



## **BOUKOURDANE (ALGERIA): A RESERVOIR DAM WITH LOW SILTATION RATE**

### **BOUKOURDANE (ALGERIE) : UN BARRAGE RESERVOIR QUI S'ENVAISE PEU**

**REMINI B., MOKEDDEM F.Z.**

Département des sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie,  
Université Blida 1, Blida 9000, Algérie

*reminib@yahoo.fr, mokaddem@yahoo.fr*

#### **RESUME**

Le présent article traite un des phénomènes hydrauliques qui pose d'énormes problèmes aux gestionnaires de barrages. C'est le phénomène de l'envasement qui diminue dans le temps le volume utile du barrage et obture les pertuis de vidange. En Algérie, 20 barrages sont menacés par l'envasement rapide du réservoir. Cependant, plus de 30 barrages enregistrent un faible taux d'envasement. Notre étude s'intéresse à l'envasement du barrage réservoir de Boukourdane. Sur la base de données des levés bathymétriques et des missions d'investigations sur le site du barrage, il ressort que le taux d'envasement pour le barrage réservoir de Boukourdane est de 0,3 millions de m<sup>3</sup>/an, soit une vitesse de comblement égale à 0.28%/an. Une valeur nettement inférieure au seuil de 1%/an qui classe le barrage de Boukourdane comme barrage à faible taux d'envasement. Sa durée de vie a été estimée à plus de 300 ans.

**Mots clés :** Barrage réservoir de Boukourdane - Taux d'envasement – Capacité - Erosion.

#### **ABSTRACT**

This article discusses hydraulic phenomenon's that pose enormous problems for dam managers. This is the phenomenon of silting which decreases over time the

useful volume of the dam and closes the discharge sluices. In Algeria, 20 dams are threatened by rapid silting of the reservoir. However, more than 30 dams have low rate of siltation. Our study focuses on the silting of the reservoir dam Boukourdane. On the bathymetric database and investigative missions to the dam site, it appears that the siltation rate for Boukourdane reservoir dam is 0.3 million m<sup>3</sup>/year, a filling speed equal to 0.28%/year. A value well below the threshold of 1%/year which ranks as the Boukourdane dam low rate of siltation dam. His life was estimated to be over 300 years.

**Keywords:** Boukourdane reservoir dam - Rate of siltation - Capacity – Erosion

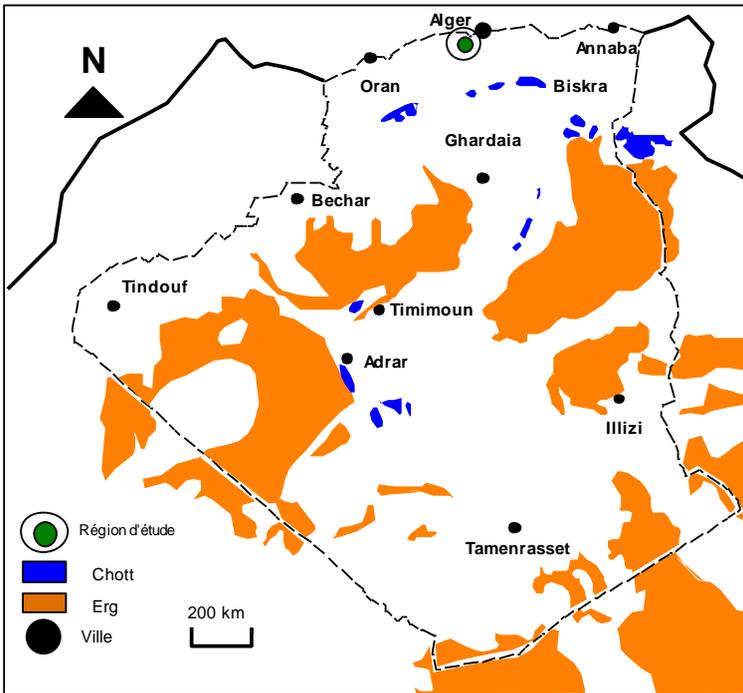
## INTRODUCTION

La durée de vie d'un barrage est liée directement au paramètre de l'envasement. C'est ainsi que dans les régions arides et semi arides, les barrages réservoirs s'ensavent beaucoup plus vite. Ce phénomène est la conséquence d'une érosion accélérée des bassins versants : environ 180 millions de tonnes de terre sont érodés annuellement au niveau des bassins versant du nord algérien (Demmak 1982). Une telle quantité de sédiments provoque dans les oueds des concentrations qui peuvent dépasser les 100 g/l en périodes de crues (Remini et al. 2015 ; Remini et Benfetta, 2015). Une fois arrivés au niveau des barrages, une proportion importante des particules fines se dépose au fond de ces ouvrages. Le volume de vase stocké dans les 74 barrages en exploitation est estimé à plus de 1,1 milliards de m<sup>3</sup>. Le taux d'envasement annuel a été évalué à 65 millions de m<sup>3</sup> (Remini, 2017 ; Remini et Toumi, 2017). Au Maroc, le taux d'érosion dépasse la valeur de 2000 t/km<sup>2</sup>/an (Badraoui et Hajji, 2001), qui donne un taux d'envasement égal à 75 millions de m<sup>3</sup>/an (Oualkacha, 2010). En Tunisie, Les barrages perdent annuellement 0,5 % à 1 % de leur capacité par alluvionnement (Ben Mamou et Louati, 2017). En Algérie, il existe des barrages qui sont fortement menacés par l'envasement. En contrepartie, il existe d'autres barrages qui sont moins exposés au phénomène de l'envasement. Généralement, ces ouvrages hydrauliques sont situés à l'exutoire des bassins versants bien boisés et bien aménagés. Le barrage réservoir de Boukourdane situé dans la wilaya de Tipaza fait l'objet de cette étude. Il s'agit bien d'examiner l'évolution de l'envasement et de déterminer ainsi la durée de vie du barrage.

## REGION D'ETUDE ET DONNEES UTILISEES

### Situation et caractéristique du barrage de Boukourdane

Réalisé sur l'oued El Hachem dans la willaya de Tipaza, le barrage réservoir de Boukourdane est situé à 70 km à vol d'oiseau à l'ouest d'Alger (fig. 1). Avec un apport moyen annuel de de 35 millions de m<sup>3</sup> et d'une capacité initiale égale à 108 millions de m<sup>3</sup>, le barrage réservoir de Boukourdane a été mis en exploitation en 1996 (fig. 2 et 3).



**Figure 1 : Localisation du barrage réservoir de Boukourdane (Remini, 2016)**



**Figure 2 : Digue en enrochement du barrage réservoir de Boukourdane (Photo. Remini, 2007)**



**Figure 3 : Vue générale du lac du barrage réservoir de Boukourdane (Photo. Remini, 2011)**

Le barrage réservoir de Boukourdane a été réalisé à l'exutoire du bassin versant d'oued El Hachem d'une superficie de 243 km<sup>2</sup>. Il est alimenté par les oueds : Boukadir, Tegdza, Nachef et Fedjena pour former l'oued El Hachem. Selon Tadriss et al (2016), le bassin versant possède un taux d'érosion de 446 t/km<sup>2</sup>. an. Le bassin versant de Boukourdane appartient au bassin hydrographique Algérois-Soummam-Hodna et plus exactement le bassin Algérois (fig. 4 et 5). Contrairement aux autres bassins hydrographiques qui sont au nombre de 5, le taux d'envasement de l'Algérois -Soummam -Hodna enregistrent un faible taux de comblement qui avoisine la valeur de 9% de la capacité totale des barrages (fig. 6) (Remini et Hallouche, 2007). La durée de

vie de ces ouvrages dépassera les 220 ans (Remini et Hallouche, 2007). Ce faible taux de comblement est la conséquence d'une faible érosion des sols dû au boisement et à l'aménagement des bassins versants.

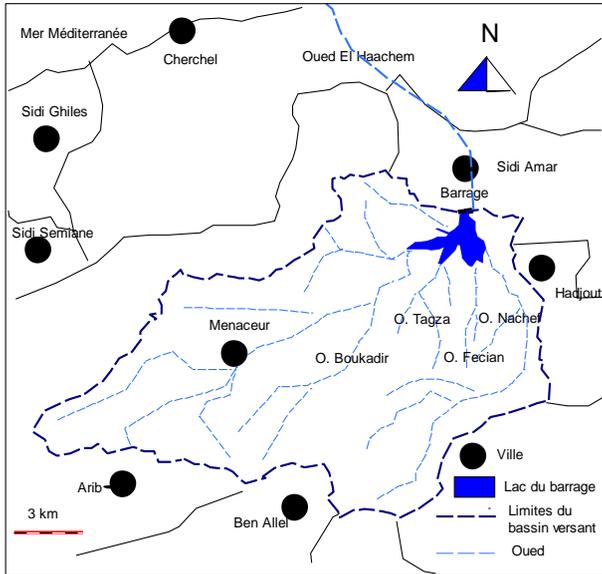


Figure 4 : Les limites du bassin versant à l'amont du barrage de Boukourdane (schématisé à partir d'une carte de l'ANRH)

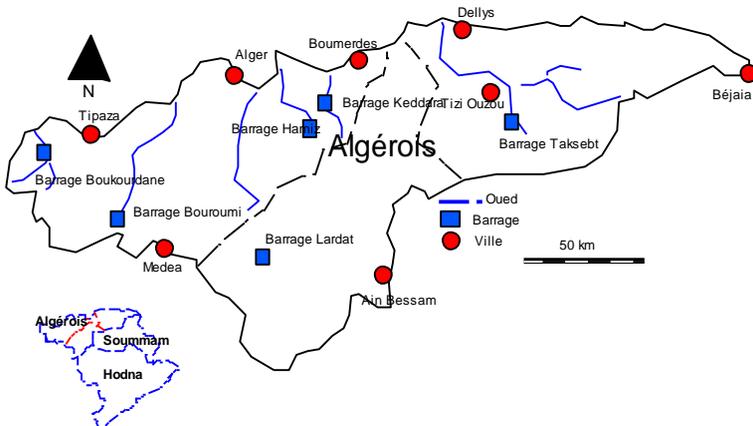
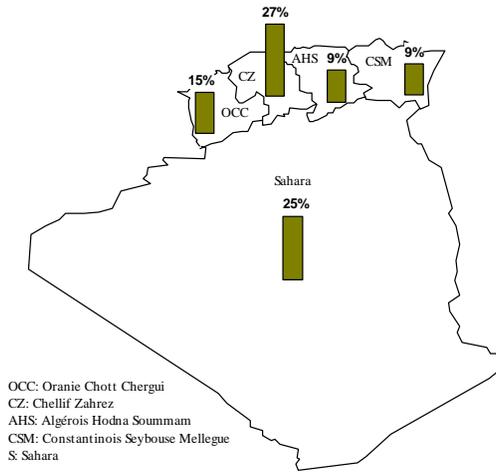


Figure 5 : Bassin Hydrographique Algérois- Soummam- Hodna (Schématisé à partir d'une carte de l'AHS)



**Figure 6 : Taux d'envasement dans les cinq bassins hydrographiques de l'Algérie (Remini, Hallouche, 2007).**



**Figure 7 : Une vue du bassin versant de l'oued El Hachem bien boisé (Photo. Remini, 2012)**

### Investigations et données utilisées

Suite aux plusieurs missions effectuées sur le site du bassin versant du barrage réservoir de Boukourdane durant la période 2002-2017, nous avons constaté qu'une grande partie du bassin versant est bien boisée avec l'absence des ravines et des bads lands (fig. 7). Ceci explique bien que le taux d'érosion est faible et par conséquent, le barrage s'envase avec de faibles vitesses de

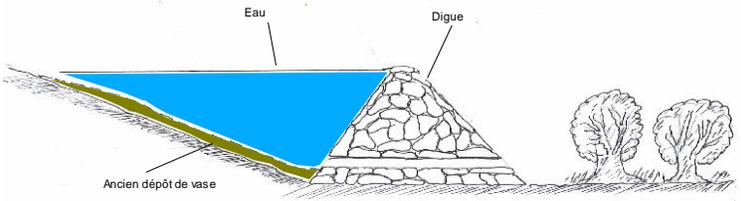
sédimentation. Pour avoir une idée sur l'envasement du barrage de Boukourdane, des données sur les apports, les lâchers et les levés bathymétriques ont été mises à notre disposition par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts.

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

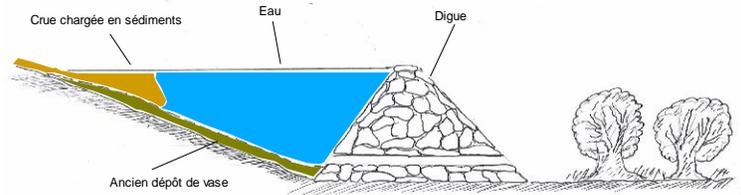
### **Mécanismes de l'envasement des barrages réservoir dans les régions arides**

Selon Remini (1997), le mécanisme de l'envasement est l'étape la plus complexe du processus d'envasement. Cependant la maîtrise de cette étape permet au spécialiste de mieux lutter contre le phénomène de l'envasement. Dans les régions arides et semi-arides, l'envasement des barrages s'effectue en périodes de crues et plus particulièrement durant les premières crues d'automne qui sont généralement chargées en particules solides (Remini et Bensafia, 2016). Le contact des eaux de crues d'automne avec celles du barrage de Boukourdane, ne permet pas d'amorcer les courants de densité, faute de faible teneur en particules. Dans ce cas de figure, le barrage s'envase par diffusion des particules fines dans tout le lac du barrage. La diffusion dépend de l'importance de la crue vue la grandeur du réservoir du barrage. Une fois le phénomène de la diffusion est déclenché, les particules fines continuent leur chemin pour atteindre le pied du barrage. Ensuite elles se décantent suivant le décroissement granulométrique des particules et finiront par se tasser au fond de la retenue. En plus la cuvette de Boukourdane présente une forme « lac », ce qui provoque l'évanouissement des courants de densité dans des endroits élargis. Nous décrivons d'une façon simplifiée, les mécanismes de l'envasement du barrage de Boukourdane. Pendant la période sèche, les particules fines sont déposés au fond du barrage réservoir; l'eau de la retenue est claire (fig. 8a). Au début de l'automne, les premières crues chargées en particules fines drainées par l'oued arrivent à la queue de la retenue de Boukourdane. Le faible taux d'érosion du bassin versant engendre de faibles concentrations en particules solide ne dépassant pas les 20 à 30 g/l. Une telle concentration ne pourrait pas déclencher les courants de densité à l'entrée de la retenue. Dans ce cas, on assiste à une diffusion de particules solide dans la retenue (fig.8 (b et c)). Les particules fines avancent lentement en suspension jusqu'à la digue (Fig. 8d). Les particules fines se décantent lentement en fonction de leurs faible poids (fig. 8e). D'autres crues ramenant des quantités de sédiment qui se décantent et forment une nouvelle couche de vase qui se dépose sur l'ancienne et ainsi de suite jusqu'au comblement totale de la cuvette (fig. 8f). Quelques rares crues d'automne

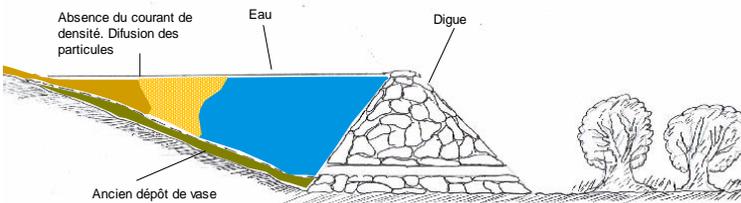
peuvent amorcer les courants de densité (concentration supérieur à 20-30 g/l), mais ils s'évanouissent au milieu de la retenue dans les endroits larges. Les particules finiront par se déposer au fond de la cuvette. Les courants de densité une fois déclenchés n'atteindront pas le pied du barrage réservoir. Après un parcours de 2km à partir des points de plongée dans la branche A, les courants de densité s'évanouissent dans la partie large de la retenue (Fig. 9). Par contre, dans la branche B, les courant de densité s'évanouissent dans la partie large et déposent toutes leurs particules fines (Fig. 9).



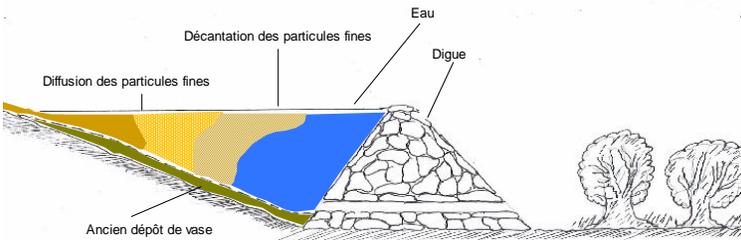
a) *L'eau de la retenue est claire*



b) *Contact : eau claire – eau chargé*

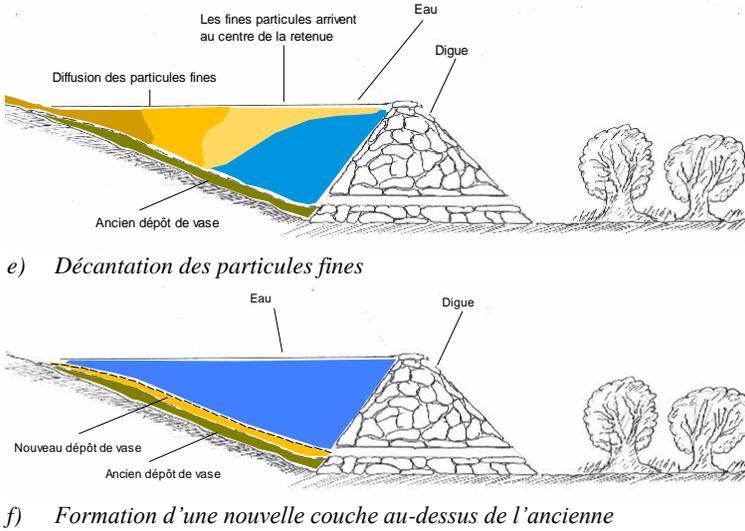


c) *Absence du courant de densité et diffusion des particules fines*

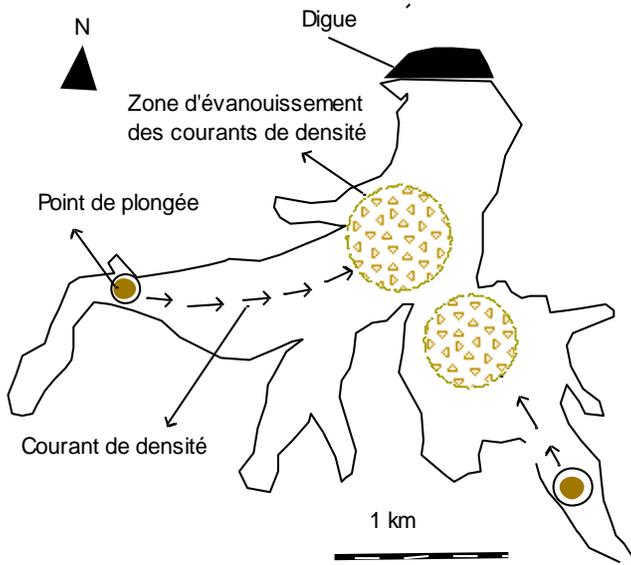


d) *Diffusion des particules fines*

*Boukourdane (Algérie) : un barrage réservoir qui s'envase peu*



**Figure 8 : Mécanisme de l'envasement barrage réservoir de Boukourdane (Schéma exécuté par Remini, 2016)**



**Figure 9 : Zones d'évanouissement des courants de densité dans la retenue de Boukourdane (Schéma exécuté par Remini, 2016)**

## Evolution de l'envasement

### *Evolution temporelle de l'envasement*

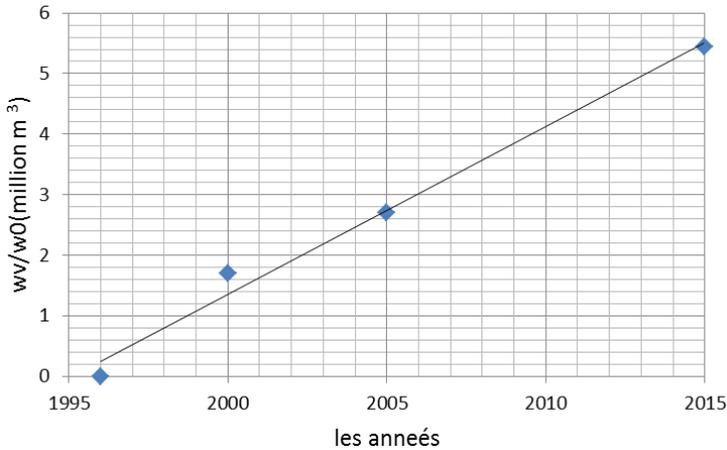
Nouvellement mis en exploitation, le barrage de Boukourdane possède un seul levé bathymétrique. Dans ce cas, il est difficile d'étudier l'évolution de l'envasement dans le barrage réservoir. C'est en 1996 que le barrage réservoir de Boukourdane d'une capacité initiale de 108 millions de m<sup>3</sup> (après correction) a été mis en service. En 2005, l'Agence Nationale des Barrages et Transferts a effectué le seule levé bathymétrique. Le nouveau volume d'eau du barrage a été évalué à 105 millions de m<sup>3</sup>. Sur la base du taux d'envasement  $\zeta=0,3$  millions de m<sup>3</sup>/an (soit une vitesse de comblement égale à 0.28%/an), l'envasement du barrage est estimé à 6 millions de m<sup>3</sup> en 2016. Soit un taux de comblement du barrage égal à 5.55% de la capacité totale (fig. 10).



**Figure 10 : Régression de la capacité du barrage réservoir de Boukourdane suite au dépôt de vase (Photo. Remini, 2011)**

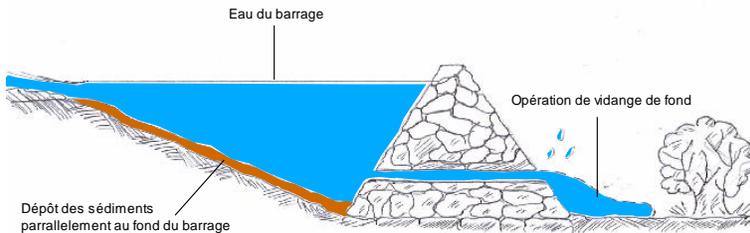
En se basant sur le taux de comblement annuel (0.28%/an) qui est inférieur au seuil : 1%/an proposé par Remini et Hallouche (2005), le barrage réservoir de Boukourdane est peut être classé comme un barrage à faible taux d'envasement. Dans ce cas, nous utilisons la relation :

$W_v / W_o = 0,2573t + 0,7472$  (Remini et Hallouche, 2005) pour étudier l'évolution dans le temps de l'envasement du barrage réservoir de Boukourdane (fig. 11).



**Figure 11 : Evolution dans le temps de l'envasement dans le barrage réservoir de Boukourdane**

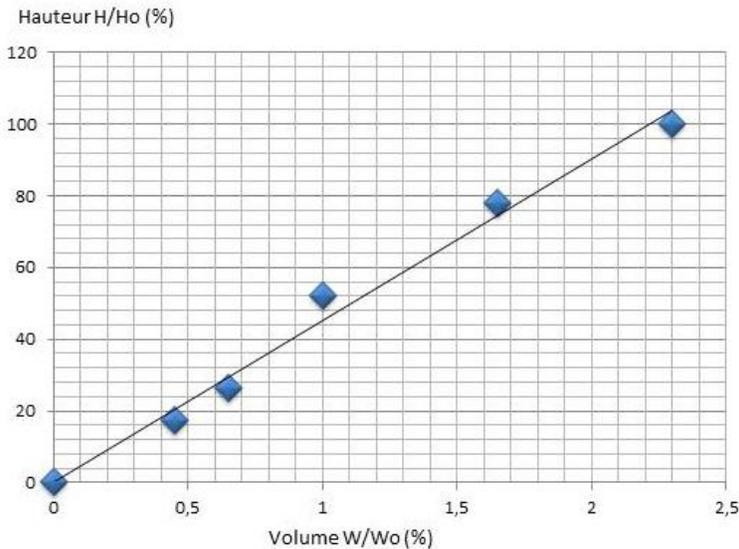
Selon les travaux de Remini (1997), Remini et al, 2015, une évolution linéaire de l'envasement en fonction du temps veut dire que le toit de vase évolue parallèlement au fond du barrage sans être perturbé. C'est-à-dire la vase se dépose couche après couche (fig. 12).



**Figure 12 : Schéma de l'évolution du toit de vase (Schéma exécuté par Remini, 2016)**

### ***Evolution de l'envasement en fonction de la hauteur d'eau du barrage réservoir***

Pour mieux justifier une répartition des sédiments équitable sur l'ensemble du fond du barrage réservoir, nous avons opté pour l'évolution de l'envasement en fonction de la hauteur d'eau pour les barrages à faible taux d'envasement (Remini, 1997). A cet effet, nous avons représenté sur la figure 13, l'évolution des dépôts vaseux en fonction de la hauteur du plan d'eau du lac durant la période : 1996-2005. Il est intéressant de constater qu'il existe une relation linéaire entre le volume de la vase et la hauteur d'eau. Ceci explique bien que les dépôts de la vase évoluent parallèlement au fond du barrage réservoir.



**Figure 13 : Evolution de l'envasement en fonction de la hauteur d'eau du palm d'eau (Periode : 1996-2005)**

### **Moyens de lutte contre l'envasement du barrage réservoir**

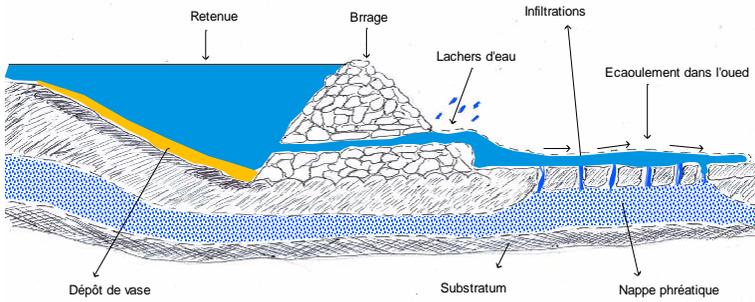
Vu le bon état du bassin versant à l'amont du barrage et le faible taux d'envasement du barrage, l'ouverture périodique de la vanne de fond est la seule technique pratiquée au niveau du barrage réservoir de Boukourdane. C'est ainsi que durant la période : 1997-2015, un apport d'eau au barrage a été évalué à 415 millions de  $m^3$ . Cependant, un volume de 25 millions de  $m^3$  de mixture a été évacué par la vanne de fond pour la même durée d'exploitation (fig. 14 et 15). Cette quantité d'eau qui s'écoulait dans l'oued El Hachem à l'aval du barrage a été bénéfique pour la réalimentation de la nappe phréatique ainsi que pour le barrage. L'évacuation des particules fines déposées au pied du barrage permet de réduire l'envasement et de soulager le pertuis de vidange (fig. 16 et 17). Nous avons représenté par les figures 18 et 19, les apports annuels au barrage réservoir de Boukourdane ainsi que les volumes de mixtures évacuées par la vanne de fond pendant la période : 1997 – 2015. Il est intéressant de constater qu'effectivement, il n'existe pas une corrélation entre les apports et les lâchers. Cependant, un volume d'eau chargée évalué à 10 millions de  $m^3$  a été évacué par la vanne de fond durant l'année 2012 alors que le barrage a enregistré un apport annuel égal à 43 millions de  $m^3$ . Durant cette période, une importante quantité des sédiments a été évacuée et que la nappe phréatique a bénéficié d'une part d'eau appréciable.



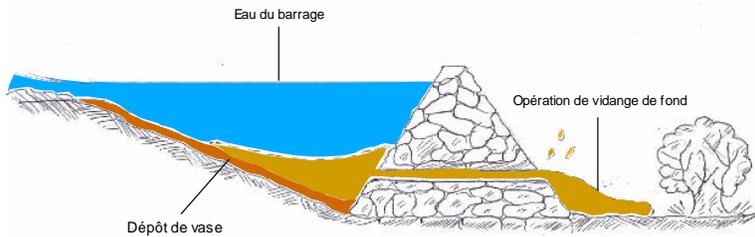
**Figure 14 : Vanne de fond du barrage réservoir de Boukourdane  
(Photo. Remini, 2012)**



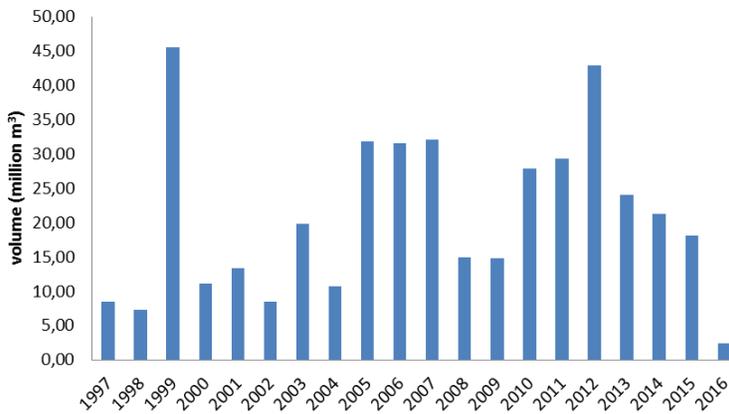
**Figure 15 : Eau chargée en sédiments fins évacuée par la vanne de fond  
(Photo. Remini, 2011)**



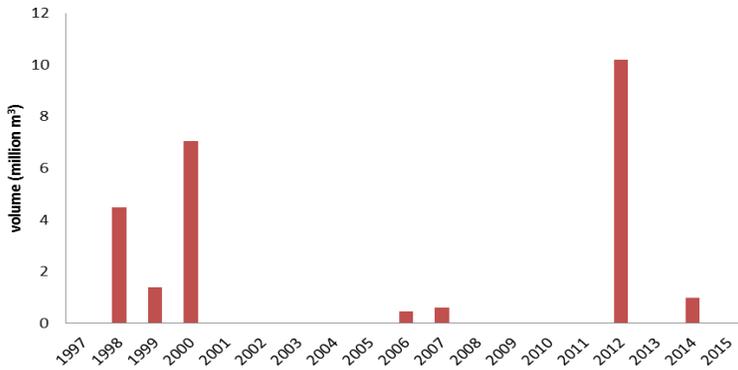
**Figure 16 : Recharge de la nappe par les lâchers d'eau par la vanne de fond du barrage réservoir de Boukourdane (Schéma exécuté par Remini, 2017)**



**Figure 17 : Quantités de suspensions évacuées par la vanne de fond durant la période : 1997-2015 (Schéma exécuté par Remini, 2016)**



**Figure 18 : Apports au barrage réservoir de Boukourdane durant la période 1997-2016 (données ANBT)**



**Figure 19 : Les quantités de suspension soutirées du barrage réservoir de Boukourdane durant la période : 1997-2015 (Données ANBT)**

### **La durée de vie du barrage réservoir de Boukourdane**

Avec un taux d'envasement de 0.3 millions de m<sup>3</sup>/an, le barrage réservoir de Boukourdane d'une capacité de 99 millions de m<sup>3</sup> en 2016 est à l'abri d'un comblement rapide de son lac. Le barrage pourra s'éteindre d'ici l'année 2348, soit une durée de vie de 330 années si l'état de son bassin versant restera à l'état actuel.

### **CONCLUSION**

Comme nous l'avons montré au début de cette étude que l'envasement pose d'énormes problèmes aux gestionnaires de barrages, notamment la réduction de la capacité. Plus d'une vingtaine de barrages sont sérieusement menacés par ce phénomène. Cependant, le barrage réservoir de Boukourdane est parmi les barrages les moins touchés par ce problème. Avec un taux de comblement annuel égal à 0.28% (inférieur à 1%/an), le barrage réservoir de Boukourdane est classé comme un barrage à faible taux d'envasement. Sa durée de vie a été estimée à plus de 300 ans. Le barrage est à l'abri d'un envasement accéléré tant que son bassin versant ne se dégrade pas. Il devient donc indispensable de contrôler périodiquement le bassin versant d'une éventuelle apparition de nouvelles ravines. La poursuite de la réalisation des corrections torrentielle au niveau de l'ensemble du bassin est devenue une nécessité. La gestion des manœuvres de la vanne de fond peut aider à réduire l'envasement du barrage réservoir.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement, le personnel de l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) et plus particulièrement la direction de la maintenance des barrages. Sans oublier le directeur et le personnel du barrage de Boukourdane qui nous ont beaucoup aidés lors de nos missions sur le site.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEN MAMOU A., LOUATI. (2017) Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie. *Revue des sciences de l'eau*, Vol. 20 n°2, pp. 201-210.
- HALLOUCHE O., REMINI B. (2005) Préviation de l'envasement dans les barrages des pays du Maghreb. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin, pp.69-80.
- DEMMAK A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Dr. Ing. Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- OUALKACHA L. (2010). L'envasement des barrages au Maroc. Communication Colloque, Marseille (France), 13-14 Décembre.
- REMINI B. (1997) Envasement des barrages en Algérie – Mécanismes et moyen de lutte par la technique de soutirage. Doctorat d'état, Mars, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 342 p.
- REMINI B., BENSALFIA D., MISSOUM M. (2015). Silting of Foum el Gherza Reservoir. *GeoScience Engineering*, Volume LXI, No.1. pp. 1-9, ISSN 1802-5420.
- REMINI B., BENSALFIA D. (2016). Envasement des barrages dans les régions arides-Exemples Algériens. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°27, Sept, pp. 63-90.
- REMINI B., BENFETTA H. (2015). Le barrage réservoir de Gargar est-il menacé par l'envasement ? » *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°24, Décembre, pp. 175-192
- REMINI B., TOUMI A. (2017). The Beni Haroun reservoir (Algeria) is it threatened by siltation? *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°29, Mars, pp. 249-263.
- REMINI B. (2017). Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. *Larhyss Journal*, n°31, Sept, pp. 51-81
- REMINI B., HALLOUCHE O. (2007). Studying Sediment. *Revue International Water Power et Dam construction*. Octobre, pp. 42-45.
- TADRIST N, DEBAUCHE O., REMINI B., DIMITRI XANTHOULIS D., DEGRE A. (2016). Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 20(4), 453-4