de courant de densité) (Fig 3.10 et 3.11).

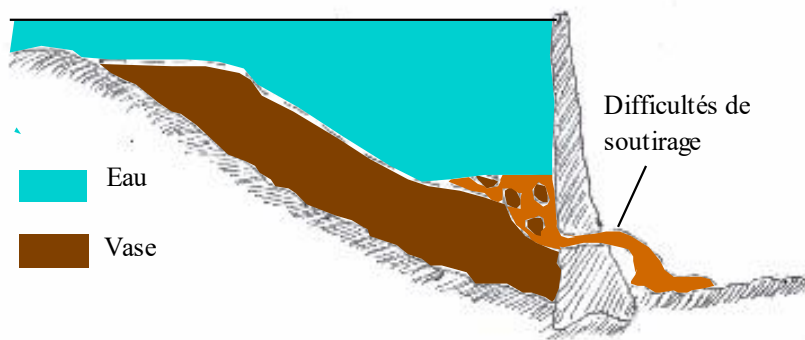


Figure 3. 11 : difficultés de soutirage par la vanne de fond avant 1948

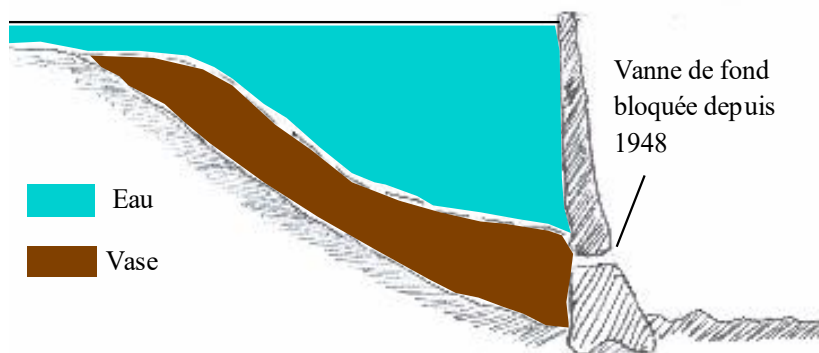


Figure 3. 12 : blocage de vanne de fond en 1948

Entre 1932 et 1950 , le volume de vase atteint 40 Mm³, Ceci a donné un taux d'envasement de 2.2 Mm³/an, avec une vitesse de comblement annuel de 0.96 %/an. On peut dire que le barrage Oued Fodda classé comme un barrage moyennement a fortement menacé par l'envasement. Après 2 ans (1952) le volume de vase enregistré une augmentation de 8.5 Mm³ avec un taux d'envasement qui touche la valeur 4.25 Mm³/an. En se basant sur le taux de comblement annuel (1.86%/an) qui est supérieur au seuil : 1%/an, donc le barrage d'Oued Fodda est peut-être classé comme un barrage fortement menacé par l'envasement.

En 1961, 69.3Mm³ de vase déposé dans le lac du barrage, soit un volume de 20.8 millions de m³ de vase déposé entre 1952 et 1961, Ceci a donné un taux d'envasement de 2.31 millions de m³/an. Dans cette périodes le barrage a été classé comme un barrage fortement menacé par l'envasement.

A partir de 1961 date de la mise en eau de 5 vannettes de dévasement réalisées spécialement pour soutirer les courant des densités (Fig 3.12, 3.13 et 314), et par conséquent, le taux d'envasement a diminué de 50% entre 1961 et 1974 ou le volume de vase atteindre 84.14Mm³, per conséquent le barrage a été classé comme un barrage a moyennement menacé par l'envasement (0.5 %/an)

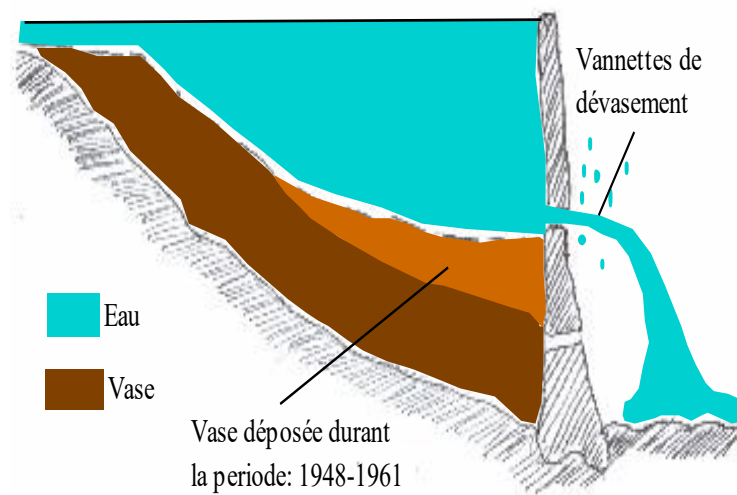
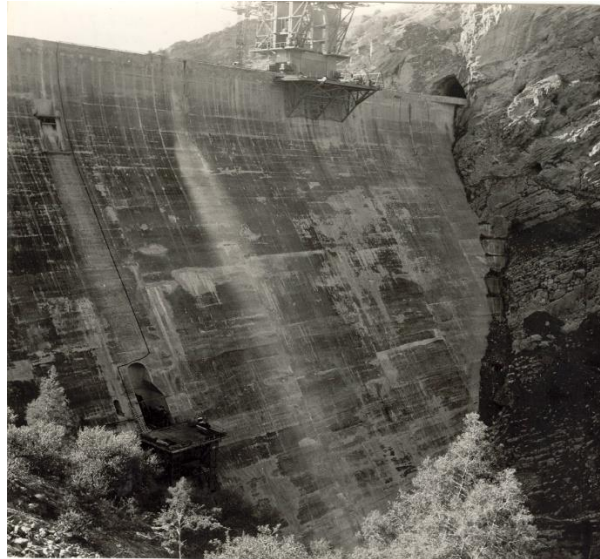


Figure 3. 13 : réalisation des vannettes de dévasement en 1961



*Figure 3. 14 : la vanne d'essai
(Archives ANBT)*



Figure 3. 15 : les 5 vannette de dévasement

Pendant la période 1974-1986, on a constaté un ralentissement de l'évolution de l'envasement, ou le volume de vase déposé est de 95.20Mm^3 , soit un volume de 11.08Mm^3 déposé dans cette période avec un taux d'envasement $0.92\text{ Mm}^3/\text{an}$ (baisse de plus de 20%). Cela s'explique par le déroulement régulier des opérations de soutirage des courant de densité par les vannettes. Durant cette période le barrage a été classé comme un barrage faiblement menacé par l'envasement (0.4 \%/an inférieur à 0.5 \%/an).

Durant la période 1986-2004 le dépôt vaseux reprennent une évolution accélère pour atteindre un volume de vase égale 125.15 Mm^3 , soit un volume de 29.95Mm^3 arrive jusqu'à le lac du barrage dans cette période, ce qui donne un taux d'envasement de $1.66\text{ Mm}^3/\text{an}$, ceci peut être interprète par le blocage des vannettes de dévasement dans les années 90 (Fig 3.15).

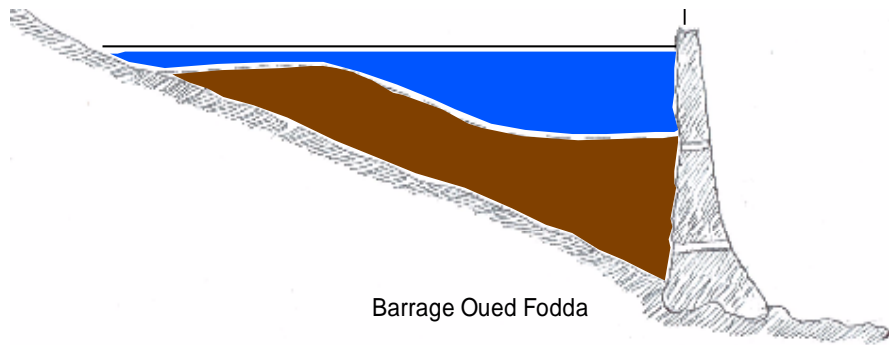


Figure 3. 16 : blocage des 5 vannettes

Entre 2004 et 2019 l'évolution des dépôts de la vase enregistre un ralentissement ce qui a donné un volume de 131.21Mm^3 avec une chute de taux d'envasement $\tau=0.4\text{Mm}^3/\text{an}$. Cette diminution de plus de 66% peut être justifier par l'effet de barrage de décantation Koudiat Rosfa en amont de barrage Oued Fodda

3.6.3. Evolution de l'envasement suivant la hauteur

Les figures 3.16, 3.17 et 3.18 représentent le diagramme des capacités (eau et vase) du barrage d'Oued Fodda. Ces figures montrent bien l'évolution des volumes d'eau et de la vase suivant la hauteur d'eau pour trois périodes d'exploitation : 1932-1986, 1932-2004 et 1932-2019. Il est intéressant de constater que la capacité d'eau du barrage a diminué de 228 millions de m^3 en 1932 (capacité initiale) à 132.8 millions de m^3 en 1986 et à 102.85 millions de m^3 en 2004 et à 96.79 millions de m^3 en 2019

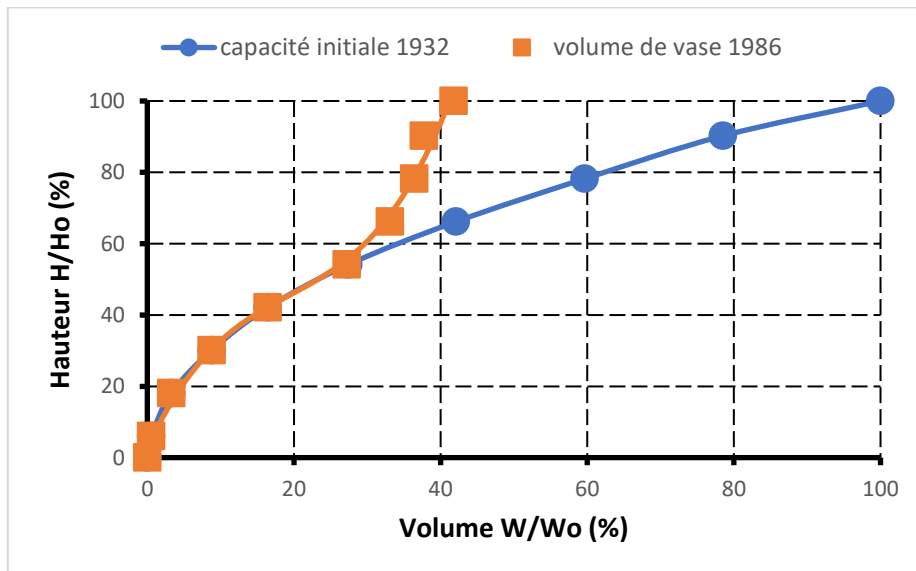


Figure 3. 17 : diagramme des capacités du barrage d'Oued Fodda 1986

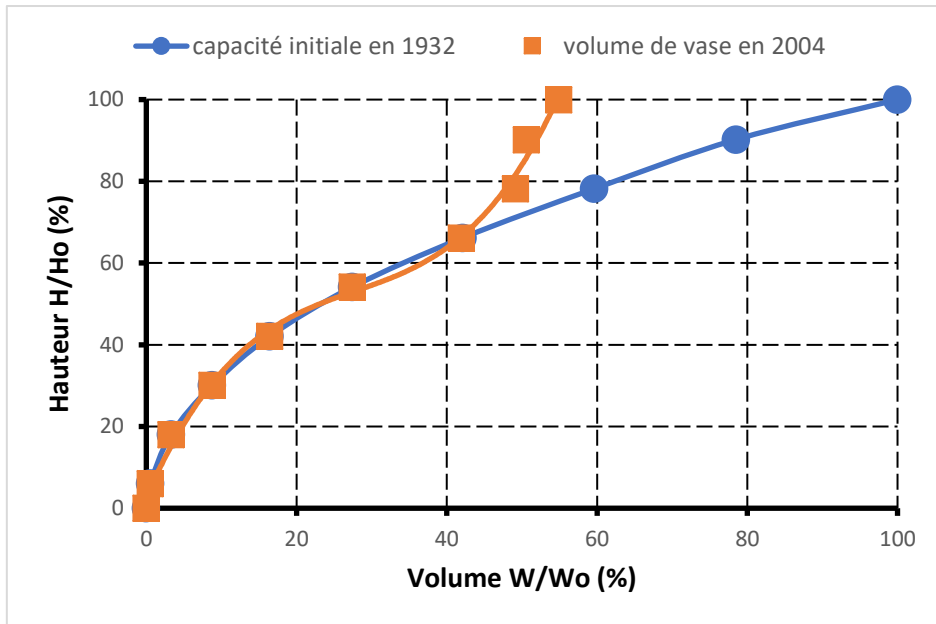


Figure 3. 18 : Diagramme des capacités du barrage d'Oued Fodda 2004

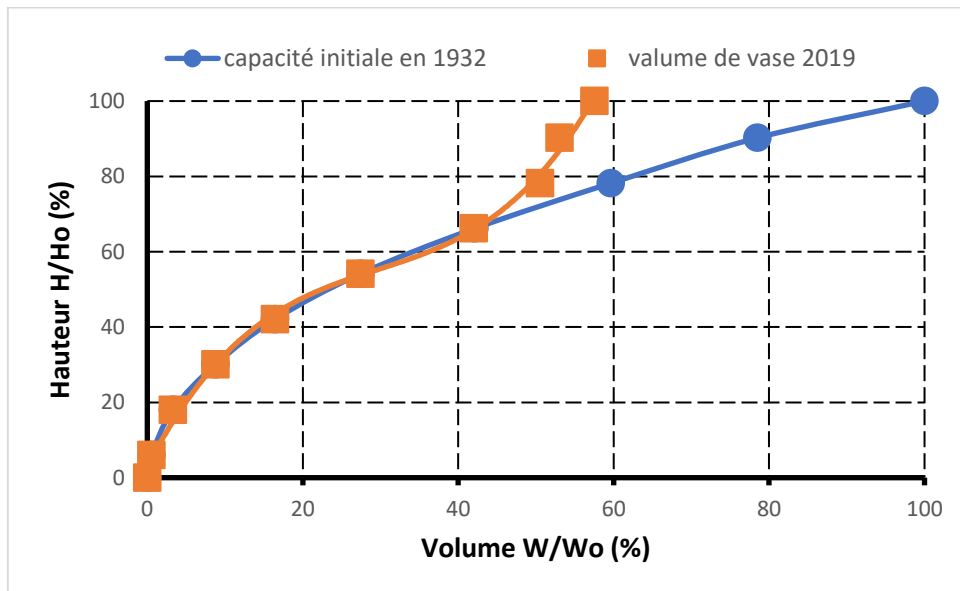


Figure 3. 19 : Diagramme des capacités du barrage d'Oued Fodda 2019

3.7. Moyenne de lutte contre l'ensablement du barrage Oued Fodda

Durant la période d'exploitation du barrage d'Oued Fodda (période : 1932-2019), et vu la menace persistante de l'ensablement sur le barrage, des moyennes de réduire la gravité de l'alluvionnement ont été pratiquées au niveau du barrage Oued Fodda.

Comme le soutirage des courants de densité par les pertuis de vidange et la réalisation d'un barrage de décantation à l'amont.

3.7.1. Soutirage des courants de densité

Cette technique a été pratiquée sur le barrage d'Oued Fodda depuis 1961 jusqu'au 1998.

Le barrage Oued Fodda est parmi les rares barrages au monde qui a utilisé une telle méthode. Le barrage est muni d'une batterie de 5 vannettes de 40cm de diamètre (Fig 3.19 et 3.20)

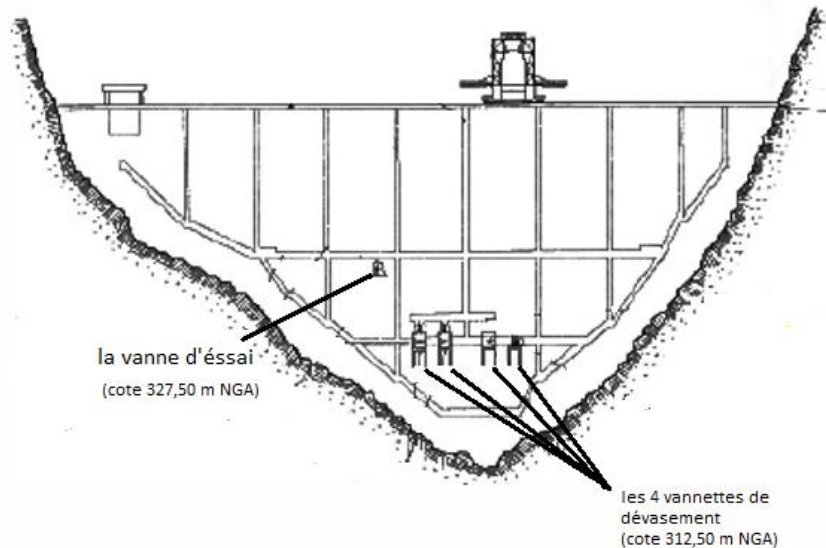


Figure 3. 20 : Batterie de 5 vannettes de dévasement du barrage d'Oued Fodda [33].

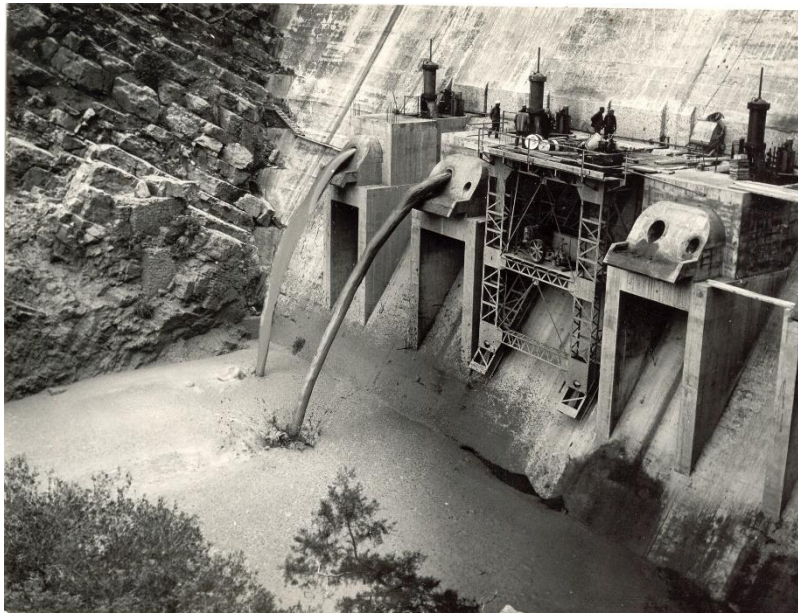


Figure 3. 21 : soutirage des courants de densité par les vannettes (Archives ANBT).

Ce système d'évacuation des courants de densité a été installé en 1961 dans le corps du barrage suite au blocage de la vanne de fond en 1948 sous effet des dépôts importants des sédiments.

Ce n'est qu'après cet accident (blocage de la vanne) et après avoir découvert les courants de densité dans le Lake Made (E Unit) [44] que les ingénieurs barragistes commençaient à maîtriser la gestion de ce phénomène. Des études ont été effectuées par Duquennois [44] durant les années 50 ont relevé la présence des courants de densité dans le lac d'Oued Fodda. Des études effectuées durant les années 90 par Remini (1997,2002) ont confirmé la gravité des courants de densité sur le comblement rapide la retenue du barrage Oued Fodda.

Les courants de densités se manifestent en période de crue en parcourant une distance de 9km du point de plongée jusqu'au pied du barrage Oued Fodda. La vitesse d'écoulement du courant de densité dépend de la concentration en particules fines.

Dans le cas où on maîtrise de ce phénomène, la manœuvre de la vanne au moment de l'arrivée du courant de densité, peut réduire le dépôt tout en laissant le courant de densité de continuer son chemin vers l'extérieur, et ce que nous l'observons durant la période 1961-1998 (Fig 3.21).

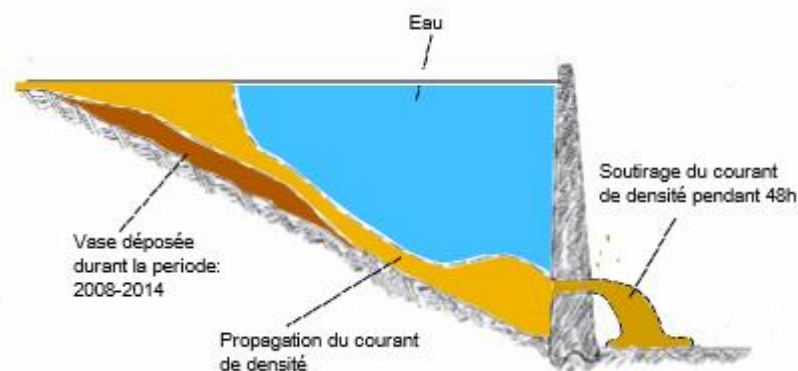


Figure 3. 22 : Schéma synoptique du soutirage du courant de densité lors de la crue [45].

Malheureusement cet ouvrage annexe est devenu non opérationnel à partir de l'année 1998, sous l'effet de l'insécurité qui régnait dans la région (période du terrorisme).

2.7.2. Réalisation du barrage en amont

Parmi les 3 solutions proposées pour réduire l'envasement et par conséquent d'augmenter la durée de vie du barrage Oued Fodda, la réalisation de barrage Koudiat Rosfa comme un bassin de décantation des particules fines à l'amont a été retenue par le service de l'ANBT comme une solution à l'envasement du barrage Oued Fodda.

Le barrage de Koudiat Rosfa d'une capacité de 73 Mm³ a été réalisé à 25 km à l'amont du barrage Oued Fodda (Fig 3.22). Durant la période 2004-2014 un volume de 6.96 Mm³ a été piégé dans la cuvette du barrage Koudiat Rosfa.

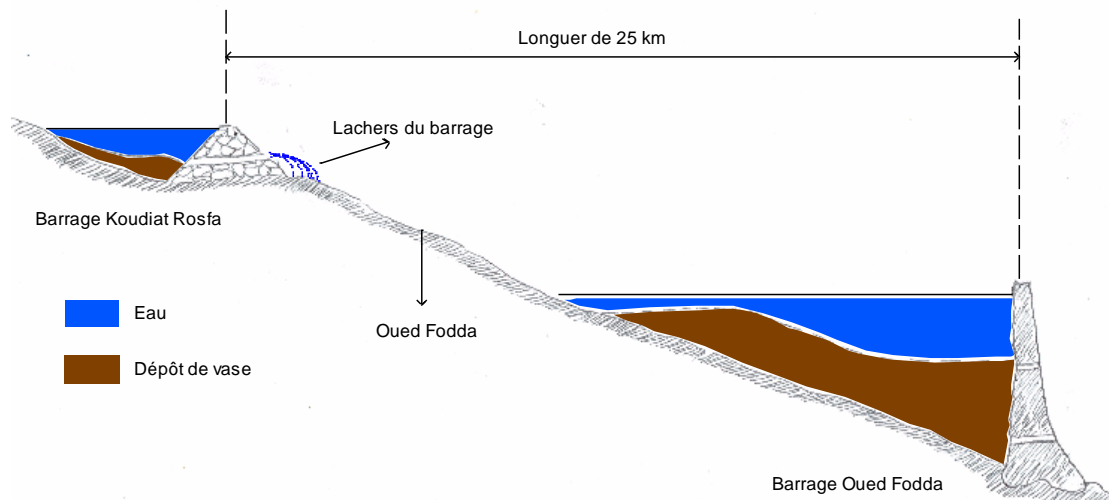


Figure 3. 23 : situation de barrage Koudiat Rosfa à l'amont du barrage Oued Fodda

Cette quantité sensée se dépose dans le lac d'Oued Fodda, finalement a été retenu par le barrage de décantation.

En se basant sur le critère de la vitesse de comblement [43] le barrage Koudiat Rosfa est classé comme un barrage moyennement a fortement menacé par l'envasement (Tableau 3.4)

Tableau 3. 4 : Classe de barrage Koudiat Rosfa

Période	η (%/an)	W_v / W_0 (%)	Observation
2004- 2014	0.95	9.53	Barrage moyennement a fortement menacé par l'envasement

3.8. La durée de vie de barrage Oued Fodda

La durée de vie du barrage diminue avec les dépôts successifs des sédiments, cependant la réalisation du barrage Koudiat Rosfa en amont peuvent augmenter la durée de vie de barrage Oued Fodda. La dure de vie augmente de 62 ans jusqu'au 242 ans, conséquent du la réalisation du barrage Koudiat Rosfa en amont.

$$T = \frac{W}{\tau}$$

Où

w = capacité du barrage

T = la durée de vie

τ =le taux d'envasement

$$T = \frac{96.79}{0.4} = 241.9 = 242 \text{ ans}$$

Cette durée de vie lié à la survie de la durée de vie de barrage Koudiat Rosfa, qui a été estimé de 90 ans (capacité en 2109 est de 57.24 Mm³). Selon ce résultat on peut dire que tous les sédiments arrivent jusqu'à le lac du barrage Oued Fodda après ses 90 ans (année 2109). Le taux d'envasement retournera à sa ancienne valeur (1.66 Mm³/an) après 2109, on calculant la durée de vie après cette année on trouve que année 2143 c'est l'année de mort de barrage Oued Fodda. Alors la durée de vie du barrage Oued Fodda est de 124 ans

$$T = \frac{57.24}{1.66} = 34.48 = 34 \text{ ans}$$

2.9. Conclusion

Le grand problème qui dérange le barragiste est de savoir comment maintenir les barrages le plus longtemps possible, la réalisation du barrage Koudiat Rosfa prouve le succès de l'idée de barrage de décantation en amont.

La réalisation du barrage Koudiat Rosfa en amont dégrade le classement du barrage Oued de Barrage moyennement menacé par l'envasement a Barrage faiblement menacé par l'envasement, et prolonge sa durée de vie a 125 ans au lieu de 62ans (sans le barrage de décantation).

Conclusion générale

Notre travail porte sur l'une des plus dangereux problèmes qui affecte l'infrastructure du barrage Oued Fodda, à savoir l'accumulation du dépôt vaseux qui arrive par le courant de densité dans le lac du barrage d'Oued Fodda. La maîtrise de lutte contre l'envasement constitue un centre d'intérêt d'actualité vers lequel convergent plusieurs approches. Toutefois, le caractère aléatoire et imprévisible de phénomène de courant de densité rendrait souvent la tâche ardue et fastidieuse. La maîtrise de mécanisme de courant de densité permet de mieux comprendre le phénomène de l'envasement, et cela dans le but d'évacuée ce courant de densité par les pertuis de vidange, par l'ouverture des vannes de dévasement. Dans le cas de blocage des pertuis de vidange, la réalisation d'un barrage de décantation en amont reste une origine solution pour réduire l'envasement.

L'étude que nous avons menée est scindée essentiellement en trois parties. Dans la première, nous nous sommes intéressés à décrire l'aspect théorique (processus, problème et les moyennes de lutte) de l'envasement. Par ailleurs, nous avons évoqué l'envasement dans le monde et les pays du grand Maghreb (l'Algérie, le Maroc et la Tunisie) et son état actuel de de l'état l'envasement des barrages.

La deuxième partie a pour objet de présenter la zone d'étude de 800 Km² et ses caractéristiques (le climat et la pluviométrie), ou on a cité les deux barrages dans le périmètre de bassin versant d'Oued Fodda. On a présenté chaque barrage séparément (Oued Fodda et Koudiat Rosfa) par la délimitation de périmètre, caractéristiques et une partie historique, avec une vision sur les problèmes ce que face à ces 2 barrages et l'état de capacité.

Dans la troisième et la dernière partie, nous avons fait une aperçue sur le mécanisme du courant de turbidité et l'effet de soutirage de courant de densité par les pertuis de vidange. Et nous avons étudié l'évolution de l'envasement suivant la hauteur et le temps et on a classé le barrage d'oued Fodda qui été classé comme un barrage moyennement menacé par l'envasement durant 1986-2004 et dégrade à un barrage faiblement menacé par l'envasement durant 2004-2019 conséquent de l'effet du barrage de Koudiat Rosfa. Le barrage Koudiat Rosfa démontre le succès du la choisir de réalisation de barrage en amont en surélévation de la digue. Ou la durée de vie de barrage d'Oued Fodda augmente de 62 ans jusqu'aux 125 ans.

Référence bibliographique

- [1]. Sabah Touahir, Abir Asri, Boualem Remini et Hamoudi Saad, Prédiction de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Zeddine et de l'envasement du barrage Ouled Mellouk (Nord-Ouest algérien), 2017, p. 167-182
- [2]. M^{elle} BENAHMED Halima. Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de kramis dans le domaine de génie civil, thèse de MAGISTER 2015.112p
- [3]. Remini B & Bensafia D, 2016, " Envasement des barrages dans les régions arides : exemples Algériens". Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°27, (Sept 2016), pp. 63-90
- [4]. REMINI B., 1990. Etude hydrodynamique du mécanisme de l'envasement. Thèse de Magister. E.N.P, juin ,100 pages.
- [5]. Cheggour A., " Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des S.I.G. : Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc ", Thèse de doctorat, (Juin 2008), 204p.
- [6]. A. Bouzid, L'expérience de la Tunisie dans la protection des sols et des barrages. Séminaire national sur l'érosion et l'envasement des barrages, Alger, 1991.
- [7]. B. Touaibia, Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Sécheresse 21(2010), pp. 1-6.
- [8]. SADIKI A., BOUHLASSA S., AUAJJAR J., FALEH F & MACAIRE5 J.J., " Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab", Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre n°26, (2004), 69-79
- [9]. BENKAC S, IMPACT DU TRANSPORT SOLIDE SUR L'ÉVOLUTION DES DÉPÔTS VASEUX DANS LES BARRAGES, THÈSE DE DOCTORAT, 2017, 164 p
- [10]. Rapport final, "Gestion sédimentaire du Haut-Rhône français, Comité Technique Franco-Suisse sur la Gestion Sédimentaire Du Rhône Genevois et du Haut-Rhône Français", DR-B 13-0764d, Octobre 2014, 135p.
- [11]. Couvert, B. Lefort, Ph, Peiry, J.L., Belleudy, Ph., "La gestion des rivières- Transport solide et atterrissements". Guide méthodologique, les études des Agences de l'Eau, n°65, (1994).
- [12]. Malavoi J.R; Garnier, C.C; Landon, N; Recking, A; Baran, P. "Éléments de connaissance pour la gestion". Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), (2012).
- [13]. KOULINSKI V. "Diagnostic morphodynamique et plan de gestion du transport solide du bassin versant de l'Isère en amont de la confluence avec l'Arly", Résumé, S.A.R.L. Eaux Torrents et Rivières de Montagne (E.T.R.M.), Février (2009), 14p.
- [14]. NIVET A. C., "Caractérisation du transport solide en ravine et cours d'eau permanent". CEMAGREF – UR AEMA, Site atelier de la baie du Robert (20072009), Unité de Recherche « Agriculture et espace insulaire ».
- [15]. Probst, J. L., et Amiote Suchet, P., "Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb". Hydrol. Sci. J. 37, (1992), pp. 621-637.

- [16]. Degoutte, G., "Aide-mémoire d'hydraulique à surface libre". Cours à L'Institut de sciences et industries du vivant et de l'environnement. AgroParisTech, France, (2001).
- [17]. REMINI B, L'ENVAISEMENT DES BARRAGES : QUELQUES EXEMPLES ALGERIENS, pp 165.171.
- [18]. NETO M., 2007 scenarios de gestion de boues de dragage de cours d'eau : rôle des bactéries dans la mobilité des polluants métalliques. Thèse doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Lyon.
- [19]. Prolhac N. et Lann K., 2006. Rapport final du schéma directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de la Gironde. Bassin d'Arcachon.
- [20]. REMINI B., 2008. La surélévation des barrages – une technique de lutte contre l'envasement- Exemples algériens. Revue La Houille Blanche, n°5.
- [21]. REMINI B., HALLOUCHE W., et Achour B., 2009. Chapitre 08 L'Algérie : plus d'un siècle de désenvasement des barrages. Ouvrage intitulé : Etat des ressources en eau au Maghreb en 2009, édité par UNESCO Office in Rabat, pp. 123-142
- [22]. <https://knoema.fr/atlas/topics/Eau/Capacit%C3%A9-des-barrages/Capacit%C3%A9-totale-des-barrages>
- [23]. A OUALLALI et al, Evaluation et cartographie des taux d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued arbaa ayacha (rif occidental, nord Maroc) ,2016, pp 65-79
- [24]. <https://www.iaea.org/ar/newscenter/news/>
- [25]. Chanson H. and James D.P. (2005): Siltation of Australian Reservoirs: Some Observations and Dam Safety Implications. Department of Civil Engineering, The University of Queensland, Brisbane QLD 4072, Australia, www.iahr.org/membersonly/grazproceedings99/doc/000/.../086.htm
- [26]. Chanson H. (2008): Extreme Reservoir Siltation: A Case Study, www.uq.edu.au/~e2hchans/res_silt.html
- [27]. Dendy F. E, Champin W. A and Wilson R. B. (1973) Reservoir Sedimentation Surveys in the United States. In William C. Ackermann et al. (eds). op.cit., p.353.
- [28]. USCOLD Newsletter No. 69, November 1982; p. 15. Quoted by Philip Williams, Damming the World. Not Man Apart, p. 11.
- [29]. The State of Indias Environment, (1982). Centre for Science and Environment, New Delhi, pp. 62-63.
- [30]. Louis M G. (1973) Summary: Sedimentation of Reservoirs. In William C. Ackermann et al. (eds), Man Made Lakes, their Problems and Environmental Effects. American Geophysical Union, Washington DC, p.343.
- [31]. REINWARTH B et al, inferring mean rates of sediment yield and catchement erosion from reservoir siltation in the Kruger nation park: an uncertainty assessment,2019, p 13

- [32]. Agence Du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez, A.B.H. “ Cadastre hydraulique du bassin hydrographique du Cheliff- Aval du barrage de Boughzoul”, (2004), 62p.
- [33]. AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET TRANSFERTS /1ER TRIMESTRE 2018, barrage oued fodda, pp 142.145
- [34]. Le barrage d’Oued Fodda, Agence du Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez. Available from <http://www.abhcz.com.dz/Eau/barrages/brgouedfodda.htm>
- [35]. REMINI B., HALLOUCHE W., “ Evolution de l’envasement du barrage de l’Oued El Fodda ”. Revue Eau énergie air, n°1, (Avril 2007a), 75-78.
- [36]. Mehaiguene M., “ Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez ”, thèse de Magister, (2005), 141p
- [37]. Monographie du barrage de l’Oued Fodda
- [38]. Rapport technique de barrage Oued Fodda 2019
- [39]. Rapport technique de barrage Oued Fodda 2004
- [40]. AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET TRANSFERTS /1ER TRIMESTRE 2018, barrage Koudiat Rosfa, pp 70.73
- [41]. REMINI B., BENSALIA D., NASROUN T. (2015). Impact of sediment transport of the Chellif River on silting of the Boughezoul reservoir (Algeria). Journal of Water and Land Development. 2015, n° 24, pp.35–40. DOI: 10.1515 /jwld-2015-0005
- [42]. REMINI B., HALLOUCHE O. (2005). Prévion de l’envasement dans les barrages du Maghreb. Larhyss Journal, n° 4, pp.69-80.
- [43]. REMINI B, OUIDIR K. Déc. 2017. LE BARRAGE RESERVOIR D’ERRAGUENE (ALGERIE) : UNE EXPERIENCE DE PLUS D’UN DEMI-SIECLE DANS LE SOUTIRAGE DES COURANTS DE DENSITE. Larhyss Journal, n°32, pp. 213-244
- [44]. REMINI B. (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique de soutirage. Thèse de Doctorat d’état en Hydraulique. Ecole Nationale Polytechnique d’Alger, Juin, 342 p.
- [45]. REMINI B., BOUABIBSA R., MOUDJED K. Juin 2019. BENI HAROUN ET KOUDIAT ACERDOUNE (ALGERIE) : DEUX GRANDS BARRAGES ALGERIENS MENACES PAR LE PHENOMENE DE L’ENVASEMENT. pp. 131-151