

Envasement des retenues de barrages

Silting in dam basins

par **Abdeslam Badraoui**

Chef de Division à la Direction
Générale de l'Hydraulique
Rabat - Maroc

Ahmed Hajji

Directeur de la Planification ONEP
(Administrateur de l'IME)

Silting of a dam basin causes the reduction of the dam storage capacity due to the accumulation of sediments. Silting affects the performance of a dam basin since it reduces its regulation capacity and its service life ; it lowers the efficacy of its management ; and it induces lasting safety hazards. The negative impacts of silting are not limited to the dam itself ; they also concern the downstream adduction, distribution and treatment infrastructures. Finally, the silting process jeopardizes the efforts of surface water development projects.

I ■ LES CAUSES DE L'ENVASEMENT

L'érosion hydrique, principale cause de l'envasement d'une retenue de barrage, est un phénomène naturel gouverné par des facteurs physiques naturels tels que l'agressivité climatique, la topographie, la lithologie et le couvert végétal. Ce processus naturel se trouve souvent accentué du fait de l'action humaine par le défrichement des forêts, le surpâturage et la mise en culture de terrains à fortes pentes.

Le processus de l'érosion est très complexe. L'essentiel de transport solide atterrissant dans les retenues de barrages ne vient pas de l'effet direct des précipitations. En effet, les précipitations interviennent sous forme de gouttes dont la majeure partie n'a pas la masse critique suffisante pour altérer la cohésion des agrégats terreux. Par contre, le ruissellement diffus qui balaie le terrain par des chenaux divagant possède un pouvoir érosif considérable. Ainsi, les pertes en terre ont pour origine principale les affouillements du réseau hydrographique provenant des ravinements bad-lands et des sapements des berges.

Les orages d'été entraînent des quantités de terres non négligeables qui se déposent en pied des versants et des parties amonts de réseau hydrographique. Ces atterrissements intermédiaires sont repris au moment des crues d'automne et d'hiver. Ce processus, dépôt-reprise, est très complexe et très variable. La complexité et la variabilité de ce processus sont accentuées par l'irrégularité de régime hydrologique inter-annuel du bassin versant. Au Maroc, où le régime climatique est dominé par la succession des saisons sèches et humides,

l'essentiel des apports d'eau au niveau de la quasi-totalité des barrages provient des crues violentes et rapides et souvent très chargées en sédiments.

II ■ L'ENVASEMENT DES RETENUES DE BARRAGES AU MAROC

Au Maroc, l'érosion des sols et les pertes en terre constituent un processus de dégradation des ressources naturelles qui touche, avec des intensités diverses les régions du territoire national. Ainsi, sur une totale superficie des zones montagneuses d'environ 23 millions d'ha, 75 % sont touchées par l'érosion dont un tiers de manière très critique.

Les bassins versants à l'amont des barrages présentent des risques importants d'érosion accentuée par l'action des populations sous la pression démographique par une surexploitation des forêts et des pratiques culturelles inadéquates. En effet, la majorité des bassins versants du pays est caractérisée par de fortes dégradations spécifiques dépassant les 2 000 T/Km²/an au niveau des bassins abritant les grands ouvrages hydrauliques. Elle est :

- supérieure à 2 000 T/Km²/an au niveau des bassins du Martil, de l'Ouergha, de Lakhdar et de la Tessaout ;
- comprise entre 1 000 et 2 000 T/Km²/an au niveau des bassins du Neckor, de M'Harhar et du Loukkos ;
- comprise entre 500 et 1 000 T/Km²/an au niveau des bassins de Sebou, de l'Inaouène, de l'Oued El Abid et du Massa ;
- inférieure à 500 T/Km²/an au niveau du reste du pays.

Ces valeurs de la dégradation spécifique sont à comparer au niveau jugé tolérable qui est, en moyenne, de l'ordre de 300 T/Km²/an.

Les pertes en terres annuelles cumulées à cause de l'érosion sont estimées à plus de 100 millions de tonnes par an, dont près de 60 % se dépose dans les retenues de barrages. Cette proportion est de plus en plus importante au fur et à mesure de la poursuite de l'effort d'aménagement des ressources en eau superficielles.

III ■ MÉTHODE ET CADENCE DE CONTRÔLE DE L'ENVAISEMENT DES RETENUES DE BARRAGES

C'est la technique de la bathymétrie, complétée dans certains cas par travaux topographiques ou de photogrammétrie des parties non submergées, qui est utilisée pour suivre le rythme d'envasement des retenues de barrages et connaître la répartition spatiale des sédiments dans les retenues.

Effectuée avec la cadence adéquate, cette technique permet de :

- mettre à jour les barèmes cotes-surfaces et côtes-volumes des retenues qui sont indispensables pour mener une gestion efficiente,
- suivre les dépôts de vase au voisinage des ouvrages annexes pour pouvoir les protéger contre d'éventuels comblements et par suite assurer la continuité de leur fonctionnement nécessaire à la sécurité des barrages,
- définir les règles de gestion en temps réel des sédiments,
- prévoir la durée de vie ou la période d'exploitation utile d'un réservoir,
- utiliser les données pour l'étude et la conception des futurs ouvrages,
- renseigner sur l'ampleur de l'érosion du bassin versant contrôlé par la retenue et aider à la définition des dispositions à prendre au niveau du bassin versant et de l'oued en vue de réduire l'érosion,
- évaluer l'efficacité des mesures de protection de lutte contre l'érosion mises en place dans le bassin versant et dans les cours d'eau.

En plus du degré d'érosion au niveau du bassin versant contrôlé par le barrage, la cadence des contrôles bathymétriques d'une retenue est déterminée en fonction de l'acuité des impacts négatifs de la vase sur la gestion de la retenue, des objectifs assignés et de sa capacité.

Les techniques de bathymétrie des retenues de barrages ne cessent pas de connaître des améliorations technologiques. Ces améliorations ont permis des réductions continues des délais et des effectifs nécessaires et par suite des importantes réductions du coût et une nette amélioration de la cadence des contrôles bathymétriques.

Entre 1975 et 1980, le nombre de retenues contrôlées était en moyenne de 1.5 par an. A partir de l'année 1980, la cadence de mesures a été portée à 4 retenues par an. Ce rythme de contrôle est passé à 8 retenues par an à partir de 1991 avec l'introduction d'un matériel ayant permis l'automatisation d'une grande part des tâches d'une opération de bathymétrie (Système Axyle). Avec l'introduction du système DGPS (Differential Global Positioning System), ce rythme est appelé à augmenter considérablement ce qui permettra un contrôle plus efficace, plus rapide et moins coûteux de l'envasement des retenues de barrages.

IV ■ ÉTAT ACTUEL DE L'ENVAISEMENT DES RETENUES DE BARRAGES

Le suivi de l'envasement des retenues de barrages a permis d'évaluer à près de 65 Mm³ la capacité perdue actuellement par envasement en moyenne chaque année sur une capacité totale de stockage de près de 14 Milliards de m³. La capacité totale perdue jusqu'à aujourd'hui est évaluée à près de 1 100 Mm³, soit près de 6 % de la capacité de stockage des barrages.

L'analyse des résultats de suivis bathymétriques des retenues de barrages permet de tirer les constatations suivantes :

- six retenues sont envasées à plus de 40 % de leurs capacités initiales. Il s'agit des barrages M. Homadi, S. Driss, Nakhla, Oued Mellah et Mohamed V,
- six retenues sont envasées de 20 à 40 % de leurs capacités initiales. Il s'agit des barrages M. Youssef, Lalla Takerkoust, M.B Al Khattabi et Ibn Battouta,
- les autres barrages enregistrent une perte de capacité inférieure à 20 %,
- trois barrages enregistrent des rythmes d'envasement annuels trois fois plus importants que ceux qui ont été admis dans les études de conception de ces ouvrages. Il s'agit des barrages Hassan 1^{er}, Sidi Driss et Moulay Youssef.
- trois barrages ont fait l'objet d'une surélévation. Il s'agit des barrages El Kansera, Lalla Takerkoust et Oued El Mellah,
- deux barrages ont déjà fait l'objet de dévasement partiel. Il s'agit des Barrages S. Driss et Mechraâ Hommadi.

Il est à noter que le rythme de perte de capacité, actuellement de l'ordre de 60 Mm³/an, connaîtra une progression au fur et à mesure de l'évolution du taux de mobilisation du potentiel en ressources en eau superficielle et risque même de s'aggraver avec l'accentuation de l'érosion par la sollicitation accrue des sols et du couvert végétal. Le maintien de la capacité totale de stockage à un niveau constant exigera donc un effort constant de la réalisation de barrages.

V ■ CONSÉQUENCES DE L'ENVAISEMENT SUR LA RETENUE D'UN BARRAGE

● V.1 Sur les volumes régularisés et les performances de barrage

L'envasement de la retenue d'un barrage affecte sa capacité de stockage et par suite réduit son volume utile disponible, ce qui se traduit par une diminution des niveaux des services rendus par la retenue. Cette diminution du service rendu se manifeste soit par une diminution des volumes fournis, soit par une diminution de leur garantie ou parfois une conjugaison des deux. L'impact de la diminution annuelle du volume régularisé, faible au début de la mise en service d'un ouvrage, devient de plus en plus important au fur et à mesure de l'augmentation des besoins en eau à satisfaire à partir du barrage.

● V.2 Sur la capacité de laminage des crues

Du fait de l'envasement de la retenue d'un barrage, le volume de la tranche réservée au laminage des crues subit une réduction progressive. Cette réduction se traduit par une augmentation du risque de déversement ce qui constitue une menace pour la sécurité de l'ouvrage et les zones inondables à l'aval et se traduit par des pertes d'eau pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et la production énergétique.

Bassin	Barrage	Capacité Initiale Mm ³	Volume perdu Mm ³	% Volume perdu	Volume moyen perdu/an Mm ³
Bassin du Nord Loukkos, M'Harhar, Hachef Cotiers Méditerranéens et Neckor	Oued El Makhazine	807,0	35,6	4,4	3,2
	Ibn Battouta	43,6	8,5	19,5	0,6
	Nakhla	13,0	7,3	56,2	0,2
	Smir	43,0	—	—	0,2
	9 Avril 1947	300,9	—	—	0,5
	M.B. Al Khattabi	43,0	9,5	22,1	1,0
	Total	1 250,5	60,9	4,9	5,2
Moulouya	Mohamed V	725,0	314,0	43,3	11,6
	M. Hommadi	42,0	35,4	84,3	1,0
	Total	767,0	349,4	45,6	13,0
Sebou	Idriss 1 ^{er}	1 217,0	40,0	3,3	1,9
	Allal El Fassi	81,5	7,3	9,0	3,6
	Al Wahda	3 770,4	—	—	11,0
	Sidi Echahed	170,0	—	—	0,24
	El Kansera	330,0	69,6	21,1	1,2
	Total	5 568,9	116,9	33,3	17,7
Oum Er Rbia, Cotier Atlantique et Tensift	S.M.B. Abdellah	509,0	52,0	10,2	2,5
	Bin El Ouidane	1 484,0	183,7	12,4	4,5
	Moulay Youssef	197,0	39,6	20,1	2,5
	Hassan 1 ^{er}	272,0	24,9	9,2	2,5
	Sidi Driss	7,0	3,3	47,1	0,4
	Al Massira	2 785,0	25,0	0,9	3,1
	Lalla Takerkoust	78,0	9,2	11,8	0,2
	Total	5 332,0	337,7	6,3	15,7
Souss, Issen, Massa Draa, Ghir et Ziz	Abdelmoumen	216,0	1,0	0,5	0,1
	Aoulouz	108,0	—	—	1,2
	Y.B. Tachfine	320,0	17,9	5,6	0,8
	Mansour Eddahbi	592,0	106,0	17,9	4,8
	Hassan Eddakhil	369,0	22,0	6,0	1,2
	Total	1 605,0	146,9	9,2	6,9
Autres	Petits barrages				6,5
Total général		14 523,4	1 011,8	7,0	65,0

Tableau d'évolution des capacités des barrages.

● V.3 Sur la sécurité des barrages

L'envasement des retenues affecte la sécurité des barrages par :

- la mise en danger de la stabilité de l'ouvrage du fait de l'augmentation de la poussée hydrostatique causée par le remplacement progressif des volumes par les sédiments et l'accroissement de la densité des eaux stockées du fait de la suspension,
- l'opposition à l'ouverture de des vannes en cas de nécessité de diminution du plan d'eau dans la retenue dans certaines situations d'urgence,
- l'altération des caractéristiques de résistance des ouvrages due aux réactions chimiques au sein des dépôts et particuliè-

rement celles liées au cycle du soufre et aux caractéristiques d'agressivité de l'eau,

- la gêne de l'auscultation de l'ouvrage. En effet, les sédiments déposés peuvent empêcher la mise en œuvre de moyens d'inspection subaquatiques et contrarient également les inspections visuelles après vidange en masquant le parement amont et en y interdisant l'accès depuis la cuvette.

● V.4 Sur les ouvrages annexes des barrages

Les dimensions des matériaux qui sont transportés par la rivière dans la retenue et dont une partie vient en contact avec les organes de restitution constituent un danger permanent pour la sécurité du barrage. Ces dangers sont de deux types en fonction de la taille des sédiments transportés.

Le premier danger, dû essentiellement aux matériaux fins, provient de l'effet statique de ces matériaux qui en s'accumulant devant l'entonnement des prises d'eau et de vidanges de fond parfois même les évacuateurs de crues (situés dans la partie basse du barrage) risquent de créer un bouchon de vase qui devient problématique avec sa consolidation. Le risque est de se priver des services de l'organe en question, surtout quand c'est le seul moyen disponible d'abaisser le plan d'eau en cas de nécessité. De telles situations ont été vécues au niveau des Barrage Lalla Takerkoust et Hassan Addakhil et ont nécessité des interventions très urgentes pour rétablir les conditions normales de fonctionnement.

Le second danger est dû aux matériaux grossiers qui peuvent :

- arracher les blindages aménagés dans les conduites aux endroits où l'eau circule à grande vitesse ;
- endommager l'étanchéité des vannes ;
- endommager les vannes elles-mêmes ;
- s'opposer à la fermeture des vannes par conséquent le risque de perte de volumes d'eau importants.

L'envasement accélère donc le vieillissement des ouvrages hydrauliques et rend plus délicat et plus coûteux leur entretien et leur maintenance.

● V.5 Sur les infrastructures aval

Les problèmes posés par les sédiments ne se limitent pas au niveau du barrage mais ils s'étendent bien en aval. Ainsi, les sédiments en suspension dans l'eau distribuée par des canaux à partir des barrages se déposent dans ces ouvrages et favorisent le développement de plantes aquatiques. Ceci réduit la débitance de ces canaux et rend difficile leur exploitation et augmente considérablement les tours d'irrigation et la probabilité de déversement.

L'envasement des canaux d'irrigation impose leur entretien et leur curage d'une manière régulière. Les principaux canaux touchés sont :

- le canal de rocade alimentant les périmètres du Haouz central et la ville de Marrakech à partir du complexe Hassan 1^{er}-Sidi. Driss,
- le canal des Béni Amir alimentant le périmètre du Tadla à partir du Barrage Bin El Ouidane et la dérivation du Kasba Tadla,
- les canaux d'irrigation des périmètres de la Basse Moulouya à partir du Complexe Mohamed V-M. Hommadi,
- le canal de Doukkala alimentant en eau les périmètres de Doukkala et la ville de Safi.

Le chômage de ces canaux, pour entretien et curage perturbe de manière sérieuse le bon fonctionnement de ces ouvrages particulièrement quand le canal est également utilisé pour l'alimentation en eau potable comme c'est le cas pour des villes de Marrakech, Nador, Berkane, et Safi. La garantie de la pérennité de l'alimentation en eau potable pendant le chômage des canaux est parmi les raisons qui ont rendu nécessaire le recours à des solutions alternatives de sécurité :

- la réalisation du réservoir tampon Arabat pour assurer la continuité de l'approvisionnement en eau potable de Grand Nador,
- la réalisation des infrastructures nécessaires pour garantir l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech à partir du Barrage Lalla Takerkoust.

● V.6 Sur la qualité de l'eau

Un des plus importants effets de l'érosion sur la qualité des eaux des retenues de barrages est la dégradation très sérieuse de cette qualité due au phénomène d'eutrophisation. Ce phénomène est lié à un aspect particulier du transport solide dans les bassins versant, à savoir, sa charge en phosphore, en manganèse et en azote et à l'effet des sédiments sur la modification du chimisme de l'eau et la stratification thermique de la retenue.

La nature des formations lithologiques du bassin versant contrôlé par le barrage est le facteur déterminant dans ce processus ; l'eutrophisation d'une retenue peut provenir de l'érosion des sols non couverts par une végétation. Le cas du Barrage M.B.A Al Khattabi est très illustratif dans ce sens : les déficits en oxygène enregistrés près du fond au cours des mois d'été se traduisent par une activité de biodégradation dans les zones profondes et par suite un re-largage du fer et du manganèse à partir des sédiments de fond provenant d'un bassin versant dont plus de près de 25 % est constitué de formations de type flysch schisto-gréseuses. Ce fut le cas vécu lors de la crue du septembre 1989.

Un autre effet, non moins important de l'érosion sur la qualité de l'eau, est la difficulté d'éliminer les quantités importantes de matières en suspension au niveau des oueds où existent des prises d'alimentation en eau potable au fil de l'eau comme c'est le cas pour les villes de Fès, de Karia Ba Mohammed, de Tanger, de Khénifra, etc. La garantie de la continuité de l'approvisionnement a exigé dans certains cas la mise ne place d'équipement de débouage, garantissant le fonctionnement des stations de traitement même en cas de forte turbidité des eaux.