

MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU CYCLE SÉDIMENTAIRE D'UNE RETENUE DE BARRAGE EN ALGÉRIE : CAS DE LA RETENUE DE ZARDEZAS

M.BESSENASSE : Enseignant et chercheur à l'université SAAD DAHLAB (Blida)- Fax : 025.43.11.64 Adresse : B.P. 26 D Hadjout W.Tipaza 42200 Mèl : mbessenasse@yahoo.fr
 A.PAQUIER : Chercheur, Cemagref, Unité de Recherche Hydrologie Hydraulique, 3 bis quai Chauveau, 69336 Lyon Cedex 09 - France. Mèl paquier@lyon.cemagref.fr
 A.KETTAB : Professeur et Directeur du laboratoire LRS- EAU (E.N.P) : kettab@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'envasement des barrages en Algérie réduit rapidement et considérablement leur volume utile. En effet, le taux d'envasement moyen annuel est très élevé, il peut atteindre pour certaines retenues des valeurs de l'ordre de 5%. La prédiction de ce phénomène est alors primordiale afin de cerner son intensité, et définir les actions nécessaires à sa minimisation. A cet effet, l'utilisation de modèles mathématiques prédictifs constitue un outil intéressant, en particulier pour le choix de l'implantation des nouveaux projets de construction des retenues. Sur la base de ces différents modèles existants, dans le contexte Algérien, seules quelques retenues ont pu être soumises à des observations suffisantes. Le modèle hydraulique développé est bidimensionnel horizontal, appliqué sur la retenue de Zardezas de la région de Skikda en Algérie. Les résultats récoltés de notre simulation nous permettent d'avoir des informations simultanées sur la sédimentation des retenues existantes, en voie de réalisation ou bien encore prévisionnelles. Pour ce dernier cas, il est possible de simuler des situations de sédimentation à différents emplacements de futures retenues, au vu de la meilleure variante, ce qui contribue fortement dans le développement durable sur le plan hydrique, qui représente un paramètre important dans la définition d'une stratégie pour la préservation des ressources en eau. En définitif, le modèle numérique adopté constitue. En final, ce type de modèles constitue un vecteur très important dans la gestion et la préservation des ressources en eau et représente une base de données importante pour la conception et la réalisation de barrages à l'échelle du Maghreb Arabe.

Mots Clés

Modèle hydrogramme de crue sédiments barrage préservation.

ABSTRACT

The deposits of sediments in the reservoirs in Algeria reduce rapidly the usable volume. In fact, the rate of annual deposition is very high; it can reach 5% values in some reservoirs. To understand this process is a key to assess its intensity and to define the actions required to minimize its consequences. The use of numerical models to forecast evolutions constitutes a useful tool, particularly, for the choice of the locations of newly built dams. Due to the needs of the various existing models, only some of the Algerian reservoirs are observed conveniently. A 2-D horizontal hydrodynamic model was developed and applied to the Zardezas reservoir in the Skikda region in Algeria. Results of such calculations lead to information on deposition either for existing reservoirs or for planned reservoirs. For this last case, it is possible to model deposition for various locations or dams in order to decide of the best project. The numerical model can be used on the field by dam managers but can be also integrated in the management and preservation of water resources at the scale of the Arab Maghreb.

Keys words

numerical model, flood hydrograph, sediments, dam, preservation.

1. INTRODUCTION

En Algérie, pour certaines retenues, la sédimentation annuelle peut représenter des valeurs de l'ordre de 5 % du volume total (voir tableau 1). Elle réduit donc rapidement et considérablement leur volume utile.

L'envasement des retenues constitue sans doute la conséquence la plus grave de l'érosion hydrique et le potentiel hydraulique perd annuellement environ 20 à 30 millions de mètres cubes, ce qui est très important. La prédiction de ce phénomène est alors primordiale afin de cerner son intensité et définir les actions nécessaires à sa réduction, en particulier, dans le cadre du choix de l'implantation des nouveaux projets de construction des retenues. A cet effet, l'utilisation de modèles mathématiques simulant les dépôts dans la retenue en fonction du régime hydrologique constitue un outil intéressant, complémentaire de l'analyse globale des apports du bassin versant et qui doit déboucher sur un mode de gestion adapté (POIREL, 2001).

BARRAGE	WILAYA	Année de mise en eau	Capacité initiale Mm	Capacité estimée en 1998 Mm	Dépôt annuel estimé en 1998 Mm	Perte de volume utile %	Volume dépôt annuel %
B. Amrane	Boumerdes	1988	16,0	7,1	0,89	56	5,5
Bouhanifia	Mascara	1948	73,0	42,5	0,61	42	0,8
Fergoug	Mascara	1970	18,0	7,0	0,39	61	2,0
F. Gherza	Biskra	1950	47,0	17,2	0,51	63	1,0
F. Gueiss	Khenchela	1939	3,0	1,6	0,03	47	1,0
Zardezas	Skikda	1947	31	17,3	0,27	44	0,8

Tableau-1 Etat d'envasement de quelques barrages Algériens

La construction d'un modèle numérique destiné à prédire le dépôt de sédiments à l'amont d'un barrage nécessite, d'une part, une analyse critique des données disponibles et de leur fiabilité relativement à la précision des résultats attendus et, d'autre part, le choix d'une méthode de calcul adaptée à la fois aux données, aux processus

dominants et aux objectifs de l'étude (BESSENASSE et al, 2003).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. PRÉSENTATION DU SITE

La retenue de ZARDEZAS est située dans la région de Skikda, à l'Est d'Alger, à 40 km de la mer, à une altitude moyenne de 200 m. La superficie du bassin versant amont est de 345 km². Pour une hauteur de précipitation moyenne de 940 mm/an, l'apport moyen annuel est de 45 millions de m³ soit un coefficient d'écoulement de 14% (fig. 1). La retenue a pour vocations principales de fournir l'eau potable (21 Mm³/an) et de permettre l'irrigation (4 Mm³/an).

2.2. DÉMARCHE

Les informations fournies par la station hydrométrique permettent de reconstituer les apports en eau et en sédiments à l'amont de la retenue. Dans la retenue, le transit des sédiments par suspension (le charriage pouvant être négligé) est simulé par un modèle 2D horizontal qui permet de rendre compte de la sédimentation différente sur la largeur d'un même profil en travers (alors que les modèles bidimensionnel vertical et unidimensionnel ne donnent pas d'information sur le transfert latéral sauf cas particulier, (BOUCHARD 2001)), et de préciser les zones d'eaux mortes à l'amont immédiat du barrage.

L'étude peut être décomposée en deux phases :

- une première phase de calage du modèle. La seule période disponible est 1975-1986. En partant de la bathymétrie de 1975, on s'efforce de simuler une situation finale en 1986 aussi proche que possible de la bathymétrie de 1986. L'utilisation d'un modèle 2D horizontal permet d'avoir accès à une bathymétrie détaillée, ce qui autorise une comparaison locale des niveaux c'est-à-dire un examen comparé entre simulation et mesures qui ne se limite pas au seul volume global de dépôts (BESSENASSE et al., 2004).

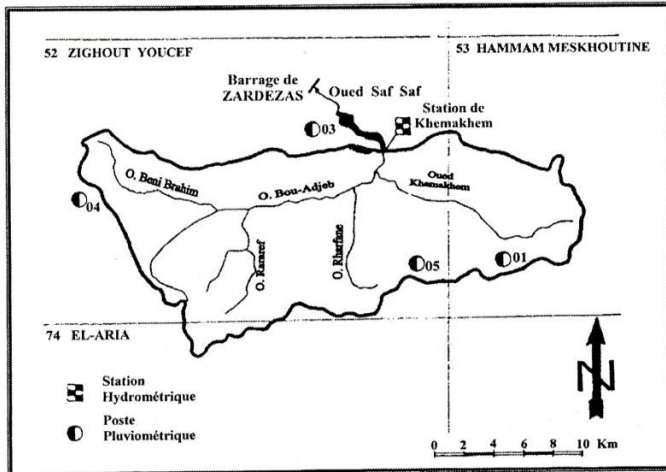


Figure 1- Bassin versant alimentant l'oued Saf-Saf.

- une seconde phase d'exploitation du modèle pour définir une stratégie de gestion permettant de réduire le volume de sédiments déposé dans la retenue. Dans cette phase, il est possible de réutiliser la chronique d'apports 1975-1986 mais il est plus pertinent de simuler d'autres chroniques puisque l'Algérie a été marquée par une succession de décennies aux pluviométries plus ou moins abondantes. Ces chroniques pourront être construites à partir de l'analyse du régime hydrologique.

2.3. MODÉLISATION HYDRODYNAMIQUE

2.3.1 DÉFINITION DES APPORTS POUR LA SIMULATION DE CALAGE

Pour la simulation de la période 1975-1986, nous avons préféré utiliser des hydrogrammes proches des événements observés. Les hydrogrammes ont été reconstitués à partir des données rassemblées en se basant sur les débits de pointe enregistrés et sur les débits moyens journaliers avec des durées de crue multiples de 24 heures, les mesures en cours de crue n'ayant pu que rarement être utilisées. Finalement, on aboutit pour la période 1975-1986 aux 11 crues (sélection d'une crue par an en moyenne).

Les sédiments déposés sont relativement grossiers (sables et limons) mais leurs caractéristiques varient fortement sur toute l'étendue de la retenue sans que des tendances générales d'évolution aient pu être dégagées.

2.3.2 PRÉSENTATION DU MODÈLE BIDIMENSIONNEL

Les équations hydrodynamiques du problème sont les équations de Saint Venant écrites sous la forme suivante :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + gh^2/2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = \\ & -gh \frac{\partial Z}{\partial x} - g \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{K_s^2 h^{1/3}} + K \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2 + gh^2/2)}{\partial y} = \\ & -gh \frac{\partial Z}{\partial y} - g \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{K_s^2 h^{1/3}} + K \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

où h est la hauteur d'eau, Z la cote du fond, u la vitesse selon l'axe Ox , v la vitesse selon Oy , g l'accélération de la pesanteur, K une constante de viscosité (ou diffusion), K_s le coefficient de Strickler.

Une méthode en volumes finis fondée sur un schéma explicite de type Godunov avec deuxième ordre en temps et en espace (méthode de VANLEER (1979)) est utilisée pour résoudre ces équations sur un maillage constitué de quadrilatères et de triangles (PAQUIER, 1998).

L'équation de convection diffusion de la concentration est écrite:

$$\frac{\partial(Ch)}{\partial t} + \frac{\partial(Chu)}{\partial x} + \frac{\partial(Chv)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (hD_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (hD_y \frac{\partial C}{\partial y}) + E + S \quad (4)$$

où C est la concentration volumétrique de sédiments dans l'eau moyennée sur la verticale (à multiplier par la masse volumique pour obtenir une concentration en kg/m^3), h la hauteur d'eau (m), u et v les vitesses suivant Ox et Oy (m/s), D_x , D_y les coefficients de diffusion suivant Ox et Oy (m^2/s), E le taux d'érosion, S le taux de sédimentation.

Le terme source peut être défini comme la somme de deux termes, le taux d'érosion E et le taux de dépôt S . Plusieurs relations sont possibles dans le logiciel. L'option utilisée pour la retenue de Zardezas est de choisir un terme unique d'échange avec le fond proportionnel à la vitesse de chute et à l'écart entre concentrations effective et à l'équilibre, relation déjà proposée par (JOBSON et SAYRE, 1970) et (CELIK et RODI, 1988) et écrite de la manière suivante :

$$E + S = -\alpha w_s (C - C_e) \quad (5)$$

où C_e est la concentration d'équilibre, α est un paramètre de calage adimensionnel, w_s est la vitesse de chute des sédiments (m/s) estimée en fonction du diamètre médian d_{50} par la loi de Stokes.

Une fois la méthode de calcul de la concentration à l'équilibre choisie, on limite le calage du modèle à optimiser, la valeur du paramètre α supposée ne pas varier dans le temps car étant essentiellement liée aux caractéristiques des sédiments. Les tests menés jusqu'ici ont pu montrer que α agit de deux façons sur la sédimentation. Le terme d'échange $E+S$ lui est directement proportionnel, α a donc une influence sur la quantité de sédiments déposés. Il modifie de plus la répartition du dépôt : ce dépôt étant déplacé vers l'amont de l'écoulement au fur et à mesure que α augmente.

Le code permet de prendre en compte dans la partie hydrodynamique la modification éventuelle du lit au cours du calcul. Cette option est primordiale lorsque le taux d'érosion ou de dépôt est important. Ainsi, on peut, à chaque pas de temps, recalculer la nouvelle cote de chaque nœud suivant le dépôt ou l'érosion subie dans les mailles voisines.

La méthode de calcul (code Rubar 20) a été validée par comparaison avec des mesures de terrain et sur modèle physique et par comparaison avec d'autres codes (PAQUIER *et al.*, 1999).

3. RÉSULTATS

3.1. MISE EN OEUVRE DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE

Les conditions aux limites sont, à l'amont, l'hydrogramme et les concentrations, à l'aval, une loi de tarage correspondant au fonctionnement du barrage vannes ouvertes soit l'addition d'une loi de vanne pour les 5 vannes et d'une loi de déversoir pour le volet déversant servant d'évacuateur de crue.

Pour la simulation pendant la période 1975-1986, la ligne d'eau initiale correspond au niveau d'eau estimé, d'après les relevés mensuels à l'arrivée de la crue. En cohérence avec l'hypothèse d'une évolution lente hors crue, la concentration initiale est supposée égale à la concentration d'équilibre. Pour des raisons de simplicité de mise en oeuvre, une seule simulation enchaînant les différentes crues est effectuée (BESSENASSE et al., 1998). Cela permet d'obtenir un état initial pour chaque crue qui correspond à un faible débit ($10 \text{ m}^3/\text{s}$ utilisé) avec des concentrations réalistes. La durée du palier à faible débit peut permettre de faire baisser le plan d'eau à des valeurs proches de celles observées. Pendant ces phases à faible débit, les sorties de sédiments sont quasi-nulles, ce qui correspond à la situation réelle.

Le maillage (figure 2) comprend 1005 mailles. Il s'appuie sur les profils en travers levés et des lignes directrices joignant les points caractéristiques de ces profils en travers. La dimension des mailles varie de 10 à 80 mètres. Un coefficient de Strickler de $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ a été choisi du fait du lissage de la topographie par les dépôts de sédiments et les coefficients de diffusion ont été pris à $0,001 \text{ m}^2/\text{s}$. Le coefficient α a été pris égal à 0,02.

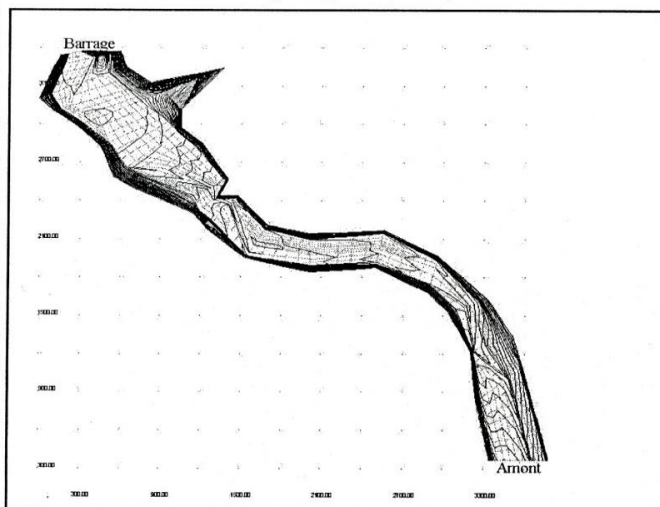


Figure 2- Maillage de calcul et courbes de niveau de la topographie de 1975.

3.2. RÉSULTATS DE LA PÉRIODE 1975-1986

Le profil en long du fond (point le plus bas) de la retenue en 1986 a été présenté sur la figure 3 tel que mesuré et tel que simulé en partant de la situation en 1975. Les résultats montrent que l'épaisseur calculée des dépôts est relativement constante (autour de 4 m) et est, en cela relativement proche des phénomènes constatés. Les dépôts calculés apparaissent trop faibles à l'aval ; ceci peut être attribué à une représentation inadéquate des courants à proximité du barrage où les vitesses verticales ne sont plus négligeables mais l'effet des petites crues non modélisées, ou l'influence de la granulométrie étendue peuvent être d'autres

causes possibles. La figure 4 donnant la section en travers située au quart amont (PK 1300) de la retenue montrent assez bien que la disposition transversale des dépôts n'est pas non plus exacte ; sauf aux extrémités amont et aval de la retenue, le calcul donne un dépôt quasi uniforme transversalement alors que, sauf incision de bras, le dépôt est quasi horizontal.

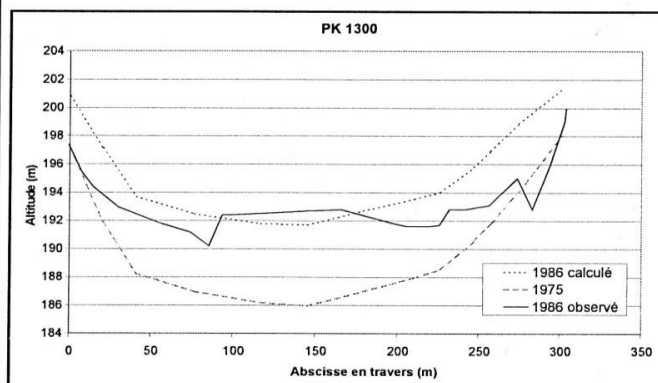


Figure-3 Profil en long du fond de la retenue

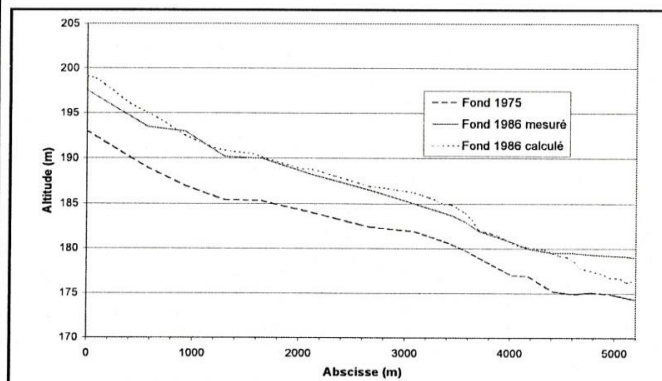


Figure-4 Profil en travers à 1300 m en amont de la retenue

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

La simulation numérique effectuée sur la retenue de Zardezas en Algérie, par l'utilisation d'un modèle hydraulique bidimensionnel horizontal, donne un volume total de sédiments proche du volume réel déposé dans la retenue pendant la période 1975-1986. Grâce au calage d'un paramètre, le dépôt est, en moyenne, positionné convenablement dans la retenue.

La limitation de la durée de la période simulée aux fortes crues ne semblant pas avoir d'influence notable (selon les test préliminaires menés consistant à ajouter des petites crues à l'échantillon sélectionné), il est certain que la part essentielle de l'incertitude sur les résultats résulte de l'incertitude sur les entrées.

L'application de la méthode proposée pour la gestion de retenues existantes ou pour le choix des sites d'implantation de nouvelles retenues est techniquement possible. Elle s'appuierait sur la génération de scénarios constitués d'une succession de crues de périodes de retour données. Les hydrogrammes d'apports correspondants seraient bâtis à partir d'une représentation synthétique de l'hydrologie par les modèles QdF. Ces données seraient complétées par l'hypothèse d'une faible variation de la concentration moyenne de sédiments d'une forte crue à une autre. Ce travail peut constituer un modèle de travail pour les chefs d'exploitation des retenues de barrage, pour définir une stratégie de gestion qui rentre dans le développement durable et la préservation

Des ressources en eau. Le modèle développé peut être adaptable à toutes les retenues de barrage similaires à la retenue de Zardezas, en l'occurrence celles du Maghreb Arabe par exemple, qui sont confrontées au même problème d'envasement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- [1] Bessenasse M., al. 2004. Modélisation bidimensionnelle du dépôt de sédiments dans un barrage en Algérie: La Houille Blanche, N°1/2004, pp 31-36.
- [2] Bessenasse M., al. 1998. Sediment deposits in a reservoir possible methods of estimation and choice. Séminaire international annuel du groupe Amhy de Friend. Rapport annuel N°6 (1997-1998), Istanbul, Turkey, octobre 1998, 137-144.
- [3] Bessenasse M., 2004. Dépôt des sédiments fins à l'amont d'une retenue, thèse de doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, juillet, 218p.
- [4] Bouchard J. P., 2001. La gestion des sédiments par chasse (2) : outils d'optimisation et de prévision d'impact: La Houille Blanche, N°6/7, 62-66.
- [5] Bravard J. P., PETIT F., 1998. Les cours d'eau : dynamique du système fluvial, Editions Armand Colin, Paris.
- [6] Geokart., 1987. Expertise de l'envasement de la retenue du barrage de Zardezas. Agence Nationale des Barrages, Alger.
- [7] Kassoul M., Abdelgader, A., Belorgey M., 1997. Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie: Revue des Sciences de l'Eau, 10, 339-358.
- [8] Poirel A., 2001. La gestion des sédiments par chasse (1) : retour d'expérience sur quelques aménagements hydrauliques alpins: La Houille Blanche, N°6/7, 55-61.
- [9] Ramez P., 1995. Erosion et transport solide en rivière : Tome 1 : Guide pour la compréhension des phénomènes, Cemagref, Antony.
- [10] Van Rijn L., 1984. Sediment Transport, Part II, Suspended Load Transport: Journal of Hydraulic Engineering, 110, 1613-1641.
- [11] Vanleer B., 1979. Towards the ultimate conservative difference scheme. V.A second-order sequel to Godunov's method: Journal of Computational Physics, 32, 101-136.