

Bilan hydrologique et envasement du barrage Saboun (Maroc)

Hydrological balance and siltation of the Saboun dam (Morocco)

B. ABDELLAOUI¹*, A. MERZOUK², M. ABERKAN¹, J. ALBERGEL³

Reçu le 17 janvier 2001, accepté le 10 avril 2002**.

SUMMARY

It is proposed that many Mediterranean countries could make better use of their water resources by constructing small hill reservoirs. Since 1980, Morocco has built more than 158 small dams in order to meet the requirements of rural population water use. Due to both environmental degradation and bad management, these small infrastructures are now in a critical situation. Furthermore, pollution and siltation, resulting in a deterioration of water quality and a reduction of water capacity, are problems at these sites.

The present study is part of the HYDROMED research program on the hydrological balance of small dams in the Mediterranean area. Its objective is the monitoring of hydrological balance and siltation of a small dam, Saboun, located in Tangier in Northwest Morocco. A remote hydrological station was installed in November 1997. This station allowed the examination of the dam water balance and analyses of its hydrological function.

The analyses of water balance demonstrated that the volume of water stored in the Saboun reservoir increased rapidly in November 1997, and was then followed by a progressive decrease. The load factor varied from 1.9 in 1997-1998 to approximately 2 times the current capacity of reservoir, to only 0.3 in the following year 1998-1999. These results show that even for a short hydrological period (2 years), the hydrological balance of the Saboun reservoir varied greatly as a result of the irregularity of its hydrological parameters. The essential reasons for this variability were the rainfall characteristics that control the runoff from the watershed and bad management practices.

1. LSGA/Université Mohamed V Rabat-Agdal, Faculté des sciences, Maroc.

2. LPCES/IAV, Rabat, Maroc.

3. IRD/ENSAM/Montpellier, France.

* Correspondance. E-mail : byounes2@caramail.com

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 juillet 2003.

In addition, a bathymetric survey was carried out by a punctual method to estimate the rate of dam siltation and sedimentation from the watershed. The results of this control demonstrated that the dam siltation rate was about 2% per year. This loss of total water retention capacity of the dam is the consequence of high specific soil degradation of the watershed. The rate of sediment delivered from watershed and deposited in the reservoir was estimated at 37 t/ha/year. The total soil erosion for watershed was estimated at 115 t/ha/year by integrating both the sediment evacuated at the time of dam overflow and the sediment deposited in stream flow. This erosion, which comes essentially from cultivated soil (95% of the watershed surface), may have serious effects on the hydrological balance of the dam, particularly by reducing the reservoir capacity of the dam, and on the reservoir water quality.

Key-words: *small dam, water balance, hydrology, siltation.*

RÉSUMÉ

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur la gestion des lacs et barrages collinaires en zone méditerranéenne HYDRO-MED. Elle a pour objectif le suivi hydrologique et la sédimentation du barrage collinaire Saboun, situé dans la zone de Tanger au Nord-Ouest du Maroc. Un dispositif hydropluviométrique automatique a été installé à ce sujet depuis novembre 1997. Il a permis le suivi du bilan en eau de la retenue et l'analyse de son fonctionnement hydrologique. Parallèlement, une étude de la bathymétrie par sondage ponctuel a montré que le taux de sédimentation est de l'ordre de 2 % par an. Cette perte en eau de la capacité totale de la retenue est une conséquence directe d'une forte dégradation des sols du bassin versant estimée à 115 t/ha/an.

Mots clés : *barrage collinaire, bilan en eau, hydrologie, envasement.*

1 - INTRODUCTION

Le Maroc est un pays dont les ressources en eaux sont limitées. Il dispose d'une quantité d'eau de surface estimée à 22,5 milliards de m³, dont seul 16 milliards de m³ sont mobilisables dans les conditions techniques et économiques actuelles (BZIOUI, 1995). La plupart de ces ressources sont localisées principalement dans les régions du Nord et du Nord-Ouest, ce qui laisse apparaître un grand déficit dans le sud. Avec les périodes de sécheresse qui sont de plus en plus fréquentes ces dernières années, ce déficit devient très grave et touche presque tout le royaume.

Pour faire face à cette situation et satisfaire la demande en eau estimée à 20 milliards de m³ à l'horizon 2020 (DGH, 1998), la politique du Maroc en matière des ressources en eau s'est orientée depuis longtemps vers la construction des barrages. Si l'objectif de départ était essentiellement agricole, par l'irrigation d'un million d'hectare à l'an 2000 et l'approvisionnement des grands centres urbains en eau potable, le monde rural quant à lui, et qui constitue plus de 50 % de la population en majorité non desservie, reste le plus touché par le manque d'eau (MAHFOUD, 1989).

Conscient de l'importance de l'eau dans le développement socio-économique et la stabilité de la population, une nouvelle stratégie a été adoptée depuis les années 1980. Cette stratégie, consiste à construire des petites infrastructures hydrauliques, lacs et barrages collinaires, connus au Maroc depuis les années 1930 et utilisés comme moyen de récolte de l'eau de pluie sous le nom de « Ghdirs et Ghattara » (CHAOUNI, 1996). Actuellement le pays dispose de 104 lacs et de 54 barrages collinaires d'une capacité totale de 124 millions de m³.

Oubliées ces dernières années au profit des grands et moyens ouvrages hydrauliques, ces petites infrastructures se trouvent dans un état critique, dû à la dégradation de leur environnement et à une mauvaise gestion et suivi. Elles sont le siège de toutes sortes de pollution et d'envasement, qui entraînent une dégradation de la qualité de leur eau et une diminution progressive de leur capacité utile. Plus de 0,5 % de cette capacité est amputée chaque année par envasement, lié à une dégradation accélérée des sols, qui atteint dans les montagnes du Rif, des taux très élevés entre 24 et 140 t/ha/an (HEUSH, 1970 ; DAGHMOUMI, 1994 ; TAYAA, 1997 ; MERZOUK et DAHMAN, 1998).

Malheureusement pour faire face à ces problèmes, l'expérience marocaine sur le plan technique se montre très limitée et très en retard par rapport à celle de nombreux pays méditerranéens, comme la Tunisie et Italie dont l'expérience se développe rapidement (BZIOUI, 1986). Parmi les facteurs de ce retard, on peut citer le manque de données hydropluviométriques et d'études de faisabilité technique adaptées aux systèmes hydrologiques des petits réservoirs. Le recours aux méthodes empiriques, notamment pour la prévision des écoulements et la charge solide, est pratiquement impossible en raison de l'hétérogénéité des caractéristiques de l'état de surface et du climat. En plus, la gestion pratique de ces retenues au Maroc, est encore très mal définie. Le partage des responsabilités de cette gestion entre l'État et les collectivités locales, n'est pas encore déterminé. De ce fait, l'utilisation de ressources en eau des retenues par les usagers, pose souvent des questions sur la quantité d'eau disponible et sa variabilité saisonnière, sur la durée de vie de l'aménagement ainsi que sur l'efficacité des pratiques de vanne et de chasse des crues.

L'objectif de ce travail qui s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur la gestion des lacs et barrages collinaires en zone méditerranéenne HYDROMED, est de caractériser le régime hydrique d'un barrage collinaire pilote au Maroc et de déterminer son état actuel de sédimentation. Par voie de conséquence, mettre en évidence la disponibilité en eau de la retenue et les facteurs agissant sur sa variabilité saisonnière et interannuelle.

2 – MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Site d'étude

Le site d'étude est un petit barrage collinaire en terre homogène de 15 m de hauteur et d'une capacité de 1 100 000 m³ appelé « barrage Saboun ». Il est situé à l'exutoire d'un bassin versant cultivé, de 753 ha, du grand bassin ver-

sant d'oued Tahadart qui draine les eaux d'écoulement vers l'océan atlantique (figure 1). C'est un barrage qui a été construit et mis en service en 1991, son objectif est de stocker les eaux de ruissellement pour irriguer un petit périmètre en aval de la zone de Fahs de Tanger.

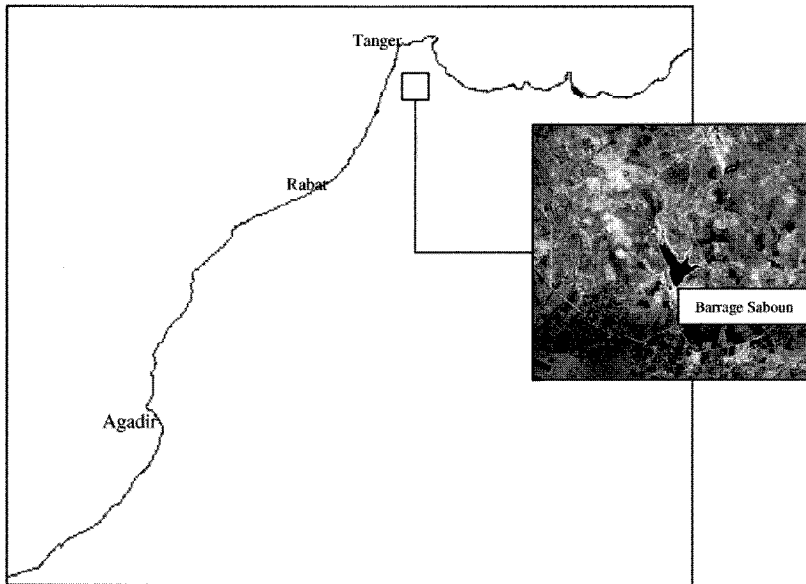


Figure 1 Situation de site d'étude.
Location of the study area.

De point de vue climatique, la zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen subhumide (BEN ABID, 1982). Elle est considérée parmi les régions les plus pluvieuses du Maroc. La moyenne des précipitations calculée pour une période de 30 ans entre 1969 et 1999 des données de la station de Kalaya la plus proche au site Saboun, est de l'ordre de 742 mm/an (figure 2). Cependant, elle est considérée aussi parmi les régions les plus défavorisées en matière de ressources en eau, le déficit hydrique atteint parfois un taux très élevé de l'ordre 90 % (sécheresse 1994).

Selon les spécialistes, ce paradoxe s'explique par les conditions hydrogéologiques de la région, qui semblent jouer un rôle important, notamment la nature lithologique de ses bassins versants (TAUVIN, 1971). Une grande partie de ces bassins, est constituée par l'unité de Tanger mesorifaine, dont les faciès prédominants sont des argiles et des marnes d'âge Sénonien. Ces faciès affleurent à la surface et par conséquent empêchent toute percolation en profondeur pour la formation des nappes. Les seules ressources en eau susceptibles d'être mobilisées, sont ainsi des eaux superficielles, généralement à caractère torrentiel.

Dans le bassin versant de Saboun, l'unité de Tanger mesorifaine recouvre l'ensemble de la superficie. Elle est représentée essentiellement par des marnes grises qui forment les bas fonds et les marneux calcaires finement schisteux qui représentent les principales crêtes. Sur ces formations une cou-

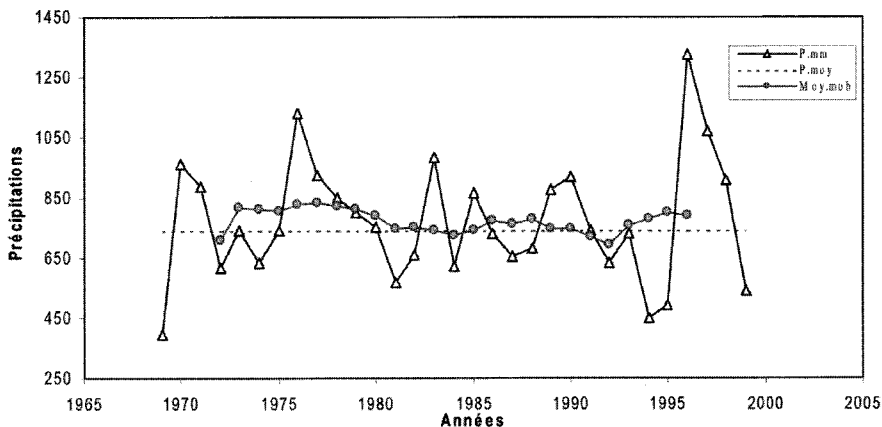


Figure 2 Évolution des précipitations annuelles et la moyenne mobile sur 7 ans de la station de Kalaya entre 1969 et 1999.

Annual precipitation and the 7-year running average between 1969 and 1999.

verture pédologique à argile dominant est développée en toposéquence, très sensible aux phénomènes de ruissellement et l'érosion. La cartographie des formes d'érosion à l'aide des photographies aériennes, montre que plus de 82 % de la superficie du bassin versant est soumise à une érosion hydrique diffuse ou en nappe. Tandis que l'érosion par ravinement (rigoles et ravins), est limitée uniquement à la partie amont sur des pentes qui dépassent 30 %.

Dans ces conditions hydrogéologiques défavorables, le barrage Saboun est ainsi la seule source d'approvisionnement en eau de la population locale, principalement pour des consommations domestique ou animale. Une partie de cette eau devrait être utilisée prochainement pour l'irrigation d'un périmètre agricole en aval, ce qui exige une gestion rationnelle de la retenue et un contrôle régulier de son taux d'envasement.

2.2 Équipement hydropluviométriques et exploitation des données

Dans le but d'établir le bilan hydrologique du barrage Saboun et de mettre en place un outil du suivi futur de sa disponibilité en eau, une station hydrométrique automatique a été installée près de la retenue en novembre 1997. Ce type de station qui a été installé pour la première fois au Maroc, est équipé d'un dispositif expérimental composé par :

- une sonde piézorésistive immergée dans le lac, permettant d'enregistrer automatiquement les hauteurs d'eau à 1 cm près pour un pas de temps de 5 min ;
- un pluviographe à auget basculeur permettant d'enregistrer les cumuls de précipitation sur une période de 5 min ;
- un bac d'évaporation enterré de type Colorado-ORSTOM de 1 m² d'ouverture et 60 cm de profondeur ;

- une batterie de deux échelles limnimétriques ;
- une centrale d'enregistrement et de mémorisation des données.

Les données limnimétriques et pluviométriques enregistrées, sont transférées régulièrement au laboratoire, puis gérées et transformées en différents formats accessibles (EXCEL ou ASCII). Les données d'évaporation sont déterminées de façon manuelle par un gardien tous les matins à 8 heures à partir du bac.

2.3 Calcul du bilan hydrologique de la retenue

La détermination du bilan hydrique de la retenue de Saboun a été basée sur l'application de l'équation du bilan qui découle du principe de conservation des volumes d'eaux (ALBERGEL *et al.*, 1997) soit :

$$\Delta v = (V_r + V_{ecs} + V_p + V_f) - V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_i + V_u$$

avec : Δv : Variation du volume ; V_r : volume ruisselé ; V_{ecs} : volume d'apport souterrain ; V_p : volume d'apport de la pluie ; V_f : volume de fonte des neiges ; V_{ev} : volume d'évaporation ; V_d : volume déversé ; V_{vi} : volume vidangé ; V_i : volume infiltré ; V_u : volume utilisé.

L'application de cette équation, consiste à mesurer toutes les variables qui sont accessibles à l'observation à un pas de temps de 5 min, puis de les transposer à l'échelle journalière ou mensuelle. Les volumes de fonte de neige (V_f) et des apports d'eaux souterraines (V_{ecs}) sont supposés nuls suite aux caractéristiques de la région qui ne permettent pas la formation d'un tel écoulement. Pour les paramètres non mesurés ($V_i + V_u$), ces derniers sont généralement appréciés par bouclage du bilan.

Le volume d'apport de la pluie tombant directement dans la retenue (V_p), est déterminé en traduisant les volumes obtenus par le pluviographe à l'échelle de la surface inondée de la retenue. Cette surface est déterminée en fonction de la cote enregistrée par la sonde (Δv), rapportée à la courbe hauteur/surface du barrage. De même les apports, sont reconstitués à partir de la variation de la cote de la retenue pour une précision de 1 cm de hauteur et pour un pas de temps de 5 min. Parfois, on utilise une précision de 2 cm pour éviter l'action de déferlement des vagues. Les débits et les volumes instantanés entrant, sont ainsi déterminés à partir de l'équation de conservation des volumes ci-dessous :

$$Q_e = Q_d + (dv/dt) - Q_p$$

avec : Q_e : le débit entrant dans la retenue (m^3/s) ; Q_d : le débit déversé (m^3/s) ; Q_p : le débit de pluie tombant directement sur la retenue (m^3/s) ; dv/dt : la variation instantanée du volume d'eau retenue dans le lac en m^3/s .

Quand aux volumes d'eau déversés, ils sont calculés en fonction de la courbe $Q_{deverse} = f(cote)$ et les paramètres de déversoir selon l'équation de MANNING-STRICKLER. Signalons que le barrage est équipé d'un déversoir de forme rectangulaire de 8 m de largeur et de 6,68 m de hauteur qui représente la cote de déversement du barrage.

2.4 Étude de la sédimentation dans la retenue

La sédimentation dans les retenues de barrages au Maroc, pose fréquemment d'importants problèmes qui réduisent la rentabilité de l'ouvrage (BOU-TAIEB, 1988). C'est un phénomène qui exige un contrôle régulier de la vitesse de dépôt pour la mise à jour des courbes d'étalonnage et pour déterminer le taux d'envasement et par conséquent sa capacité utile et sa durée de vie.

Pour déterminer le taux d'envasement des retenues, plusieurs méthodes sont utilisées. Certaines sont directes, par mesure du volume total de dépôt piégé au sein de la retenue. D'autres sont indirectes par le calcul du taux d'ablation des sols, auquel est associé un coefficient de délivrance qui représente le rapport entre le taux des sédiments arrachés au champ et ceux déposés au cours du transport dans les rivières. C'est le cas par exemple des modèles de calcul de l'érosion très utilisés au Maroc, comme l'équation universelle de perte en sol USLE (WISHMEYER et SMITH, 1978) et sa forme révisée RUSLE (RENARD, 1996). Cependant, ces équations sont des relations empiriques, qui doivent être considérées comme valides seulement dans leurs conditions d'application. En outre, elles n'expriment pas l'érosion totale d'un bassin versant, mais seulement l'érosion superficielle de celui-ci sous l'action de splash et l'écoulement en nappe. De ce fait les méthodes directes sont souvent privilégiées pour l'estimation de l'érosion totale du bassin versant.

Parmi les méthodes directes les plus utilisées au Maroc pour déterminer l'érosion, il y a la bathymétrie (LAHLOU, 1994 ; MARZOUKI, 1992 ; TAYAA, 1997). Cette méthode a été utilisée pour déterminer l'envasement du barrage Saboun en novembre 1999, en appliquant un sondage ponctuel selon les techniques de l'IRD (ex-ORSTOM) (PEPIN, 1996). Les points de mesures ainsi obtenus sont intégrés dans un système d'information géographique, puis interpolés par krigeage à l'échelle de la surface de la retenue. Le volume total des sédiments piégés est calculé ensuite par la différence entre le volume initial et celui obtenu par krigeage.

3 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Analyse du bilan hydrologique

La *figure 3* présente toutes les crues et les averses qui ont été enregistrées par la station Saboun au cours des deux années du suivi hydrologique 1997-1998 et 1998-1999. Les apports d'eaux au barrage ont été transformés en hydrogrammes et les averses en hyétogrammes. Les résultats montrent que plus de 90 % de ces apports sont concentrés entre le mois de novembre et celui de mars. Le volume stocké dans la retenue a enregistré une rapide augmentation au mois de janvier 1998, liée à une bonne pluviométrie au cours de cette période, puis une diminution progressive, passant de 1 120 000 m³ à 375 000 m³ en novembre 1999 (*figure 4*).

En général, l'année 1997-1998 a été excédentaire au point de vue pluviométrie sur toute la région de Tanger. Le total enregistré par la station est de

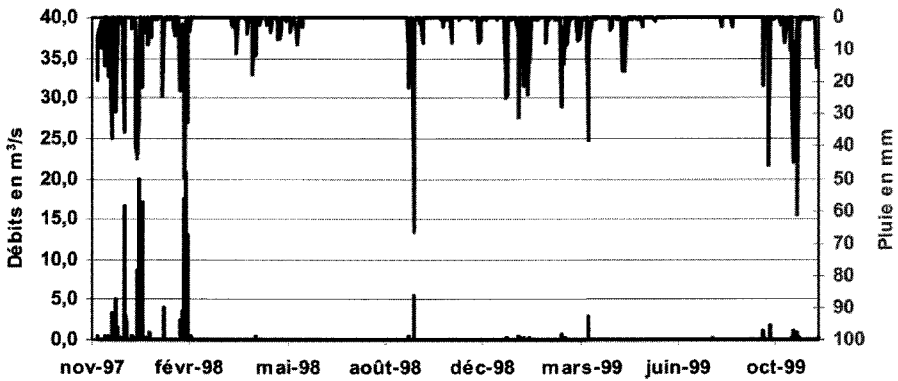


Figure 3 Crues et averses enregistrées à Saboun de novembre 1997 à octobre 1999.

Rainfall and runoff measured at Saboun from November 1997 to October 1999.

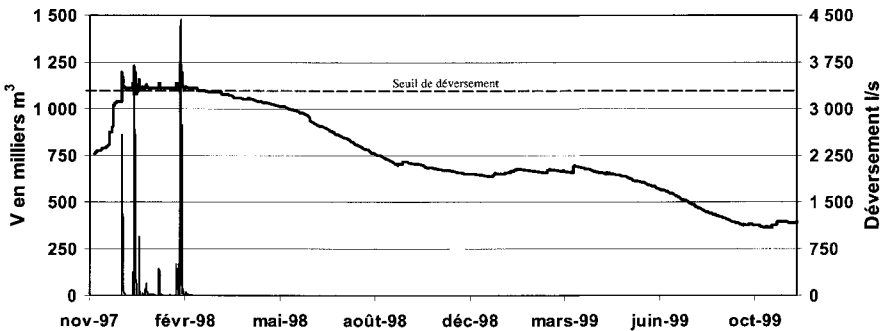


Figure 4 Variation de l'état de remplissage du barrage Saboun de novembre 1997 à octobre 1999.

Water stocks at Saboun dam from November 1997 to October 1999.

l'ordre de 912 mm, dépassant largement la moyenne annuelle de 742 mm/an. L'écoulement a enregistré lui aussi un volume important de l'ordre de 1 688 328 m³, sous forme de 20 crues dont le débit maximal instantané a atteint 21 m³/s, (crue de 19/12/97) et une lame maximale ruisselée de l'ordre de 18 mm, (crue 06/02/98) (figure 3).

Malheureusement, plus de 59 % de ces apports se sont déversés avec un volume total de l'ordre de 995 655 m³, et 24 % ont été vidangés avec un volume total de 398 658 m³. La capacité du barrage a été dépassée plusieurs fois et cela malgré l'utilisation de la vidange de fond pour évacuer les crues, cinq fois durant le mois de décembre 1997 et huit fois au mois de février 1998. Cette dernière a été utilisée aussi en saison sèche, durant les mois de juin, de juillet et d'août, pour évacuer un volume total de 92 562 m³, mais cette fois-ci, afin de permettre l'approvisionnement en eau pour la population rurale en aval (figure 5).

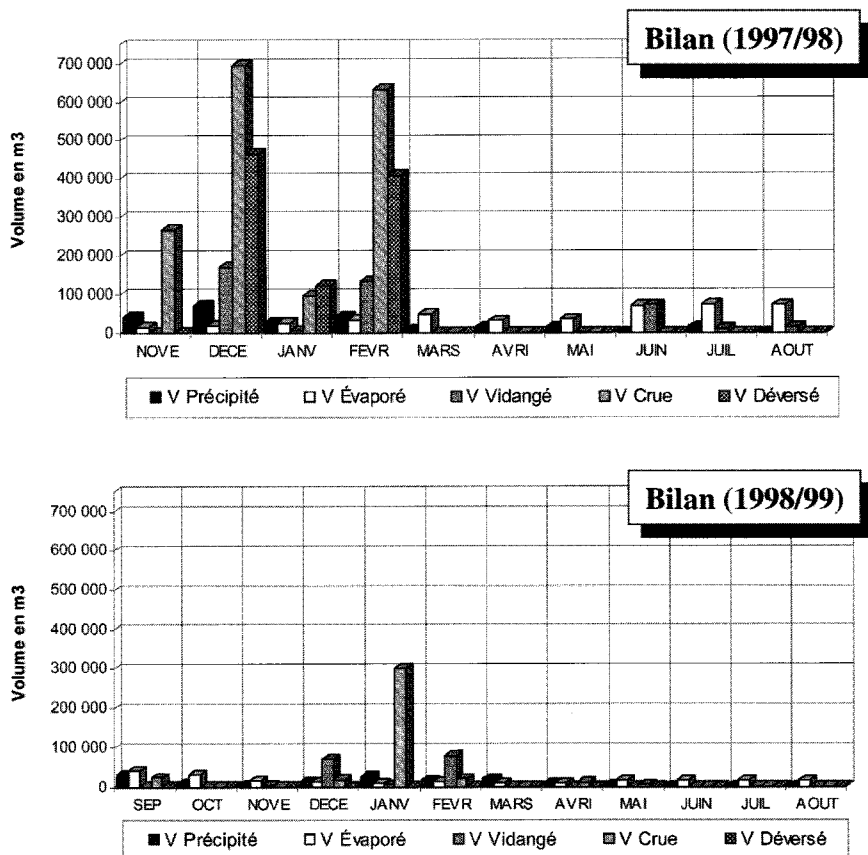


Figure 5 Bilan hydrologique mensuel du barrage Saboun (1997-1998 et 1998-1999).
Water balances of Saboun dam (1997-1998 and 1998-1999).

Contrairement à l'année 1997-1998, l'année hydrologique 1998-1999, s'est montrée relativement faible en apport en eau à la retenue. Seulement 10 averses ont engendré un ruissellement supérieur à 1 mm avec un écoulement total de 352 603 m³ et une lame maximale ruisselée de 4,5 mm (crue de 21/09/98) (figure 3). Quant aux pertes en eau du barrage, l'analyse du bilan montre que la vidange de fond semble avoir été mal utilisée, notamment aux mois de décembre et de février (période pluvieuse). Le déversoir n'a enregistré aucun écoulement au cours de toute l'année, pourtant les lâchers d'eau, ont représenté un volume important de l'ordre de 156 912 m³, soit une perte de 45 % des apports (figure 5).

3.2 Taux d'ensablement et estimation de la dégradation du bassin versant

La méthode d'estimation du taux d'ensablement et de dégradation au niveau du bassin versant a été basée sur l'étude de la bathymétrie de la rete-

nue du barrage. Les résultats de ce contrôle bathymétrique en terme de volume total envasé, le taux moyen d'envasement, la dégradation spécifique correspondante et la durée de vie du barrage, sont présentés dans le *tableau 1*.

Tableau 1 Résultats de dépouillement des données de la bathymétrie.

Table 1 *Bathymetric survey results.*

Volume initial m ³ (1991)	Volume restant m ³ (nov. 1999)	Volume envasé m ³	Perte annuelle %	Érosion t/ha/an (Densité de vase = 1,3)	Durée de vie Ans
1 100 000	903 990	196 010	2	37	53

Le *tableau 1* fait ressortir que l'envasement total depuis la mise en service du barrage en 1991 est de l'ordre de 196 010 m³, soit une perte totale de la capacité initiale du barrage de 17,8 % qui correspond à un apport moyen annuel en sédiments de l'ordre de 21 779 m³. Si on rapporte ce volume à la surface du bassin versant, on obtient ainsi une dégradation spécifique de l'ordre de 37 t/ha/an.

Cependant, il faut signaler que cette dégradation ne représente pas la dégradation réelle des sols de bassin versant, puisque le volume des apports présenté ci-dessus n'intègre pas le pourcentage des sédiments évacués au moment des déversements et de vidange de fond. Théoriquement, la part de ces sédiments est fonction du niveau de remplissage de la retenue et du temps de décantation des particules dans l'eau. Dans le cas du barrage Saboun, ce temps est très court particulièrement en période de crue, vu sa capacité très faible de l'ordre de 1 100 000 m³ (BELKHIRI, 1988). En pratique, on utilise la courbe d'étalonnage de BRUNE (1953) qui permet de déterminer le taux de sédiments piégés en fonction du rapport entre la capacité du barrage et l'apport moyen annuel. Au Maroc, on utilise au lieu de la courbe de BRUNE, une courbe d'étalonnage établie de la même façon à partir des données de 16 barrages marocains par LAHLOU en 1994.

En se référant à la courbe de LAHLOU et en se basant sur les données des apports de la station Saboun pour les années 1998 et 1999 pour le calcul de l'apport moyen annuel, le taux des sédiments piégés estimé pour la retenue du barrage Saboun est de l'ordre de 75 %. Autrement dit, la dégradation spécifique du bassin versant calculée précédemment doit être majorée de 33 %.

Par ailleurs, si on écarte les années de sécheresse qu'a connue la région depuis la construction du barrage, à savoir 1992, 1994, 1995 et 1999, dont les précipitations ne dépassent pas la moyenne annuelle, on trouve un taux de dégradation du bassin versant de l'ordre de 89 t/ha/an.

D'autre part, il est généralement admis que la quantité de sédiments parvenant au réservoir d'un barrage, ne représente qu'une partie des sédiments arrachés au niveau du champ. Le rapport entre les sédiments produits et ceux déposés au barrage, communément appelé « *delivery ratio* » varie d'un bassin à un autre, voire dans le même bassin le long du cours d'eau principal. Il est fonction de plusieurs facteurs, comme la superficie, les caractéristiques phy-

siques du bassin versant et la dynamique fluviale. Une relation simple non linéaire développée par BAGARELLO *et al.* (1991) permet en revanche d'estimer ce rapport en fonction seulement de la superficie. L'application de cette formule pour le bassin versant de Saboun, donne un coefficient de délivrance de 1,3. Ceci veut dire que la dégradation réelle au champ est de 1,3 fois supérieure à celle obtenue par envasement, soit un taux de dégradation final de l'ordre de 115 t/ha/an.

La comparaison de ce taux de dégradation avec ceux estimés par bathymétrie pour les grands barrages dans la région, notamment celui du bassin versant de Nakhla (60 t/h/an) et de Ibn Batouta (47 t/ha/an) montre que le bassin versant de Saboun est soumis à une forte érosion. Cette érosion qui provient essentiellement des terrains de culture (95 % de la superficie) peut avoir des conséquences très graves sur la retenue, notamment sur son fonctionnement hydrologique par envasement et la qualité de ces eaux par pollution.

4 – CONCLUSION

Cette étude qui a été entreprise dans le cadre d'un travail de recherche sur la gestion des lacs et barrages collinaires en zone méditerranéenne, avait pour but d'évaluer le bilan en eau et d'érosion du barrage collinaire de l'oued Saboun au Maroc et de caractériser son fonctionnement hydrologique. La mise en place de la station hydropluviométrique à enregistrement automatique a énormément facilité le transfert rapide des données, leur exploitation et leur analyse aussi bien dans la phase de remplissage que dans celle de vidange. Ceci a permis une bonne prévision de la disponibilité en eau de la retenue durant toute l'année, et fourni les données nécessaires pour calculer son bilan hydrique.

En effet, l'analyse de ce bilan montre qu'au cours des deux années d'enregistrement, le volume d'eau stocké dans la retenue a enregistré une rapide augmentation, puis une diminution progressive. Le coefficient de remplissage est passé de 1,9 pour l'année 1997/98, soit environ deux fois la capacité actuelle de la retenue à seulement 0,3 pour l'année suivante 1998-1999. Ces résultats, montrent que même sur une courte période de deux ans, le barrage Saboun présente une grande variabilité de son régime hydrique, due aux irrégularités de ses paramètres à savoir principalement le volume des apports, le volume de vidange de fond et le volume des déversements. Parmi les facteurs de cette variabilité, on peut citer la pluviométrie qui contrôle les apports, la mauvaise gestion de la vidange de fond, ainsi que l'érosion importante du bassin versant qui réduit de plus en plus la capacité du barrage par envasement et par conséquent augmente les déversements. De ce fait, des mesures de conservation des sols et de gestion rationnelle de la vidange de fond sont donc nécessaires afin de minimiser les pertes par déversement et les lâchers d'eaux inutiles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL J., GUEGUEN N., PEPIN Y., 1997. Comment faire le suivi hydrologique d'un petit barrage, *Note technique*, ORSTOM-Tunis, Tunisie, 30 p.
- BAGARELLO V., FERRO V., GIORDANO G., 1991. Contributo alla valutazione del fattore di deflusso di Williams e del coefficiente di resa solida per alcuni bacini idrografici Siciliani. *Revista de Ingegneria agraria*, Anno XXII (4), 238-251.
- BELKHIRI A., 1988. Conséquence de la dégradation des bassins versants sur les retenues des barrages. *Acte du séminaire international sur l'aménagement des bassins versants*, 18-23 janvier. Rabat.
- BEN ABID A., 1982. Étude phytoécologique, biogéographique et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif (Maroc). *Thèse de doctorat*, Univ. d'Aix-Marseille, 200 p.
- BOUTAIEB M., 1988. Impacts économiques de l'envasement des barrages au Maroc. Acte du séminaire international sur l'aménagement des bassins versants. Direction des Eaux et Forêt, Rabat.
- BRUNE G.M., 1953. Trap efficiency of reservoirs. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 34 (4), 407-48.
- BZIOUI M., 1986. La mobilisation de l'eau par les barrages collinaires. *Revue marocaine de génie civil*, 14, 17-19.
- BZIOUI M., 1995. Transfert des eaux au Maroc. *Revue marocaine de génie civil*, 54, 17-19.
- CHAOUNI M., 1996. *Gestion de l'eau par les Arabes au moyen âge*. Tome 1. A.I.M P.C, Rabat, 150 p.
- DGH, 1998. *Les grands barrages du Royaume*. M.A.E/D.E. Rabat, Maroc, 85 p.
- DAGHMOUMI R., 1994. Apport du SIG et de la géologie à l'étude de l'érosion dans le bassin versant d'Oudour Rif-central. *Mémoire de 3^e cycle*. Univ., Med. V, Rabat, 150 p.
- HEUSH B., 1970. L'érosion du PréRif. *Annale de recherche forestière au Maroc*, Tome 12, étude de l'érosion.
- LAHLOU A., 1994. *Envasement des barrages au Maroc*. WALADA, Casablanca, 120 p.
- MAHFOUD J., 1989. Les barrages collinaires. *Terre, Homme et Eau* ; 74-75 ; 3^e partie.
- MARZOUKI T., 1992. Diagnostic de l'envasement des grands barrages au Maroc. *Revue marocaine du génie civil*, 38, avril.
- MERZOUK A., DAHMAN H., 1998. Shifting land use and its implication on sediment yields in the Rif Mountains (Morocco). *In advanced in Geoecologie*, 31, 333-340.
- PEPIN Y., 1996. Méthode utilisée pour les mesures d'envasement d'un lac collinaire en Tunisie. Note technique. CES/M.A. ORSTOM, 45 p.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., MCCOOL D.K., YORDER D.C., 1996. *Predicating soil loss equation (RUSLE)*. USDA/ARS. ARG. AG. Handbook # 703. Washington. DC.
- TAUVIN T., 1971. Ressources en eau du Maroc, domaine rifain. *Note et mémoire du service de la géologie*. Ministère de l'Énergie et des Mines, Rabat, Maroc.
- TAYAA M., 1997. Bassin versant de Nekhla : caractéristiques hydrologiques et estimation du taux d'érosion. *Ministère de l'environnement -USDA.WARS- project*, 60 p.
- WISHMEYER W.H., SMITH D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. *Arg. Handb.*, 53, USDA, Washington DC.