



LE BARRAGE DE SIDI M'HAMED BEN AOUDA (ALGERIE): L'ENVAISEMENT S'ACCELERE !

SIDI M'HAMED BEN AOUDA'S DAM (ALGERIA): ACCELERATION TO THE SILTING!

REMINI B., BENSAFIA D., MEKHATRI A.

Département des sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie,
Université Blida1, Blida 9000, Algérie,

reminib@yahoo.fr

RESUME

Le phénomène de l'envasement menace l'infrastructure hydrotechnique Algérienne, C'est ainsi que 65 millions de m³ de vase se déposent annuellement dans les barrages. Pour prévoir la diminution de la capacité utile et la durée de vie d'un barrage, l'étude de l'évolution spatio- temporelle de l'envasement dans un barrage devient une priorité. La présente étude sera accès sur l'évolution de l'envasement dans le temps et selon la profondeur de l'eau dans la retenue du barrage de Sidi Mhamed Ben Aouda. Pour atteindre un tel résultat, les données de levées bathymétriques ont été récupérées auprès de l'Agence Nationale des Barrages. Selon les premiers résultats, l'envasement a augmenté dans le temps à partir des années quatre-vingt-dix suite à la dégradation du bassin versant. Un volume de vase égal à 100 millions de m³ se trouve actuellement au fond du barrage de SMBA, soit un taux de comblement égal à 42%. Une valeur qui le classe parmi les barrages les plus menacés par l'envasement. L'Agence Nationale des Barrages envisage son dévasement à court terme. Une étude sur la valorisation de la vase permet son utilisation dans le domaine de construction et agricole.

Mots clés : Barrage, Envasement, Evolution, Sidi M'hamed Ben Aouda, Valorisation, Courant de densité

ABSTRACT

The phenomenon of silting threatens hydrotechnical infrastructure Algerian, Thus 65 million m³ of silt are deposited annually in dams. To predict the decrease in useful capacity and the life of a dam, studying the spatio-temporal evolution of siltation in a dam becomes a priority. The present study will have access on the evolution of the siltation in the time and according to the depth of the water in the reservoir of Sidi Mhamed Ben Aouda dam. To achieve such a result, bathymetric survey data were retrieved from the National Dams Agency. According to initial results, siltation increased over time from the nineties following the degradation of the watershed. A volume of silt equal to 100 million m³ is currently at the bottom of the dam SMBA, a filling rate equal to 42%. A value that ranks it among the dams most threatened by siltation. The National Agency for Dams considering its short term desilting. A study on the valorization of silt allows its use in the field of construction and agriculture.

Keywords: Dam, Siltation, Evolution, Sidi M'hamed Ben Aouda, Valorization, Density current.

INTRODUCTION

L'envasement des barrages est un phénomène naturel qui réduit la durée de vie des barrages. La conséquence la plus dramatique de l'envasement est la réduction de la capacité des barrages. La perte en volume par sédimentation dépend essentiellement du taux d'érosion des bassins versants. Le taux de perte en volume des barrages par sédimentation a été évalué à 1%/an dans le monde (Mahmood, 1987). Un taux de 3% à 10% a été enregistré dans les barrages des pays Méditerranéens (Gazalo in Albergel, 2003). Au Maroc, la perte de capacité du barrage Mohamed Ben Abdelkrim Al Khatabi est de 6%/an de son volume initial (Lahlou, 1990). Dans les pays de l'Europe centrale, le taux de perte en volume d'un échantillon de 19 barrages a été évalué à 0,5%/an. Comparativement à la région du Maghreb, ce taux est beaucoup plus faible. Il est la conséquence du faible taux d'érosion des bassins versants de la région de l'Europe centrale (Goldsmith and Hildyard, 1984). En 2006, la perte en capacité des barrages algériens atteint 17% de la capacité totale de 57 barrages (Remini et Bensafia, 2012). La perte en volume par sédimentation des barrages algériens a été évaluée à 0,7%/an (Remini, 2007). En 2014, le taux de comblement des barrages en Algérie a atteint la valeur de 20% (Remini, 2017). En Tunisie, la

capacité de stockage des barrages pourrait atteindre 43% de leur capacité initiale en 2030 (Ben Mamou and Louati, 2006).

Dans le présent papier, on étudie l'évolution de l'envasement dans le temps et dans l'espace dans le barrage de Sidi Mhamed Ben Aouda (SMBA). Le choix du site est justifié par son originalité concernant son fort taux d'envasement.

REGION D'ETUDE ET DONNEES UTILISEES

Présentation et caractéristiques du barrage

Le barrage de SMBA est situé en aval du bassin versant d'oued Mina à 20 km au Chef-lieu de la wilaya de Relizane et à 300 km à l'ouest d'Alger (fig. 1). Fort d'une capacité de 235 millions de m³, le barrage de SMBA a été mis en exploitation en 1978 (fig. 2 et 3). Le barrage en enrochement de SMBA retient les eaux d'oued Mina qui coulent du sud vers le nord. Le barrage de SMBA est d'une grande importance pour la région, il est destiné à l'irrigation du périmètre de la Mina et à l'alimentation en eau potable de la ville de Relizane.

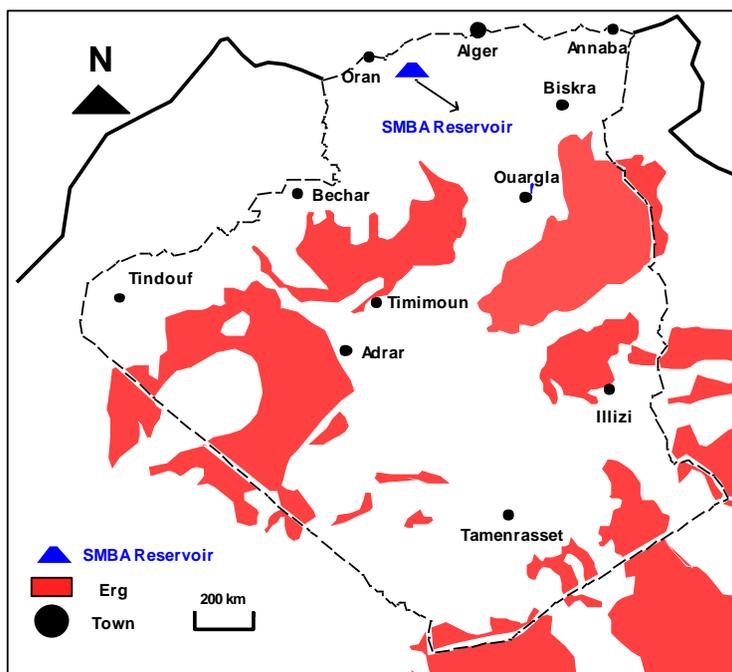


Figure 1 : Situation géographique du barrage de SMBA (Remini, 2018)



Figure 2 : Vue générale de la digue en enrochement (Photo. Remini, 2013)



Figure 3 : Vue sur retenue du barrage de SMBA (Photo. Remini, 2013)

Données utilisées

Dans notre étude nous avons utilisé 4 levés bathymétriques réalisés en 1986, 1995, 2000 et 2003 (levé 2003 est le dernier levé bathymétrique exécuté durant l'exploitation du barrage). Les données : capacité – hauteur d'eau des années 1978, 1986, 1995, 2000 et 2003 ont été récupérées au niveau de l'agence nationale des barrages.

Prélèvements des échantillons

A l'aide d'une barque et un préleveur de vase, nous avons effectué des prélèvements des échantillons au niveau de trois endroits de la retenue du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (fig. 4 et 5). Il s'agit de la rive droite de la cuvette à 2 km de la digue. Au centre de la cuvette à 500 m du barrage. Le troisième prélèvement a eu lieu à la sortie de la vanne de fond de la rive droite (fig. 6). La vase prélevée a subi des analyses physico-chimiques, minéralogiques et physiques.



Figure 4 : Embarcation pour le prélèvement des échantillons de vase dans la retenue du barrage de SMBA



Figure 5 : Préleveur d'échantillons de vase (Photo. Remini, 2013)

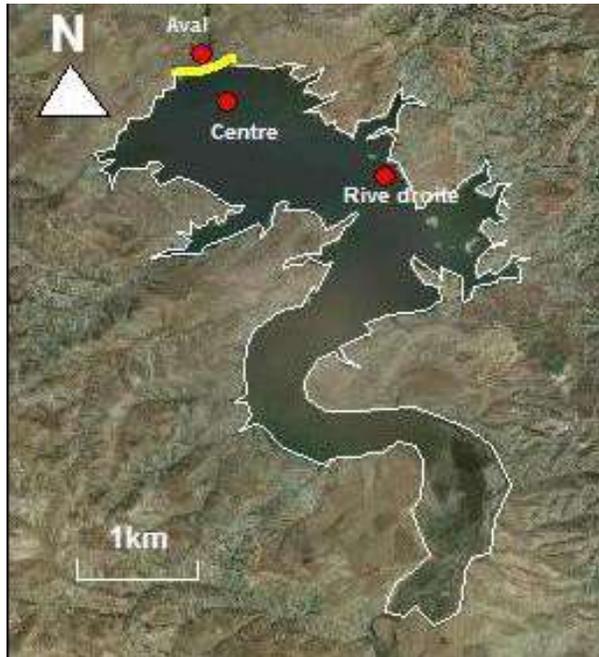


Figure 6 : Lieux de prélèvement des échantillons (Schématisée à partir de Google Earth)

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les courants de densité dans le barrage de SMBA

Le bassin versant du barrage de Sidi Mhamed Ben Aouda occupe une superficie de 6200 km² (fig. 7). Dans le cadre du projet GTZ, le bassin versant a subi des aménagements durant les années quatre-vingt. Mais au début des années quatre-vingt-dix, le bassin versant s'est dégradé et l'érosion a fortement augmenté. Le bassin versant d'oued Mina est située dans le bassin hydrographique de Chellif Zahrez, classé parmi les bassins hydrographiques les plus érosifs de nord Algérien. En plus du taux d'érosion très élevé du bassin versant de SMBA, l'oued Mina participe à l'envasement du barrage de SMBA par le sapement des berges (fig. 8 et 9). Ceci a engendré des concentrations très élevées en particules solides dans l'oued Mina qui ont atteint la valeur de 478 g/l (Ghernaout et Remini, 2014 ; Ghernaout et Remini, 2017). Plus de 95% des sédiments arrachées aux versants sont piégées dans la retenue comme le montre la représentation graphique de Brune sur la figure 10 (Remini et Hallouche, 2007). Les apports solides en suspension sont très élevés dans l'oued Mina. Ils sont

drainés par les crues surtout en période d'automne. La forme géométrique de la retenue est de type canal. Ces deux conditions favorisent la propagation des courants de densité au fond de la retenue jusqu'au barrage (Remini, 1997 ; Remini et Bensafia, 2012 ; Remini et Hallouche, 2007 ; Remini et Benfetta, 2015 ; Remini et Bensafia, 2016 ; Remini et al, 2015 ; Remini et Toumi, 2017) (fig. 11 et 12).

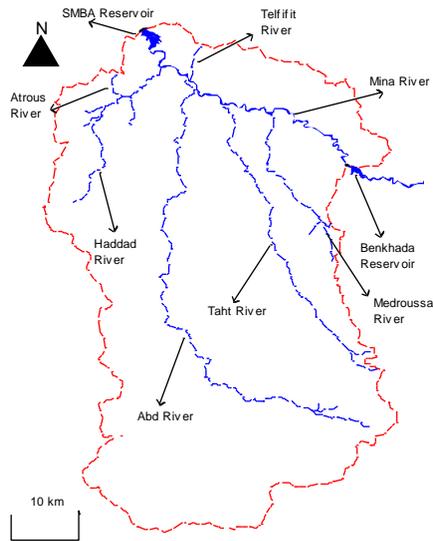


Figure 7 : Limitations du bassin versant d'Oued Mina (Schématisé à partir d'un document de l'ANBT)



Figure 8 : Une partie du bassin versant d'Oued Mina très dégradé (Photo. Remini, 2013)



Figure 9 : Sapement des berges dans l'oued Mina (Photo. Remini, 2013)

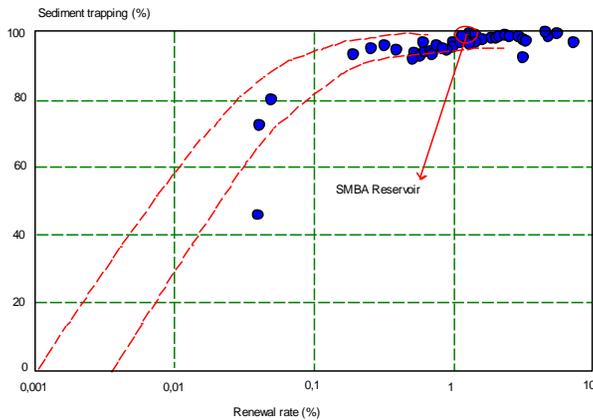


Figure 10 : Piégeage des sédiments dans le lac du barrage de SMBA (Graphe de Brown (1953 appliqué aux barrages du Maghreb)

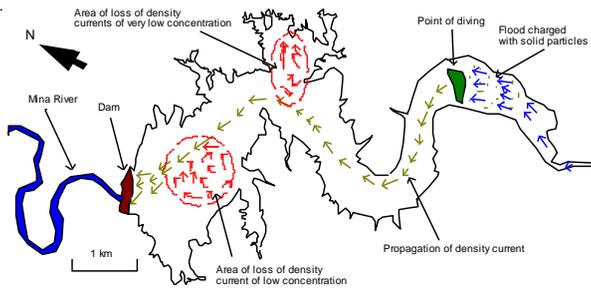


Figure 11 : Propagation des courants de densité dans le lac du barrage de SMBA (Remini, 2018)



Figure 12 : Parcours des courants de densité dans la retenue du barrage de SMBA (Photo. Remini, 2013)

Evolution de la sédimentation dans le barrage de SMBA

Evolution temporelle

C'est la vitesse de comblement qui peut nous déterminer son classement. Sur la base des levés bathymétriques, nous avons tracé sur la figure 13, l'évolution de l'envasement dans le temps dans le barrage de SMBA. Il est intéressant de constater que le barrage est passé dans deux périodes :

- Période 1 : Durant la période 1978-1986, l'évolution des dépôts successifs de vase est linéaire en fonction du temps. Environ 20 millions de m³ de vase ont été déposés durant cette période, soit 17 ans d'exploitation. Le barrage a été classé parmi les barrages les moins envasés. La vitesse de comblement est de 0.5%/an. Elle est largement inférieure à 1%/an (Remini et Hallouche, 2005). L'érosion étant réduite à cause des aménagements opérés par le groupe GTZ durant les années 80.
- Période 2 : Durant la période 1995-2011, l'évolution des dépôts de vase suit une loi parabolique en fonction du temps ; l'envasement est très élevé. Environ 70 millions de m³ de vase ont été déposées durant cette période, soit 8 ans d'exploitation. La vitesse de comblement a atteint 2%/an qui sont supérieur à 1%/an, ce qui classe le barrage de SMBA parmi les barrages les plus envasés. Cette augmentation rapide de la vitesse de comblement est liée à l'absence de l'entretien et la

dégradation de l'ensemble du bassin versant d'oued Mina durant les années 90 connues par l'insécurité à cause du terrorisme.

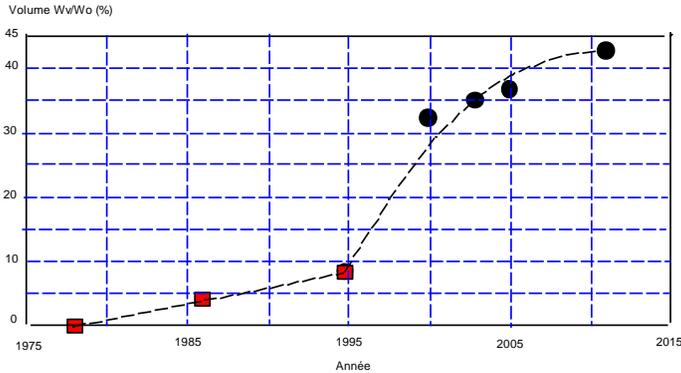


Figure 13 : Evolution temporelle du comblement du barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

En 2011, le taux de comblement a atteint de 42.5%, ce qui a réduit fortement la capacité du barrage depuis l'année de sa mise en eau (fig. 13). Si on tient compte uniquement des deux levés bathymétriques 2000 et 2011, le calcul nous donne un taux de comblement de 45% en 2014. Il est à noter que c'est durant la période : 1995-2000 que nous avons enregistré le volume de vase le plus important durant toute la période d'exploitation. Il a été évalué à plus de 55 millions de m^3 de vase, soit un taux d'envasement de 11 millions de m^3 /an (fig. 13). Durant 5 ans, le barrage a reçu plus de 50% de toute la quantité de vase déposée durant la période : 1978-2018. C'est exceptionnel comme quantité : 55 millions de m^3 de boue ont été drainées par un apport liquide de 470 millions de m^3 seulement, soit une concentration de 200 g/l (fig. 14). Ceci ne peut s'expliquer que par une forte dégradation du bassin versant d'oued Mina du au problème de sécurité durant la période : 1990-2000. Par contre durant la période : 2003-2011, l'envasement a enregistré un ralentissement ; environ 10,5 millions de m^3 de vase se sont déposés durant 8 ans (2003-2011), soit un taux d'envasement égale à 1.3 millions de m^3 /an (fig. 13). Cette vase (10.5 millions de m^3) a été ramenée par un apport liquide de 490 millions de m^3 , soit une concentration égale à 3.8 g/l (fig. 14). Notons que l'apport annuel est moyennement constant durant toute la durée d'exploitation et tourne autour de 70 millions de m^3 /an (fig. 14). Par contre celui des apports solides au barrage est trop variable durant la période de service (fig. 13).

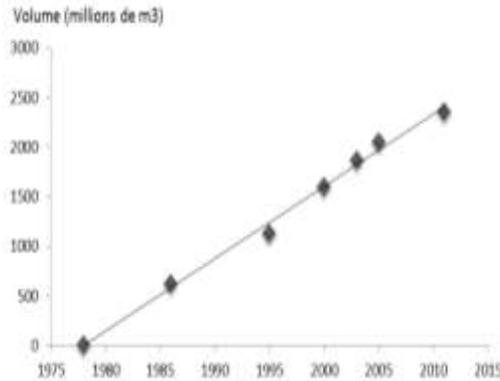


Figure 14 : Les apports cumulés du barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

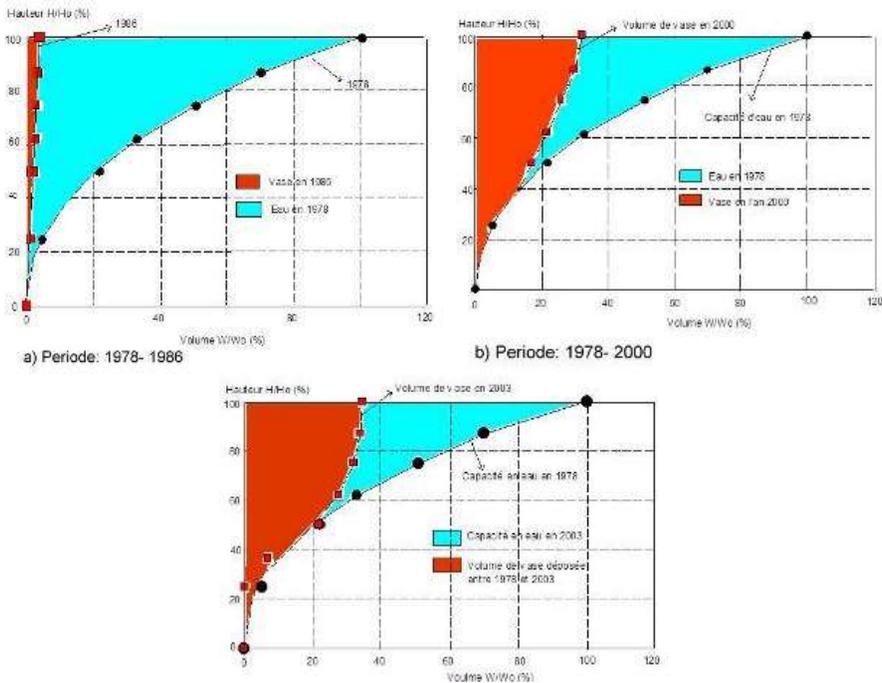


Figure 15 : Diagramme de capacité du barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

Le diagramme des capacités représenté par la figure 15 montre clairement l'accroissement de la capacité de la boue au détriment de la capacité de l'eau du barrage durant les périodes : 1978-1986, 1978-1995, 1978-2000, 1978 -2003, et 1978-2011.

Evolution spatiale

Les dépôts successifs de la boue évoluent dans le lac du barrage de SMBA selon deux étapes. Au début de l'exploitation du barrage, la répartition des sédiments est uniforme, puisque les dépôts qui ont une faible hauteur ne seront pas perturbés ni par la gestion des vannes ni par les variations de la surface libre de l'eau. La figure 16a représentant l'évolution des dépôts vaseux en fonction de la hauteur d'eau durant la période : 1978-1986, montre que l'envasement croît linéairement en fonction de la hauteur, ce qui signifie que la vase se répartit uniformément sur la totalité de la surface du fond de la retenue. Dans ce cas le toit de vase croît parallèlement au fond du réservoir (fig. 17 a). La deuxième étape qui débute à partir d'un seuil (volume de vase plus au moins important), l'évolution des dépôts de vase ne suit plus une loi linéaire, mais plutôt une loi polynomiale de troisième degré en fonction de la hauteur du barrage comme le montre l'évolution de l'envasement dans le barrage de SMBA durant les périodes d'exploitation : 1978-2000 et 1978-2003 (fig.16 (b et c)). Ceci prouve qu'effectivement les dépôts de vase sont cette fois ci perturbés. L'accélération de l'envasement et le mode d'exploitation des vannes de fond durant la période 1986-2003 sont les causes de la modification de la loi d'évolution (fig. 17b, c)).

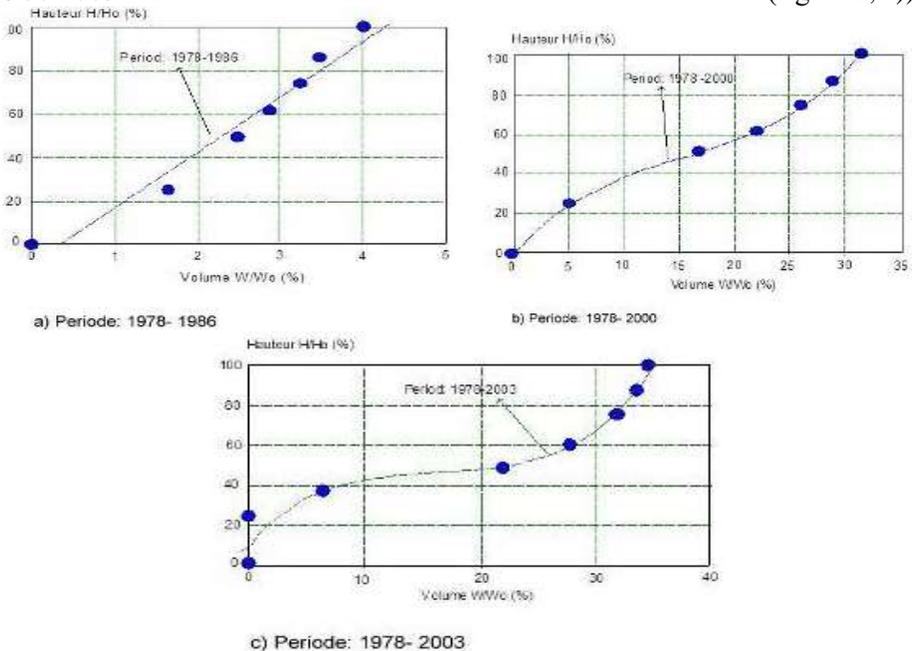


Figure 16 : Evolution de l'envasement en fonction de la hauteur d'eau dans le barrage (Données ANBT, Remini, 2018)

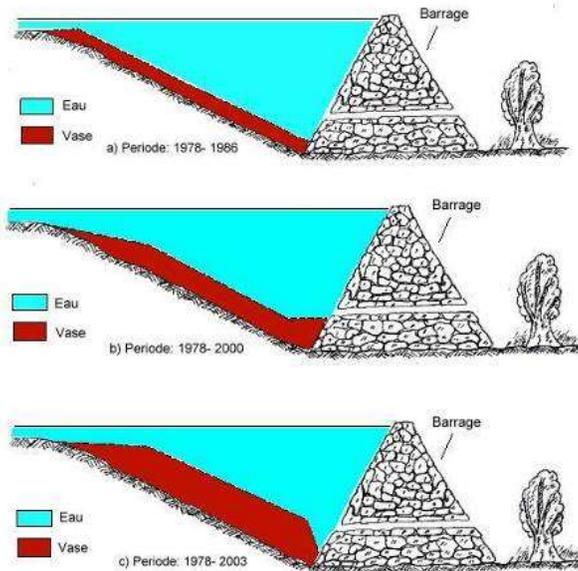


Figure 17 : Schéma synoptique de l'évolution du toit de vase (Schéma Remini, 2018)

Evolution de l'envasement selon les zones de dépôts

Suite à l'étude précédente qui a montré pour un barrage fortement envasé, la loi d'envasement n'est plus linéaire mais plutôt parabolique. En partant de cette idée, la répartition uniforme des sédiments se localise au centre de la retenue quelque soit le type d'évolution. Les sédiments déposés dans la partie basse de la retenue sont remaniés par les manœuvres des vannes de fond et d'autre part ceux de la partie haute de la retenue sont saisonnièrement modifiés par l'arrivée de nouveaux apports solides en périodes de crues. Dans ce cas, trois zones de dépôts vaseux se délimitent (fig. 18) (Remini, 1997). Il s'agit de la zone I qui correspond à la partie basse de la retenue. Elle est située à une hauteur relative ne dépassant pas les 40% de la hauteur normale de la retenue. La zone II qui correspond à la partie centrale de la retenue. Elle est située entre 40 et 80% du niveau normale de la retenue. Cette partie est généralement large, ce qui favorise le dépôt des sédiments, lesquelles se répartissent dans cette zone. La zone III qui correspond à la partie haute de la retenue qui est située à 80% de la hauteur normale de la retenue. Dans cette zone, les variations du plan d'eau provoquent des remaniements et des mouvements des sédiments (Remini, 1997).

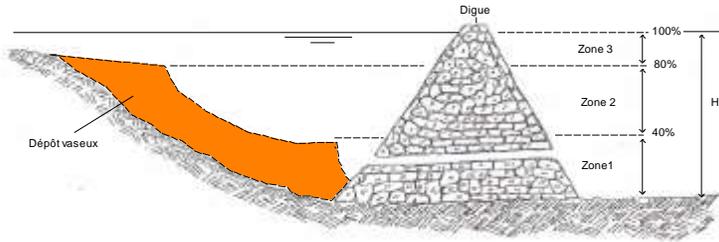


Figure 18 : Délimitation d'une retenue d'un barrage en trois zones (Schéma Remini, 2018)

La figure 19 représente l'évolution des dépôts de vase dans la zone II de la retenue du barrage de SMBA. On constate que la progression des dépôts des sédiments en fonction de la hauteur d'eau dans la zone II est linéaire durant les périodes : 1978-1986, 1978-2000, 1978-2003. La répartition des sédiments est uniforme avec un envasement intense entre les années 2000 et 2003 atteignant un taux de comblement de 6,5%, soit un volume de 15 millions de m³ de vase déposés uniquement dans la zone II. Cette situation a un effet direct sur le dépôt des sédiments dans la zone I.

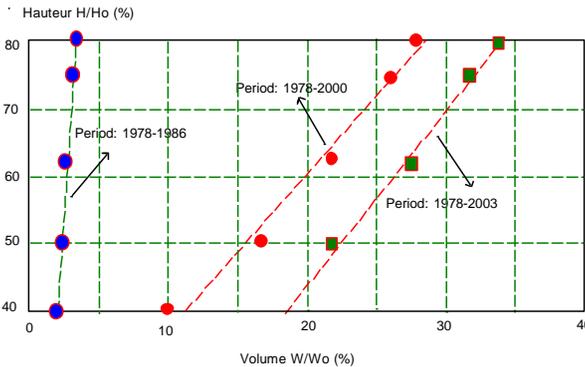


Figure 19 : Evolution de l'envasement dans la partie centrale de la retenue du barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

Pour illustrer cette situation, nous avons représenté sur la figure 20, l'évolution des dépôts de vase dans la partie basse de la retenue de SMBA. Trois périodes d'envasement : 1978-1986, 1978-2000, 1978-2003 se dégagent. On peut constater que le point de rencontre des courbes a progressé d'une hauteur de 20% durant la période 1986-2003, soit un accroissement de la vase évalué à 28 millions de m³ déposés uniquement dans la zone I. Ce volume n'a pas pu être soutiré par les vannes de fond.

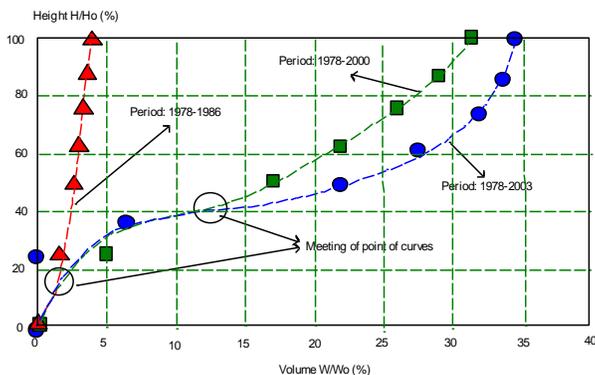


Figure 20 : Evolution de l'envasement dans la partie basse de la retenue du barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

L'évolution de l'envasement dans la partie haute de la retenue désignée par la zone 3 est beaucoup plus compliqué que l'évolution dans les zones 1 et 2. La zone 3 est généralement soumise à la variation du plan d'eau provoquée par l'arrivée des crues. Les dépôts de vase dans cette zone concernent les grosses et moyennes particules. La figure 21 représente l'évolution des dépôts de vase dans la partie haute de la retenue du barrage de SMBA. On constate que la progression des dépôts des sédiments en fonction de la hauteur d'eau est linéaire durant les périodes : 1978-1986, 1978-2000, 1978-2003. Ceci prouve le niveau des dépôts de vase est sous le niveau normal du plan d'eau. Les dépôts dans cette zone varient linéairement comme celui de la zone centrale. Les dépôts sont énormes dans les zones 1 et 2.

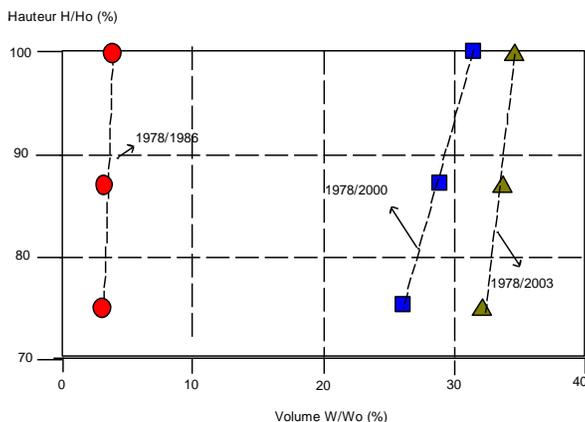


Figure 21 : Evolution de l'envasement dans la partie haute de la retenue du barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

Moyens de lutte contre l'envasement du barrage de SMBA

Aménagement des bassins versants

En plus du reboisement du bassin versant, des aménagements ont été opérés dans plusieurs endroits du bassin. C'est ainsi que des banquettes des corrections torrentielles des thalwegs sont réalisés dans les zones de forte érosion du bassin versant d'oued Mina (fig. 22).



Figure 22 : Banquettes dégradées dans une partie du bassin versant Accélére l'érosion (Photo. Remini, 2018)

Soutirage des courants de densité

La technique de soutirage des courants peut être une solution efficace, si elle est utilisée à l'arrivée des crues dans la le lac du barrage (Remini, 1997 ; Remini et al, 1997 ; Remini et Avenard, 1999 ; Remini et al, 2009 ; Remini et Ouidir, 2017).

Les gestionnaires du barrage utilisent les deux vannes de fond situées dans les deux rives gauche et droite pour réduire l'envasement et éviter l'obturation des pertuis de vidange. En profitant de la présence des courants de densité dans le lac en périodes de crues, les gestionnaires du barrage procèdent manœuvres des vannes pour soutirer les courants de densité (fig. 23 et 24).

Le barrage de Sidi M'Hamed ben Aouda (Algérie): L'envasement s'accélère !

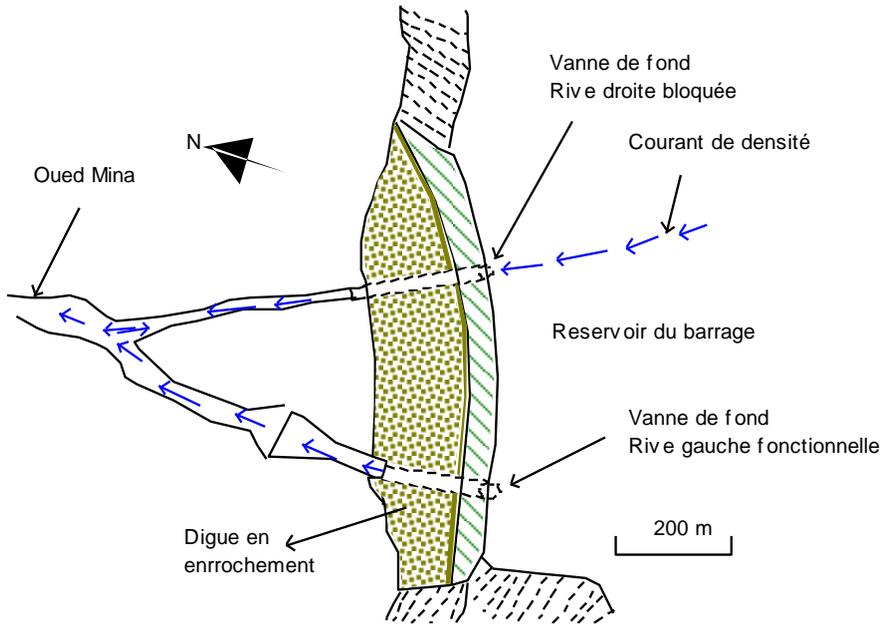


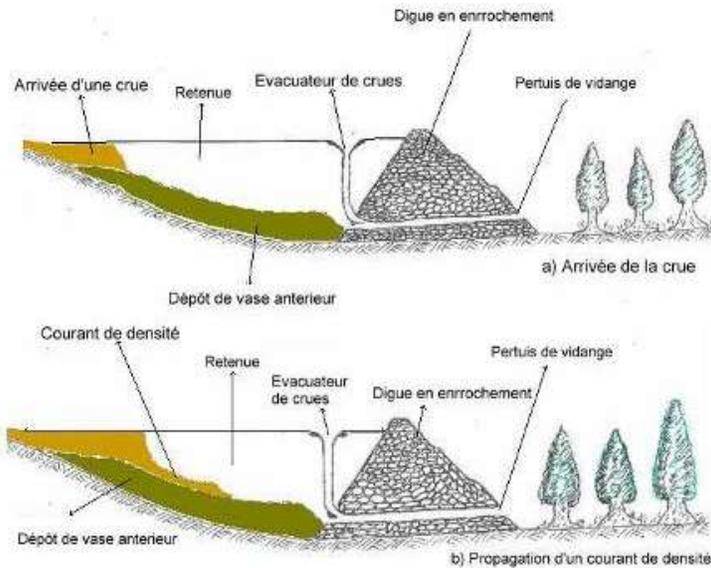
Figure 23 : Vannes de dévasement du barrage de Sidi Mhamed Ben Aouda (Schéma Remini, 2018)



Figure 24 : Canal de sortie de la vanne de fon gauche (Photo. Remini, 2014)

Mécanisme des courants de densité près des pertuis de vidange

Les crues d'oued Mina sont torrentielles et rapides drainant des quantités très élevée en particules boueuses qui proviennent de l'érosion du bassin versant et du sapement des berges. Arrivant à la queue de la retenue, les eaux de crues d'une couleur noirâtre ou jaunâtre synonyme d'une concentration élevée en particules fines rentrent en contact avec l'eau claire du lac (fig. 25a). La différence des masses volumiques des deux fluides provoque l'apparition d'un courant de densité qui se propage sur le fond du lac jusqu'au pied du barrage (fig. 25b). En trouvant les vannes fermées, l'onde du courant bute contre la digue et revient dans le sens opposé jusqu'à la stabilité de l'écoulement. Le fluide dense lâche ces particules fines par décantation : c'est l'accélération de l'envasement du barrage (fig.25 c). Mais si les manœuvres des vannes s'exécutent au moment de l'arrivée des courants de densité, c'est-à-dire au moment des crues, le courant de densité peut continuer son chemin vers la sortie du barrage. Le réglage des vannes est fonction de l'écoulement de l'underflow. Il faut garder un écoulement permanent du courant de densité à travers les pertuis de vidange. Dans ce cas stabilité de la densité de la suspension soutirée est indispensable (fig.25d). Durant l'année, on assiste à des crues qui surviennent au niveau du barrage avec de faible apport solide. Dans ce cas, il n'y a pas d'amorçement du courant de densité ; les particules fines apportées par la crue se diffusent sur l'ensemble du lac et se décantent sur le fond (fig.25e).



Le barrage de Sidi M'Hamed ben Aouda (Algérie): L'envasement s'accélère !

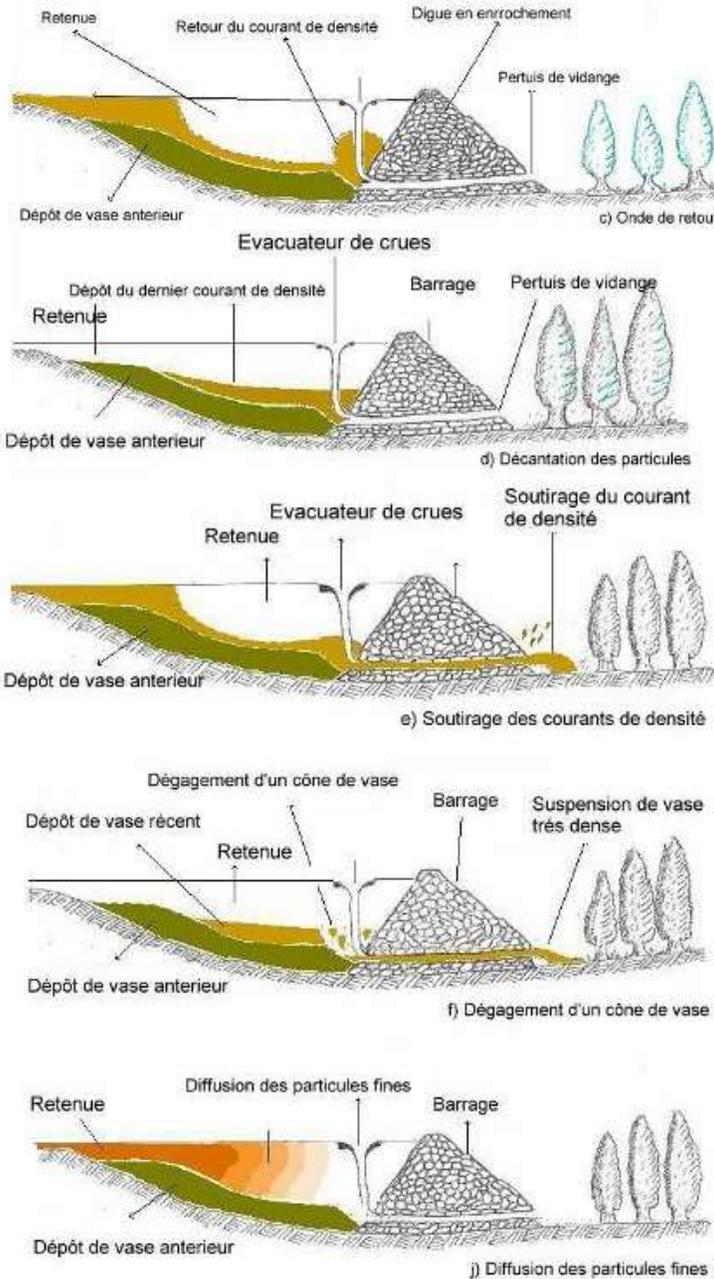


Figure 25 : Mécanisme des courants de densité dans le barrage (Schéma Remini, 2018)

Quantités de vase soutirées

Des opérations de soutirage des courants de densité sont exécutées en périodes de crues. Il est parmi les 4 ou 5 barrages algériens qui pratiquent la technique des soutirages des courants de densité à l'arrivée des crues. Une quantité de mixture égale à 24 millions de m^3 a été évacuée par les deux vannes de fond (gauche et droite) durant la période : 1978- 2011(fig. 26 et 27). Soit 3 millions de m^3 de vase pour une densité de mixture moyenne égale à 1,1(fig. 28). Le reste (21 millions de m^3) est la quantité d'eau claire perdue par soutirage. Il est à signalé que les apports liquides totaux enregistré au niveau du barrage ont été évalué à 2.35 milliards de m^3 d'eau durant la période : 1978-2011(fig. 29). L'apport le plus important au barrage égal à 183 millions de m^3 a été enregistré durant l'année : 1996/1997 (fig. 29). Cependant, ces apports liquides durant 33 ans d'exploitation ont ramené au barrage un apport solide évalué à 95 millions de m^3 de vase, dont seulement 3 millions de m^3 ont été soutiré par les pertuis de vidange. Soit 92 millions de m^3 de vase se sont déposés au fond du lac du barrage. Le rendement des soutirages est égal à 3% seulement des apports solides entrants dans le lac. Un soutirage trop faible si on le compare à celui obtenu au niveau du barrage d'Ighil Emda qui est égal à 55% (Remini, 1997). Un tel résultat est la conséquence d'un décalage entre les crues et les soutirages (fig. 26, 27 et 29). Si les soutirages par la vanne de fond gauche ont été plus au moins respectées (fig.26), cependant, ceux de la vanne droite ont été mal exécutés (fig. 27). Il est à signaler que durant l'année 1997/1998, lors de l'ouverture de la vanne de fond droite, un accident a empêché la fermeture de la vanne (fig. 27). Pendant toute une semaine, la vanne est restée ouverte, ce qui a engendré l'évacuation de 15,5 millions de m^3 d'eau. Après la fermeture de la vanne, celle-ci est restée bloquée depuis 1997 jusqu'aujourd'hui (fig. 27). Seule la vanne de fond gauche qui reste encore opérationnelle. Cette situation a engendré une montée rapide de la boue au contact avec le mur du barrage ; la hauteur de la vase est passée de 11 m en l'an 2000 pour atteindre 36 m en l'an 2011.

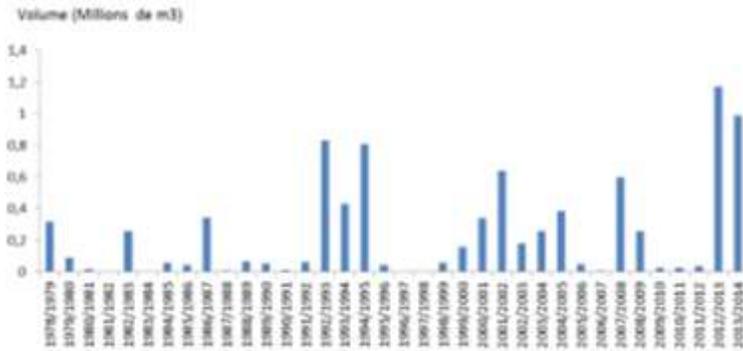


Figure 26 : Variation annuelle des mixtures soutirées par la vanne de fond gauche (Données ANBT, Remini, 2018)

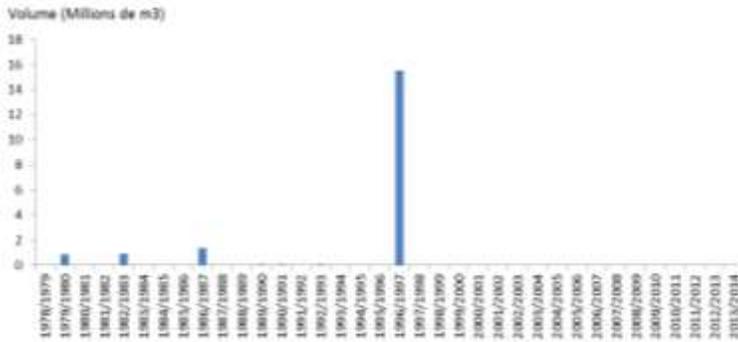


Figure 27 : Variation annuelle des mixtures soutirées par la vanne de fond droite (Données ANBT, Remini 2018)



Figure 28 : Dépôt de vase après une opération de soutirage (Photo. Remini, 2018)

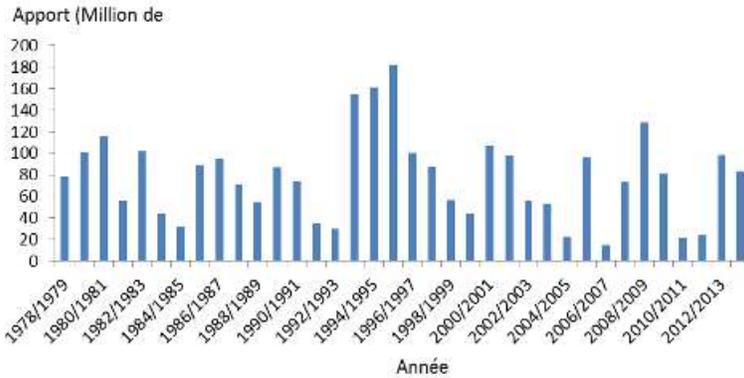


Figure 29 : Variation des apports liquides inter annuels au barrage de SMBA (Données ANBT, Remini, 2018)

Vers le dévasement du barrage de SMBA : le dragage de la cuvette devient une option obligatoire

Comment ce barrage est arrivé au dernier stade de l'envasement, soit un taux de comblement qui dépasse plus de 40% de sa capacité initiale. Donc l'ultime solution n'est autre que le dragage hydraulique de la cuvette (Remini et Hallouche, 2004 ; Remini et al, 2009). Quel destin pour un barrage post indépendance, puisqu'il est né en 1978. Soit 40 ans d'exploitation seulement. C'est une durée de vie très courte pour un ouvrage hydraulique d'une capacité de 235 millions de m³. Si on tient compte uniquement des deux derniers levés bathymétriques (2003 et 2011), le taux d'envasement est de 1,3 millions de m³/an. Ceci nous donne un volume de vase de 100 millions de m³ en 2018. Aujourd'hui, le barrage enregistre un taux de comblement de 42% de sa capacité initiale : le barrage est peut être classé comme un barrage à fort taux d'envasement (Remini, 2017). Le barrage de SMBA doit être classé par l'agence nationale des barrages pour une opération de dévasement de 10 millions de m³ de boue par la technique de dragage hydraulique pendant une période de 3 années. A cet effet, le site du barrage possède à l'amont de la retenue des lieux pour la réalisation d'une dizaine de bassins de décantation de telle façon à créer un cycle fermé et ainsi de permettre à une quantité importante d'eau de retourner dans le lac du barrage.

Valorisation de la vase du barrage de SMBA

Nous étions les premiers à étudier la valorisation de la vase au début des années quatre-vingt-dix. Les barrages étudiés sont : Beni Amrane (Boumerdes), Oued Lekhel (Bouira), Zardezas (Skikda), Ighil Emda (Bejaia), Fom El Gherza (Biskra), Bouhanifia (Mascara), Fergoug (Mascara), Ghrib (Medea), Oued El Fodda (Chlef) et Hamiz (Boumerdes) (Remini et Kenai, 2000 ; Labiod et al, 2004 ; Remini, 2006). Des échantillons de vase prélevés au fond des retenues de ces barrages ont été analysés et expérimentés comme matériaux de constructions (brique et tuile) et la poterie (comme le Tajine, la cruche). D'autres échantillons ont été expérimentés comme amendement aux sols pauvres en matières organiques ou riches en sels. Seulement ces travaux sont restés au stade expérimental depuis environ 30 années. Le passage de l'expérimental à l'industriel est très difficile et il faut d'autres études et plus particulièrement l'étude technico-économique.

La vase du barrage de SMBA qui devra être récupérée au niveau des bassins de stockage qui seront creusés aux alentours du lac du barrage peut être une solution à l'envasement. Les trois échantillons de vase prélevée dans la retenue du barrage de SMBA ont subits différents analyses comme physique, chimique et minéralogique (fig. 30 et 31).



Figure 30 : Echantillon de vase prélevée à la sortie de la vanne gauche (Photo. Remini, 2018)



Figure 31 : Echantillon de vase prélevé dans la partie centrale de la retenue du barrage (Photo. Remini, 2018)

Analyses physiques

Les résultats des analyses physiques effectués sur la vase du barrage de SMBA revêt une caractérisation d'un sol à granulométrie fine, puisque la vase se compose majoritairement de l'argile avec un pourcentage compris entre 8 et 58 %. Les coefficients d'uniformité et de courbure pour les trois échantillons de vase sont : $C_u > 2$ et $C_c < 1$. Les vases prélevés au centre de la retenue et à la sortie de la vanne présentent une granulométrie fine : c'est une argile très plastique. Les résultats obtenus pour l'échantillon de vase prélevée à la rive droite du réservoir montrent une argile peu plastique. Enfin, la valeur moyenne de la masse volumique de la vase (pour les trois échantillons) est de 1.86 g/cm^3 .

Analyses chimiques

Les résultats des analyses chimiques des trois échantillons de vase qui ont été réalisés par spectrométrie de fluorescence des rayons X sont regroupés dans le (tableau 1).

Tableau 1 : Résultats des analyses chimiques de la vase du barrage de SMBA

Echantillon	Teneur (%)											
	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	PF	Ti O ₂	P ₂ O ₅	ZrO ₂
E ₃	52,4	—	4,09	19,26	2,87	0,28	1,22	—	19	0,43	0,12	0,32
E ₁	44,62	15,43	6,18	11,33	2,66	0,18	2,63	0,31	15,8	0,68	0,16	—
E ₂	44,44	15,48	5,86	11,82	2,59	0,16	2,45	0,28	16	0,73	0,18	—

E₁ : Echantillon de vase évacuée, E₂ : Echantillons de vase du centre, E₃ : Echantillon de vase rive droite

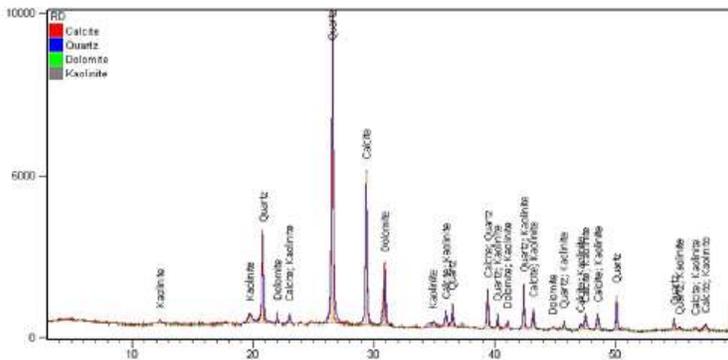


Figure 34 : Courbe DRX de la vase prélevée à la rive droite de la retenue (E3)

En se basant sur les figures : 32, 33 et 34 et la composition chimique de la vase, nous avons déterminé les constituants minéraux des deux échantillons (tableau 2).

Tableau 2 : Résultats des analyses semi quantitatives

Minéraux présents	Composition minéralogique en %	
	Echantillon Centre (E2)	Echantillon aval (E1)
Quartz	28	27
Albite	3	2
Calcite	14	15
Dolomite	12	12
Kaolinite	16	18
Illite	22	21
Minéraux ferrugineux autres	5	5

D'après le tableau 2, les résultats des analyses semi quantitatives sont presque identiques. Ils sont dus probablement à leurs propriétés et à leurs provenance qui sont les mêmes. Sur la base des résultats des analyses minéralogiques des mêmes échantillons (E₁ et E₂), les pics ont mis en évidence la détection du quartz, de l'illite et de la kaolinite en prépondérance. Par ailleurs, l'échantillon de vase (E₃) comporte des propriétés chimiques différentes des autres échantillons (E₁ et E₂), qui ne permettent pas d'estimer sa composition minéralogique. Néanmoins, la présence des éléments minéraux argileux dans les deux échantillons (E₁ et E₂) fait l'objet de leur valorisation dans le domaine de la construction. A cet effet, nous avons mené des essais à l'échelle réduit. Les résultats obtenus sont reproduits dans les tableaux 3 et 4.

Résultats des essais réduits

Les résultats des essais réduits sont résumés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 : Propriétés de façonnage et de séchage

Caractéristiques de séchage				
Régime de séchage	H de façonnage (%)	Retrait sur sec (%)	Rm (Kg/cm ³)	Coloration
Lent	22,3	7,6	75	Jaune

Tableau 4 : Propriétés de cuisson à 900° C

PF (%)	Retrait sur cuit (%)	Absorption d'eau (%)	Pv (g/cm ³)	Coloration	Rm (Kg/cm ³)
16,4	1,2	13,7	1720	Rouge	178,2

D'après le tableau 3, le régime de séchage est lent. Ceci traduit par la plasticité du matériau de la vase. D'autre part et selon le tableau 4, les propriétés de cuisson sont très variables. Ces propriétés sont liées avec les propriétés de la vase (telle la composition chimique). Le produit fini obtenu par la vase renferme les mêmes qualités que les produits rouges à base d'argile (fig. 35).



Figure 35 : Tuiles, briques et Tadjine fabriquées à partir de la vase du barrage de SMBA (Photo. Remini, 2018)

Possibilité d'utilisation de la vase comme amendement au sol

La dégradation des sols de la région de l'oued Mina, et la présence de la matière organique dans la vase prélevée ont permis de penser à utiliser ce matériau comme amendement. A cet effet, des analyses chimiques complémentaires ont été menées au niveau des laboratoires.

Analyses physico-chimiques complémentaires

Les résultats sont regroupés dans tableau 5.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de vase du barrage de SMBA

Echantillons	dénomination	CE	PH	MO (%)	C _T (%)	C _A (%)	Humidité
E1	aval	0.62	8.25	5.29	22.72	15	7,84
E2	centre	0.69	8.04	5.71	27.27	15	34,43
E3	R.D	0.62	8.17	5.55	18.18	3.5	50,51

Selon le tableau 5, on constate que la CE de nos échantillons est inférieure à 2 mmhos/cm (pate saturée) ; elle n'est pas en quantité importante (le matériau analysé est non salée). Le pH avec une valeur moyenne égale à 8,15 indique que la vase du barrage SMBA présente un caractère basique. La vase est riche en MO, puisque la moyenne est égale à 5,52 %. Le taux moyen du C_T des trois échantillons de vase varié entre 16 et 30%, alors que ces sédiments étudiés se sont des sols calcaires. Le taux du C_A de la vase étudiée est de 15% pour les 2 premiers échantillons, ceci indique qu'ils possèdent un caractère chlorose. Le taux du C_A est de 3.5% pour la RD, ce qui lui présente un caractère peu chlorose. La teneur en eau des trois échantillons est pratiquement variable et décroît en fonction de la profondeur, mais elle demeure une caractéristique habituelle.

Analyses chimiques supplémentaires (les éléments majeurs, les éléments secondaires et les oligo-éléments)

L'ensemble des résultats de ce type d'analyse est mentionné dans le tableau 6.

Les résultats des analyses chimiques du tableau 6 nous a permet d'orienter l'exploitation de cette vase vers les terres agricoles (selon la norme d'interprétation).

Tableau 6 : Résultats des analyses chimiques (éléments majeurs, éléments secondaires et oligo-éléments)

Echantillon (ppm)	RD	Centre	aval
K ₂ O	0,19	0,13	1,12
Na	1,98	0,77	0,48
P ₂ O ₅	114,5	22,9	87,02
Zn	51	37,5	24,5
Pb	20	19	73,5
Cu	5	12	7,5
Co	12	13,5	10,5
Cr	0	0	0
Fe	2400	6025	2625

CONCLUSION

Environ 100 millions de m³ de boue sont déposés actuellement (en 2018) dans le lac du barrage de SMBA, soit un taux de comblement de 42%. C'est énorme comme quantité pour un barrage de 40 ans d'exploitation seulement. Et pourtant le barrage, nous l'avons classé comme un barrage à faible taux d'envasement durant la période : 1978-1995, puisque le taux de comblement annuel était de 0,5%/an. Cependant durant la période : 1995-2000, le taux de comblement annuel est passé à 4.7%/an. Soit plus de 55 millions de m³ de boue qui ont été déposés dans la retenue en 5 années seulement. Une telle valeur ne peut être que la conséquence d'une dégradation accélérée du bassin versant suite aux problèmes sécuritaires durant cette période. Par contre durant la période : 2003-2011, le taux de comblement annuel est descendu à 0.55%/an. Ceci s'explique par un ralentissement de l'évolution du toit de vase dans le lac. Avec un taux de comblement de 42% de la capacité totale en 2018 et un taux de comblement annuel de 0.55%/an, le barrage sera envasé à 50% de sa capacité initiale d'ici 2030. Seulement, l'amélioration des soutirages des courants de densité pour atteindre un rendement de 25% pourra prolonger la durée de vie du barrage jusqu'à 2040. Ceci demande le soulagement de la vanne de fond de la partie droite (qui est obturée) par le recours à la technique de dragage hydraulique. Une option qui s'impose pour dévaser au moins 10 millions de m³ de vase en 3 ans et ainsi de déboucher le puits de vidange droit qui se trouve aujourd'hui bloqué par la boue. Le rejet de la vase par les vannes de fond ou par la drague dans l'oued pose un problème écologique. Le recours à la valorisation de la vase devient aujourd'hui pour l'agence nationale des barrages une priorité pour préserver l'environnement.

Au terme de cette étude, les résultats des analyses physiques, chimiques et minéralogiques effectuées sur les échantillons de la vase du barrage de SMBA sont presque les mêmes que celles des produits rouges. Quant aux valeurs de l'essai réduit obtenues, ils vérifient bien les normes. Par ailleurs, pour corriger le retrait ou bien la porosité en particulier, elle est recommandée d'ajouter des adjuvants tel le sable. Les résultats des analyses qui ont été faits sur la matière organique sont variés entre 5,29 % et 5.71%. Cette vase renferme des quantités appréciables de phosphore (87,02 ppm) et riche en potassium (1,12 ppm). A partir de ces analyses nous avons commenté à la possibilité et l'utilité de ces matériaux en tant que amendement dans l'agriculture.

REMERCIEMENTS

Ce modeste papier qui vient de paraître est le fruit d'un travail entamé depuis 2012. Plusieurs personnes ont contribué à la préparation de ce modeste travail. Les auteurs n'oublieront jamais le personnel et à leur tête le Directeur de l'Agence Nationale des Barrages qui, à chaque fois, ils mettent à notre dispositions toutes les données nécessaires. Nous n'oublierons pas notre le Directeur du barrage de NBA qui nous a beaucoup aider pour concrétiser cette étude. Nous remercions également Mr Gil Mahé pour ces conseils.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL J., PEPIN Y. AND BOUFAROUA M. (2003). Erosion et transport solide dans des petits bassins méditerranéens. Hydrology of the Mediterranean and semiarid regions. Proceeding of an international symposium held at Montpellier, pp.373-379.
- BEN MAMOU A., LOUATI M.H. (2007). Evolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie. Revue sciences de l'eau, 20(2), pp. 201-211.
- BRUNE G.M. (1953). Trapp efficiency of tanks. Transactions of the American geophysical union, vol., 34, n°3, pp. 407-418.
- GOLDSMITH E., DYARDI H. (1984). Sedimentation: the way of all dams. The social and environmental, effect of large dams, vol 1, overview, Waderbridge ecological centre Worthyvale Mauoir Calekford. Cornwall PL 32, 9TT, UK.
- GHERNAOUT R., REMINI B. (2014). Impact of suspended sediment load on the silting of SMBA reservoir (Algeria)" (doi: 10.1007/s12665-014-3125-9). Environmental Earth Sciences (Springer)
- GHERNAOUT R., REMINI B. (2017). Analyse du Transport Solide en Suspension dans le Bassin Versant de l'Oued Mina (NO Algérie). Revue La Houille Blanche. n° 3, 2017, p. 56-72.

- MAHMOOD K. (1987). Reservoir sedimentation: impact, extent, mitigation. World bank Technical, n° 71, Washington.
- LABIOD Z., REMINI B., BELAREDJ M. (2004). Traitement de la vase du barrage de bouhanifia en vue de sa valorisation. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 03, Juin 2004, pp.7-12.
- LAHLOU A. (1990). Envasement du barrage Mohamed Ben Abdelkrim Al Khattabi. Hydrology in Mamountious II. Artificial reservoir water and slopes. Proceeding of tow Lausanne symposium, August. IAHS publication, n° 194, pp. 243- 252.
- REMINI B. (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, juin, 342 p.
- REMINI B., BENSAFIA D. (2012). The impact of climate changes on the acceleration of reservoir siltation in arid regions the Algerian case study. Elixir International journal Bio. Diver. 44 . 7074-7076.
- REMINI B., BENFETTA H. (2015). Le barrage réservoir de Gargar est- il menace par l'envasement, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre 2015, pp. 175-192
- REMINI B. (2017). Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°31, Sept 2017, pp. 51-81 © 2017 All rights reserved, Legal Deposit 1266-2002
- REMINI B., AVENARD J-M., KETTAB A. (1997). La technique du soutirage: un moyen de lutte contre l'envasement, Revue Techniques Sciences et Méthodes (Paris) n° 3, Mars, pp. 69-76.
- REMINI B., AVENARD J.M. (1999)- La pratique de la technique du soutirage dans les barrages. Revue La Houille Blanche n° 2, pp. 5-6.
- REMINI B., KENAI S. (2000). Valorisation de la vase du barrage de Oued Lekhel pour la fabrication de la brique. Revue marocaine de Génie Civil, n° 90, nov/déc.,pp.36-41.
- REMINI B., HALLOUCHE O. (2004). Le dragage des barrages. Quelques exemples algériens. Revue Internationale la Houille Blanche n°3, octobre.
- REMINI B. (2006). Valorisation de la vase des barrages - quelques exemples algériens. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.75-89
- REMINI B., HALLOUCHE O. (2007). Studying Sediment. Revue International Water Power et Dam construction. Octobre, pp. 42-45.
- REMINI B., HALLOUCHE O., ACHOUR B. (2009). Chapitre 08 L'Algérie : plus d'un siècle de desenvasement des barrages. Ouvrage intitulé : Etat des ressources en eau au Maghreb en 2009, édité par UNESCO Office in Rabat, pp. 123-142.
- 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 © 2016 all rights reserved, legal deposit 1266-2002
- REMINI B., TOUMI A. (2017). Le réservoir de Beni Haroun (Algérie) est-il menace par l'envasement ? Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°29, Mars 2017, pp. 249-263 © 2016 All rights reserved, Legal Deposit 1266-2002

REMINI B., OUIDIR K. (2017). Le barrage réservoir d'Erraguene (Algérie) : une expérience de plus d'un demi-siècle dans le soutirage des courants de densité. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°32, Dec , pp. 213-244 © 2017 All rights reserved, Legal Deposit 1266-2002.