

Le barrage de l'Oued Sejnane : quantification de l'alluvionnement et évaluation de l'érosion spécifique de son bassin versant

The Sejnane dam : silting quantification and valuation of specific erosion of its catchment area

MARZOUGUI Abir¹ et BEN MAMMOU Abdallah²

Abstract: Specific erosion quantification of catchment areas and of rivers' solid transport was the subject of many studies. Many empirical formulas are proposed but their field of application and the validity's conditions are often limited. It was admitted that the best method of quantification of solid incomes and thus of the corresponding specific erosion of catchment area, consists necessary in the estimation of the volume of sediments taken away by the extraction's and exploitation's equipments. In this contribution, we present the results of a study carried on the Sejnane dam (Tunisia). This dam controls a catchment area of about 367 km². At the 86.5 m level the storage capacity is about 138 Mm³. Since the beginning of its exploitation (1994), this equipment has trapped 4,04 Mt of sediments with an annual average of 0,498 Mt. Sediments trapped correspond to a silty and silto-clayey deposit. The clayey fraction is mainly dominated by the presence of smectites.

Total organic carbon (TOC), total nitrogen and phosphorus (nutritive elements) percentages, calculated from the base of the dry sediments total weight, are respectively 0.74%, 0.38% and 0.26%.

Specific erosion in the upstream part of the Sejnane dam's basin was estimated with a 1357 t/km²/yr value with 10,31 t/km²/yr of total organic carbon, 3,47 t/km²/yr of total nitrogen and 3,45 t/km²/yr of phosphorus.

Keywords: Tunisia-Sejnane dam - Specific erosion - Alluvium - Nutritive elements - Total organic carbon - Nitrogen -Phosphorus

Résumé: La quantification de l'érosion spécifique d'un bassin versant et du transport solide des cours d'eau a fait l'objet de plusieurs études. Ce domaine présente une multitude de formules empiriques dont le domaine d'application et les conditions de validité sont souvent restreintes. Il a été admis que la meilleure méthode de quantification des apports solides et donc de l'érosion du bassin versant respectif passe par la mesure de l'alluvionnement des retenues des barrages et la quantification des volumes évacués par les ouvrages de soutirages et d'exploitation.

Dans cette contribution, on présente les résultats de l'étude menée sur la retenue du barrage de l'Oued Sejnane (Tunisie). Ce dernier contrôle un bassin versant de 367 Km² de superficie. A la cote de retenue normale (86,5m) la capacité de stockage est de 138 Mm³. Cet ouvrage a piégé depuis sa mise en eau (1994) 4,04 Mt de sédiments avec une moyenne annuelle de 0,498 Mt. Les sédiments piégés sont de nature silteuse à silto-argileuse dont la fraction argileuse est dominée par les smectites. Les pourcentages du carbone organique total, de l'azote total et du phosphore sont respectivement 0,74%, 0,38% et 0,26 du poids total du sédiment.

Les apports solides calculés nous ont permis d'évaluer l'érosion spécifique au niveau du bassin versant amont de l'Oued Sejnane à 1357 t/km²/an avec 10,31 t/km²/an de carbone organique total, 3,47 t/km²/an d'azote total et 3,45 t/km²/an de phosphore.

Mots clés : Tunisie-Barrage Sejnane - Erosion spécifique - Alluvionnement - Carbone organique total - Azotetotal -Phosphore.

Faculté des Sciences de Tunis, Laboratoire de Ressources Minérales et Environnement, Département de Géologie, Campus Universitaire 2092 El Manar Tunis TUNISIE.

¹marzouguiabir@Yahoo.fr & ²Abdallah.benmammou@Fst.rnu.tn

INTRODUCTION

Le cycle érosion, transport, sédimentation est particulièrement important pour les milieux méditerranéens et tropicaux même sur des très faibles pentes (BERNOUX, 2004). Dans ces régions la pluviométrie est marquée par une irrégularité et une intensité importantes. Ceci est à l'origine de l'arrachement de mottes et leur fractionnement en agrégats ou en particules élémentaires par l'énergie de la battance des pluies et du ruissellement ; ou aussi par éclatement des agrégats lors de l'humectation. Les sols sont plus vulnérables au ruissellement et à l'érosion hydrique (LAL, 1983 ; BEP *et al.*, 2004) si leur surface n'est pas protégée par une litière ou une couverture végétale (ROOSE, 1981 ; CASENAVE et VALENTIN, 1989 ; BEP *et al.*, 1995).

Il a été démontré que l'érosion des sols est sélective vis-à-vis des nutriments et des colloïdes. Ceci est net pour le carbone, l'azote et le phosphore associés aux argiles et aux limons jusqu'à 50 microns (ROOSE, 1984). WISCHMEÏER et SMITH(1978) ont essayé de quantifier les pertes du carbone des sols cultivés en suivant le comportement des parcelles d'érosion. La littérature évoque de nombreuses valeurs de pertes en carbone comme en d'autres éléments retrouvés dans les eaux ruisselées recueillies à l'aval de ces parcelles d'érosion en fonction de la nature du sol, du couvert végétal, des pratiques culturales et de l'intensité de l'érosion (LARSON *et al.*, 1983, SMITH *et al.*, 2001). De trop petite taille, les parcelles d'érosion fournissent des résultats souvent approximatifs. Une érosion mesurée à l'échelle d'un bassin versant apparaît comme une donnée plus intéressante. Sa variation dans le temps permet d'estimer l'impact des modifications des pratiques agricoles ou des aménagements (agro-foresterie, reboisement, lutte anti-érosive ; LAL *et al.*, 1995, 1997). Pour la quantification du transport solide d'un cours d'eau, il existe une multitude de formules empiriques dont le domaine d'application et les conditions de validité sont souvent restreints.

Il a été admis que la meilleure quantification de l'érosion d'un bassin versant passe par la mesure de l'alluvionnement des retenues des barrages respectifs et la quantification des volumes évacués par les ouvrages de soutirage et d'évacuation.

Dans cette contribution on a essayé d'évaluer l'érosion spécifique du bassin versant de l'oued Sejnane en établissant un bilan hydrologique et un bilan du transport solide durant les années d'exploitation du barrage. L'étude minéralogique et géochimique des alluvions piégées dans la retenue permet d'identifier la qualité des sédiments issus du bassin versant.

SITE D'ETUDE

L'oued Sejnane draine un bassin versant de 457 km² ; il prend naissance au niveau des Jebels El Krab et Faijel d'altitude respectives de 550 et 570 m. Il traverse une zone marécageuse (Gaaret Sejnane) avant de se déverser dans la partie Nord-Ouest du lac Ichkeul (Fig. 1). L'oued Sejnane s'écoule du Sud-ouest au Nord-Est. Il s'étend sur une longueur totale de 68,4 km. Il a été barré en 1994 par un barrage en terre. Ce dernier contrôle un bassin versant de 367 km² de surface avec une longueur de l'oued de 52,4 km. A la cote de retenue normale (86,5m) la capacité de stockage est de 138 Mm³ et le lac s'étend sur une superficie de 790 ha. Les objectifs de l'ouvrage sont : la satisfaction des besoins additionnels en eau potable du grand Tunis, du Cap-Bon et du Sahel, le transfert des eaux de l'extrême nord de la Tunisie vers le système d'adduction « Ichkeul-Mejreda-Cap-Bon » et l'irrigation de 680 ha dans la région de Teskraya. En moyenne, le barrage Sejnane assure annuellement 50 Mm³ d'eau potable et d'irrigation. L'étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued Sejnane par l'application de la télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (DALAA, 1995) a permis d'établir une carte de sensibilité à l'érosion. Cependant aucune quantification de celle-ci n'a pu être effectuée.

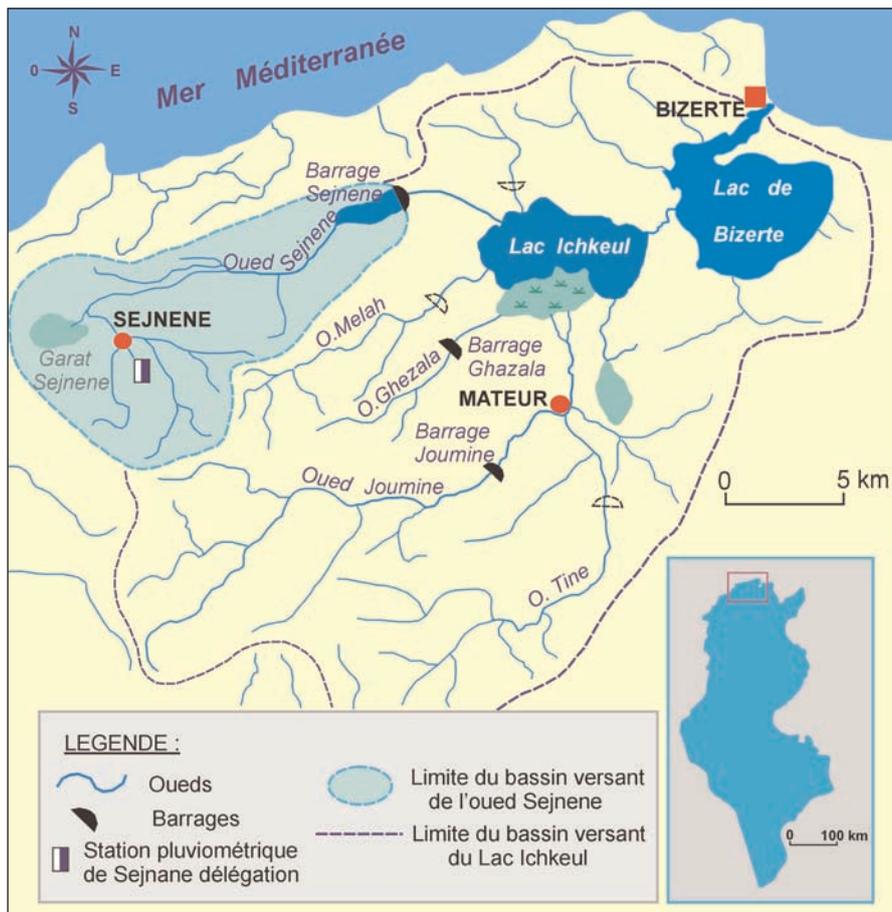


Fig.1: Localisation géographique du barrage de l'oued Sejnane et de son bassin versant.

MATERIEL ET METHODES

Dans le cadre de l'évaluation du degré d'envasement de la retenue du barrage Sejnane, des échantillons d'eau ont été prélevés en amont de la retenue et des organes de dévasement durant les périodes de crues du 18-01-2003 et du 13-12-2003 au cours des années

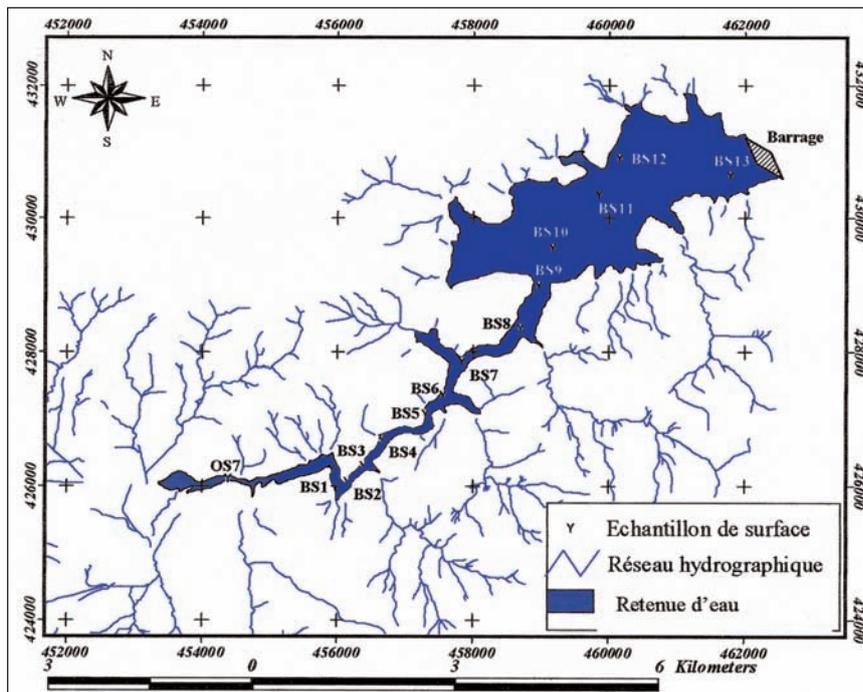


Fig.2: Carte de localisations des échantillons de surface prélevés dans la retenue du barrage de l'oued Sejnane

hydrologiques 2002-2003 et 2003-2004. La charge solide des eaux a été déterminée par mesure de la turbidité.

Pour identifier la qualité des sédiments érodés, on a essayé de déterminer les caractéristiques minéralogiques et géochimiques des sédiments piégés dans la retenue du barrage. Pour cela on a effectué une campagne d'échantillonnage des sédiments de surface (Fig. 2) au niveau de la retenue à l'aide de la benne Eckmann (BOSC, 1986).

Les échantillons prélevés ont fait l'objet d'une étude granulométrique par un granulomètre laser type Mastersizer S de la fraction inférieure à 40 μ m et d'une identification minéralogique par diffraction aux RX sur des poudres et des agrégats orientés d'argile (sous trois états ; normale, après chauffage à 550 °C et traitée avec l'éthylène-glycol durant 2 h) dont la méthode a été décrite par SANFELIU *et al* (1987). Les spectres de rayon X ont été enregistrés en utilisant un diffractomètre présentant la géométrie de Bragg-Bretano. Les teneurs en CaCO₃ ont été déterminées par calcimétrie.

L'étude géochimique a porté sur la détermination des éléments majeurs par absorption atomique et par colorimétrie. L'analyse du carbone organique total (COT) a été faite par voie chimique (méthode d'Anne), l'azote total a été déterminé selon la méthode Kjeldal décrite par BREMNER et MULVANEY (1982) et le phosphore a été dosé par colorimétrie.

RESULTATS ET DISCUSSION

Envasement de la retenue du barrage

Bilan d'exploitation du barrage

Afin d'estimer les quantités de sédiments piégés par le barrage on a prélevé des échantillons en amont de la retenue et au niveau des vannes de dévasement. Durant les périodes de crues étudiées, la charge solide des échantillons prélevés est représentée dans le tableau 1.

Tab. 1 : Données hydrologiques de deux crues mesurées en amont et en aval de la retenue du barrage Sejnane.

	Stations de prélèvement	
	Amont de la retenue	Vannes de Dévasement
Crue du 18-01-2003	1	2
Volume (Mm ³) 1- apport / 2- Dévasement	20,5	6,61
Taux de matière en suspension (g/l)	4,514	0,012
Transport solide en suspension (Mt)	93 10 ⁻³	0,079 10 ⁻³
Transport total (MES + Charriage) (Mt)	0,116	-
Crue du 13-12-2003	1	2
Volume (Mm ³) 1- apport / 2- Dévasement	25,9	0,802
Taux de matière en suspension (g/l)	3,764	0,612
Transport solide en suspension (Mt)	97,49 10 ⁻³	0,49 10 ⁻³
Transport total (MES + Charriage) (Mt)	0,121	-

La répartition complexe entre les deux modes de transport (charriage et suspension) dépend essentiellement de la dimension et du poids spécifique des sédiments ainsi que de la vitesse et de la turbulence de l'écoulement. Les phénomènes de frottement font que le charriage n'intervient qu'à partir d'une certaine force critique du courant (BECEL, 2004). L'estimation des apports charriés à partir des MES s'avère donc difficile. Cependant, plusieurs études ont été faites pour établir une relation entre le taux du transport en suspension (MES) et celui par charriage.

Dans une étude faite sur la retenue de Melleg, le taux du transport charrié a été estimé à 23,8% des MES (CLAUDE et CHARTIER, 1977) alors que sur base de mesures de l'alluvionnement de six barrages tunisiens cette quantité s'élève au quart de la charge en suspension (GHORBEL et CLAUDE, 1977). Dans la région de l'Ichkeul le taux du transport charrié a été estimé à 40% de la totalité des MES (UKEIGRUIPROVODKHOZ, 1990).

Dans cette étude, on admet le taux de 25% pour l'estimation des apports charriés à partir des MES.

La première crue a duré cinq jours du 16 au 20 janvier avec un apport total de 20,5 Mm³, le volume d'eau évacué par les organes de dévasement est de 6,61 Mm³. La masse totale de sédiment évacué (0,079 10⁻³ Mt) est négligeable par rapport à la quantité apportée (0,116 Mt). On admet donc que durant cette crue le barrage a retenu presque la totalité des sédiments soit 0,116 Mt.

La deuxième crue a duré du 10 au 13 décembre avec un apport total de 25,9 Mm³ et une charge solide de 0,121 Mt ; les organes de dévasement n'ont évacué que 0,49 10⁻³ Mt dans les 0,612 Mm³ d'eau. On admet ici aussi que le barrage a retenu presque la totalité des sédiments apportés.

L'exploitation des données des deux crues étudiées montre l'irrégularité des apports qui varient d'une crue à l'autre du fait qu'elles ne génèrent pas les mêmes intensités du courant d'eau de ruissellement. Les précipitations, enregistrées à la station pluviométrique de Sejnane Délégation, des mois de janvier et de décembre 2003 ont été respectivement de 366 mm et de 290 mm. Malgré les quantités comparables des précipitations, la répartition des crues a montré une irrégularité durant le mois de décembre. En effet, on y assiste à des crues de forte amplitude séparées dans le temps, alors que le mois de janvier a présenté une répartition plutôt homogène (Fig. 3). La crue du 18-01-03 est survenue après une période pluvieuse du 06 au 12-01-03 avec une quantité totale de précipitations de 91,5 mm, ce qui a engendré une saturation de la tranche superficielle du sol et favorisé le ruissellement. Ceci explique les quantités d'apport d'eau et de sédiment au barrage suite aux précipitations enregistrées du 16 au 20-01-03 malgré une pluviosité (79 mm) inférieure à celle de la crue du 13-12-03. Celle-ci a duré du 10 au 13 avec une quantité totale de précipitations de 163,5 mm. Cette quantité de pluie a été précédée par une crue du 07 au 08 avec 28,5 mm, ce qui explique les quantités d'eau et de sédiment apportées au barrage.

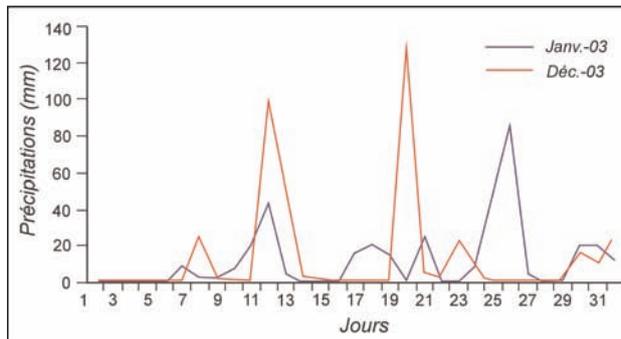


Fig.3: Répartition des quantités de pluie durant les mois de janvier et décembre 2003 au niveau de la station de Sejnane Délégation (DGRE, 2004 et 2005)

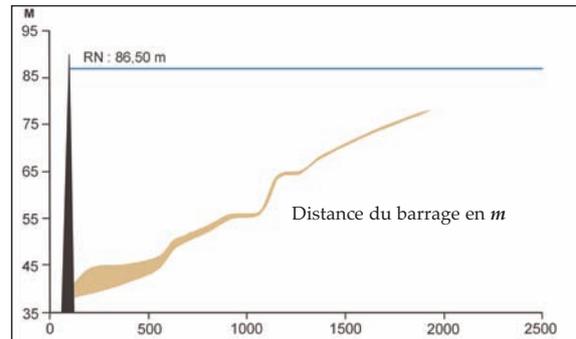


Fig.4: Evolution du profil de la retenue du barrage Sejnane (1994-2003)

Quantification de l'alluvionnement

Après 9 ans d'exploitation (1994-2003), une première campagne de mesures a été réalisée en juin 2003. Dix-sept profils en travers ont été levés par écho-sondeur. Ils montrent que l'envasement n'a affecté que la partie aval de la retenue et uniquement le lit mineur de l'oued Sejnane alors que la partie amont a montré de faibles quantités de dépôt (Fig. 4). Le profil en long du fond de la retenue montre, d'une part la formation d'un cône de déjection au niveau de la zone de confluence de la branche allongée et le bassin aval et, d'autre part la progradation des dépôts vers le pied de la digue (Fig. 4). Ceci est dû à la morphologie de la retenue qui favorise le transit des courants de turbidité.

Le volume de sédiments piégés a été calculé selon la méthode de la formule générale (CLAUDE et CHARTIER, 1977). Les résultats montrent que le barrage a piégé 2,7 Mm³, soit 1,9 % de la capacité initiale de la retenue avec un alluvionnement moyen annuel de 0,332 Mm³. Ces valeurs sont comparables à celles estimées par l'étude de l'avant projet du barrage

Sejnane qui prévoit un apport solide moyen annuel de 0,394 Mm³. Le poids des sédiments évacués par l'organe de dévasement pour cette période est négligeable par rapport aux volumes d'apport. En effet, les manœuvres de dévasement sont rares depuis la mise en eau du barrage avec une charge solide moyenne de 0,17 (g/l). On admet donc que le barrage a retenu presque la totalité des apports solides.

Si on considère que la masse volumique humide moyenne des sédiments piégés est de 1,5 g/cm³, on peut estimer la masse totale piégée dans la retenue du barrage à 4,04 Mt soit en moyenne 0,498 Mt/an. Cette valeur est analogue à la quantité estimée dans l'avant projet (0,473 Mt/an). Comparée aux résultats de l'étude des crues du paragraphe précédent (0,116 Mt pour la première et 0,121 Mt pour la deuxième crue) la valeur d'apport moyen annuel est nettement supérieure. Ceci est dû à la variabilité des quantités apportées d'un phénomène hydrologique à l'autre, d'une part et de la fiabilité de la méthode de quantification utilisée qui donne des résultats approximatifs, d'autre part. On admet donc que la meilleure quantification des apports solides totaux (en suspension et par charriage) d'un cours d'eau reste la quantification de l'alluvionnement de la retenue du barrage.

Identification granulométrique, minéralogique et géochimique des alluvions de la retenue

L'analyse granulométrique des sédiments superficiels prélevés au niveau de la retenue du barrage Sejnane montre que la fraction sableuse est minoritaire par rapport à la fraction silteuse et argileuse, à l'exception de l'échantillon OS7. La répartition spatiale des fractions granulométriques montre une diminution progressive de la fraction sableuse en allant de la queue de la retenue au pied de la digue avec une augmentation des taux de silts et d'argiles. En effet, le pourcentage des sables passe de 82,3% (OS7) vers la queue de la retenue à 0,1% au pied de la digue et celui des argiles passe de 5,7% à 83,3%.

Ces résultats traduisent un tri granulométrique au niveau de la retenue du barrage Sejnane d'amont en aval. En effet, le courant de densité se décharge du matériel grossier en queue de la retenue et transporte un matériel de plus en plus fin vers la partie aval (LAMBERT et LTHI, 1977 ; STRUM et MATTER, 1978). Le pourcentage de carbonate de calcium présente une teneur plus élevée en queue de la retenue (11,2%) et la valeur la plus faible (6%) est au niveau de l'échantillon BS13 (Tab. 2) ; ceci montre que le carbonate de calcium présente une répartition similaire à celle des fractions granulométriques.

Tab. 2 : Caractéristiques chimiques, granulométriques et minéralogiques des échantillons étudiés.

Caractéristiques		OS7	BS1	BS4	BS7	BS9	BS10	BS11	BS13
Analyse Chimique (%)	SiO ₂	-	58,20	54,01	54,00	52,60	53,20	49,30	54,00
	Al ₂ O ₃	-	17,78	21,40	21,11	23,72	22,84	25,00	23,28
	Fe ₂ O ₃	-	4,88	4,57	4,23	4,34	4,80	4,90	4,06
	MgO	-	0,64	0,24	0,40	0,29	0,20	0,27	0,23
	CaO	-	4,87	3,63	3,88	3,34	2,99	3,74	2,00
	Na ₂ O	-	0,23	0,16	0,09	0,14	0,20	0,17	0,08
	K ₂ O	-	1,24	1,67	1,35	1,89	1,73	1,65	1,69
	TiO ₂	-	0,91	1,02	0,91	1,12	1,03	1,04	0,95
	%CaCO ₃	9,6	11,2	8,0	9,3	8,9	7,3	8,9	6,0
Analyse Granulométrique	D-des grains	Pourcentage relatifs							
	>40µm	82,3	4,3	1,3	1,2	0,1	0,1	0,0	0,1
	40-2µm	12,0	64,7	48,9	60,2	36,3	30,8	40,5	16,6
	<2µm	5,7	31,0	49,9	38,7	63,7	69,1	59,4	83,3
minéralogie des argiles	Smectite	53,1	66,2	46,4	25,4	25,4	-	50,1	48,5
	Illite	23,1	17,0	32,2	40,3	49,2	-	28,5	26,4
	Kaolinite	23,8	16,8	21,5	34,4	25,4	-	21,4	25,0

L'analyse chimique des sédiments montre que les éléments chimiques les plus abondants sont la silice qui varie de 49,30% à 58,20% et l'alumine à raison de 17,78% à 25%. La répartition spatiale de ces éléments montre une augmentation relative du taux d'alumine

en allant de l'amont vers l'aval, ce qui reflète l'enrichissement du sédiment en argiles (silicates d'aluminium) au pied du barrage. La composition chimique de l'échantillon BS1 montre de fortes teneurs en silice (58,2%) alors que le pourcentage de l'alumine ne dépasse pas 17,78% ce qui indique l'enrichissement de l'échantillon en Quartz (SiO₂). La plus forte teneur de calcium a été enregistrée au niveau de l'échantillon BS1 (4,87%) qui possède le pourcentage le plus élevé en CaCO₃ alors que la valeur la plus faible (2%) a été enregistrée au niveau de l'échantillon BS13 qui présente le pourcentage le plus bas de CaCO₃. Cette corrélation positive montre que le calcium dosé provient de la dissolution des carbonates notamment le carbonate de calcium. Les autres éléments se rencontrent avec des taux beaucoup plus faibles et dans l'ordre décroissant on peut noter : le fer de 4,06% à 4,9%, le potassium de 1,24% à 1,89%, le sodium de 0,08% à 0,15% et le magnésium de 0,2% à 0,23%.

La composition minéralogique des échantillons de surface prélevés dans la retenue du barrage Sejnane montre qu'ils présentent trois espèces argileuses à savoir ; l'Illite dont le taux varie de 17% (BS1) à 49,2% (BS9), la Kaolinite avec un minimum de 16,8% (BS1) et un maximum de 34,4% (BS7) et la Smectite qui est le minéral le plus abondant avec des pourcentages compris entre 24,4 et 66,2%.

Etude de la matière organique et des éléments nutritifs

Dans notre étude nous avons dosé le carbone organique total, l'azote et le phosphore dans le but d'estimer le degré d'érosion spécifique de ces éléments au niveau du bassin versant de l'Oued Sejnane. En effet, l'érosion des sols est sélective vis-à-vis des nutriments et des colloïdes et surtout pour le carbone organique, l'azote et le phosphore associés aux argiles et aux limons jusqu'à 50 microns (ROOSE, 1984).

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 3. Le carbone organique total varie de 0,57 à 0,93% avec une moyenne de 0,74%, l'azote varie de 0,3 à 0,55% avec une moyenne de 0,38% et le phosphore varie de 0,22 à 0,32% avec une moyenne de 0,26%.

Tab. 3 : Variation des teneurs en carbone organique total, azote total, phosphore et du rapport C/N dans les échantillons de surface.

Echantillons	%COT	% N	C/N	P ₂ O ₅
OS7	0,32	0,19	1,71	0,08
BS1	0,76	0,30	2,49	0,25
BS2	0,74	0,35	2,09	0,25
BS3	0,73	0,32	2,29	0,32
BS4	0,62	0,32	1,95	0,25
BS5	0,69	0,36	1,93	0,24
BS6	0,93	0,35	2,66	0,26
BS8	0,76	0,42	1,80	0,31
BS9	0,89	0,55	1,63	0,24
BS10	0,57	0,39	1,47	0,28
BS11	0,78	0,46	1,72	0,22
BS12	0,81	0,36	2,24	0,23
BS13	0,66	0,35	1,89	0,28
Moyenne	0,74	0,38	2,01	0,26

Le rapport C/N présente des valeurs comprises entre 1,47 et 2,66 traduisant un faible écart entre les teneurs de carbone organique total et l'azote. Ceci peut être dû à un enrichissement du sédiment en azote. OUKAD (1982) a montré que les composés azotés se liaient préférentiellement à la fraction la plus fine des sédiments.

Dégradation spécifique

DALAA (1995) a montré que le bassin versant de l'Oued Sejnane est affecté par une érosion en nappe. Incapable de gros transport, la lame d'eau mobilise les particules fines telles que les éléments argilo-limoneux et parfois un peu de sable fin. Ce type d'érosion se traduit

par un décapage de la surface du sol entraînant l'horizon humifère riche en matière organique, laissant place à une surface caillouteuse.

Les volumes moyens annuels piégés dans la retenue du barrage Sejnane (0,498 Mt/an) permettent d'estimer les quantités de carbone organique total, d'azote total et de phosphore retenues par celui-ci. Ce dernier a retenu 4,05 Mt de sédiments avec $30,78 \cdot 10^3$ tonnes de carbone organique total, $15,39 \cdot 10^3$ tonnes d'azote total et $10,53 \cdot 10^3$ tonnes de phosphore soit respectivement une moyenne annuelle de 3784,8 tonnes, 1892,4 tonnes et 1294,8 tonnes. Les travaux de ZOUABI (2003) et de BEL HAJ ZEKRI (2003) ont montré que les microorganismes développés dans la masse d'eau de la retenue contribuent, en moyenne annuellement, pour 619,62 tonnes d'azote total et 29,67 tonnes de phosphore. Les quantités érodées à partir du bassin versant sont donc 1272,78 tonnes/an d'azote total et 1265,13 tonnes/an de phosphore. La valeur du carbone organique total reste inchangée étant donné que la matière organique piégée serait probablement de type continentale ligneuse d'origine allochtone.

Les apports solides calculés nous ont permis d'évaluer l'érosion spécifique au niveau du bassin versant amont de l'Oued Sejnane à $1356,95 \text{ t/km}^2/\text{an}$ avec $10,31 \text{ t/km}^2/\text{an}$ de carbone organique total, $3,47 \text{ t/km}^2/\text{an}$ d'azote total et $3,45 \text{ t/km}^2/\text{an}$ de phosphore.

Les valeurs élevées de l'érosion spécifique du bassin versant de l'oued Sejnane est en liaison directe avec l'état de recouvrement des terrains par le couvert végétal. La figure 6 présente la répartition de la couverture forestière au niveau du bassin versant. Le pourcentage relatif des différents types de forêt et leurs pourcentages de recouvrement de

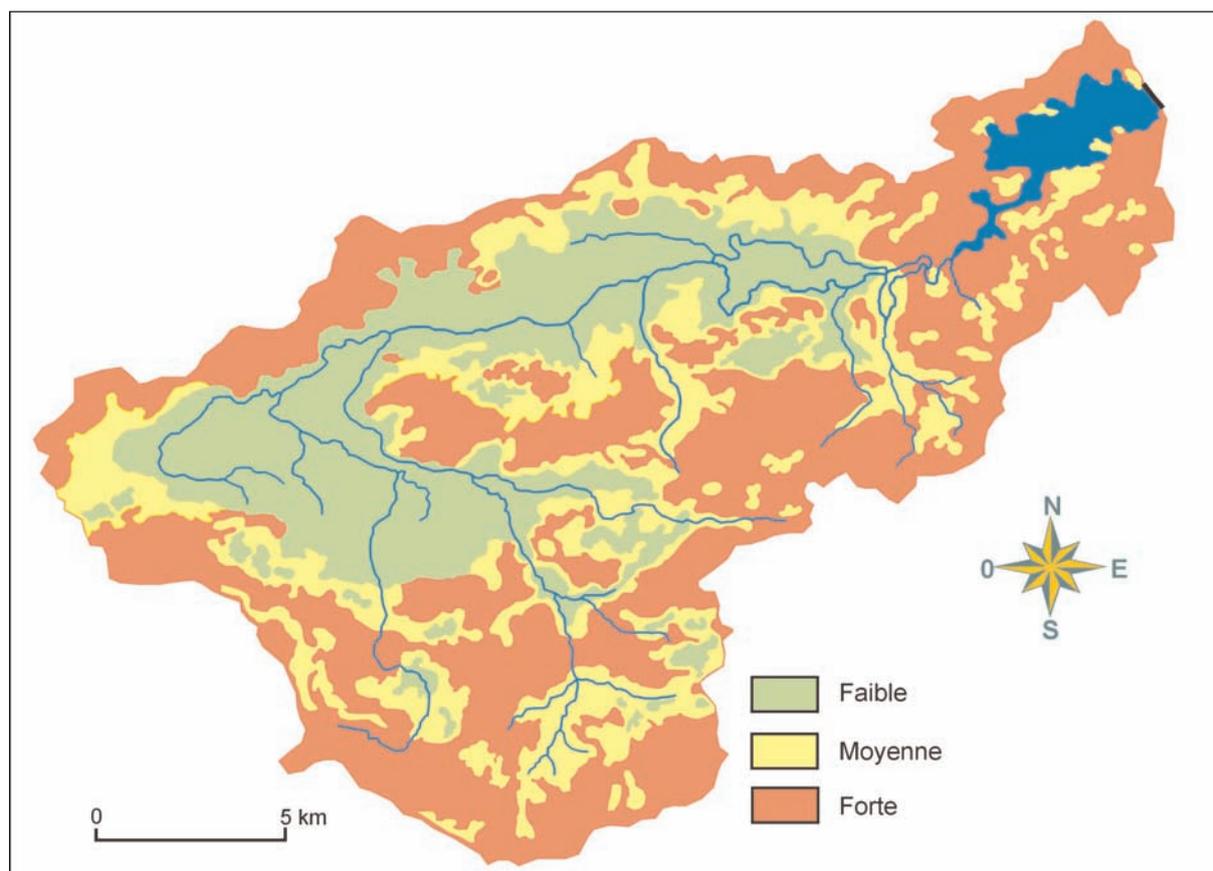


Fig.5: sensibilité à l'érosion du bassin versant de l'oued Sejnane (DALAA, 1995)

ce bassin montre que la surface non forestière représente 60% de la totalité de ce dernier et que la surface totale occupée par la forêt est de 171 km^2 où le pourcentage des forêts denses ne dépasse pas 9% (Tableau 4).

L'étude de la sensibilité à l'érosion du bassin versant de l'oued montre que les zones amont du bassin, où le relief est assez fort avec les pentes les plus importantes, présente une

Tab. 4 : Les types de forêt, l'état de recouvrement et leurs pourcentages relatifs au niveau du bassin versant du barrage.

	Surface (km ²)	% relatif
Type de forêt		
Boqueteau	0,05	0,03
Forêt	68,27	39,87
Maquis et garrigues arborés	85,19	49,75
Maquis et garrigues non arborés	14,68	8,57
Pépinières forestières	0,67	0,39
Petites enclaves	0,84	0,49
Terrains déboisés	1,52	0,88
Pourcentage de recouvrement		
surface non forestière	103,5	60,45
Grandes cimes > 75%	15,59	9,11
Grandes cimes 10 à 25%	9,30	5,43
Grandes cimes 25 à 50%	10,90	6,36
Grandes cimes 50 à 75%	20,11	11,74
Petites cimes 10 à 25%	7,82	4,57
Petites cimes 25 à 50%	3,50	2,04
Petites cimes 50 à 75%	0,50	0,29

sensibilité à l'érosion la plus forte (Fig. 5 - DALAA, 1995). Les zones de l'extrême sud du bassin, là où la végétation est absente avec des calcaires du Campanien couverts par une couche pédologique du type vertisol, sont les plus concernées par l'érosion ; de même, pour les zones sud du bassin où on note la prédominance de sols triasiques très érodés étant donné l'absence de végétation qui s'ajoute à une pente plus ou moins forte. Une troisième zone plus touchée est celle du nord du bassin où la forêt est dégradée (Fig. 6), ce qui laisse les roches gréseuses exposées aux agents érosifs. Dans cette région c'est l'érosion en nappe qui est à l'origine de l'entraînement du sol (DALAA, 1995).

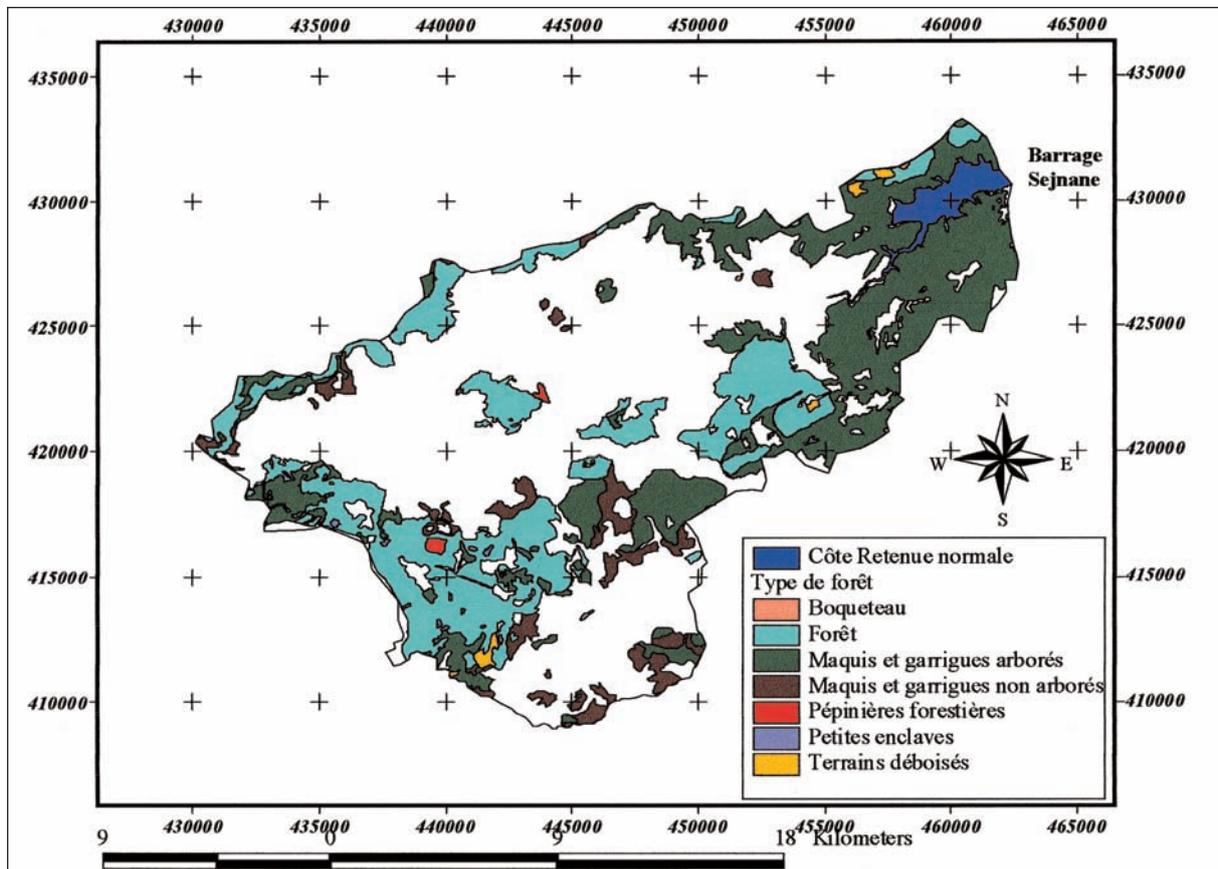


Fig.6: Carte de répartition du couvert forestier au niveau versant de l'oued Sejnane

La couverture pédologique du bassin versant de l'oued Sejnane est représentée par des sols brunifiés, des sols peu évolués d'apports, des vertisols et des sols hydromorphes. Les sols brunifiés sont des sols forestiers podzolisés ; ils tapissent la majorité du bassin versant (MTIMET, 1995). Ces sols sont faiblement calcaires et vont en s'acidifiant en profondeur. Les sols hydromorphes sont présents au niveau de Garaât Sejnane. Les vertisols occupent plutôt les altitudes de la partie sud-ouest du bassin. Ils sont caractérisés par la présence d'argiles gonflantes de couleur foncée, indiquant une richesse en matière organique. Enfin, les sols peu évolués d'apport sont présents de part et d'autre des lits majeurs des principaux oueds. Les zones de l'extrême sud du bassin versant sont les plus touchées par l'érosion qui correspondent à la localisation des vertisols riches en smectites, ce qui explique la prédominance de ce minéral dans les alluvions du barrage Sejnane.

CONCLUSIONS

L'étude de l'érosion spécifique du bassin versant de l'oued Sejnane par analyse de l'envasement de la retenue du barrage, montre que la retenue de celui-ci a piégé presque la totalité des apports solides étant donné que les quantités évacuées par les vannes de dévasement sont négligeables par rapport aux volumes apportés. La campagne de mesure de l'alluvionnement de l'an 2003 a montré que le barrage a piégé 4,04 Mt de sédiment durant les 9 années d'exploitation soit en moyenne 0,498 Mt/an. Les analyses sédimentologique, minéralogique et géochimique indiquent que les alluvions retenues présentent une prédominance de la fraction argileuse riche en smectite ; par conséquent, les éléments chimiques majoritaires sont la silice (SiO_2) et l'alumine (Al_2O_3). Le fer, le potassium, le sodium et le magnésium restent minoritaires. L'analyse de la matière organique montre qu'elle est formée, en moyenne, par 0,74% de COT, 0,38% d'azote total et 0,26% de Phosphore. Les faibles valeurs du rapport C/N traduisent un enrichissement du sédiment en azote. Les apports solides calculés ont permis d'évaluer l'érosion spécifique au niveau du bassin versant amont de l'oued Sejnane à $1356,95 \text{ t/km}^2/\text{an}$ avec $10,31 \text{ t/km}^2/\text{an}$ de carbone organique total, $3,47 \text{ t/km}^2/\text{an}$ d'azote total et $3,45 \text{ t/km}^2/\text{an}$ de phosphore. Les valeurs élevées de l'érosion spécifique du bassin versant sont en liaison directe avec l'état dégradé de la forêt. En effet, la surface totale occupée par celle-ci est de 171 km^2 avec un pourcentage forestier dense ne dépassant pas 9% alors que la surface non forestière représente 60% de la totalité du bassin versant. Les zones les plus touchées par l'érosion sont celles de l'extrême sud du bassin qui correspondent à la localisation des vertisols riches en smectites, ce qui explique la prédominance de ce minéral dans les alluvions du barrage. Les terrains triasiques y sont touchés aussi par une érosion importante tandis qu'une érosion en nappe affecte le nord du bassin où le substrat est formé par des roches gréseuses.

REFERENCES

- BECCEL D., 2004. Modélisation numérique de l'érosion et de la sédimentation le long de la rivière Pilcomayo (Bolivie) : un exemple de l'évolution d'une rivière dans un contexte tectoniquement actif sous l'effet des fluctuations climatiques quaternaires. Thèse Doc. Uni. Joseph Fourier. Grenoble 1. 275p.
- BEL HAJ ZEKRI S., 2003. Conditions du milieu et recherche des cyanoprocaryotes et de leur potentiel toxique dans les retenues des barrages Joumine et Sejnane. D.E.A. Ins. Nat.Agr. Tunis. 115p.
- BEP B., ZAHONERO P., BOLI B.Z. & ROOSE E., 1995. Evolution et influence des états de surface sur le ruissellement et l'érosion des sols ferrugineux tropicaux du nord Cameroun sous rotation intensive coton/ céréales. *Bull. réseau érosion*. ORSTOM, Montpellier. 16 : 59-77.
- BEP B., BOLI Z. & ROOSE E., 2004. Influence du labour, du fumier et de l'âge de la défriche sur le stock de carbone du sol et les pertes de C par érosion et drainage dans une rotation intensive Coton/maïs sur sol ferrugineux tropical sableux du Nord Cameroun (Mbissiri, 1995).

- BERNOUX M., 2004. Séquestration du carbone dans le sol- gestion de la biomasse et séquestration du carbone. *Bull. réseau érosion*. ORSTOM , Montpellier, 22 : 29-42.
- BOSC Ph., 1985. Evaluation des apports en éléments nutritifs du bassin versant dans le lac de Parloup(Aveyron). Toulouse III : 123 pp.
- BREMNER J.M & Mulvaney C.S. 1982 Nitrogen-total. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR, editors. *Methods of soil analysis: Part 2, 2nd ed R Agronomy, vol. 9. Madison (WI)' American Society of Agronomy, 595-624.*
- CASENAVE A. & VALENTIN C. 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Edit. ORSTOM. Paris, 229p.
- CLAUDE J. & CHARTIER R. 1977. Mesure de l'envasement dans les retenues de six barrages en Tunisie, campagne de 1975. *Cahiers ORSTOM., série hydrol., vol. XIV, 1 : 3-36.*
- DALAA A 1995. Application de la télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude du fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'oued Sejnane (nord de la Tunisie). D.E.A. Fac. Sci. Tunis. 126p.
- Direction Générale des Ressources en Eau, 2004. Annuaire pluviométrique de Tunisie 2002-2003. pp. 41-78.
- Direction Générale des Ressources en Eau, 2005. Annuaire pluviométrique de Tunisie 2003-2004. pp. 41-78.
- GHORBEL A. & CLAUDE J. 1977. Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie: estimation des transports solides. Proceeding of the Paris Sylmposium, Actes du Colloque de Paris : IAHS. AISH PUBLI. N°122 : 219-232.
- LAL R. 1983. No-till farming. Soil and water conservation and management in the humid tropics. Ibadan, IITA, Monograph 2, 64p.
- LAL R., KIMBLE J.M., FOLLETT R.F. (Eds), 1997: Soil properties and their management for carbon sequestration. USDA, *National Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.*
- LAL R., KIMBLE J.M., LEVINE E., STEWART B.A. (Eds), 1995: Soil and Global Change. Advances in soil sciences. Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- LAMBERT A.M., et LTHI S.M., 1977. Lake circulation induced by density currents: an experimental approach. *Sedimentology*, 24 : 735-741.
- LARSON W.E., PIERCE F.J. & DOWDY R.H. 1983. Loss in long-term productivity from soil erosion in the United States. In: *Soil Erosion and Conservation*. El-Swaify, Moldenhauer et Lô (Eds.) Soil Cons. Soc. Am., Ankeny, USA: 262-271.
- MTIMET A. 1995. Atlas des sols Tunisiens. Ministère de l'agriculture. Tunis, 165p.
- OUAKAD M. 1982. Evolution sédimentologique et caractères géochimiques des dépôts récents de la Garaet el Ichkeul. (Tunisie septentrionale). Doct. De spécialité océanologie. Univ. Perpignan. 178p.
- ROOSE E. 1981. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. ORSTOM; Paris: Coll. Travaux et documents, N° 130, 569p.
- ROOSE E. 1984. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) FAO, Rome (ITA), 438 p. Bulletin Pédologique de la FAO (ITA), No 70.
- SANFELIU T., DE LA FUE NTE C, MARTINEZ S & OUERALT J. 1987. Materias primas y recursos naturales de Castellón. I: Yacimientos de arcillas de interés cerámico. Veliuny Ricerche Montanar Editore.
- SMITH W.N., WALL G., DESJARDINS R. & GRANT B. 2001 : Le carbone organique des sols. C. Qualité du sol. pp. 85-93.
- STRUM M. & MATTER A. 1978. Turbidites and varves in Lake Brienz (Switzerland); deposition of clastic detritus by density currents. In: *Modern and Ancient Lake Sediments* (Ed. by A. MATTER and M.E. TUCKER), Spec. Publ. Int. Ass. Sediment, pp. 145-166.
- UKEIGRUIPROVODKHOZ 1990. Barrages d'irrigation Tine, Douimis, Melan; Etude Technico-économique. Kiev, 155p.
- WISCHMEÏER W.H. & SMITH D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. U.S.D.A. 537, U.S. GPO, Washington, DC, 1978.
- ZOUABI B. 2003. Etude de la qualité des eaux du barrage Sejnane. D.E.A. Fac. Sci. Tunis, 92p.

