

Perte de la capacité de stockage d'eau au barrage de Beni Haroun, Algérie **Loss of water storage capacity at the Beni Haroun dam, Algeria**

Toumi A¹, Remini B²

¹ Département de génie civil et d'hydraulique, faculté des sciences et de la technologie, université 08 Mai 45 Guelma ; Algérie. toumiouaheb@yahoo.fr

Laboratoire de Génie Civil et d'Hydraulique (L.G.C.H), université 08 Mai 45

² Département des sciences de l'Eau et de l'Environnement, Faculté de Technologie, Université de Saad DAHLAB Blida, Algérie. reminib@yahoo.fr

Abstract

Hydrotechnical dams always face at least one of the quantitative problems, such as siltation, water leakage, evaporation, and/or to one of the qualitative problems which boils down to the deterioration of the water quality with regard to the purposes for which they are used. Our work has focused on the study of quantitative problems at the largest dam in Algeria, at present, that of Beni Haroun. Quantitative problems lead to water losses and storage losses, and among them there are threats to the stability of the dike. However, the slice lost by silting remains difficult to recover. Currently, there is an accumulation of more than $650 \cdot 10^6 \text{m}^3$ in more than 110 Algerian dams. Our objective is to provide information on the quantities of incoming vase deposits in the BBH basin, based on the bathymetric surveys carried out, in order to better assess its life and future reserves on the one hand and, on the other hand, monitor the amount of water evaporated from the lake and study the variation in the flow rates of the leaks over time as a function of the fluctuation of the water level in the lake. From a quantity view, the loss of water by evaporation is estimated at $52,479 \text{Hm}^3/\text{year}$, although it does not create risks stabilitys, it is much higher than those lost through leaks, $30 \text{Hm}^3/\text{year}$, and by siltation, $8.3 \text{Hm}^3/\text{year}$, except for the last two phenomena, there are more other problems such as the threats to the stability of the dyke caused by water leaks and the recovery of the volume of the bowl occupied by the vase which is expensive, difficult and in some cases impossible. Indeed, the quantitative problems will be able to put this dam and its tentacles in a delicate situation. In the case where this rate of silt persists at this magnitude and without the application of reducing techniques, from the furthest point of the watershed to the dike, the bowl of the B.H dam will be completely silted during a time of 106 years of the date of the last bathymetric survey.

Key words: Dam - Algeria – Beni Haroun - quantitative problems

Résumé

Les barrages hydrotechniques se trouvent toujours confrontés au moins à l'un des problèmes quantitatifs, comme l'envasement, les fuites d'eau, l'évaporation, et/ou à l'un des problèmes qualitatifs qui se résument à la dégradation de la qualité d'eau vis-à-vis de leur différente utilisation. Notre travail s'est intéressé à l'étude des problèmes quantitatifs au plus grand barrage en Algérie, à l'heure actuelle, celui de Beni Haroun. Les problèmes quantitatifs entraînent des pertes en eau et des pertes de capacité de stockage et parmi eux qui exercent des menaces sur la stabilité de la digue. Toutefois, la tranche perdue par envasement reste difficilement récupérable. Actuellement, il y a un cumul de dépôt de vase de plus de $650 \cdot 10^6 \text{m}^3$ dans plus de 110 barrages algériens. Notre objectif est de fournir des informations sur les

quantités de dépôts de vases entrantes à la cuvette du B.B.H, en se basant sur les levés bathymétriques réalisés, pour bien apprécier sa durée de vie et ses réserves futures d'une part et, d'autre part, suivre les quantités d'eau évaporées du lac et l'étude de la variation des débits des fuites au cours du temps en fonction de la fluctuation du niveau d'eau dans le lac. Du point de vue quantité, la perte d'eau par évaporation est estimée à 52,479 Hm³/an, malgré le fait qu'elle n'engendre pas des risques sur la stabilité, elle est nettement supérieure aux celles perdues par fuites, 30 Hm³/an, et par envasement, 8,3 Hm³/an. Hormis, ces deux derniers phénomènes, d'autres problèmes se posent tels que les menaces exercées sur la stabilité de la digue générées par les fuites d'eau et la récupération du volume de la cuvette occupée par la vase qui est coûteuse, difficile et dans certains cas impossible. En effet, Les problèmes quantitatifs pourront mettre ce barrage et ses tentacules en une situation délicate. Dans le cas où ce taux de vase persiste à cette grandeur et sans l'application des techniques réductrices, du point le plus éloigné du bassin versant jusqu'à la digue, la cuvette du B.B.H sera complètement envasée durant un temps de 106 ans de la date du dernier levé bathymétrique.

Mots clés: Barrage - Algérie - Beni Haroun - problèmes quantitatifs

Introduction

Les retenues de barrages sont exposées aux différents problèmes hydrauliques tels que l'évaporation intense, les fuites d'eau, et l'envasement. Ces phénomènes menacent la quantité d'eau emmagasinée dans la cuvette du barrage d'une part et d'autre part la stabilité de la digue.

Le phénomène d'envasement touche la plupart des barrages à travers le monde. Cependant, il reste mal maîtrisé par la majorité, des gestionnaires de ces ouvrages, des pays ayant un sérieux problème d'envasement. La lutte la plus efficace contre ce dernier conduit à un traitement radical à la source.

Le problème d'envasement est le plus désastreux de tous les problèmes hydrauliques qui touchent les retenues de barrage en Algérie ou à travers le monde. En effet, l'obturation des organes de vidange, la sécurité de l'ouvrage, l'envasement des canaux d'irrigation, la dégradation de la qualité de l'eau s'ajoutent à la réduction de la capacité de la retenue sont ses conséquences majeures.

Le phénomène des fuites d'eau à travers, surtout, les rives et la fondation de n'importe quel barrage en plus des pertes en eau, qui se fait rare surtout en zone aride et semi aride, peut compromettre la stabilité de ces ouvrages, en rendant certains inutile où ils restent la plus part du temps vides ou ils ne seront remplis qu'à un volume limité pour assurer leurs étanchéités à titre d'exemple le barrage de Hammam Grouz situé à l'Est d'Algérie est l'un des ouvrages qui ne sera rempli qu'à la 1/3 de sa capacité initiale de stockage pour assurer son étanchéité (Toumi A, 2006).

L'évaporation intense des eaux des lacs des barrages dans les zones arides et semi arides génère des pertes d'eau importantes. Toutefois, le suivi au cours du temps de ces pertes permet de prévoir les quantités futures stockées dans leurs cuvettes.

Le barrage de Beni Haroun est considéré comme le plus grand barrage en Algérie. Nonobstant, il est exposé aux problèmes précités et fortement menacé par celui de l'envasement. En effet, le levé bathymétrique réalisé en 2004 avait montré un fond horizontal de vase à la cote 126,80 ce qui l'équivalent d'un volume de vase égal à 8,584450 millions de mètres cubes. L'épaisseur de dépôt était donc de 6,9 mètres en 3 ans, soit plus de 2 mètres par an (ANBT, 2004). Alors que le dernier levé bathymétrique réalisé par le Laboratoire des Études Maritimes (L.E.M) du 22 Juillet au 23 septembre 2013 indique que le niveau de la vase atteint 133,3 NGA soit une épaisseur de vase de 30 mètres juste à l'amont de la digue (ANBT, 2014).

Dans ce travail, nous traiterons les problèmes d'envasement, fuites d'eau et d'évaporation au barrage de Beni Haroun et les prévisions possibles à tenir en compte lors de l'élaboration des projets futurs ayant une relativité avec le B.B.H.

L'utilisation de toutes les données existantes à l'échelle régionale, du bassin versant, du barrage voire même historiques s'avère d'une très grande utilité pour avoir une idée précise sur les volumes d'eau perdus par les fuites et par évaporation d'une part et d'autre part les quantités de vase qui sont et seront déposées dans la cuvette du BBH.

1. Présentation de la zone d'étude et données utilisées

1.1. Localisation et caractéristiques du barrage de Beni Haroun (BBH)

Le site de la digue du barrage de Beni Haroun est trouve au Nord-Est de l'Algérie sur oued El-kébir à environ quarante km de son embouchure dans la mer méditerranée. La retenue créée par la digue se trouve au sud de cette dernière. Le barrage de Beni Haroun est situé à environ 40 Km au Nord -Nord Ouest de la ville de Constantine et à 350 Km à l'Est de la capitale Alger.

La digue du barrage est située à l'extrémité amont de la gorge calcaro-marneuse de Beni Haroun et à 3 Km de la confluence des deux oueds Ennedja et Rhumel et géographiquement au Nord de la ville de Grarem Gouga située dans la wilaya de Mila.

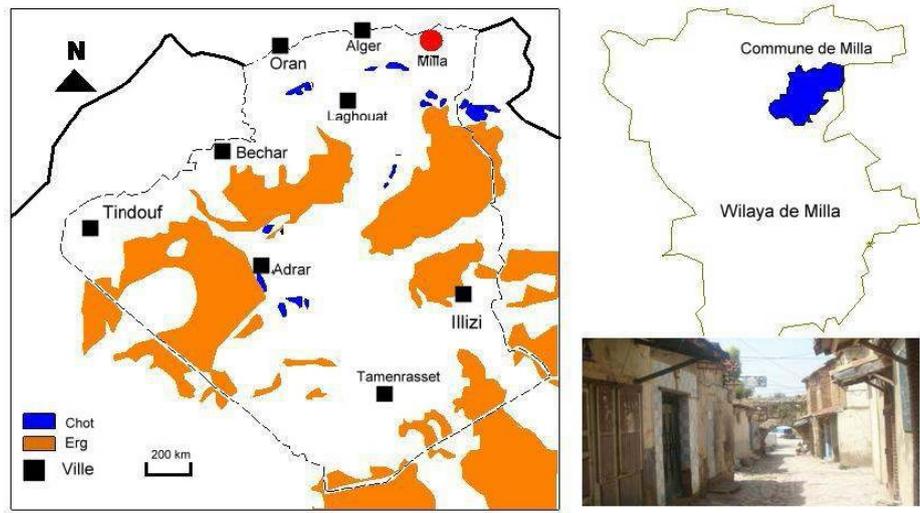


Figure 01 : Localisation du barrage de Beni Haroun, Algérie

Le barrage de Beni Haroun atteint les 118 m de hauteur à partir de la fondation située à 82 NGA et 107 m au-dessus du terrain naturel situé à 93 NGA, il a une longueur de 710 m à la crête. La largeur de la digue à la base est égale à 93 m et à la crête 8 m. Le niveau normal de la retenue (N.N.R) se trouve à 200 NGA et celui des plus hautes eaux (P.H.E) à 214,80 NGA, tandis que le niveau de la crête se trouve à 216,30 NGA. Le fruit du parement amont de la digue est vertical et celui d'aval a le rapport de 0.8H/1V.

La capacité de stockage à la cote normale de la retenue (200 NGA) égale à 963 millions de m³. Le volume de la tranche utile, située entre les cotes 172 NGA et 200 NGA, est égal à 723 millions de m³ alors que le volume moyen annuel régularisé est de l'ordre de 435 millions de m³. L'apport solide annuel est estimé préalablement à 6 millions de m³. Le volume de la tranche morte, située entre les cotes (110 et 172 NGA), est égal à 240 millions de mètres cubes.

Cette géante infrastructure hydraulique est conçue en BCR (Béton Compacté au Rouleau), c'est une nouvelle technique de réalisation des barrages créée en 1980.

Le barrage a été réceptionné définitivement en 2001 (Fin des travaux en Juin 2001) avec un taux de réalisation de 100%. Toutefois, la première mise en eau était le 01 Août 2003.

Le bassin versant d'Oued El-Kébir se subdivise en deux parties distinctes. La partie occidentale formée par le bassin de l'Oued Enndja et celle Orientale constituée également par Oued Rhumel.



Figure 02: Photo du barrage de Beni Haroun après la mise en eau (A.N.B.T, 2014)

Le bassin versant de l'Oued Enndja est situé à l'Ouest et au Nord Ouest du Bassin Kébir – Rhumel tandis que le bassin versant de l'Oued Rhumel s'étend du sud au Nord-Est de ce bassin.

Le bassin versant total de oued El-Kébir, au site du barrage, couvre une superficie de 7725 Km² dont une partie du bassin Rhumel est mobilisée par le barrage de Hammam-Grouz ce qui réduit la superficie utile du bassin versant du barrage de Beni Haroun à 6595 km².

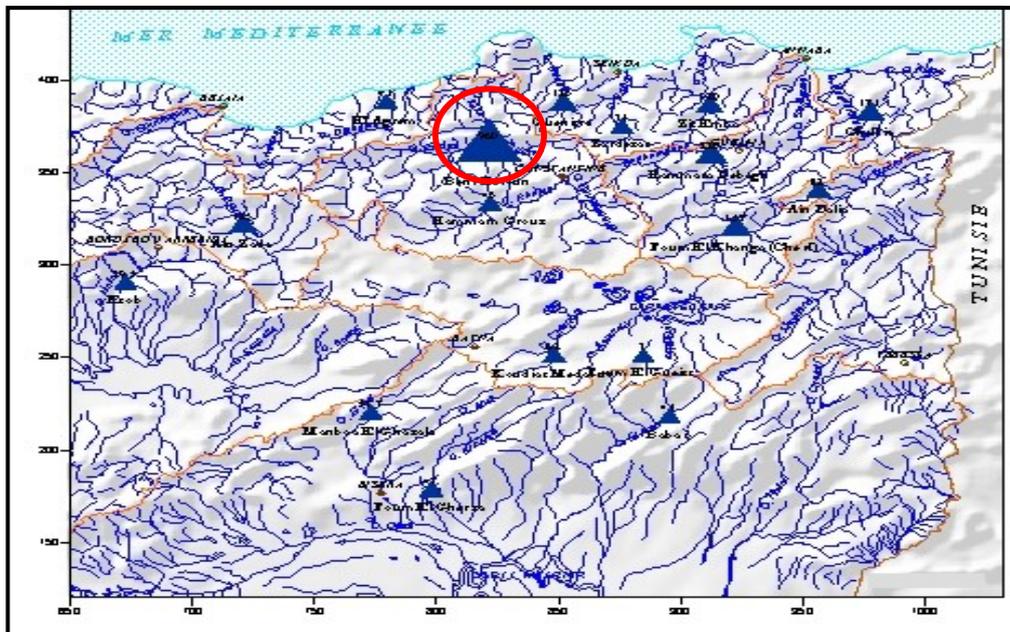


Figure 03: Situation hydrographique du barrage de Beni Haroun, Algérie (Mebarki A, 2006 ; Toumi A, 2006)

2. Méthodes de mesure et données utilisées

2.1. Méthodes utilisées

Nous allons utiliser les résultats du dernier levé bathymétrique réalisé en 2013, du levé topographique et de la délimitation de la zone de la retenue à la cote des plus hautes eaux effectués par le Laboratoire d'Études Maritimes pour prévoir la quantité de vase annuelle déposée dans la cuvette de cet ouvrage et par conséquent avoir une idée sur sa durée de vie.

À cet effet, le Laboratoire d'Études Maritimes (LEM) a entrepris une campagne, durant la période allant du 22 Juillet au 28 Novembre 2013. Parmi les objectifs de cette campagne nous pouvons citer :

- Les levés terrestres des zones émergées entre le niveau des plus hautes eaux (PHE) et le niveau de la cote du plan d'eau existante.
- Les levés des zones immergées.
- La délimitation de la retenue par des balises aux plus hautes eaux (PHE).

2.1.1. Le levé bathymétrique

Pour faire le levé bathymétrique complet de la cuvette de la retenue de Beni Haroun, le LEM a nécessité la détermination de près de 180645 points pour une surface totale à la cote du plus hautes eaux de 5611.65 Ha, se répartissant en 3845.65 Ha de bathymétrie et 1766 Ha de topographie, répartie entre environ 31.5% en levé terrestre et 68.5% en levé bathymétrique (ANBT, 2014).

Les profils bathymétriques ont été levés avec un intervalle de 50 m dans la zone des 1000 m de la digue et un intervalle de 100 m au-delà de cette limite. Ce levé bathymétrique, représentant une surface totale au niveau normal de la retenue de 3845.65 Ha, a été réalisé entre, le 22 juillet et le 23 septembre 2013, soit en 2 mois (ANBT, 2014).

2.1.2. Le levé topographique

Le levé combiné de profils espacés tous les 50 m dans la zone des 1000 m de la digue, puis tous les 100 m au-delà de cette limite, et de lignes de ruptures caractéristiques (thalwegs, lits d'oueds, hauts et bas de talus et d'escarpements etc.) dans les zones accidentées, a ainsi permis une restitution optimale de la forme du terrain. Ce levé topographique a été réalisé en 3.5 mois, du 13 août au 28 novembre 2013 (ANBT, 2014).

2.1.3. Délimitation de la zone des plus hautes eaux

Le laboratoire des études maritimes a implanté également 377 balises afin de délimiter le périmètre de la cuvette à la cote des plus hautes eaux plus 2,20 m soit une cote de 217 m (ANBT, 2014).

Les résultats de cette investigation devront permettre d'actualiser les données relatives à la capacité de stockage de cette retenue d'eau et à la surveillance de l'envasement de cet ouvrage. Ils permettront également d'avoir l'étendue de la cuvette à la cote des plus hautes eaux.

2.2. Profils en long et en travers réalisés à la cuvette du BBH

2.2.1. Les profils en long

Trois profils en long ont été réalisés, dont un au niveau de la cuvette centrale, à partir de la digue et un profil pour chacune des deux ramifications du barrage. La position des profils a été choisie en fonction de l'axe du barrage, afin de permettre d'avoir une vue d'ensemble du fond du barrage. A l'avenir, ces profils permettront d'avoir une vue d'ensemble sur l'évolution de l'envasement du barrage (ANBT, 2014).

2.2.2. Les profils en travers

Quatre vingt quatre (84) profils en travers ont été également réalisés. Les quarante (40) premiers profils, espacés de 50 m, sont situés dans un rayon de 2000 m à partir de la digue, tandis que les onze (11) profils suivants sont espacés de 100 m (ANBT, 2014).

L'espacement entre les trente trois (33) profils restants, est égal à 1000 m sachant que le profil en travers n°51 coupe le point d'intersection des trois profils en long (ANBT, 2014).

2.3. Données utilisées

Nous avons jugé utile, que l'étude de l'envasement nécessite l'utilisation des informations initiales concernant la digue (NNR, NVM, NPHE), l'état initial des dépôts dans la cuvette, les événements sollicitant le problème etc., ce qui nous a incité, en premier lieu, à citer une chronologie de certains événements et en second lieu de mentionner dans un tableau quelques informations.

Le barrage a été mis en service le 05 Août 2003.

En juin 2011, il a atteint un niveau des plus élevés depuis le début de son remplissage graduel en 2003 en atteignant le volume de 851 millions de mètres cubes.

Au 07 février 2012, le barrage a atteint un niveau record de 900 millions de m³ et devrait augmenter dans les jours suivants, le déversement du surplus était envisagé.

Au 11 février 2012, le barrage a atteint la barre des 990 millions de m³.

Au 12 février 2012, le barrage a atteint un pic historique jamais réalisé depuis sa mise en service à ce jour : 1 milliard de m³, dépassant ainsi de 37 millions m³ sa capacité théorique (963 millions de m³).

Dans le tableau 1, nous représenterons quelques données concernant la digue et la cuvette du barrage de Beni Haroun.

Tableau 1: Caractéristiques initiales de la cuvette du barrage de Beni Haroun, Algérie (ANBT, 2014)

Niveau Normal (R.N)	Plus hautes eaux (PHE)	Niveau minimum d'exploitation (NME)	Volume de la tranche morte (VTM) (110-172)	Volume utile (VU)	Volume total (VT)	Surface de la retenue (SR) à la cote (172 NGA)	Surface de la retenue à la cote (200 NGA)
200,00 m	214,80 m	172,00 m	240 Hm ³	723 Hm ³	963 Hm ³	1392 Ha	3768 Ha

3. Résultats et interprétations

Après avoir s'étalé sur les différentes méthodes utilisées, ainsi que les données nécessaires pour évaluer les nouvelles grandeurs notamment les surfaces et les volumes pour différentes valeurs de la cote, nous allons entamer en douceur, dans ce qui suit le traitement et l'interprétation des résultats obtenus.

3.1. Résultats des levés bathymétrique et topographique

L'objet du levé réalisé est d'actualiser la capacité de stockage de la retenue de Beni Haroun et de surveiller l'envasement de ce barrage. Ceci permettra à l'ANBT de définir de façon rationnelle et précise l'état de la réserve en eau du barrage de Beni Haroun.

Le logiciel SURFER 10.1 utilisé avec la méthode de triangulation a été retenu par le LEM pour le calcul du volume et de la surface pour plusieurs raisons, entre autres, pour la précision et la rapidité. Toutefois, avant de procéder au calcul de la surface et du volume, un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T) a été réalisé par le LEM. La méthode de triangulation est la méthode la mieux adaptée pour ce cas du barrage de Beni Haroun.

Les résultats de calcul de la surface et du volume entre la cote 135 NGA et celle des plus hautes eaux (214,80 NGA) sont représentés dans le tableau ci-après.

Tableau 2 : Résultats de calcul de la surface et du volume d'eau en fonction de la cote au niveau de la cuvette du barrage de Beni Haroun (ANBT, 2014).

Cotes (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)
200 (NNR)	38456498	880139445
205	42939318	1083887725
210	47613047	1310048010
214,80 (NPHE)	52861228	1551118067

La superficie du barrage selon le levé bathymétrique de l'an 2013 à la cote de la retenue normale (200 m) est de l'ordre de 3846 Ha et celle à la cote de la PHE (214,80 m) est de 5286 Ha.

La capacité de stockage du barrage de Beni Haroun selon le levé bathymétrique de l'an 2013 à la cote de la retenue normale (200 m) est égale à 880 Hm³ et celle à la cote des plus hautes eaux PHE (214,8 m) est égale à 1551 Hm³.

La figure4 donne la variation de la surface immergée dans la retenue en fonction de la cote avant et après le levé bathymétrique du 2013.

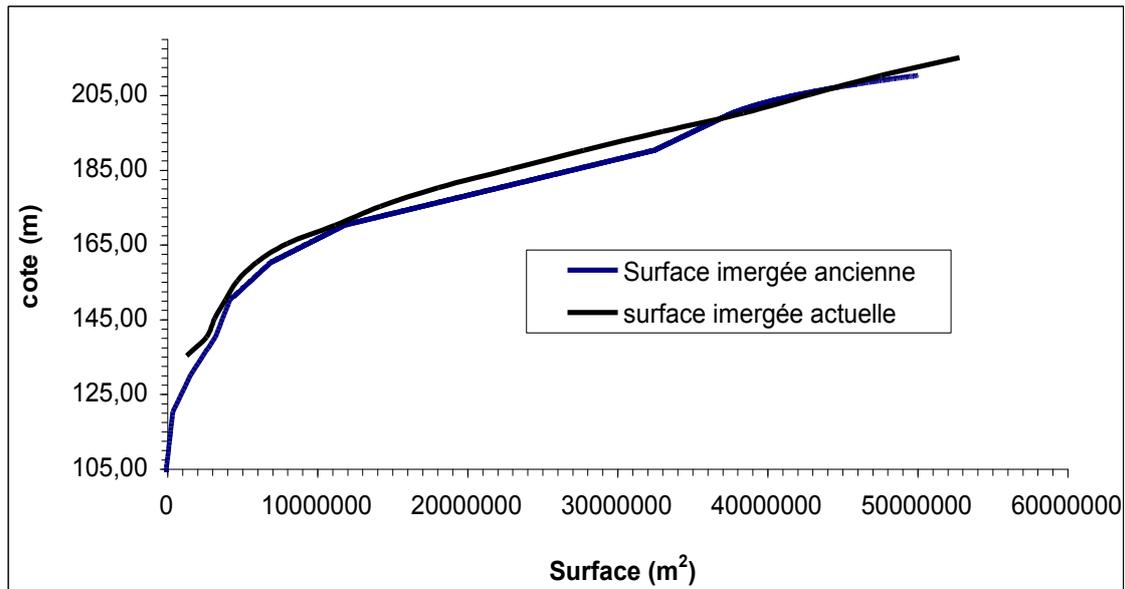


Figure 04: Variation de la surface immergée en fonction de la cote du lac dans le BBH

La surface immergée dans la retenue du barrage de Beni Haroun a subi une modification durant 10 ans de mise en eau. En effet, les deux courbes peuvent être subdivisées en 3 branches, de la cote 135 jusqu'à la cote 198 NGA une augmentation de la surface immergée par rapport à celle initiale est assez remarquable, de la cote 198 jusqu'à la cote 207 NGA on assiste à une petite diminution de la surface immergée par rapport à celle initiale, cette diminution peut être justifiée par un déplacement dans le sens de la digue d'une part de la vase déposée entre ces deux cotes à cause des perturbations causées par le niveau du lac et les manœuvres des vannes alors que au-delà de la cote 207 NGA où la surface immergée actuelle est nettement supérieure à celle initiale.

La figure 5 donne la variation du volume d'eau dans la retenue en fonction de la cote avant et après le levé bathymétrique du 2013.

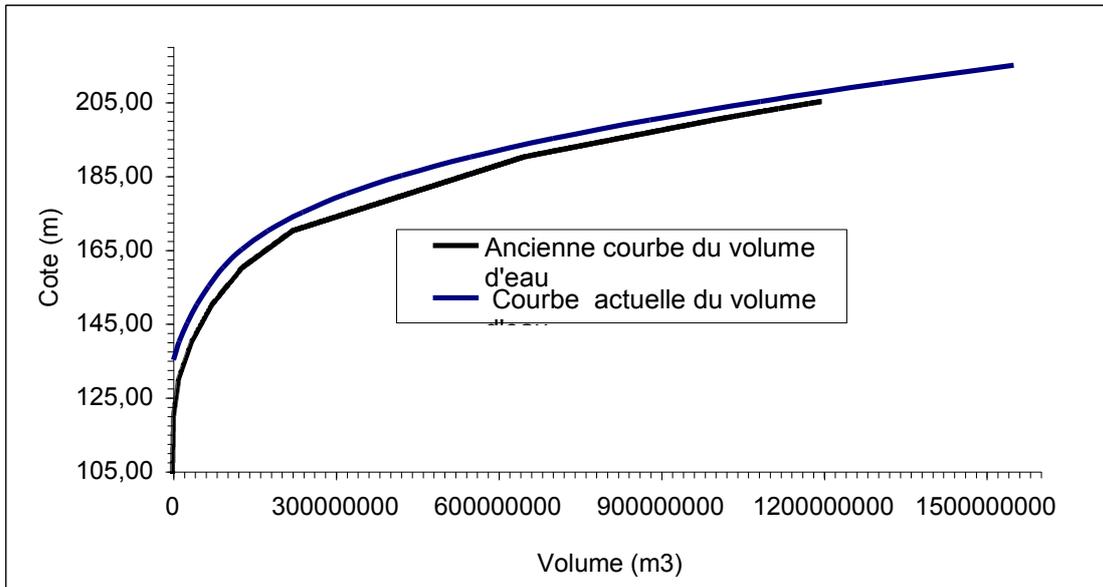


Figure 05: Variation du volume d'eau stocké en fonction de la cote du lac dans le BBH

La différence enregistrée entre les deux courbes témoigne de la modification qu'elle a subi la forme initiale de la cuvette du B.B.H. Ce changement de forme est dû aux matériaux transportés par l'eau et se déposés dans cette cuvette.

Le volume se trouvant entre les deux courbes (ancienne et actuelle) est considéré comme perdu car la vase a pris la place de l'eau. Après 10 ans de mise en eau et pour la même cote du lac on constate une diminution du volume d'eau stocké dans la retenue du barrage de Beni Haroun, cette perte est due sans aucun doute à la quantité de vase déposée dans cette retenue.

Le service chargé de l'exploitation du BBH doit utiliser la nouvelle courbe du volume en fonction de la cote d'au dans la cuvette pour obtenir le volume d'eau stocké dans le lac.

3.2. Évolution au cours du temps de la vase dans la cuvette du barrage de Beni Haroun

Dans ce volet, nous examinerons l'évolution des dépôts de la vase dans la cuvette du barrage de Beni Haroun. A cet effet, nous utiliserons les états initial et final de la cuvette en prenant comme intervalle les années de la première mise en eau 2003 comme référence et celle du dernier levé bathymétrique 2013.

En 2004, une bathymétrie moins précise, a été réalisée par le service chargé de l'exploitation du BBH, avait montré un fond horizontal à la cote 126,80 m (ANBT, 2005), ce qui correspond a un volume de vase égal à 8,584450 millions de mètres cubes et une épaisseur de vase de 16,80 m au-dessus de la cote inférieure du volume mort (110) soit 4,2 m/ an. Il est a noté que durant cette période (2001-2004), on assisterait à une absence des pluies orageuses en automne.

L'évolution de la perte de capacité de la retenue du barrage de Beni Haroun à la cote normale de la retenue (NNR = 200 m) est mentionné dans le tableau 3.

Tableau 03: Perte de la capacité de stockage du barrage de Beni Haroun, Algérie

Année	Mise en service le 1 Août 2003 (Source : ANBT)	23 Septembre 2013 (source : LEM)
Capacité (Hm ³)	963	880
Perte par rapport à 2003 en (Hm ³)	-	83
Le pourcentage de perte (%)	-	8,62

La capacité du barrage depuis sa première mise en eau, 1 Aout 2001, a perdu à la date de septembre 2013, un volume de l'ordre de 83 Hm³ soit environ 8.62 % de sa capacité initiale qui était de 963 Hm³. Ce qui correspond à une valeur moyenne annuelle (du Août 2003 au Septembre 2013 soit 10 ans de mise en eau) de perte de capacité de 8,3 Hm³. Donc, durant 10 ans de mise en eau le barrage de Beni Haroun a perdu par envasement un qui coïncide à un pourcentage de comblement de 34,58% du volume mort.

3.3. Situation du fond de la retenue du BBH lors du levé bathymétrique de l'an 2013

L'analyse fine du levé bathymétrique qui a été réalisé, montre que le fond de la vallée est plein de sédiments, ces derniers atteignaient d'environ la cote de 133,3 NGA. Ce dépôt de sédiment est quasi horizontal et son épaisseur atteint 30 mètres au pied amont du barrage. Plus à l'amont, dans la zone où avaient été construits le batardeau et le chenal d'accès à la dérivation provisoire, l'épaisseur varie de 10 mètres à 20 mètres.

Ce qu'il faut noter, c'est l'horizontalité du dépôt et son épaisseur qui est fortement variable. Cette configuration caractérise la sédimentation des réservoirs par les courants de densité.

En revanche, au-dessus de la cote 133,3 l'épaisseur du dépôt de sédiment est très faible et n'a pas la même origine. Ce dépôt sur les rives provient probablement des apports pluviaux qui ruissellent sur les rives et transportent des matériaux superficiels des rives.

On comprend bien que la situation serait toute différente si l'eau de la retenue était uniformément chargée et si les matériaux silteux décantaient progressivement. Dans une telle situation, l'épaisseur du dépôt serait sensiblement constante sous la surface de la retenue, et l'image du fond de vallée ne s'estomperait que très progressivement au cours des années. De plus les rives seraient totalement couvertes de dépôts sédimentaires du même type que le dépôt qui couvre le fond, ce qui ne semble pas être le cas ici (ANBT, 2015).

3.4. Prévision de l'envasement de la cuvette du barrage de Beni Haroun

Dans le but de prévoir une idée sur les  tats des volumes mort et utile ainsi que les autres ouvrages annexes comme la vidange de fond et les prises d'eau, nous mettrons en lumière quelques prévisions tout en se basant sur les données des levés effectués comme des indicateurs pratiques.

Le volume mort est estimé entre les cotes 110 NGA et 172 NGA ce qui correspond à un volume $V = 240 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. La tranche du volume mort sera comblée chaque année d'un volume moyen de vase de 8,3 millions m^3 et par conséquent le toit (172 m) de cette tranche sera abouti dans une durée de $(240-83)/8,3 = 18$ ans et 11 mois soit environ 19 ans. Le niveau de la vase sera au-delà de la cote 172 m, ce qui comble carrément ou partiellement les organes de vidange de fond situant à la cote de 140 m.

Après une durée de temps de 19 ans, le volume utile qui se trouve entre les cotes 172 et 200 m sera également menacé et on assistera à une diminution de la tranche d'eau utile ce qui peut refléter à une pénurie d'eau aux zones alimentées à partir de ce barrage.

Dans le cas où l'envasement continu avec la cadence de $8,3 \text{ Hm}^3 / \text{an}$, le volume utile du barrage sera totalement envas  durant un temps égale $723/8,3 = 87$ ans.

Le barrage de Beni Haroun, si aucune intervention sérieuse ne sera prise, soit à l'échelle du bassin versant soit au niveau de la cuvette et la digue, le barrage sera complètement envas  durant une période estimée à $19 + 87 = 106$ ans. Le tableau 4 nous indique la perte de la capacité de stockage, au cours du temps, due à l'envasement de la cuvette du BBH.

Tableau 04: Prévision du taux d'envasement de la cuvette du barrage de Beni Haroun

Année	2003 mise en eau	2013 Après 10 ans	2028 Après 25 ans	2032	2053 Après 50 ans	2078 Après 75 ans	2084	2103 Après 100 ans	2119
Volume de la vase déposé dans la cuvette (Hm^3)	0	83	207,5	240 (correspond au volume mort)	415	622,5	675 (correspond au volume régularisé)	830	963 (correspo nd au volume total)
Le taux d'envasement	0%	8,62%	21,55%	24,92%	43,09%	51,71%	70,09 %	86,19%	100%

Minimiser au maximum, par tous les moyens possibles, le taux de la vase déposée dans la cuvette du B.B.H s'avère une priorité absolue afin de préserver un barrage rare et précieux dans un pays semi aride.

3.5. Perte par évaporation

La vitesse d'évaporation (mm /j) est en fonction des facteurs de température de l'air. L'insolation, la vitesse et la turbulence du vent. Les lacs d'eau situés dans des zones arides et semi arides, comme celle de Beni Haroun, présentent une forte évaporation. Puisque l'ensemble des facteurs se trouvant réunis ; une température de l'air souvent élevée pendant les saisons sèches, une forte insolation presque continue durant toute l'année et une présence considérable des vents secs (grande vitesse) surtout durant l'automne et le printemps.

L'évaporation c'est un phénomène physique de la transformation de l'eau en vapeur d'eau, elle joue un rôle capital en hydrologie car elle intervient dans toutes les phases du cycle de l'eau.

En Algérie, le phénomène de l'évaporation de l'eau des lacs des barrages est considérable et en enregistrant annuellement des pertes de volume très élevées. En général, les mesures de l'évaporation au niveau des barrages algériens se font à l'aide d'un bac COLORADO ou d'un bac de type CLASSE A comme celui installé à proximité de la retenue du barrage de Beni Haroun sis au Nord Est de la wilaya de Mila.

L'intérêt primordial des valeurs, des différentes mesures obtenues, de l'évaporation pour le cas d'un problème d'envasement d'un barrage est d'évaluer les quantités perdues par évaporation et faire une étude comparative avec les pertes par envasement et par fuites.

3.5.1. Calcul de l'évaporation au barrage de Beni Haroun

Pour mesurer la quantité d'eau évaporée du lac du barrage, un bac classe A est installé à la rive droite du lac est exactement à coté de la route nationale n°27. Les mesures s'effectuent quotidiennement (chaque vingt quatre heures) à 8 heures du matin. Le bac enregistre des quantités évaporées en mm, alors que la quantité d'eau évaporée du lac se calcul par le biais d'une transformation de la quantité évaporée sur la surface du bac à celle du lac en se basant sur la formule suivante.

$$V_{\text{évp}} = ((\text{surface} \times h)/1000)^{0,78}$$

où 0,78 est un coefficient de correction ;

h : la lame d'eau évaporée durant 24 heures en mm ;

surface: surface du lac pour une cote du plan d'eau correspondant à la journée de mesure et à l'heure de mesure en Km².

V_{év} : le volume évaporé du lac durant 24 heures en Hm³.

La somme des volumes journaliers évaporés durant le mois donnent la quantité d'eau mensuelle évaporée.

Dans le tableau 05, nous représentons les volumes annuels évaporés, les surfaces d'eau moyennes annuelles et les hauteurs d'eau évaporées durant la période hydrologique allant de l'an 2003 à l'an 2014 au niveau du BBH.

Tableau 05: Volumes d'eau évaporés, surfaces moyennes annuelles occupées par l'eau et les hauteurs d'eau moyennes évaporées au BBH de l'an 2003 à l'an 2014

Année Hydrologique	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14
Volume (Hm ³)	4,599	14,704	28,113	32,290	35,172	39,695	40,664	46,183	52,479	51,258	50,578
Surface (Km ²)	3,400	7,830	13,624	20,943	24,008	27,310	30,388	33,162	36,680	37,062	37,687
La hauteur d'eau évaporée (m)	1,352	1,878	2,064	1,542	1,465	1,453	1,338	1,393	1,431	1,383	1,342

La hauteur d'eau évaporée au barrage de Beni Haroun (B.B.H) variée de 1,34 m jusqu'à 2,06 m / an.

Après 10 ans de mise en eau, le volume le plus important perdu par évaporation au BBH est enregistré au cours de l'année hydrologique 2011/2012, il est de l'ordre de 52,479 millions de mètres cubes ce qui correspond à une hauteur d'eau évaporée de 1,431 m.

Malgré l'importance de ce volume, par rapport à celui occupé par la vase 8,3 millions de m³/an, il ne génère aucun risque ni sur la stabilité ni sur la quantité du fait qu'après une période pluvieuse la tranche évaporée sera complètement compensée alors que celui occupé par la vase et plus au moins considéré comme perdu définitivement.

3.5.2. Détermination des années hydrologiques déficitaires au BBH

Pour déterminer les années hydrologiques déficitaires de celles excédentaires, on doit calculer la pluie moyenne annuelle de chaque année par la suite on passe au calcul de la pluie moyenne inter-annuelle. Si le rapport de la première à la deuxième <1 l'année hydrologique est considérée comme déficitaire et dans le cas contraire elle est excédentaire.

L'irrégularité de la précipitation dans le temps est parmi les témoins de l'agressivité du climat qui règne au bassin versant du B.B.H.

Tableau 06 : Détermination des années hydrologiques déficitaires et excédentaires au BBH

Année Hydrologique	03/04	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14
Pluie (mm)	661,9	924,6	479,6	567,9	573,9	694,2	701,2	612,9	677,0	610,5	832,5
R= (P moy an) / (P moy inter)	0,9925	1,3864	0,7191	0,8516	0,8605	1,0409	1,0514	0,9190	1,0151	0,9154	1,2483
Résultat	A.D	A. Exc	A.D	A.D	A.D	A. Exc	A. Exc	A.D	A. Exc	A.D	A. Exc

3.6. Perte par fuites d'eau

Pour mettre en évidence la variation du débit total des fuites en fonction des fluctuations du plan d'eau dans le lac du barrage, Nous avons représenté sur la figure 6 un schéma de cette variation.

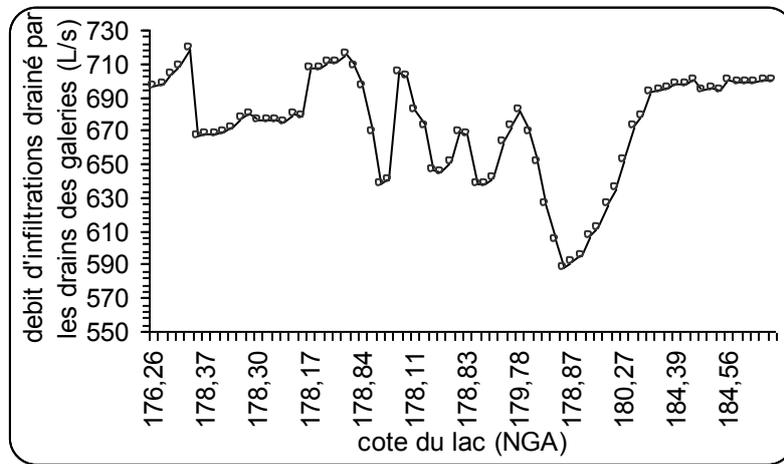


Figure 06: Variation du débit total de fuites en fonction du niveau du plan d'eau au barrage de Beni Haroun, Algérie

S'ajoute aux débits issus des différentes galeries, les débits mesurés au niveau des drains situant en aval de la digue.

La figure 7 représente la fluctuation du débit des drains pour différentes cotes du plan d'eau.

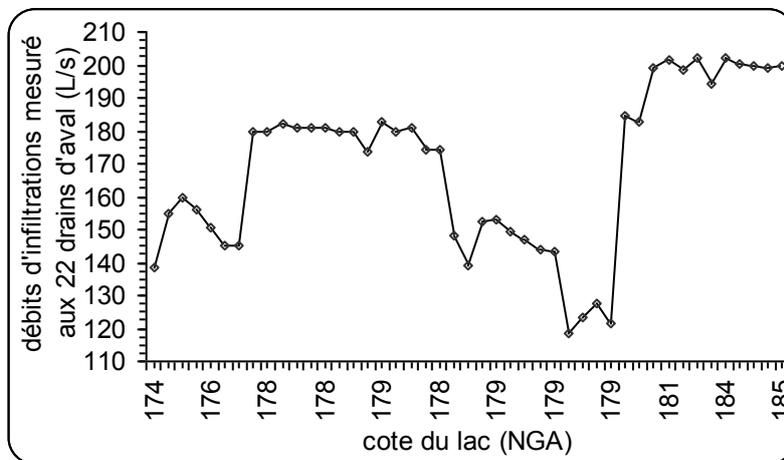


Figure 07: Fluctuation du débit des drains situant en aval de la digue en fonction de la cote du plan d'eau au niveau du barrage de Beni Haroun, Algérie

Le débit moyen de fuites est de l'ordre de 673 L/s sans tenir compte les débits des différentes résurgences et le reste des eaux d'infiltrations profondes qui peuvent ramener ce débit au-delà des valeurs mesurables. Malgré que le drainage des eaux d'infiltrations est obligatoire pour minimiser les sous pressions, mais il faudra aussi garantir, au cours du temps, un débit constant pour la même cote du plan d'eau du lac.

Le débit total mesuré issant du lac sera la somme du débit issu des galeries et celui des drains avals, ce qui le ramène à plus de 900 L/s pour une profondeur moyenne du lac sans tenir compte les débits répandus par les différentes résurgences, qui sont difficilement mesurables, et les débits des infiltrations profondes (Toumi A, 2009).

Le volume total d'eau perdu par fuites, à travers les rives et la fondation, peut dépasser annuellement 30 millions de m³ ce qui l'équivalent d'un petit barrage. Cependant, ce n'est pas la quantité d'eau perdue qui est primordiale mais beaucoup plus la sécurité de la digue.

Conclusion

Le barrage de Beni Haroun s'envase avec un taux moyen journalier de 0,0227 Hm³/j, et si ce taux de comblement persiste, le volume mort est atteint durant une période de $(240-83)/8,3=19$ ans est par conséquent le volume utile sera menacé après ce temps-là 19 ans (prévisible) au lieu de 100 ans (préalable), ce qui entraîne une réduction de la durée de vie du B.B.H.

Après 10 ans de mise en eau le barrage de Beni Haroun a perdu par envasement un volume de 83 millions de m³ d'eau, ce volume coïncide à un pourcentage de comblement de 8,62% du volume total et de 34,58% de celui mort. Donc concrétiser un traitement bien soigné du bassin versant est plus que nécessaire voire même obligatoire afin de minimiser la moyenne annuelle de 8,3 millions de m³ de vase déposée dans cette retenue pour au moins subvenir la demande croissante en eau des régions à desservir et ne remet pas en cause tous les ouvrages du grand transfert réalisés.

Sans oublier, qu'actuellement ce diamant hydrique du Nord Est algérien reste, le principal fournisseur en eau potable de plus de 4 millions d'habitants, il permet d'irriguer plus de 30.000 hectares et à l'horizon 2030 il pourra approvisionner d'environ 7 millions d'habitants.

Le but de l'étude de l'envasement est d'aller chercher des solutions radicales. Sur terrain l'élimination définitive du problème est pratiquement impossible mais on peut le réduire par la combinaison de plusieurs techniques. Le bon choix du site de la digue du barrage est indispensable. La réduction de l'érosion des bassins versants est la première action à prendre avec le reboisement, le gabionnage sur les talus à grands pente et les cours d'eau, la réalisation des banquettes, des retenues collinaires et l'aménagement des cours d'eaux.

Ensuite la réalisation des barrages de chasse et la maîtrise des techniques de soutirage sont des facteurs déterminants pour prolonger la durée de vie du barrage.

Le dragage est comme la chirurgie, il est la dernière solution. Parfois, il devient nécessaire comme le cas du barrage des Zardezas malgré les résultats modestes et le coût élevé.

Parmi les solutions appliquées en Algérie la surélévation des digues, ce sont les cas des barrages de Zardezas, K'sob, Boughzoul, et Bakhada (Remini B, 2004). La surélévation compense le volume d'eau perdu par envasement. Cependant, elle ne réduit pas le phénomène parce qu'un bassin versant non ou mal aménagé reste toujours fortement vulnérable à l'érosion.

L'aménagement complet et le réaménagement du bassin versant par tous les moyens et les techniques disponibles est inévitable pour minimiser l'érosion et piéger les sédiments afin de les empêcher à se déposer dans la cuvette du BBH.

La réduction de la quantité de vase déjà déposée dans la cuvette, par les techniques les plus adéquates et à temps, est aussi un moyen permettant de prolonger davantage la durée de vie du BBH.

Les fuites d'eau à travers les rives et la fondation du barrage de Beni Haroun malgré qu'elles sont importantes d'environ 30 Hm³, l'équivalent d'un petit barrage, peuvent créer des risques sur la stabilité de la digue du fait que le débit perdu augmente d'une année à l'autre pour la même cote du lac.

Les phénomènes des fuites d'eau & d'envasement peuvent compromettre la sécurité des digues. En effet, le premier diminue, au cours du temps, l'étanchéité des rives et de la fondation et le second lorsque le niveau de la vase dépasse celui prévisionnel, il augmente la force de poussé de la vase sur la digue.

Du point de vue quantité, la perte d'eau par évaporation, malgré qu'elle n'engendre pas des risques sur la stabilité, elle est nettement supérieure aux celles perdues par fuites et par envasement sauf ces deux derniers phénomènes posent davantage le problème de stabilité.

Références bibliographiques

Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), 2005, service d'exploitation du barrage de Beni Haroun (B.B.H).

Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T) , 2014, service d'exploitation du barrage de Beni Haroun (B.B.H) ; levés bathymétriques de onze barrages en exploitation, campagne de mesures Beni Haroun.

Agence Nationale des barrages et transferts (A.N.B.T), 2014, service d'exploitation du barrage de Beni Haroun (B.B.H) ; Résultats de la bathymétrie et du sonar latéral.

Mebarki A, 2006, Aménagement des ressources en eau de surface : les barrages de l'est algérien, C.I.P.P.R.E Blida.

Bouchelikia H, Remini B, 2003, Quantification du transport solide dans le bassin versant algérien Chellif ; Ingénieries n° 33 P 45 à 56.

Remini B, 2004, Les moyens techniques de lutte contre la sédimentation des barrages en Algérie, Colloque International « TERRE et EAU » Annaba, 21, 22 & 23 Novembre.

Toumi A, 2009, Étude des fuites d'eau dans les barrages « Quelques exemples de l'Est Algérien » , Thèse de doctorat es sciences en Hydraulique, université de Mohamed Khieder Biskra, Algérie, 258 pages.

Toumi A, 2006, La problématique des fuites d'eau du barrage de Hammam-Grouz, Algérie. Larhyss journal n°5, Juin 2006, pp.41-48.