

## **La dégradation spécifique des bassins versants et son impact sur l'envasement des barrages**

ABDELHADI LAHLOU

*Chef de la Division Exploitation, Ministère de l'Équipement, Rabat, Morocco*

RESUME L'envasement des retenues des barrages du Maroc a été étudié par trois méthodes. Ces méthodes sont la méthode turbidimétrique, les campagnes bathymétriques réalisées dans les retenues des barrages, et la détermination de la dégradation à partir de la stéréophotographie aérienne des barrages. Les données ont été utilisées pour établir des formules et des courbes donnant la relation entre la dégradation spécifique moyenne annuelle des bassins versants du Maroc et leurs surfaces.

### INTRODUCTION

L'étude du mécanisme de l'envasement de la cuvette des barrages, ainsi que le mode de formation des accumulations de vase atterrissant dans la tranche morte, constituent l'objet des recherches résumées dans le présent document.

Les divers types d'érosion, (splash, en nappes, en griffes et ravinantes) sont à l'origine de ces transports solides en suspension, lesquels se développent dans un système constitué, d'une part, par l'élément bassin (et oued) caractérisé par sa perméabilité, sa nature lithologique l'intensité du relief, sa végétation et, d'autre part, par l'élément moteur du transport solide à savoir l'eau, qui agit par son énergie cinétique d'impact et sa capacité d'érodabilité ainsi que par son ruissellement.

Divers paramètres conditionnent la formation de ces transports de matières terreuses et leur évolution dans le temps. Pour ne citer que quelques uns de ces facteurs, mentionnons: les conditions initiales à savoir: l'humidité antérieure du sol, le caractère torrentiel des précipitations pluviales, la période de l'année dans laquelle s'effectue le transport solide, la nature géologique du bassin versant, et la lame d'eau ruisselée. Tous ces paramètres liés entrent simultanément en jeu et il est difficile d'en isoler un pour dire qu'il est le seul à entrer en considération, dans le cas d'une crue donnée observée. Seul le transport solide par suspension, qui est dû à la composante verticale de la vitesse turbulente, sera développé dans le présent rapport.

### METHODES

#### *Méthode turbidimétrique*

L'étude présente qui a pour objet de déterminer le volume solide

annuel déposé dans les retenues à partir des mesures de turbidités observées aux stations hydrométriques se trouvant juste à l'amont des barrages, repose sur la connaissance des concentrations ( $g\ l^{-1}$ ), déterminées au laboratoire à partir de prélèvements d'échantillons solides.

Les échantillons de transport solide prélevés dans des bouteilles de 1 l à goulot large, constituent l'élément de prise. A chaque prise instantanée le temps du prélèvement est indiqué ainsi que la cote à l'échelle à laquelle correspond un débit liquide donné par les barèmes de débits obtenus à partir de la courbe de tarage de la station considérée. Remarquons, d'autre part que le transport de matériaux solides en suspension dans les périodes de basses eaux est négligeable. Etant donnée que la quantité de matières transportées augmente dans les fortes proportions lorsque les crues surviennent, les concentrations présentent de grandes variations d'où une fréquence de prise élevée.

L'analyse de dépôt solide au laboratoire est réalisée de la façon suivante: l'opérateur porte les renseignements suivants sur la liste de dépouillement: bassin, oued, station, date de prise en heure et minute, lieu du prélèvement, la cote à l'échelle à la station, la date de l'analyse le température, la méthode d'analyse utilisée. Les filtres sont mis dans l'étuve à  $100^{\circ}$ , durant 24 h et sont pesés. Le volume de l'échantillon est mesuré après agitation. On vide le contenu de l'échantillon agité sur le filtre placé dans l'entonnoir et on attend 1 h approximativement. Le filtre, avec son dépôt, est placé dans l'étuve à  $100^{\circ}$  durant 24 h puis placé pendant 15 min dans le dessiccateur pesé. En retranchant de ce poids celui du filtre sec, on obtient celui du dépôt solide qui, divisé par le volume exprimé en litre, donne la concentration en  $g\ l^{-1}$ , correspondant à l'échantillon prélevé.

La concentration instantanée ainsi déterminée est multipliée par le débit liquide instantané (tiré de la courbe d'étalonnage de la station) en vue d'obtenir la masse instantanée transitée par l'oued. On en tire le turbidigramme fournissant la masse solide instantanée véhiculée en fonction de la durée de la crue. Cette courbe, planimétrée, donne la masse totale des matériaux solides durant la crue. Toutes les crues de l'année sont ainsi analysées et une distribution fréquentielle des apports solides déterminée. A titre indicatif 34 200 mesures de turbidités ont été prélevées jusqu'en fin 1977, en 117 points de prélèvement (Tableau 1).

#### *Mesure de la dégradation moyenne annuelle à partir de campagnes bathymétriques réalisées dans les retenues des barrages*

*Résultats de la bathymétrie réalisée au barrage Lalla Takerkoust*  
28 profils ont été réalisés, fournissant un volume total de dépôt solide dans la retenue de:  $V = 21\ 10^6\ m^3$ , et ceci depuis 1935. La dégradation correspondante pour une surface de bassin versant de  $1707\ km^2$  est de:  $D = 332\ m^3\ km^{-2}\ an^{-1}$ , correspondant un dépôt moyen annuel dans la retenue de:  $E = 0.5\ 10^6\ m^3\ an^{-1}$ .

*Résultats de la bathymétrie réalisée au barrage Nakhla* 18 profils ont été réalisés dans la retenue fournissant un volume solide de  $2.8\ 10^6\ m^3$  et ceci depuis 1967, soit une dégradation moyenne

TABLEAU 1 Nombre de mesures turbidimétriques réalisées jusqu'en fin 1977 aux points de prélèvements

Bassin versant	Nombre de points de prélèvements de turbidités	Nombre de prélèvements de turbidités (jusqu'en fin 1977)
Sebou	20	9836
Bassins méditerranéens	12	5881
Moulouya	15	5382
Loukkos	12	3132
Oum Er Rbia	18	3100
Bassins atlantiques	5	1651
Ziz	12	1430
Tensift	8	1597
Bou regreg	8	1288
Guir	4	482
Draa	3	421
Total	117	34200

annuelle de:  $D = 3300 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$  pour une surface de bassin versant de  $107 \text{ km}^2$ , soit un dépôt solide moyen annuel dans la retenue de:  $E = 0.35 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$ .

*Résultats de la bathymétrie du barrage El Kanséra* 28 profils en travers réalisés par bathymétrie dans la retenue du barrage El Kanséra, ont fourni un volume solide total de  $51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  et ceci depuis 1936. Nous obtenons donc une dégradation spécifique moyenne de substratum du bassin versant de:  $D = 296 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ , pour une surface du bassin versant de:  $S = 4540 \text{ km}^2$ . Le dépôt solide moyen annuel dans la retenue est de:  $E = 1.35 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

*Résultats de la bathymétrie réalisée dans le retenue du barrage Mohamed V* Le résultats de cette campagne bathymétrique a fourni un dépôt solide de  $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  depuis 1967, soit un dépôt moyen annuel de:  $E = 10 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$ , correspondant à une dégradation moyenne annuelle de:  $D = 200 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ .

*Résultats de la bathymétrie réalisée dans la retenue du barrage Hassan Addakhil* 40 profils en travers ont été réalisés par bathymétrie dans la retenue du barrage Hassan Addakhil en juillet 1976, fournissent un dépôt solide de:  $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  pendant les 4 années d'exploitation, soit un dépôt solide moyen annuel dans la retenue du barrage Hassan Addakhil de:  $E = 1.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$ , correspondant à une dégradation moyenne annuelle de:  $D = 340 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ .

#### Détermination de la dégradation spécifique moyenne annuelle à partir de la stéréophotographie aérienne

L'un des procédés actuels les plus précis pour établir les données de base est la stéréophotographie aérienne, complétée au sol par un

travail de triangulation et de stéréopréparation topographique, ce travail étant limité d'ailleurs à un certain nombre de points caractéristiques de la cuvette et de rives. L'erreur commise par ce procédé, dans l'évaluation des coordonnées des points particuliers, est de l'ordre de 0.10 m. Une telle précision permet d'envisager l'utilisation de cette technique pour déterminer le volume d'engrèvement des retenues par réitération de photographies semblables à des intervalles du temps suffisants, de l'ordre de 5 ans ou même de 2 ans.

*Barrage Lalla Takerkoust* La photogrammétrie aérienne réalisée dans la retenue du barrage Lalla Takerkoust en Mars 1975, profitant d'un niveau très bas de la retenue occasionné par un apport d'étiage faible, a fourni un dépôt solide de  $18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  de matériaux solides durant 38 ans, soit un dépôt moyen annuel de:  $E = 0.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$ , entraînant une dégradation moyenne annuelle de:  $D = 330 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ .

*Photogrammétrie aérienne réalisée au barrage Moulay Youssef* Profitant d'une vidange en Octobre 1975, pour réparation de l'étanchéité de la vanne de vidange de fond, une campagne photogrammetrique a été réalisée fournissant un dépôt annuel de dépôt moyen annuel de dépôt solide de:  $E = 1.4 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ an}^{-1}$  correspondant à une dégradation moyenne annuelle de  $970 \text{ m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ .

Les Tableaux 2 et 3 fournissent les envasements des barrages existants en construction et programmés, obtenus à partir des méthodes ci-haut exposées à savoir:

- (a) Bathymétrie.
- (b) Photographie aérienne.
- (c) Turbidimétrie.
- (d) Extrapolation de courbes; dégradation en fonction de la surface de bassin versant.
- (e) Vidange et remplissage de barrage (ex. vidange et remplissage du barrage Méchra Homadi en 1975).

## ANALYSES

A partir de toutes les méthodes précitées, l'auteur de cette publication a établi les deux courbes (A) et (B).

### *Courbe A*

Cette courbe (Fig.1), établie à partir de mesures diverses réalisées sur neuf retenues de barrages, donne, pour les bassins versants rifs de dégradation la plus élevée, la dégradation spécifique annuelle  $D$  ( $\text{m}^3 \text{ km}^{-2} \text{ an}^{-1}$ ) en fonction de la surface du bassin versant  $S$  ( $\text{km}^2$ ), soit:

$$D = 5 \cdot 10^3 S^{-0.18} \quad (1)$$

### *Courbe B*

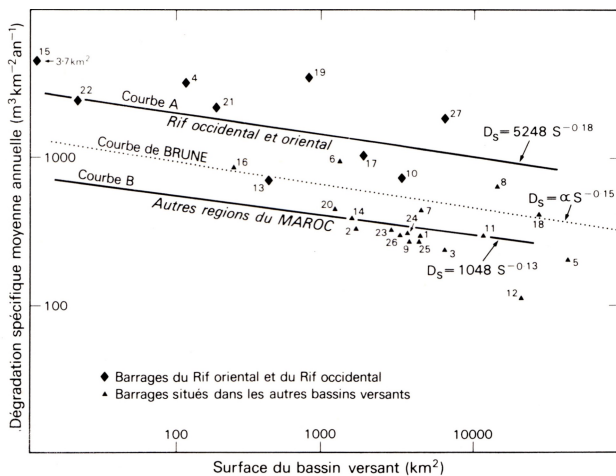
Cette courbe (Fig.1) établie à partir de mesures diverses réalisées

TABLEAU 2 Envasement des retenues des barrages du Maroc: Barrages construits

Nom du barrage	Année d'achèvement	Surface du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Bathymétrie		Photographie aérienne		Turbidimétrie observée aux stations hydrométriques (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Extrapolation de la courbe de dégradation spécifique en fonction de la surface du B.V. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )	Dégradation spécifique moyenne annuelle (m <sup>3</sup> km <sup>2</sup> an <sup>-1</sup> )	Envasement moyen annuel (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )
			Période de analysée (ans)	Dépôt solide pour cette période (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Période de analysée (ans)	Dépôt solide pour cette période (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )				
El Kansera	1935	4 540	39	50.8 mesuré en Juil. 1974					296	1.35
Lalla Takerkoust	1935	1 707	39	21 mesuré en Juil. 1974	38	18 réalisé en Mars 1975			332	0.50
Bin El Ouidane	1953	8 400					1.50		240	1.50
Nakhla	1951	107	8	2.8 mesuré en Juil. 1974					3300	0.35
Mohamed V	1957	51 500	10	100 mesuré en Jul. 1976					200	10.00
Moulay Youssef	1970	1 441			5	7 réalisé en October 1975			970	1.40
Hassan Addakhil	1971	4 400	4	6 mesuré en Jul. 1976					340	1.50
Mansour Eddahbi	1972	15 000					10.00		660	10.00
Youssef Ben Tachfine	1972	3 740					1.10		294	1.10
Idriss ler	1973	3 300		Bathymétrie réalisée			2.5 étude en cours		760	2.00
Sidi Mohamed Ben Abdellam	1974	9 800		Bathymétrie réalisée			3.0 étude en cours		300	3.00
Imfout	1944	20 000						2.30	113	2.30
Ali Thelat	1934	436						0.30	700	0.30
Mellah	1931	1 600						0.70	395	0.70
Ouezzane	1937	3.7						0.017	4600	0.017
Zemrane	1950	250						0.22	970	0.22
Tleta	1977	178						0.36	2200	0.39
El Makhazine	1977	1 830					1.00		1000	1.60
El Massira	1979	28 500					12.00	12.00	420	12.00

TABLEAU 3 *Envasement des retenues des barrages du Maroc: Barrages en construction (E.C.) et programmes (PR)*

Nom du barrage	Année d'achèvement	Surface de bassin versant (km <sup>2</sup> )	Envasement des retenues par les méthodes		Dégradation spécifique moyenne annuelle (m <sup>3</sup> km <sup>-2</sup> an <sup>-1</sup> )	Envasement moyen annuel de la retenue (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )
			Turbidimétrie observée aux stations hydrométriques amont (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )	Extrapolation de la courbe de dégradation spécifique moyenne annuelle en fonction de la surface du B.V. (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )		
Tamzaourt (E.C.)	1979	1300	0.50		450	0.60
Nador (PR)	1978	22		0.05	2500	0.50
Sidi Driss (E.C.)	1980	2930		0.94	320	0.94
M'Dez (PR)	1980	3474		1.00	300	1.00
Ain Timidrine (PR)	1981	4430		1.20	270	1.20
Dechra El Oued (PR)	1981	3390		1.00	300	1.00
M'Jara (PR)	1982	5190	12.00	12.00	1940	12.00



**BARRAGES**

- |                        |                                      |                   |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 1 EL KANSERA           | 10 IDRISSE 1 <sup>er</sup>           | 19 NEKOR          |
| 2 LALLA TAKERKOUST     | 11 SIDI M <sup>er</sup> BEN ABDELLAH | 20 TAMZAOURT      |
| 3 BIN EL OUIDANE       | 12 IMFOUT                            | 21 TLETA          |
| 4 NAKHLA               | 13 ALI THELAT                        | 22 NADOR          |
| 5 MOHAMED EL KHAMIS    | 14 MELLAH                            | 23 SIDI DRISS     |
| 6 MOULAY YOUSSEF       | 15 OUEZZANE                          | 24 M'DEZ          |
| 7 HASSAN ADDAKHIL      | 16 ZEMRANE                           | 25 AIN TIMEDRINE  |
| 8 MANSOUR EDDAHBI      | 17 AL MAKHAZINE                      | 26 DECHRA EL OUED |
| 9 YOUSSEF BEN TACHFINE | 18 EL MASSIRA                        | 27 M'JARA         |

FIG.1 Courbes donnant la corrélation entre la dégradation spécifique moyenne annuelle des bassins versants du Maroc et leurs surfaces.

sur 18 retenues de barrages, donne, pour les bassins versants de plus faible dégradation, la relation entre cette dégradation spécifique moyenne  $D$  ( $m^3 km^{-2} an^{-1}$ ) et la surface du bassin versant considérée  $S$  ( $km^2$ ), soit:

$$D = 10^3 S^{-0.13} \tag{2}$$