

ESTIMATION DE L'ÉROSION SPECIFIQUE SAISONNIERE ET VALORISATION DES SÉDIMENTS DE DRAGAGE : Cas particulier du barrage de Fergoug (Algérie)

B. Mekerta*⁽¹⁾, F. Kazi-Aoual⁽¹⁾, A. Semcha⁽¹⁾, A. Benaissa⁽²⁾, F. Rahmani⁽¹⁾

⁽¹⁾Laboratoire « LABMAT », Département Génie Civil, Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technologique (ENSET Oran), B.P. 1523 Oran El M'Naouer 31000, Algérie

⁽²⁾Université Mohamed Boudiaf des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), B.P. 1505 Bir El Djir Oran.

Résumé

La retenue du barrage de Fergoug est conditionnée par un envasement rapide. Les terrains vulnérables du sous bassin versant de l'oued Fergoug s'étendent sur 122 km² sur une superficie totale du bassin versant du barrage de 8340 km², font apparaitre une grande diversité des formations superficielles avec prédominance des sols argileux issus des formations marneuses. Le taux de l'érosion spécifique est passé à 160 T/km²/an à la suite d'une irrégularité annuelle des précipitations exprimée par la succession des années humides et sèches.

Les sédiments d'envasement qu'on retrouve en quantité considérable, ont été prélevés au pied du barrage au niveau de la rive droite et ont fait l'objet d'une étude de voie de recyclage. Dans le but de leur utilisation en technique routière, nous avons réalisé des essais de compactage à l'état naturel et l'étude de leurs performances mécaniques par ajout de liants hydrauliques, chaux et ciment à des pourcentages différents.

Mots clés : barrage de Fergoug, érosion, sédiments, envasement, technique routière.

Abstract:

The reserve of the Fergoug's dam is conditioned by a fast silting. The vulnerable grounds of basin area of the Fergoug river extend on 122 km² in a global basin area of the dam estimated as 8340 km², shows a great diversity of the superficial formations with prevalence of the clay soils resulting from the marls formations. The rate of specific erosion passed to 160 T/km²/year following an annual irregularity of precipitations expressed by the succession of the wet and dry years.

The sediments of silting found in considerable quantity, were taken at the foot of the dam near the right side and were submitted study of ways of recycling process. In view to their use in road engineering, we made tests of compaction in a natural state and a study of their mechanical performances using addition of hydraulic binders, lime and cement with different percentages.

Key words: Fergoug's dam, erosion, sediments, silting, road engineering.

1. INTRODUCTION

Le cas étudié du barrage de Fergoug est une illustration concrète des aires privilégiées de dépôt des matières solides érodées. En raison de la perte à grande vitesse de son volume utile [1], les gestionnaires du barrage ont fait recours aux opérations de dragage des sédiments. Le barrage en 1986 a subi un dragage de 10 millions de m³ de vase et depuis, le barrage continue de subir l'envasement. Dans ce cas, il est nécessaire de gérer ces déchets car ils constituent d'une part une contrainte pour l'environnement (une nuisance esthétique ou un danger toxique), et d'autre part un gisement de matières premières ou de matériaux à valoriser dans le bâtiment et travaux publics.

2. CAUSES DE L'ÉROSION DANS LE BARRAGE DE FERGOUG

L'envasement des retenues est lié directement aux phénomènes de l'érosion. Les conditions physiques, géomorphologiques, hydro climatiques et

socioéconomiques sont tous des facteurs qui favorisent le déclenchement et l'accélération du phénomène d'érosion. En Algérie 75% de la zone tellienne est constituée de formation *marneuse* qui se présente sous une structure fragile. Les pluies à caractère torrentiel favorisent et accélèrent l'érosion. Le couvert végétal est pratiquement inexistant sur les zones marneuses et argileuses qui caractérisent la totalité des bassins versants Algériens. Le couvert végétal ne joue pas le rôle de consolidation et de protection du sol. Les facteurs socioéconomiques sont liés aux activités de l'homme (déboisement, labour...).

Le barrage de Fergoug érigé en 1970 sur l'Oued EL Hammam dans la wilaya de Mascara (Algérie), résiste mieux aux apports liquides des crues, mais les particules solides se retrouvent piégées dans la cuvette et accélèrent ainsi l'envasement (voir photos 1 et 2). Le barrage emmagasinait en 2007 16,66 millions de m³ de vase soit 98% de sa capacité initi



Photo 1 : La digue et la cuvette du barrage de Fergoug [2]



Photo 2 : Etat d'envasement de l'oued El Hammam (Avril 2007)

3. ESTIMATION DE L'ÉROSION SPÉCIFIQUE SAISONNIÈRE DU SOUS BASSIN VERSANT (SBV) DE L'OUED FERGOUG

La zone concernée du SBV de l'oued Fergoug (voir figure 1), présente un relief très escarpé avec de fortes pentes supérieures à 0,5 sur une surface totale de 20,30 %. Les pentes supérieures à 0,25 concernent 35,31 % de la surface totale et le reste de la surface (61,53 %) présente une pente supérieure à 0,125 [3]. Les données des précipitations annuelles sur une période de 34 ans (1970 à 2003), pour les deux stations de Ghriss et de Matemore proches du SBV de l'oued Fergoug, ont permis d'estimer par les calculs l'érosion spécifique saisonnière du

mois le plus pluvieux de l'année pour chaque pente 0,50 ; 0,25 et 0,125 [4].

Les figures 2 et 3 montrent la variation de ce paramètre en fonction du relief de chaque pente du SBV en fonction de la pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux de chaque saison (Hiver, Automne et Printemps) pour les deux stations. D'après ces figures, on constate que le taux d'érosion est plus important en hiver (valeur maximale environ 160 T/km²/an) que l'automne (valeur maximale environ 140 T/km²/an) et le printemps (valeur maximale environ 40 T/km²/an) dans les deux stations, par contre l'été est la période de sécheresse qui prépare le sol pour la dégradation. On remarque aussi que l'érosion est influencée par l'augmentation des pentes dans toutes les périodes et au niveau des deux stations.

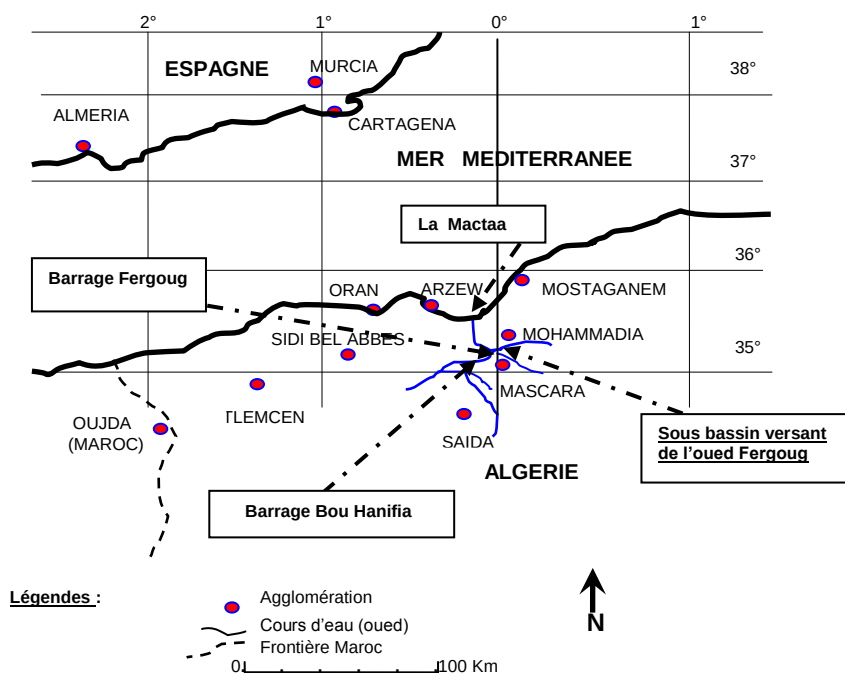


Figure 1 : Carte de localisation du sous bassin versant de l'oued Fergoug.

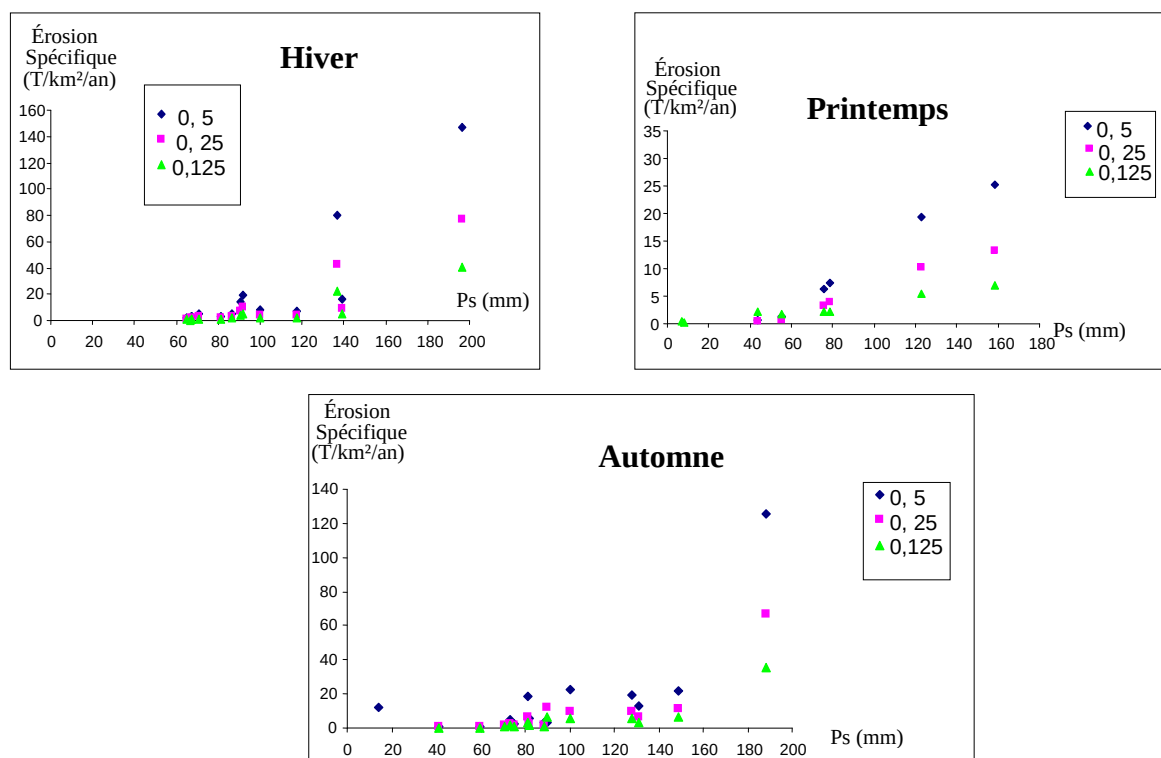


Figure 2 : Variation de l'érosion spécifique en fonction de la pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (1970-2003) de chaque saison (Station de Ghriss).

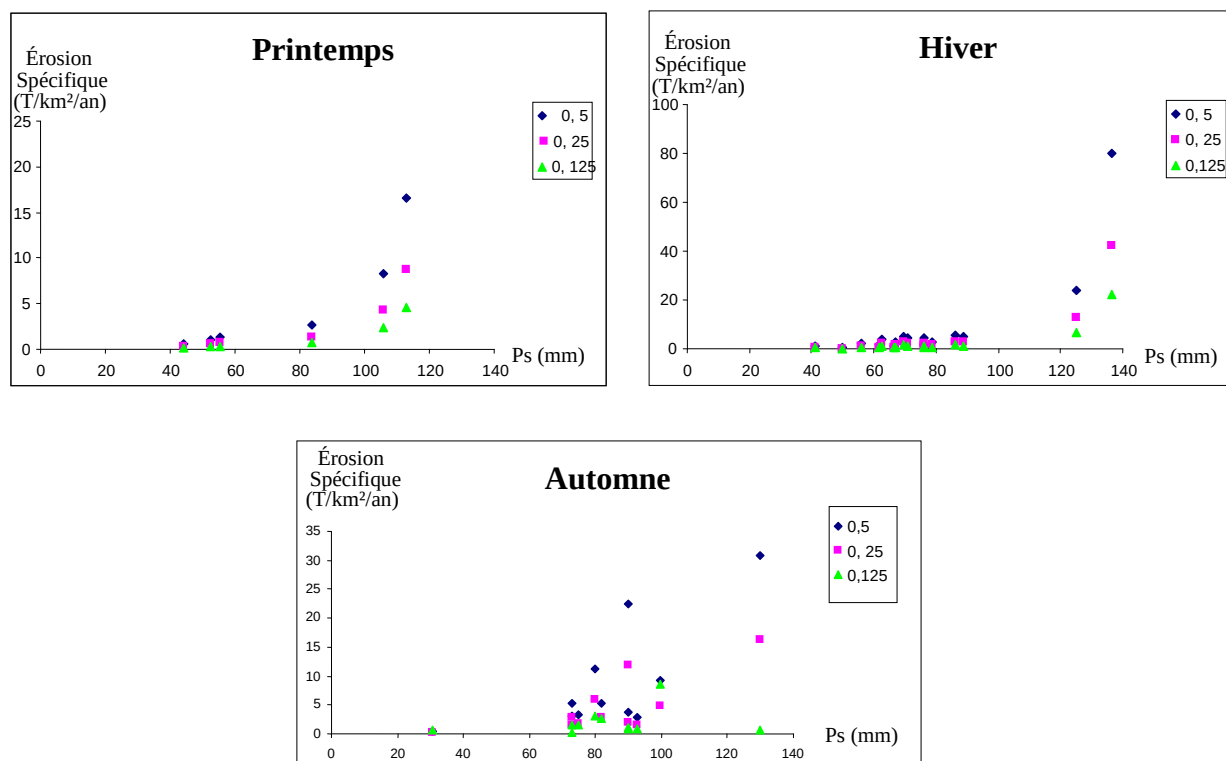


Figure 3 : Variation de l'érosion spécifique en fonction de la pluie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux (1970-2003) de chaque saison (Station de Matemore).

4. ETUDE DES VOIES DE RECYCLAGE DES VASES DRAGUÉES

5.

5.1. Description des matériaux

Nous nous intéressons à l'identification de notre vase dans des applications en génie civil notamment en technique routière. La géotechnique routière s'appuie sur un certain nombre d'essais communs avec la mécanique des sols et sur certains essais spécifiques qui permettent d'évaluer le comportement et les conditions de mise en œuvre des sols de la plate forme support de chaussée. D'un point de vue descriptif sommaire, les sédiments prélevés dans des sacs en plastique à l'aide d'une pelle, au pied du barrage à 50 mètres de la rive droite, se trouvent à l'état remanié et sont essentiellement constitués de particules fines de la taille des argiles. La description de l'état des matériaux est réalisée à partir des mesures des essais systématiques et des essais d'identification. Le tableau I regroupe l'ensemble des résultats, à savoir : W (teneur en eau lors du prélèvement), γ_s (poids volumique des grains solides), V_b (valeur de bleu), CaCO_3 (pourcentage de carbonate de calcium), MO (pourcentage de matières organiques), limites d'Atterberg W_L (limite de liquidité) et W_p (limite de plasticité),

$I_p = W_L - W_p$ (Indice de plasticité).

D'après la classification USCS (Unified Soil Classification System), en utilisant l'analyse granulométrique par sédimentométrie et les résultats des limites d'Atterberg, notre sol est une argile sablo-

limoneuse peu plastique. Nos échantillons représentent environ un peu plus de 85% des analyses des échantillons sur l'ensemble de la retenue du barrage de Fergoug [2].

Tableau I : Résultats des essais d'identification

W (%)	24,52
γ_s (kN/m ³)	25
V_b	5,5
CaCO_3 (%)	21,08
MO (%)	4,4
W_L (%)	34,28
W_p (%)	17,79
I_p (%)	16,49

5.2. Valorisation de la vase en technique routière

Avec une proportion en matière organique inférieure à 3 %, la vase étudiée est considérée comme un sol peu ou pas organique [5]. Du point de vue granulométrie, les matériaux se classent en rubrique des sols fins, noté classe A. La sous-classe peut être déterminée en fonction de l'activité argileuse (V_b) et du caractère plastique (I_p). La valeur au bleu et les limites d'Atterberg permettent d'identifier la vase comme la sous classe A_2 . Le guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme a indiqué que si l'indice de plasticité (I_p) est supérieur ou égale à 12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté. De ce fait, la vase étudiée du barrage de Fergoug se situe en sous classe A_2 . Dans le cadre de ce travail, les résultats de l'étude d'identification géotechnique permettent

de classer le matériau selon les critères Français en Technique Routière.

Les caractéristiques géotechniques de notre vase restent médiocres par rapport aux matériaux routiers conventionnés. Ceci nous amène à s'intéresser sur la stabilisation mécanique par compactage des vases à l'état naturel et traitement chimique avec différents dosages en chaux et en ciment qui permettent de valoriser ces nouveaux matériaux en technique routière.

4.2.1. Essais de compactage et de compression simple

Dans cette partie, nous avons étudié l'effet de la stabilisation de la vase par utilisation d'ajouts chimiques (chaux, ciment, chaux + ciment) sur les paramètres de l'optimum Proctor Normal (W_{opt} : teneur en eau optimale, γ_{dop} : poids volumique sec

optimum). Nous avons ensuite confectionné des échantillons compactés à l'optimum Proctor à l'état brut et traités avec différents pourcentages d'ajouts chimiques afin de déterminer les caractéristiques mécaniques en compression simple (R_c : résistance à la compression), en fonction du temps de conservation des éprouvettes à une température ambiante de 20°C (voir tableaux II et III).

Tableau II : Paramètres de l'optimum Proctor de la vase à l'état brut et par ajout de liants hydrauliques chaux (Ch), ciment (Ci) et chaux + ciment

Mélange	vase + 0% Ch	vase + 2% Ch	vase + 4% Ch	vase + 6% Ch	vase + 8% Ch
W_{opt}	17,73	19,05	19,57	19,03	20,96
γ_{dop} (kN/m ³)	17	16,8	16,3	16,2	16
Mélange	vase + 0% Ci	vase + 2% Ci	vase + 4% Ci	vase + 6% Ci	vase + 8% Ci
W_{opt} (%)	17,73	17,37	21,82	24,68	23,30
γ_{dop} (kN/m ³)	17	16,9	14,9	15	15,1
Mélange			vase + 6% Ch + 6% Ci		
W_{opt} (%) et γ_{dop} (kN/m ³)			$W_{opt} = 26$ % et $\gamma_{dop} = 15$ kN/m ³		

Tableau III : Valeurs des résistances à la compression simple de la vase à l'état brut et par ajout de chaux (Ch), ciment (Ci) et chaux + ciment en fonction du temps de conservation

Chaux (%)	R_c (im)	R_c (1 j)	R_c (7 j)	R_c (14 j)	R_c (28j)	R_c (90 j)	R_c (180 j)
0	0,82	0,75	0,79	0,79	1,06	1,54	3,99
2	1,08	1,07	1,08	1,20	1,23	1,50	2,77
4	1,02	1,06	1,26	1,27	1,34	1,90	2,17
6	1,04	1,16	1,16	1,26	1,42	2,47	2,17

8	0,92	1,01	1,11	1,03	1,42	2,77	2,33
Ciment (%)	Rc (im)	Rc (1 j)	Rc (7 j)	Rc (14 j)	Rc (28j)	Rc (90 j)	Rc (180 j)
0	0,82	0,75	0,79	0,79	1,06	1,54	3,99
2	1,20	0,92	1,19	1,30	1,23	2,02	3,35
4	0,40	0,40	0,55	0,46	0,51	0,79	1,11
6	0,43	0,75	0,79	0,83	0,96	3,00	1,82
8	0,32	1,07	0,99	0,99	1,30	2,84	3,24
Ch + Ci (%)	Rc (im)	Rc (1 j)	Rc (7 j)	Rc (14 j)	Rc (28j)	Rc (90 j)	Rc (180 j)
6% Ch + 6% Ci	0,45	0,67	0,92	1,32	2,13	2,59	/

Rc en Mpa, im (immédiat), j (jour)

4.2.2. Interprétation des résultats des essais

On constate que pour la vase sans traitement, il ya une augmentation réelle de la résistance en compression à 90 jours (1,54 Mpa) et que la croissance de la valeur est remarquable à 180 jours (environ 4 Mpa). Ceci montre que la vase à un comportement à long terme due à la diminution de la teneur en eau et à une nouvelle modification de la texture du matériau. Après un traitement à la chaux, on note un déplacement de l'optimum Proctor vers un poids volumique sec optimum plus faible et une teneur en eau optimale plus grande. On remarque que le traitement avec un dosage de 6 et 8% de chaux augmente la résistance à la compression Rc jusqu'à 90 jours, puis se stabilise. Pour un dosage de 6% de chaux, la valeur de Rc augmente considérablement, mais nous remarquons qu'à 180 jours, la résistance de la vase brute est supérieure par rapport à la vase traitée. Le ciment abaisse la valeur du poids volumique sec optimum atteinte et décale la position de l'optimum vers des teneurs en eau plus importantes. Il apparaît nettement que l'ajout de ciment améliore les performances mécaniques des vases. Cette croissance n'est pas proportionnelle à

la quantité de ciment ajoutée, ce qui prouve qu'il y a une perturbation du traitement. On remarque que les valeurs de Rc pour chaque dosage de ciment sont presque identiques jusqu'à 28 jours. Mais à partir de ce temps de conservation, il ya une évolution rapide des caractéristiques mécaniques atteignant 3 Mpa pour un traitement à 6% de ciment (t = 90 jours). En dernier, nous avons voulu comparer les résultats des essais par traitement à 6% de chaux + 6% de ciment. On note dans ce cas, une augmentation de la teneur en eau optimum et une diminution du poids volumique sec optimum. Par contre les valeurs de Rc augmentent avec la durée de conservation et ceci à partir de 28 jours.

6. CONCLUSION

L'estimation de l'érosion spécifique au niveau du SBV de l'oued Fergoug, montre réellement qu'une quantité considérable de vase est entraînée en temps de crue et par la suite déposée au niveau de la retenue du barrage.

Des opérations de curage sont nécessaires et génèrent un volume considérable de vase à prendre en charge. Il est donc nécessaire de rentabiliser ces matériaux issus des dragages dans le génie civil.

D'après notre étude, on constate que les performances géotechniques à l'état naturel de ces matériaux sont médiocres. L'amélioration des caractéristiques mécaniques de ces matériaux par ajout de chaux, ciment et chaux + ciment, a montré réellement une voie de valorisation possible en technique routière.

Nous retenons qu'il existe deux sortes de paramètres qui influencent le comportement mécanique de la vase traitée, un paramètre lié au durcissement et un second en relation avec l'état de la vase traitée. En comparant nos résultats par rapport aux travaux antérieurs [6], on constate que la vase traitée à la chaux 6 et 8%, présente une possibilité d'utilisation comme matériau de remblaiement.

7. 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, p 30.
- [2] Semcha A., 2006 « Valorisation des sédiments issus des dragages. Applications dans le BTP (cas de barrage algérien) » *Thèse de l'Université de Reims Champagne Ardenne*, p 171.
- [3] Bouchetata A., Bouchetata T., 2006 « Propositions d'aménagement du sous bassin versant de l'oued Fergoug (Algérie)

fragilisé par des épisodes de sécheresse et soumis à

l'érosion hydrique » *Sécheresse 2006*, 17 (3), pp. 415-424.

[4] Mekerta B, Semcha A, Rahmani F et Troalen J.P., 2008 « Erosion spécifique et caractérisation de la résistance au cisaillement des sédiments du barrage de Fergoug » *X^{èmes} Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier*, Tome 1 pp. 135-144, Sophia Antipolis France, 14-15 et 16 octobre 2008

[5] GTR, 1992 « Guide Technique pour la Réalisation des remblais et des couches de forme » *Fascicule I, principes généraux*, p 100.

[6] Bacot J., Kham kheoup A., 2005 « Essais de stabilisation de vases estuariennes à l'aide de liants hydrauliques en vue d'une utilisation en construction routière » *INSA de Rennes, LGCGM – Equipe Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement, Département GCU*, p 45.