

BILAN DE L'ÉROSION SUR LES PETITS BASSINS VERSANTS DES LACS COLLINAIRES EN CLIMAT SEMI-ARIDE TUNISIEN

Jean ALBERGEL*, Mohamed BOUFAROUA, Yannick PEPIN*****

* Directeur de Recherche, Mission ORSTOM, B.P. 434, 1004 Tunis

** Ingénieur principal, Ministère de l'Agriculture, D-CES 30 rue Alain Savary, 1002 Tunis

*** Hydrologue, Mission ORSTOM, B.P. 434, 1004 Tunis

RESUME

Une retenue artificielle de petite dimension est un lieu privilégié pour l'observation des bilans d'érosion sur un petit bassin versant. La majorité du transport solide reste piégé dans le réservoir et celui exporté en aval du barrage, lors des rares débordements par le déversoir, peut être estimé à partir de la connaissance des débits déversés et de leur concentration.

Un équipement hydro-pluviométrique du barrage, couplé à des mesures annuelles de la bathymétrie du lac, permet d'établir des bilans précis en eau et en sédiments du bassin versant drainé. Dans la zone semi-aride de la Tunisie Centrale, un réseau de 26 lacs collinaires a été équipé en 1993. Les données qu'il fournit peuvent être généralisées à l'ensemble des petits bassins versants de la dorsale tunisienne.

MOTS CLES : lacs collinaires, petits bassins versants, érosion, envasement, Tunisie.

INTRODUCTION

La plupart des mesures de l'érosion sont faites sur des parcelles de taille standard (Wischmeier & *al.*, 1971) et n'intéressent que l'érosion superficielle des sols. A l'exutoire d'un petit bassin versant, le transport de sédiments par la rivière est le résultat de différents processus qui comprennent l'érosion des sols, leur dépôt, l'effondrement des berges, le charriage de fond, la sédimentation dans le réseau hydrographique. La connaissance du résultat de ces processus à l'exutoire du bassin intéresse, au premier chef, le concepteur d'ouvrages hydrauliques de rétention des eaux de ruissellement. L'expérience mondiale évalue le taux annuel de perte en volume des barrages dans une fourchette de 3 à 10 % (Gazzalo & Bassi, 1969; Karouachov, 1977). Lorsque l'on s'intéresse aux petites infrastructures tunisiennes, on obtient un chiffre voisin de 5% (CES-ORSTOM, 1997).

Les bassins versants expérimentaux sont reconnus, depuis longtemps, comme le dispositif de mesure le plus adéquat pour l'analyse des transports solides globaux (Toebes & Ourivaev, 1970 ; Dubreuil & *al.*, 1972).

Ils sont aussi le lieu privilégié pour la recherche sur les mécanismes du cycle de l'eau (Verel & Houi, 1994) et des interactions entre usage des sols, aménagements hydrauliques et disponibilité ou qualité de l'eau. La difficulté et le coût de gestion des réseaux pluviométriques et hydrométriques sur bassins versants de petite taille constituent des handicaps sérieux à une

bonne connaissance des bilans en eau et sédiments. Dans le monde méditerranéen, le petit barrage existe depuis l'époque romaine; mais ce n'est que très récemment que des projets ambitieux de réalisation voient le jour en Tunisie (Talineau, Selmi & Alaya K., 1994).

Une retenue alimentée par un seul tributaire, ou, pour le moins, par un tributaire principal, est susceptible de fournir une information équivalente à celle que l'on peut obtenir d'une station hydrométrique classique. Pour cela, certaines conditions, souvent moins contraignantes et moins onéreuses que celles nécessaires au bon fonctionnement d'une station hydrométrique, doivent, tout de même, être satisfaites (Nouvelot, 1993).

En Tunisie Centrale, dans la dorsale semi-aride, depuis le Cap Bon jusqu'à la frontière algérienne, 26 retenues artificielles ont été sélectionnées pour constituer un réseau d'observations hydrologiques. Ces retenues ont des impluviums très diversifiés, allant d'un milieu semi-forestier plus ou moins anthropisé à un milieu totalement cultivé. La superficie des bassins versants varie de quelques hectares à quelques dizaines de km². Elles sont aussi représentatives du gradient pluviométrique de la zone semi-aride qui varie de 250 mm à 500 mm de précipitation inter-annuelle. La mesure précise de la bathymétrie de ces 26 lacs permet une connaissance de plus en plus fine des bilans de l'érosion dans les petits bassins versants de la dorsale tunisienne.

DISPOSITIF EXPERIMENTAL, METHODES ET DONNEES

Installation expérimentale d'un lac collinaire et acquisition des données

Chaque lac collinaire du réseau est équipé d'une échelle limnimétrique, d'un pluviomètre journalier, d'un bac à évaporation et de deux centrales d'acquisition automatique de données ; la première est reliée à un capteur pluviométrique à augets basculeurs (0,5 mm de pluie) et la seconde à une sonde immergée mesurant le niveau de l'eau au cm près et sa température. L'évacuateur de crue est aménagé d'un seuil déversant permettant l'estimation des débits.

La bathymétrie de chaque lac est effectuée au moins une fois par année hydrologique. Elle est rapportée au nivellement du site et permet d'apprécier le taux d'envasement de la retenue et d'établir les courbes « Hauteur / Volume et Hauteur / surface ». Des prélèvements des eaux déversées permettent de connaître la matière solide exportée.

Estimation du transport solide et du volume de sédiment capturé par la retenue

La bathymétrie de la retenue se fait par sondages ponctuels du fond de la retenue suivant des transversales matérialisées par un câble tendu entre les deux rives. Les extrémités de chaque transversale sont nivelées et positionnées sur le plan de recollement de la retenue. Chaque point sondé (environ 500 par lac) est défini par trois coordonnées cartésiennes (situation et profondeur). Une cartographie géostatistique par la méthode du Krigeage (Matheron, 1965) permet d'établir la relation « hauteur / volume » du lac. Le volume de vase est établi par différence des volumes utiles d'une année à l'autre. La figure 1 montre la différence entre les bathymétries mesurées en 1989 et 1996 du lac collinaire de Sadine 1. La retenue se comporte comme un piège à sédiments et, lorsqu'elle n'a pas déversé, le volume de vase correspond au

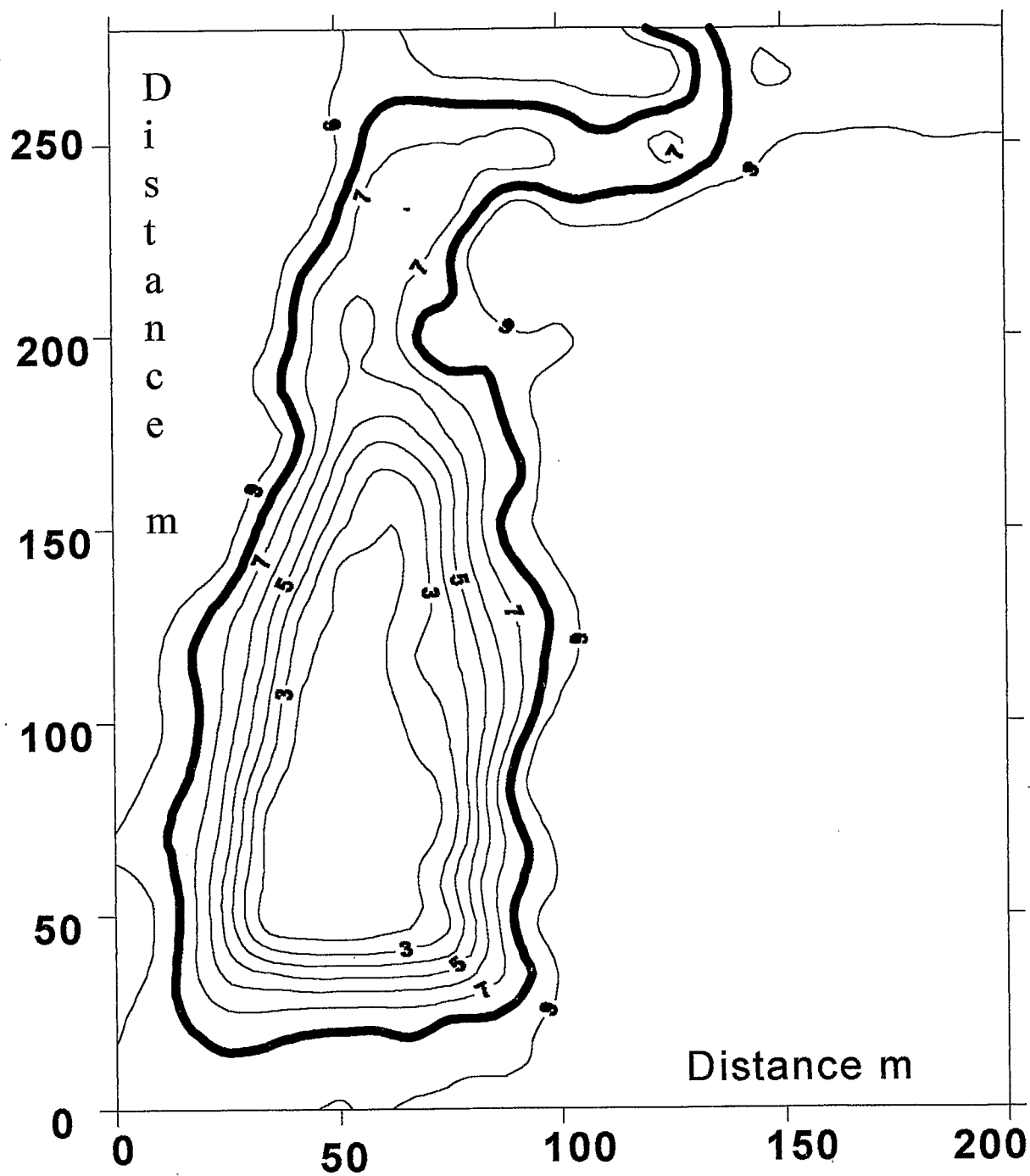


Figure 1 a : Bathymétrie de Sadine 1 en 1989

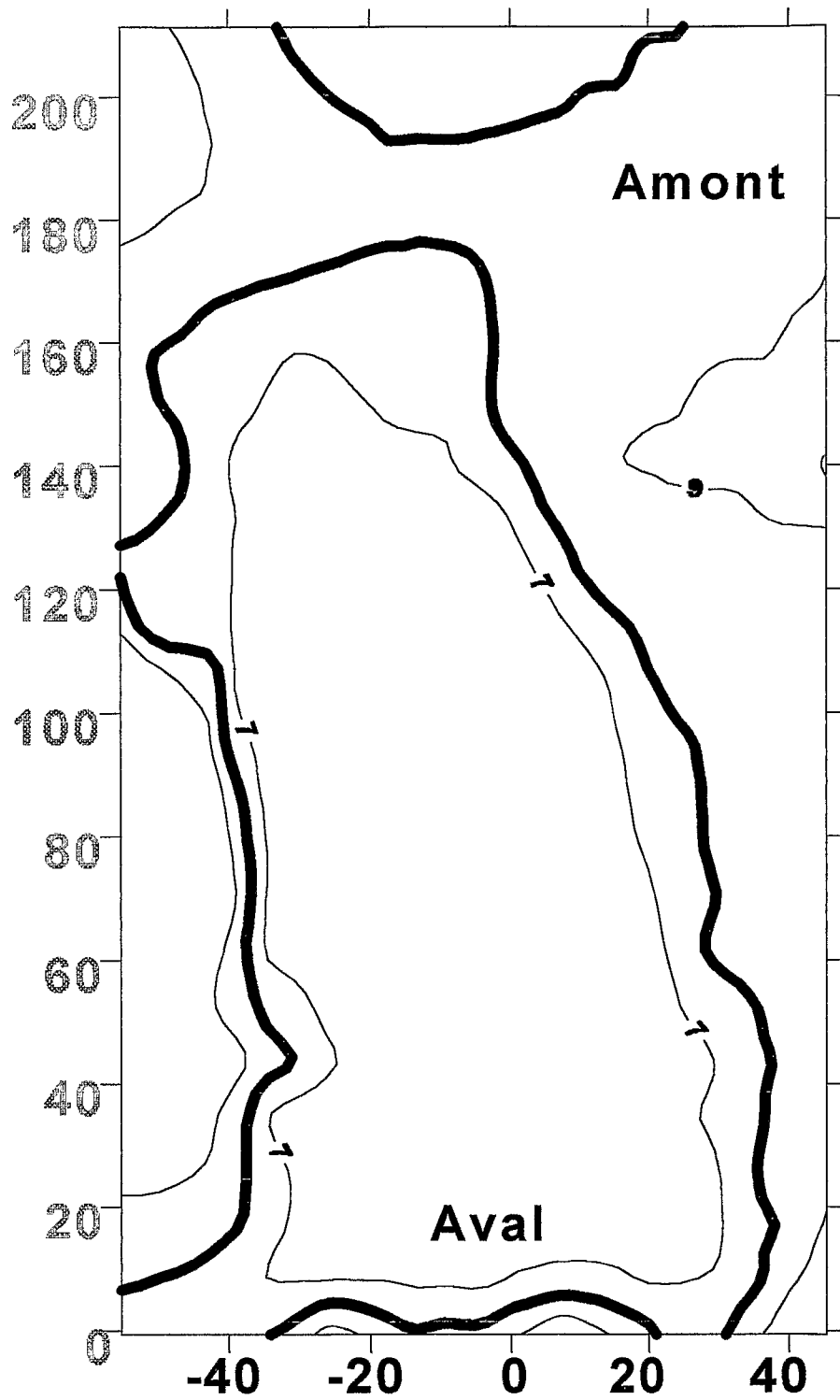


Figure 1 b : Bathymétrie de Sadine 1 en mai 1996

transport solide total produit par le bassin. En cas de déversement, on attribue aux volumes déversés une concentration moyenne de matière en suspension, obtenue par échantillonnage.

Le transport solide est enfin calculé en multipliant le volume de vase par sa densité et en ajoutant la masse exportée.

Estimation du transport solide crue par crue

La reconstitution des transports solides, crue par crue, assimilés à l'érosion globale du bassin, utilise une forme de l'équation universelle des pertes en terres développée par Williams (1977) et présentée par Hadley & al. en 1985.

Cette équation s'écrit : $A = \alpha (Vq_p)^\beta K (LS) C P$

Où **A** représente l'apport en tonne de sédiments ;

V, le volume de la crue naturelle entrant dans le réservoir, en m^3 ;

q_p, le débit de la pointe de crue, en $m^3 s^{-1}$;

K le facteur d'érodibilité du sol, sans unité (il se mesure sur parcelle de référence;

(LS), le facteur exprimant la longueur et le degré d'inclinaison de la pente ;

C, le facteur de couverture végétale ;

P, le facteur des pratiques conservatrices effectuées sur les versants ;

α et β sont des paramètres qui, dans le système unitaire international prennent respectivement les valeurs $\alpha = 11,8$ et $\beta = 0,56$. Le produit **K(LS)CP** est caractéristique d'un bassin pour une saison donnée. Il peut être calculé par optimisation en comparant la somme des transports solides obtenue, entre deux mesures de bathymétrie, à l'érosion totale. En faisant l'hypothèse que ces paramètres ne varient pas dans le temps au cours d'une même saison, on peut recalculer le transport solide de chaque événement à partir des volumes écoulés. Ces volumes à l'entrée des barrages ont reconstitués suivant un modèle de bilan hydrologique au pas de temps de 5 minutes (CÉS – ORSTOM, 1996).

RESULTATS

Envasement / Erosion

Le tableau 1 récapitule les données d'envasement de 10 barrages suivis sur les 24 et de l'érosion des bassins associés.

Les 24 unités « lacs collinaires », bien suivies par des mesures d'envasement depuis 1993, avaient une capacité initiale totale de stockage de 2 615 000 m^3 , elles ont perdu 430 000 m^3 , soit 16,5% pour une durée d'existence moyenne de 4,7 années. Soit une perte moyenne 3,5 % de la capacité de stockage par an. Suivant les sites, l'importance de l'envasement est très variable. Pour comparer l'envasement des différentes retenues, on a rapporté sa perte de volume à l'unité de surface de son bassin et à l'année. Cette grandeur exprimée en $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ varie de 1,2 à 22,7 ; sa moyenne est de 9,8 et son écart-type de 6.

Tableau 1 : Envasement et érosion

| Station | Surface BV ha | Année constr. | volume Vase 96 m ³ | durée vie ans | Vol. Export. t | Erosion Totale t | Erosion spéc. t/ha/an |
|------------------|------------------|---------------|----------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| Sadine 1 | 384,0 | 1988 | 31 275 | 9 | 4 746 | 54 786 | 17,8 |
| Fidh Ali | 412,5 | 1991 | 29 640 | 23 | 0 | 47 424 | 23,0 |
| M'Richet el Anse | 158,0 | 1991 | 5 000 | 42 | 0 | 8 000 | 10,1 |
| El Gouazine | 1810,0 | 1990 | 16 810 | 83 | 1 390 | 28 286 | 2,6 |
| Hadada | 469,0 | 1992 | 14 060 | 24 | 1 275 | 23 771 | 12,7 |
| Janet | 521,0 | 1992 | 36 010 | 11 | 3 482 | 61 098 | 29,3 |
| Dekikira | 307,0 | 1991 | 21 300 | 51 | 0 | 34 080 | 22,2 |
| Es Senega | 363,0 | 1991 | 11 850 | 36 | 356 | 19 316 | 10,6 |
| Arara | 708,0 | 1993 | 41 220 | 7 | 4 126 | 70 078 | 33,0 |
| Saadine | 272,0 | 1992 | 27 370 | 7 | 6 570 | 50 362 | 46,3 |
| Es Seghir | 431,0 | 1992 | 2 020 | 381 | 0 | 3 232 | 1,9 |
| Kemech | 245,5 | 1993 | 11 380 | 38 | 10 020 | 28 228 | 38,3 |
| Brahim Zaher | 464,4 | 1992 | 14 360 | 24 | 174 | 23 150 | 12,5 |

En faisant l'hypothèse que la moyenne de l'envasement sur cette période est représentative du régime hydrologique (1 année excédentaire pour deux années sèches), on peut estimer une durée de vie moyenne des barrages (comblement jusqu'à la cote du déversoir) :

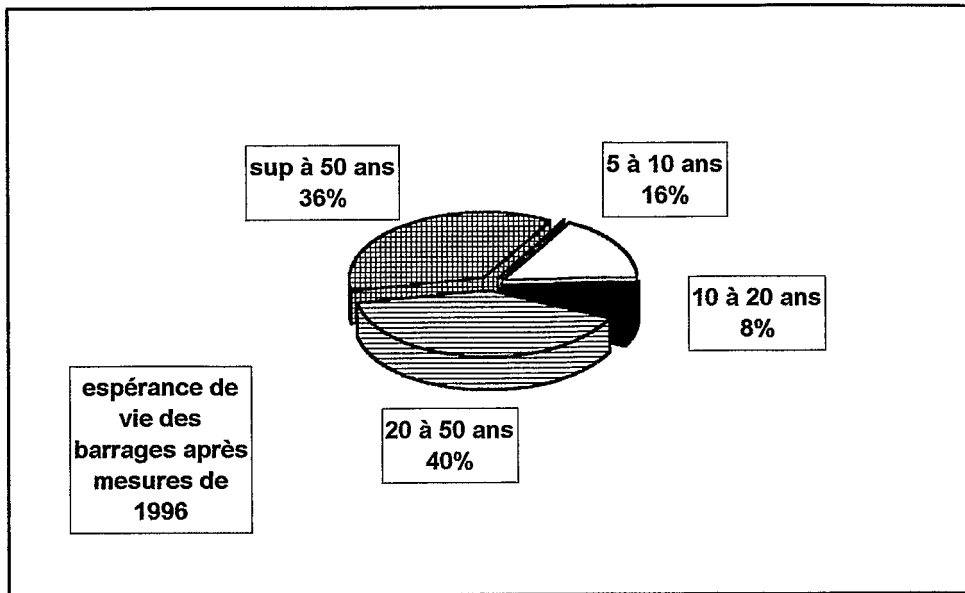
- 25% des lacs auraient une durée de vie inférieure à 20 ans
- environ 36% auraient une durée de vie supérieure à 50 ans.

La durée de vie moyenne de l'ensemble des lacs serait de 29 années (figure 2).

L'érosion sur les bassins versants varie de 2 t/ha/an à 46 t/ha/an. On observe cette variation de 1 à 20 dans une région classée géographiquement homogène sur des bassins dont les superficies sont comparables.

Les plus fortes érosions sont observées sur les bassins les plus cultivés, là où les glacis de piémont occupent une superficie importante.

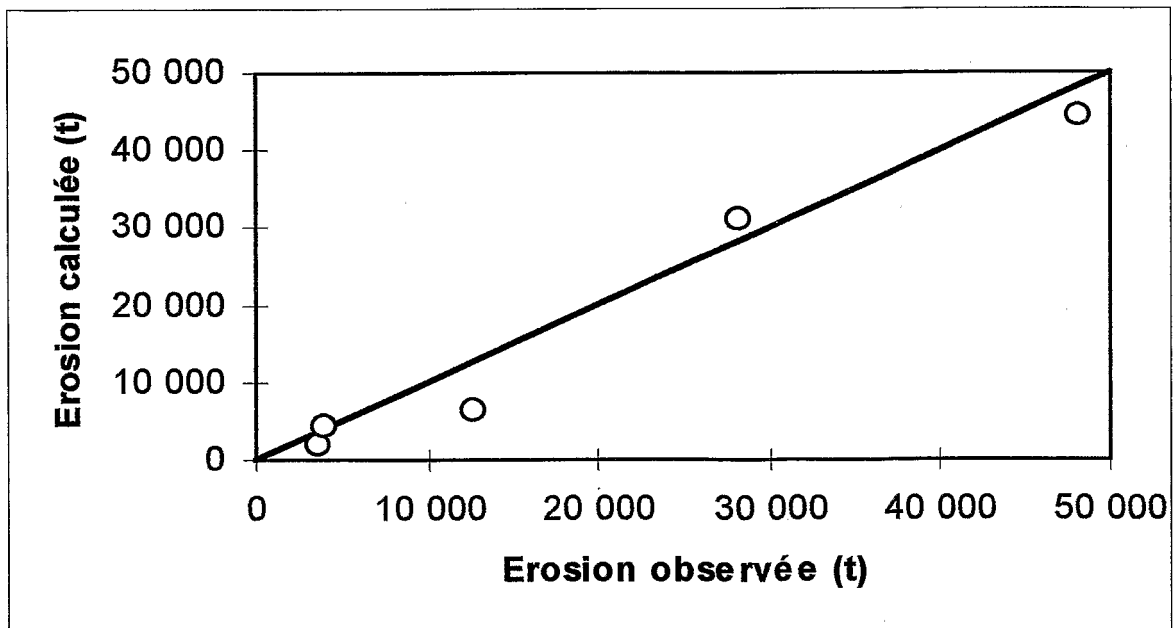
Figure 2 : Estimation de la durée de vie des lacs collinaires



Reconstitution des transports solides crue par crue

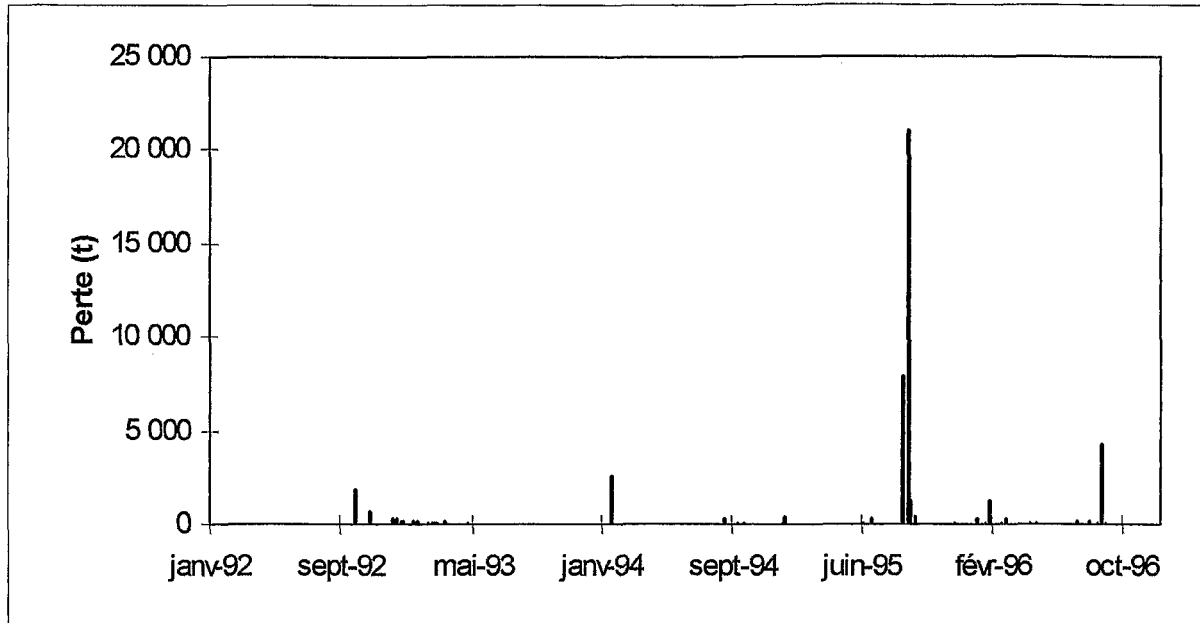
La figure 3 montre la validité du calcul de KLSCP pour le bassin versant de Sadine 1 dont le barrage a été construit en 1989. L'optimisation de ce produit de paramètres sur 5 mesures d'érosion globale a donné la valeur $KLSCP = 0,315$. La reconstitution des pertes en sols, crue par crue du 08/10/1992 au 15/09/1996, à l'exutoire de son bassin versant, est représentée sur la figure 4. Le bassin versant a une superficie de 384 ha, dans une zone montagneuse sur marne et calcaire. Le poids total des sédiments exportés par le bassin versant est de 48 500 t ($32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$). On remarquera que le calcul des pertes en terre depuis la construction du barrage donne un résultat pratiquement divisé par 2 (tableau 1), les années 90, 91 ayant été très sèches sur la région.

Figure 3 : Erosion calculée ($KLSCP=0,315$), érosion mesurée sur Sadine 1



55% de ces pertes en sol totales sont dues aux deux seuls orages du 23 / 08 / 1995 (7 900 tonnes, soit 20 t.ha⁻¹) et du 04 / 09 / 1995 (22 000 tonnes, soit 58 t.ha⁻¹). Le lac collinaire a piégé 90% du transport solide total. Il est aujourd'hui presque complètement colmaté.

Figure 4 : Reconstitution de l'érosion crue par crue sur Sadine 1 (10/1992 à 12/1996)



CONCLUSION

La forte variabilité des érosions observées sur 24 bassins versants, tous situés dans la dorsale tunisienne, montre la difficulté de mettre au point un système d'estimation simple pour prédire l'envasement des barrages. Les mesures effectuées doivent être interprétées en fonction des particularités de chaque bassin pour arriver à dégager des indicateurs pertinents.

Les lacs sont de très bons pièges à sédiments. Ils remplissent un rôle de protection pour des barrages de plus grande taille, situés en aval. Mais leur colmatage rapide va à l'encontre d'un développement agricole. Implantés dans des environnements fragiles et à faible activité économique, ils sont perçus comme une ressource supplémentaire rare et vitale : l'eau. Pour pérenniser cette ressource, en limitant l'envasement des retenues, l'aménagement des versants devient une priorité. La nature et la densité de ces aménagements doivent concilier la réduction du transport solide, sans pour autant priver le lac de ces apports en eau par ruissellement.

BIBLIOGRAPHIE

- CES - ORSTOM, 1996. Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1994-1995. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Min. De l'Agr. CES/ORSTOM. Tunis. 140 p.
- CES - ORSTOM, 1997. Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1995-1996. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Min. De l'Agr. CES/ORSTOM. Tunis. 184 p.
- DUBREUIL P., CHAPERON P., GUISCAFRE J. et HERBAUD J., 1972. Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969. ORSTOM, Paris, 916 p.

- GAZZALO T. & BASSI G., 1969. Contribution à l'étude du degré d'érosion des sols constituant les bassins versants des cours d'eau italiens. *Extraits de publications de l'Agence Italienne d'Hydraulique*, n° 53.
- HADLEY R.F, LAL R., ONSTAD C.A., WALING D.E. et YAÏR A., 1985. Recent developments in erosion and sediments yield studies. UNESCO, Paris
- KARAOUCHOV A.V., 1977. Les débits solides , analyses et répartition géographiques. Hydrométéorologie, Leningrad, 238 p.
- MATHERON G., 1965. Les variables régionalisées et leur estimation. Paris : Masson, 360p.
- NOUVELOT J.F., 1993. Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropicale et équatoriale. CIEH/ORSTOM/CEMAGREF/FAO . Montpellier. 500 p.
- TALINEAU J.C., SELMI S. & ALAYA K., 1994. Lacs collinaires en Tunisie semi-aride. *Sécheresse. Note originale*. N° 4, Vol. 5 : 251 - 6.
- TOEBES, C. et OURIVAEV, V., 1970. Representative and experimental basins. An international guide for research and practice. UNESCO *Studies and reports in Hydrology* n°4 348p.
- VEREL J.L. & HOUÏ D., 1994. Du concept de Bassin Versant Représentatif à celui de zone atelier dans les recherches menées en eaux continentales, actes du Séminaire, GIP Hydrosystème, CEMAGREF PARIS, Mai 1994.
- WILLIAMS J.R., 1977. Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. *AISH*, pub. 122.
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B. and CROSS B.V., 1971. A soil erodibility monograph for farm land and construction sites. *J. of soil and water* Vol. 265.