“Bon” ou “Mauvais” soutirage ? L'exemple de quelques barrages algériens

*“Good” or “Bad” drawing off ?
Some examples of Algerian dams*

par B. Rémini
Maître de conférences
Université de BLIDA, Algérie

The procedure of drawing off the sediments by the sluices can reduce the filling ratio of a reservoir ; but it must be well employed, and it is not the case for some algerian dams: the drawing off is carried out after the consolidation of mud. According to the measures of density and quantity of the suspended materials drawn off in Algerian dams, we propose two types of drawing off: the “good” one and the “bad” one, with differences in the drawn off mixture density which influences the regime of flowing. To have a good efficacy of the drawing off, a practical method is proposed for the management of dams in arid and semi-arid countries.

I ■ RAPPELS DE QUELQUES DÉFINITIONS

● 1.1 La vase

Une suspension (W_m) évacue un volume de vase (W_v) et un volume d'eau (W_e) tel que :

$$W_m = W_v + W_e \text{ ou } r_m W_m = r_v W_v + W_e r$$

r_v : masse spécifique de la vase d'Ighil Emda égale à 1600 kg/m^3

$$\text{d'où : } W_v = W_m (r_m - 1000) / 600$$

● 1.2 Le flux solide

Le flux solide est défini comme étant le débit solide massique par unité de surface ; il est obtenu par la relation :

$$y = C \cdot W_s$$

II ■ PROBLÉMATIQUE

Les accumulations successives des sédiments provenant de l'amont du bassin versant, et pris en charge par les courants de densité dans les retenues de barrages, réduisent d'année en année la capacité en eau de ces dernières. Le phénomène n'épargne pas les ouvrages algériens, et les exploitants utilisent mais maîtrisent mal la technique du soutirage des sédiments par les puits de vidange. Nous pouvons ainsi remarquer que :

— dans certains barrages, aucune opération de soutirage n'a été effectuée durant la période des crues, qui est justement favorable à la formation des courants de densité ;

— dans d'autres, des soutirages ont été opérés durant la saison sèche (sans apports de crues) ;

— de nombreuses opérations de soutirage ont été pratiquées au hasard, sans même que soit mesurée la densité de l'eau, sauf dans la retenue du barrage d'Ighil Emda où des résultats très encourageants ont été enregistrés : plus de 55 % de

NOTATIONS

W_m :	volume de la suspension
W_v :	volume de la vase
W_e :	volume d'eau
W_s :	vitesse de chute de particules fines
Z.O.S :	zone optimale du soutirage
r_{YI} :	masse spécifique de la suspension qui correspond au point d'inflexion de la fonction flux solide
r_{YM} :	masse spécifique de la suspension qui correspond au flux solide maximum.
Y :	flux solide
r_m :	masse spécifique de la suspension soutirée
r_v :	masse spécifique de la vase soutirée
r :	masse spécifique de l'eau soutirée
C :	concentration en particules solides
C_{YI} :	concentration de la suspension qui correspond au point d'inflexion de la fonction flux solide
C_{YM} :	concentration de la suspension qui correspond au flux solide maximum

a) Vase du barrage Hamiz

b) Vase du barrage d'Oued El Fodda

1. Variation du flux solide en fonction de la concentration en particules fines.

la quantité des apports solides ont été soutirées durant la période 1984-1992 [1][2].

Faisant suite à ces constatations, nous avons mis en évidence deux types de soutirage, à savoir un "bon" et un "mauvais" soutirage que nous examinerons après avoir rappelé en quoi consiste la "technique du soutirage" et la "zone optimale du soutirage".

Nous définissons la "technique du soutirage" comme étant une méthode pratique qui consiste à évacuer les sédiments apportés par les courants de densité sur le fond de la retenue en utilisant les pertuis de vidange (vannettes de dévasement et vannes de fond) du barrage [3].

Dans le cas où le soutirage est exécuté alors que la concentration de la suspension se trouvant derrière le pertuis est inférieure à celle correspondant au flux maximum, une quantité importante de matières solides sera évacuée mais en rejetant une quantité d'eau plus importante que le minimum indispensable. Par contre, si le soutirage est exécuté alors que la concentration des matières solides est supérieure à celle du point

d'inflexion de la courbe du flux solide, c'est-à-dire si les matériaux en suspension se sont décantés pendant un temps assez long derrière le barrage, seule une faible quantité de vase pourra être évacuée (en utilisant relativement peu d'eau).

La zone optimale du soutirage correspond aux valeurs de la concentration comprises entre celles qui correspondent au maximum et au point d'inflexion de la courbe représentant les valeurs du flux solide en fonction de la concentration (fig.1). On peut ainsi évacuer un maximum de vase avec une consommation d'eau minimum [4].

III ■ LE "BON" SOUTIRAGE (FIG. 2 A, B ET C)

A l'arrivée du courant de densité au voisinage du pied du barrage, et une fois que la concentration de la suspension prélevée est située dans la zone optimale du soutirage, on ouvre la vanne de fond (ou la vannette de dévasement). Il est à signaler que l'ouverture de cette dernière est très délicate, et conduit obligatoirement soit à un dépôt de sédiments (dû à une faible ouverture) (fig. 3 (a et b)), soit à une perte d'eau claire (due à une grande ouverture) (fig. 3 (a et c)). C'est pour cette raison qu'au début de l'opération de soutirage, on assiste à des variations de concentration de la suspension. Donc après réglage de la vanne, il faudra un certain temps pour que la concentration se stabilise et que l'écoulement de la suspension devienne permanent. Une fois la stabilité de la concentration (masse spécifique) de la suspension obtenue (généralement, elle oscille entre des valeurs situées dans la zone optimale du soutirage) (fig. 4 (a et b)), on essaye de la maintenir le plus longtemps possible en manœuvrant les vannes avec beaucoup de prudence jusqu'à ce que l'écoulement de la suspension devienne permanent. Dans ce cas,

2. Schéma d'un "bon" soutirage.

3. Début de l'ouverture des vannes.

pratiquement tout le courant de densité sera évacué, l'évolution temporelle de la vase soustraie devient linéaire (fig. 4 b) et la concentration (masse spécifique) de la suspension devient à peu près constante (fig. 4 a).

Le "bon" soutirage dépend de deux paramètres importants :

- l'importance des débits solides de la crue,
- la bonne manœuvre des vannes.

Nous pouvons donc définir le "bon" soutirage comme étant un soutirage qui se pratique avec une concentration de la suspension appartenant à la zone optimale du soutirage ; cette concentration sera maintenue constante (ou avec de faibles variations) pendant toute la durée de l'opération.

La stabilité de la concentration de la suspension au cours d'une opération de soutirage prouve que :

- les sédiments évacués sont apportés continuellement par les courants de densité dans la partie basse de la retenue,
- il n'y a pas de remous du courant de densité près des vannes,
- l'écoulement de la suspension par les pertuis de vidange est permanent.

IV ■ LE "MAUVAIS" SOUTIRAGE (FIG. 5 (A, B ET C))

En l'absence de soutirage, le courant de densité arrivant dans la zone basse de la retenue butte contre le pied du barrage et revient en sens inverse jusqu'à ce qu'il se stabilise (fig. 5 a). Nous sommes donc en présence de deux couches liquides superposées de concentrations différentes (fig. 5 b). La décantation des particules fines sera suivie d'une consolidation, ce qui entraînera une augmentation rapide de la concentration des dépôts. L'ouverture tardive de la vanne de fond (fig. 5 c) laisse évacuer une faible quantité de suspension de concentration très élevée. On crée dans les dépôts un entonnoir dont la forme (ou plutôt le volume) dépend à la fois de la consolidation et de la vitesse de l'eau ; cette dernière dépend de l'ouverture des vannes.

Nous définissons alors le "mauvais soutirage" comme un soutirage qui se pratique :

- avec une concentration de suspension n'appartenant pas à la zone optimale de soutirage (fig. 6 (a et c)),
- avec des variations importantes de la concentration de suspension, même si elle appartient à la zone optimale de soutirage (fig. 6 b).

4. Cas d'un "bon" soutirage.

5. Schéma d'un "mauvais" soutirage.

7. Barrage d'Ighil Emda. Soutirage du 9 au 15/12/1965. Variation de la masse spécifique de la suspension en fonction du temps.

V ■ RESULTATS ET DISCUSSIONS

Afin de mieux mettre en lumière et différencier les différents types de soutirages, nous avons traité certaines opérations de soutirages effectuées dans les retenues des barrages d'Ighil Emda, Erraguene et K'sob en utilisant les données de mesures des masses spécifiques de la suspension et la quantité de vase évacuée dans le temps.

● 5.1. Barrage d'Ighil Emda

5.1.1. Soutirage du 9 au 15 Décembre 1965 (fig. 7)

Une crue est survenue du 9 au 15 décembre provoquant un débit solide important, qui a conduit à la formation d'un courant de densité dans la retenue. Le soutirage du courant a duré exactement 148 heures sans arrêt avec une masse spécifique variant de 1060 à 1079 kg/m³ (située à l'extérieur de la zone optimale de soutirage) (fig. 7). La suspension soutirée ne se comporte plus comme liquide Newtonien mais plutôt comme un liquide de Bingham. La quantité de vase évacuée est de 864.10³ m³ (ou bien 1,38.10⁶ tonnes) avec un volume d'eau claire égal à 6,6.10⁶ m³, soit un rapport de 13 % équivalent à 1 kg de vase pour 5 litres d'eau. Ce cas peut être classé dans les "mauvais" soutirages.

L'apport solide de la crue a été évalué à 3,5 10⁶ tonnes, soit un rapport entre les masses solide évacuée et apportée dans la retenue égale à 39%.

5.1.2. Soutirage du 22 au 25 décembre 1966 (fig. 8)

La crue survenue du 22 au 25 décembre 1966 dans la retenue d'Ighil Emda a donné naissance à un courant de densité. D'après la figure 8 a, représentant la variation de la masse spécifique en fonction du temps, la masse spécifique de la suspension prélevée le

6. Cas d'un "mauvais" soutirage.

22 décembre 1966 à 10 heures était de 1040 kg/m^3 , ce qui justifie l'arrivée du courant de densité dans la zone basse (près des vannes). Aussitôt, la vanne a été ouverte, l'opération de soutirage a duré environ 63 heures avec une masse spécifique de la suspension variant entre 1040 et 1055 kg/m^3 , ce qui a donné un volume de vase égal à 55.10³ m³ (ou bien 88.10³ tonnes) pour un volume d'eau égal à 662.10³ m³, soit un rapport de 8,3 % (équivalent à 1 kg de vase pour 7,5 litres d'eau). Ce soutirage peut être classé comme "bon" soutirage puisque la masse spécifique de la suspension a été gardée presque constante dans la zone optimale du soutirage (1030 kg/m^3 < masse spécifique < 1060 kg/m^3) durant plus de 60 heures, et que l'évolution de la quantité de vase (cumulée) évacuée est presque linéaire dans le temps (fig. 8 b). L'apport solide de la crue a été évalué à 214 000 tonnes, soit un rapport entre les masses évacuée et apportée dans la retenue égale à 41%.

5.1.3. Soutirage du 18 octobre 1983 (fig. 9 (a et b))

La crue du 18 octobre a donné "naissance" à un courant de densité. Le soutirage de ce dernier a duré environ 20 heures avec une masse spécifique variant de 1025 kg/m^3 à 1036 kg/m^3 (plus ou moins dans la zone optimale de soutirage), ce qui a donné un volume de vase évacué égal à 14.10⁶ m³ (ou bien une quantité de 22,4.10³ tonnes) pour un volume d'eau égal à 316.10⁶ m³, soit un rapport de 4,4 %, ce qui est équivalent à 1 kg de vase pour 13 litres d'eau claire. L'apport solide de la crue est de 25.10³ m³ (ou bien 40.10³ tonnes), soit un rapport entre la masse solide pénétrée dans la

10. Barrage d'Erraguene. Soutirage du 1er au 8/12/1969.

11. Barrage d'Erraguene. Soutirage du 25 au 28/09/1973. Variation de la masse spécifique de la suspension soutirée en fonction du temps.

retenue et celle soutirée égale à 56%. La stabilité de la densité de la suspension (fig. 9 a) qui a engendré une évolution presque linéaire du volume de vase (cumulé) en fonction du temps (fig. 9 b), prouve que le soutirage a été bien pratiqué. Néanmoins, il faut noter que le courant a une faible masse spécifique. Ce cas peut être classé comme "bon" soutirage.

5.2. Barrage d'Erraguene

5.2.1. Soutirage du 1er au 8 décembre 1969 (fig. 10 (a et b))

La crue a duré exactement 8 jours, par contre on assiste à trois soutirages.

Le premier qui a été exécuté a duré 72 heures sans interruption du 1er décembre à 16 h au 4 décembre à 16 h. La masse spécifique de la suspension est restée dans l'intervalle 1045 - 1056 kg/m³ pendant plus de 52 heures (fig. 10 a), ce qui confirme que le soutirage a été bien exécuté. Le graphe du volume de vase cumulé en fonction du temps est une droite (fig. 10 b). Ce cas peut être considéré comme "bon" soutirage.

Le courant de densité a été complètement épuisé le 4 décembre 1969 à 16 heures. Les vannes étant fermées, on contrôle toujours la masse spécifique de l'eau. La réouverture de la vanne a eu lieu le 5 décembre à 10 heures. Le soutirage a duré environ 10 heures et la masse spécifique de la suspension n'a pas dépassée 1025 kg/m³. Après trois jours de fermeture des vannes, une masse spécifique de 1065 kg/m³ a été mesurée le 8 décembre à 8 heures. Aussitôt, la vanne a été ouverte et la masse spécifique a chuté en 4 heures pour atteindre 1000 kg/m³. Nous pensons que ce dernier cas peut être, soit un courant de densité de faible intensité, soit une érosion des derniers dépôts de vases dans la zone basse non encore consolidés.

Un volume total de vase égal à 184.10³ m³ (ou bien 290.10³ tonnes) a été évacué avec un volume d'eau égal à 2.6.10⁶ m³, ce qui fait un rapport de 7%. Une quantité égale à 29.10⁶ m³ d'eau a été apportée par la crue avec un apport solide égal à 740.10³ m³ (1.2 10⁶ tonnes), soit un rapport de 1/10 entre l'eau perdue et l'apport d'eau et un rapport de 25% entre la vase évacuée et celle pénétrée dans la retenue.

5.2.2. Soutirage du 25 au 28 septembre 1973 (fig. 11)

La crue du 25 au 28 septembre 1973 a donné "naissance" à un courant de densité qui a drainé des sédiments dont la masse spécifique est élevée. L'ouverture des vannes a eu lieu

a) Variation de la masse spécifique de la suspension (soutirée) en fonction du temps

b) Evolution de la vase (cumulée) soutirée en fonction du temps

12. Barrage d'Erraguene - Soutirage du 24 au 25/08/1981.

le 25 septembre à 6 heures après qu'on ait détecté une masse spécifique de l'eau turbide égale à 1030 kg/m³. Le soutirage a duré plus de 76 heures durant lesquelles la masse spécifique de la suspension est restée constante, égale à 1060 kg/m³ pendant 16 heures et 1045 kg/m³ durant 28 heures (fig. 11), ce qui montre que les vannes ont été bien manœuvrées et que le courant de densité a été bien soutiré. Ce cas peut être un "bon" soutirage.

5.2.3. Soutirage du 24 au 25 août 1981 (fig. 12 (a et b))

L'opération du soutirage a duré environ 16 heures (soit du 24 août à 15 heures au 25 août à 7 heures), avec des masses spécifiques de la suspension évacuée très variables dans le temps (presque chaque heure) variant de 1020 à 1040 kg/m³ (fig. 12 a), ce qui a pu favoriser le dépôt, et en même temps une perte d'eau considérable. Il en a résulté une variabilité de débit des sédiments, ce qui a conduit à une évolution non linéaire de la vase (cumulée) soutirée (fig. 12 b). Ce type de soutirage peut être considéré comme "mauvais" soutirage. Le volume de vase évacuée est égal à 28.10³ m³ (ou bien 45.10³ tonnes) pour un volume d'eau 5 à 6 fois supérieur. Le rapport entre les sédiments évacués et ceux entrés dans la retenue est égal à 18 %, puisque la crue a introduit une quantité de matériaux solides égale à 240.10³ tonnes.

5.2.4. Soutirage du 15 au 18 novembre 1990 (fig. 13)

Durant cette crue, le soutirage du courant de densité a duré 72 heures, sans interruption et durant plus de 48 heures, la suspension a gardé une masse spécifique variant entre 1035 et 1055 kg/m³ (fig. 13) qui est comprise dans la zone

13. Barrage d'Erraguene - Soutirage du 15 au 18/11/1990. Variation de la masses spécifique de la suspension soutirée en fonction du temps.

14. Barrage de K'sob. Soutirage du 1er au 2/10/1985. Variation de la masse spécifique de la suspension soutirée en fonction du temps.

optimale de soutirage. L'écoulement de la couche turbide est presque permanent avec évidemment absence de remous près des vannes. L'ensemble des sédiments drainés par ce courant ont été soutirés. Les manœuvres des vannes ont été bien exécutées d'où l'obtention d'un "bon" soutirage.

● 5.3. Barrage de K'sob

5.3.1. Soutirage du 1er au 2 octobre 1985 (fig. 14)

Le soutirage a duré environ 31 heures sans arrêt, et la vanne de fond a été ouverte le premier octobre à 15 heures, après prélèvement d'une masse spécifique de la suspension égale à 1250 kg/m^3 , valeur qui laisse supposer que le courant de densité est arrivé dans la zone basse de la retenue bien avant 15 heures, puisque cette forte valeur est obtenue à la suite d'une décantation rapide des particules fines drainées par les courants de densité favorisée par la fermeture de la vanne de fond pendant un temps assez long.

Durant les trois premières heures du soutirage, la masse spécifique de la suspension a chuté de 1250 à 1120 kg/m^3 pour ensuite se maintenir entre 1050 et 1100 kg/m^3 durant environ 21 heures. La vanne a été fermée le 2 octobre à 21 heures (fig. 14). Le soutirage a été effectué pour des concentrations nettement supérieures à celle située dans la "zone optimale du soutirage" ; le fluide n'est plus Newtonien mais plutôt Binghamien. Ce cas peut être considéré comme "mauvais" soutirage. Durant cette opération, un volume de 47.10^3 m^3 (ou bien 75.10^3 tonnes) de vase a été soutiré.

VI ■ PROPOSITIONS PRATIQUES POUR UN "BON" SOUTIRAGE (fig. 15)

Dès l'arrivée d'une crue dans la retenue d'un barrage, on commence à faire des mesures de densité de l'eau (près des vannes) par la prise systématique d'échantillons (avec une bouteille) ou par l'emploi d'un appareillage spécial constitué

15. La pratique de la technique du soutirage.

par un ensemble de tubes de faible diamètre qui détermine l'importance de la distribution verticale des densités des matières solides aux abords de la prise d'eau. A notre connaissance, les barrages d'Ighil Emda et d'Erraguene sont les seuls à être équipés d'un tel appareillage.

Dès que la masse spécifique (concentration) se rapproche de celle de la zone optimale du soutirage (par exemple, pour le barrage d'Ighil Emda, DUQUENNOIS [5] a proposé la valeur de 1020 kg/m^3 qui est inférieure à la valeur minimale (1030 kg/m^3) de la zone optimale du soutirage que nous avons obtenu [4], on ouvre une vannette (ou la vanne de fond à 1/4 pour les barrages non équipés d'un dispositif de soutirage) pour amorcer l'écoulement des couches inférieures et éviter le remous du courant de densité et l'accumulation de vase concentrée devant les vannes, ce qui rendrait par la suite plus difficile le réglage du débit.

On mesure toute les heures (éventuellement toutes les deux heures) la masse spécifique (concentration) de la suspension soutirée ; tant qu'elle ne dépasse pas la valeur correspondant au point d'inflexion de la courbe de flux solide, il n'y a pas lieu d'ouvrir d'autres vannettes (ou bien d'ouvrir la vanne de fond à 1/2 ou plus). Si au contraire, elle le dépasse, on ouvre d'autres vannettes (ou la vanne de fond à 1/2 ou 3/4) jusqu'à ce que la concentration se stabilise à une valeur de la zone optimale du soutirage. Puis, on essaye de garder le plus longtemps possible l'écoulement du soutirage.

Lorsqu'il ne reste plus qu'une vannette ouverte et que la masse spécifique descend au dessous de celle du flux solide maximum, il est préférable de laisser ouverte cette vannette (ou la vanne de fond ouverte à 1/4) jusqu'à une valeur beaucoup plus faible (1020 kg/m^3 par exemple) pour s'assurer que le courant de densité soit complètement soutiré. Une réouverture de courte durée pourra se faire après quelques heures de la fin de l'opération.

Il est à noter que les variations de masse spécifique sont assez lentes et des manœuvres de vannes trop rapprochées risquent de donner des résultats très divergents. La manœuvre d'une vannette par heure suffit généralement à régler correctement la masse spécifique (concentration) comme il a été déjà proposé par DUQUENNOIS [6].

VI ■ CONCLUSION

L'étude que nous avons menée sur le soutirage des sédiments par les pertuis de vidange des barrages, nous montre que les manœuvres des vannes se font toujours après que la consolidation de la vase soit commencée. Ainsi, nous distinguons deux types de soutirages : les “bons” et “mauvais” soutirages qui montrent chacun des différences dans la densité de la suspension soutirée, ce qui a pour conséquence une influence sur le régime (permanent ou non permanent) de l'écoulement de la suspension à travers les pertuis de vidange.

Le “bon” soutirage, qui consiste à évacuer le maximum de sédiments par les ouvrages de chasse, implique effectivement d'ouvrir les vannes à l'arrivée du courant de densité avant que la vase ne se dépose et ne se consolide et de soutirer à des concentrations optimales (appartenant à la zone optimale du soutirage).

Références

- [1] REMINI B., AVENARD J.-M., KETTAB A. - 1996 - Le barrage d'IGHIL EMDA (Algérie) II- Soutirage des sédiments par l'utilisation des courants de densité. *Revue Vecteur Environnement (Canada)*, Vol. 29, N°4, août, pp.27-32.
- [2] REMINI B., KETTAB A., HIHAT H. 1995-. Envasement du barrage d'IGHIL EMDA (Algérie). *Revue Internationale de l'eau: La Houille Blanche* n° 2/3, pp.23-28
- [3] 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
- [4] REMINI B., AVENARD J.-M. - 1998- Zone optimale de soutirage. *Revue La Houille Blanche*, n° 5/6.
- [5] DUQUENNOIS H., 1949 - Sédimentation et soutirage des vases au barrage d'Ighil Emda. *Gaz et Electricité d'Algérie*, Compte rendu n°1, Avril, 10 p.
- [6] DUQUENNOIS H., 1956 - Sédimentation et soutirage des vases au barrage d'Ighil Emda. *Gaz et Electricité d'Algérie*, Compte rendu n°3, 12 p.