

# MOYENS DE LUTTE POUR LA PREDICTION L'ENVASEMENT DES RETENUES DE BARRAGES D'OUIZERT, BOUHANIFIA ET FERGOUG

Mekerta Belkacem<sup>1</sup>, Semcha Abdélaziz<sup>1</sup>, Sadok Abdelfeteh<sup>2</sup>, Guessas Habib<sup>3</sup>, Rahmani Mohamed Chérif<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculté des Sciences et de la Technologie, Université d'Adrar, Algérie ; <sup>2</sup>Ecole des Mines de Douai, Département de Génie civil, France ; <sup>3</sup>Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, Algérie

## RESUME

La conséquence la plus dramatique de l'érosion accentuée dans les pays semi- arides est sans doute la perte des volumes utiles de stockage de l'eau. Dans les travaux de recherches menés, nous proposons dans cette étude trois retenues de barrages envasés, nous nous sommes intéressés au barrage d'Ouizert qui se trouve en amont des barrages de Fergoug et Bouhanifia. Ces trois barrages situés dans la wilaya de Mascara, sont disposés en succession avec un taux d'envasement alarmant. Le barrage de Ouizert en amont (mise en eau en 1986) est le moins envasé avec 10,2% environ de la capacité globale qui est de 100 Mm<sup>3</sup>, il suit le barrage de Bouhanifia (construit en 1937) avec une capacité de 73,1 Mm<sup>3</sup>, il est envasé à 54% et finalement le barrage de Fergoug (construit en 1865 et reconstruit au cours des années 1967 à 1969) en aval qui est complètement envasé à plus de 95% de sa capacité globale de 17 Mm<sup>3</sup>. Parmi un des moyens de lutte contre l'envasement des barrages, est la connaissance de la dynamique morpho sédimentaire des cours d'eau.

*Mots clés : Retenues de barrages ; envasement ; analyse morphologique ; moyens de curage, valorisation des sédiments*

## INTRODUCTION

Devant l'ampleur du transport solide des sédiments dans les retenues de barrages, l'Agence Nationale Algérienne des Barrages et Transfert (ANBT) a inscrit dans son plan d'action des études de protection des sols et de réduction de l'envasement de barrages en cours d'exploitation, ainsi ceux qui sont en voie de construction en Algérie. Il faut proposer des stratégies destinés à réduire l'érosion des sols afin de prolonger la durée de vie des barrages.

Les trois barrages étudiés d'Ouizert, Bouhanifia et Fergoug ont incité les gestionnaires à prendre connaissance de la nature des sédiments accumulés au niveau des retenues pour proposer des solutions de dragage, de stockage et de valorisation. La Figure 1 montre une vue aérienne de la région d'étude.

## BARRAGE DE FERGOUG

Douze sondages profonds de 6 à 28 m présentés sur la Figure 2, ont été exécutés sur les principaux affluents et jusqu'au pied du barrage de Fergoug sur une distance de 2 Km environ [1], [2], [3] et [4]. Une caractérisation géotechnique des propriétés physiques et mécaniques des sédiments permettra de tracer une carte de zonage des points sensibles dans la retenue à draguer et les méthodes de curage

adéquates.



Fig. 1 Vue aérienne de la région d'étude, barrages d'Ouizert, Bouhanifia et Fergoug [9].

Nous montrons sur la Figure 3 les trois familles granulométriques rencontrées au niveau de la retenue du barrage de Fergoug. La famille I représente un peu plus de 85% des analyses, il s'agit d'argiles sablo-limoneuses ; la famille II représente environ 5% des échantillons : il s'agit d'argiles sablo-graveleuses et la famille III représente près de 10% des échantillons : il s'agit de sables argilo-graveleux.

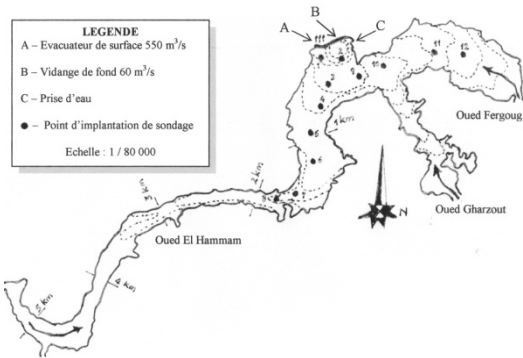


Fig. 2 Plan d'ensemble du barrage de Fergoug, implantation des 12 sondages.

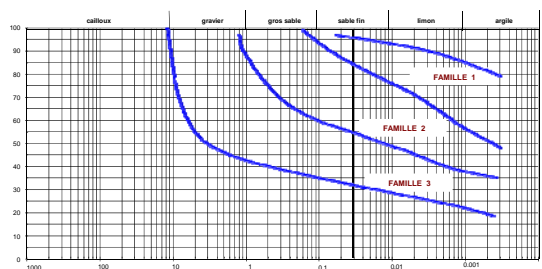


Fig. 3 Familles granulométriques.

### BARRAGE DE BOUHANIFIA

Le dragage prévu du barrage de Bouhanifia est estimé à 6 Millions de m<sup>3</sup>. Les opérations de dragage ont débuté en juin 2013. Le stockage des sédiments a nécessité la construction de 9 bassins de décantation. Le dragage actuel en janvier 2016 est estimé environ à 1200.000 m<sup>3</sup> (voir Photo 1).



Photo. 1 Construction de 9 bassins de décantation.

### BARRAGE DE OUIZERT

La Figure 4 montre la jonction du barrage de Ouizert au barrage de Bouhanifia par l'intermédiaire de l'oued Sahouet. L'envasement du barrage de Ouizert est estimé à 10,2 % de la capacité initiale du barrage, soit un volume de vase estimé à 10,2

Millions m<sup>3</sup>. Il est nécessaire de trouver des solutions radicales pour réduire l'envasement du barrage de Ouizert à l'avenir.



Fig. 4 L'oued Sahouet relie le barrage de Ouizert au barrage de Bouhanifia [9].

### MAINTENANCE DES RETENUES DE BARRAGE ENVASÉS

Les moyens mis en œuvre pour la protection des sols contre l'érosion et les procédés de lutte contre le phénomène de l'envasement des barrages en Algérie se sont révélés insuffisants. La lutte contre la sédimentation au niveau de la retenue est conditionnée par trois questions :

- Quelles sont les dispositions constructives à adopter lors de la conception du barrage ?
- Comment gérer et exploiter la retenue ?
- Comment assurer la maintenance des organes du barrage ?

Les processus d'envasement et de désenvasement ne sont pas faciles à prédire, puisqu'ils sont sous la dépendance de trois facteurs importants et liés à :

- L'évolution des débits (liquide et solide) ;
- La variation morphologique des cours d'eau ;
- Les variations des caractéristiques physico-mécaniques des sédiments dans la retenue ;
- Le plan de gestion du barrage.

Afin d'assurer la maintenance des barrages, le dragage est alors nécessaire pour récupérer la perte de volume de stockage par envasement.

Il est important d'étudier le fonctionnement morpho sédimentaire des différents cours d'eau qui alimentent les retenues de barrages, dans le but de localiser la zone productrice de sédiments. Le tableau 1 décrit réellement le volume des sédiments estimé à 200 Millions de m<sup>3</sup>.

Tableau 1 Pourcentage d'envasement des barrages.

Barrage	Capacité initiale Millions de m <sup>3</sup>	Capacité actuelle Millions de m <sup>3</sup>	Pourcentage d'envasement
Ouizert	17	0,85	95
Bouhanifia	73,1	39,47	54
Fergoug	100	89,8	10,2

### ETUDE HYDRO MORPHOLOGIQUE DES AFFLUENTS DU BARRAGE DE BOUHANIFIA

Dans le but d'avoir des orientations de valorisation et de gestion des cours d'eau en amont du barrage de Bouhanifia, il a été utile de faire un bilan hydro morphologique des affluents dans leur environnement à l'état réel [5]. Les différents paramètres étudiés des cours d'eau, à savoir la pente moyenne, les coefficients de sinuosité et la nature des échantillons prélevés ; ont montré que la zone productrice de sédiments est situé à l'oued Taria et son prolongement au niveau de l'oued Aine Fekane. Ces oueds nécessitent des interventions de maintenance et d'entretien [6], pour minimiser l'érosion et par conséquent contribuer à l'entretien en aval du barrage de Bouhanifia contre l'envasement.

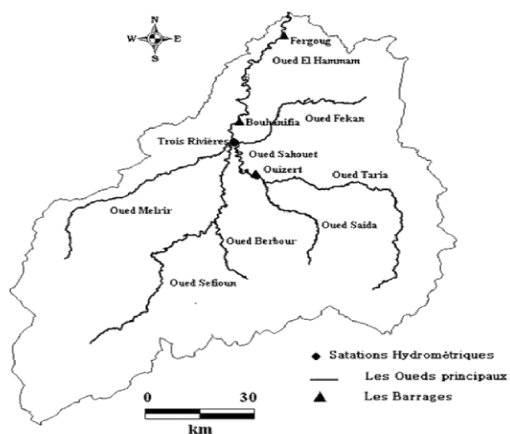


Fig. 5 Fusion des différents oueds.

Nous nous sommes aussi intéressés à décrire les caractéristiques physico-chimiques des sédiments d'envasement prélevés le long de l'oued El Hammam en amont du barrage de Bouhanifia jusqu'au confluent des trois rivières (voir Figure 5).!!! Les différents essais ont été réalisés sur dix (10) échantillons de vase prélevés au niveau des rives [7] (voir figure 6).



Fig. 6 Délimitation des zones de prélèvement.

Les échantillons prélevés sont des sédiments fins de type sableux, limoneux, argileux avec une proportion faible de graviers fins. On a pu définir quatre zones distinctes où on trouve en moyenne les mêmes caractéristiques des échantillons pour les zones 1, 3 et 4 (sédiments sableux peu limoneux et peu graveleux) ; et la zone 2 caractérisée par une concentration des particules argileuses au niveau de l'embouchure (Zone 1 : échantillons S2, S8 et S9 ; Zone 2 : échantillons S1.1, S1.2 et S7) ; Zone 3 : échantillons S3 et S6 ; Zone 4 : échantillons S4 et S5). Cette fluctuation d'état est fonction de la morphologie du cours d'eau qui est du type méandre et de la variation saisonnière de la dynamique sédimentaire des particules entraînées par les crues. On remarque une concentration de particules argileuses au niveau de l'embouchure qui est justifié par la diminution de la vitesse de l'écoulement qui favorise la décantation des sédiments fins. Par contre pour les autres prélèvements constituant un écoulement libre, on constate une accumulation de sédiments sableux peu limoneux et peu graveleux.

### VALORISATION DES SEDIMENTS D'ENVASEMENT

Les opérations de dragage génèrent des quantités importantes de vase, celles-ci nécessitent des solutions de gestions appropriées. On remarque que la nature des sédiments change d'un endroit à un autre [1]. Parmi les travaux réalisés, on s'est intéressé à la valorisation des sédiments d'envasement du barrage de Fergoug en technique routière. Les résultats trouvés montrent de réelles perspectives dans les couches de base par traitement aux ajouts à la chaux et au ciment à différents pourcentages [8], il s'agit des échantillons de la famille 1 (voir figure 3).

Une autre piste de valorisation de ces sédiments paraît très intéressante dans le confinement des déchets qui se fait dans des centres spécialisés appelés Centre de Stockage des Déchets « CSD », avec une attention particulière à la garantie d'une haute protection de l'environnement. On cite les travaux suivants [9] et [10]. La perméabilité d'une barrière argileuse est le paramètre fondamental pour

le C.S.D., qu'elle soit barrière d'étanchéité de fond ou barrière semi-étanche de couverture. La barrière passive est le dispositif curatif en cas de défaillance de la barrière active [11]. Elle est réalisée généralement par un matériau de nature argileuse, qui doit satisfaire aux différents critères exigés à savoir ; la perméabilité, l'ouvrabilité... etc. Ces sédiments consistent à l'élaboration d'une barrière argileuse imperméable ouvragée pour un CSD.

Des échantillons ont été prélevés dans (04) points répartis en aval de la retenue du barrage de Ouizert à des distances variables à proximité de la vanne de vidange, comme indiqué sur la Photo 2 (couleur rouge). Le choix de la localisation près de la vanne de vidange a été retenue par le fait que les particules les plus fines se trouvent concentrées à dans cet endroit.

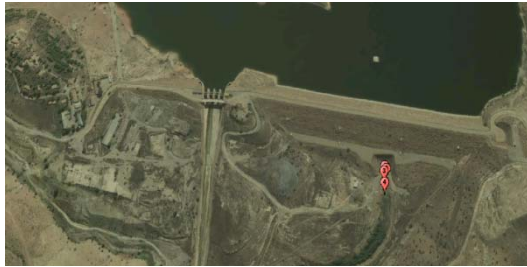


Fig. 7 Points de prélèvement des sédiments en aval du barrage.

Selon les propriétés physiques habituelles, nos sédiments sont classés comme des limons argileux peu plastiques faiblement organiques. Les caractéristiques à l'optimum Proctor normal sont :  $\gamma_{dopt}=15 \text{ kN/m}^3$ , correspondant à une teneur en eau optimale  $W_{opt}=25\%$ . Les paramètres de l'essai oedométrique sont :

- contrainte de préconsolidation  $\sigma'_{pc} = 400 \text{ kPa}$  ;
- indice de compression  $C_c \approx 0,40$  ;
- indice de gonflement  $C_g \approx 0,03$  ;
- coefficient de consolidation  $C_v = 8.10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Le comportement en cisaillement directe a pour valeurs la cohésion  $C=29 \text{ kPa}$  et l'angle de frottement interne  $\phi=8^\circ$ .

Quant à la perméabilité à l'eau qui est le paramètre fondamental pour une barrière de CSD, mesurée en cellule triaxiale à l'optimum Proctor + 2,5 %, est estimé environ à  $2,27.10^{-10} \text{ m/s}$  ; cette valeur satisfait largement la perméabilité exigée.

L'étude expérimentale a permis de conclure que les sédiments de dragage du barrage de Ouizert peuvent être utilisés à l'état brut avec simple traitement mécanique, comme matériaux de substitution pour la construction de la barrière passive d'un CSD, dont le substratum naturel ne satisfait pas aux exigences réglementaires pour l'implantation d'un CSD.

Pour une comparaison et dans le même contexte, nous nous sommes intéressés à déterminer la perméabilité d'un sol argileux limoneux plastique provenant d'une roche sédimentaire nommée argile de Saida (Algérie). La perméabilité a été mesurée au lixiviat naturel provenant d'un CSD utilisé pour l'enfouissement des déchets ménagers. Les caractéristiques de l'optimum Proctor modifié sont :  $\gamma_{dopt}=18,2 \text{ kN/m}^3$ , correspondant à une teneur en eau optimale  $W_{opt}=19\%$ . Le Tableau 2 montre les différentes valeurs de la perméabilité à l'eau et au lixiviat avec deux chargements à 125kPa et 250kPa.

Tableau 2 Résultats des essais de perméabilité à l'eau et au lixiviat.

Perméabilité à l'eau (m/s)		Perméabilité au lixiviat (m/s)	
125 kPa	250 kPa	125 kPa	250 kPa
$4,09. 10^{-9}$	$3,25. 10^{-9}$	$5,80. 10^{-9}$	$0,76. 10^{-9}$

La perméabilité diminue avec l'augmentation de la charge pour les deux (02) liquides, ce qui est normale puisque l'indice des vides diminue.

Des essais de compactage de l'argile de Saida ont été effectués en fonction de (03) dosages de bentonite à savoir 1, 2 et 3%. Dans cette série, trois (03) essais de perméabilité à l'eau ont été effectués sur l'argile en fonction du pourcentage d'ajout de la bentonite. Le tableau 3 montre les différentes valeurs de la perméabilité.

Tableau 3 Valeurs du coefficient de perméabilité K à l'eau en fonction du pourcentage de bentonite.

Bentonite (%)	0	1	2	3
K (m/s)	$4,09. 10^{-9}$	$0,20. 10^{-9}$	$0,085. 10^{-9}$	$0,047. 10^{-9}$

La baisse la plus importante du coefficient de perméabilité est enregistrée de 0 à 1% de bentonite.

On remarque que ce soit les sédiments qui proviennent du dragage des barrages (Fergoug, Bouhanifia et Ouizert) ou aussi les gisements d'argile de Saida, sont à utiliser dans les barrières passives des CSD avec l'obligation de respecter les normes d'utilisation.

## PREVISION DE L'ENVAISEMENT DU BARRAGE DE BOUHANIFIA

La prévision de l'envasement est indispensable dans l'étude de la faisabilité d'un barrage, car elle



permet la prédétermination de son volume mort. Plusieurs formules ont été utilisées pour la prévision des dépôts sédimentaires dans une retenue de barrage par comparaison avec les levées bathymétriques mesurés. La formule la mieux adaptée a permis de prédire l'envasement du barrage de Bouhanifia en 2062 en millions de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>), [5] et [12], en Référence à "Eq. (1)".

$$\text{Tenv \%} = 1,6228 \, t^{0.8707} \quad (1)$$

T : Taux d'envasement

t : Nombre d'années d'exploitation

Le Tableau 4 représente l'estimation de l'évolution de l'envasement du barrage de Bouhanifia en fonction du temps.

Tableau 4 Evolution de l'envasement en fonction du temps du barrage de Bouhanifia.

Année	1948	1955	1975	1986	2012	2062
Envasement mesuré en Mm <sup>3</sup>	0	12	20	23	/	/
Envasement calculé en Mm <sup>3</sup> "Eq. (1)"	0	13	16	28	45	73

On remarque que l'envasement prend de l'ampleur d'année en année, jusqu'à un comblement total en 2062, pour un volume d'eau total du barrage de 73Mm<sup>3</sup>.

## CONCLUSIONS

La particularité des trois barrages étudiés est que la progression de leurs envasements est progressive d'année en année. Ce diagnostic remet en cause les méthodes de lutttes envisagées jusqu'à présent. Nous avons pu localiser les zones productrices des sédiments en étudiant la morphologie des cours d'eau. Les moyens de lutte existent mais elles demandent des stratégies de réflexion sur le terrain.

La valorisation des sédiments de dragage est une alternative à leur élimination par des procédés simples mais onéreux. La valorisation des sédiments permet de réduire indirectement le coût des opérations de dragage et converge vers l'optique de l'écologie industrielle.

Les perspectives d'études nous incitent à développer un programme de recherche complémentaire, à savoir :

- la création d'une base de données récente d'ordre topographique, granulométrique, hydrologique et morphologique des différents bassins versants des retenues de barrage ;

- modélisation hydro sédimentaire, afin de mettre en œuvre des méthodes d'intervention de maintenance et d'entretien des cours d'eau.

## REFERENCES

- [1] MTPC (1970), Direction de l'hydraulique du Ministère des Travaux Publics et de la Construction, Algérie. Note sur l'état en 1/1/1970 des études et réalisations pour la lutte contre l'envasement des barrages Algériens, Agence Nationale des Barrages, et Transfert (ANBT) 30 p.
- [2] Mekerta B, Semcha A, Bendaoud M, Troalen JP. Caractérisation et répartition spatiale des propriétés géotechniques des sédiments d'envasement de la retenue du barrage du Fergoug. Colloque International sur Les Sols et Matériaux à Problèmes (SOMAPRO 2007), Tunis du 9 au 11 Février 2007, pp. 79-86.
- [3] Mekerta B, Semcha A, Rahmani F, Troalen JP. Erosion spécifique et caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments du barrage de Fergoug. X<sup>èmes</sup> Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Tome 1, Sophia Antipolis France, 14-15 et 16 octobre 2008, pp. 135-144.
- [4] Rahmani F, Semcha A, Rahmani F, Troalen JP. Analyse statistique par cokrigage de la cohésion non drainée des sédiments d'envasement du barrage de Fergoug et méthodes de dragage. 1<sup>er</sup> Symposium Méditerranéen de Géoengineering, Volume 1 Thème 1, Alger les 20 et 21 juin 2009, pp. 47-54.
- [5] Guessas H. Maintenance du barrage de Bouhanifia par une analyse morpho-sédimentaire de l'affluent principal. Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Algérie, 2013, 132p.
- [6] Morin E. Restauration des berges, guide des bonnes pratiques, Bassin versant Saint Maurice, 2003, 59 p.
- [7] Sidahmed M. Maintenance et réhabilitation du barrage de Bouhanifia vis-à-vis du transport solide. Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Algérie, 2013, 120p.
- [8] Benaissa A. Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de Fergoug. Application en Technique routière. Mémoire de magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Algérie, 2008, 112p.
- [9] Sadok A. Maintenance du barrage de Ouizert dans la gestion des sédiments d'envasement et dans la réalisation d'un Centre de Stockage de Déchets (CSD). Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran Algérie, 2013, 140p.
- [10] Rahmani C. Durabilité et Maintenance des Fondations d'un centre de stockage de déchets vis-à-vis des sollicitations de service. Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran, Algérie, 2014, 105p.

[11] Sadok A, Mekerta B. Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de Ouizert (Algérie) dans la réalisation d'une barrière passive d'un centre de stockage de déchets, *Revue Mines et Carrières.*, vol. Hors série, n°203, 2013, pp.108<sup>s</sup> 115.

[12] Remini B, Hallouche W. Prévion de l'envasement dans les barrages du Maghreb. *Larhyss journal*, ISSN 1112-3860, n° 4 Juin 2005, pp. 69-80