

14^{ème} Conférence de l'ISCO

14-19 mai 2006, Marrakech, Maroc

Prédétermination de l'envasement des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne

(1) Boufaroua M., (2) Lamachère J.-M., (1) Débabria A., (3) Ksibi F.

(1) Ministère de l'Agriculture, DG ACTA, D CES, 30 rue Alain Savary, 1002 Tunis

(2) Mission IRD, BP 434, 1004 El Menzah 4, Tunis

(3) Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez El Bab (ESIER)

Résumé :

Au Centre de la Tunisie, un réseau pilote de 24 lacs collinaires a été suivi sur une période de 10 ans (1994-2004) afin d'étudier les comportements hydrologiques et érosifs de petits bassins versants montagneux sensibles à l'érosion hydrique. Ces petits bassins versants ont des superficies qui varient de 1,6 km² à 18 km², pour des retenues dont la capacité de stockage ne dépassait pas 250 000 m³ à la mise en eau des ouvrages.

Après dix ans de fonctionnement, une retenue sur six s'est complètement ensasée, la capacité de stockage en eau de la retenue étant devenue inférieure à 10 % de la capacité initiale, une retenue sur quatre s'est ensasée à plus de 60 % et une retenue sur trois s'est ensasée à plus de 40 %.

Afin d'améliorer les possibilités d'utilisation de l'eau des lacs collinaires pour l'irrigation au Centre de la Tunisie, il apparaît donc nécessaire de choisir les emplacements des lacs en fonction de la susceptibilité à l'érosion des bassins versants situés en amont. Pour ce faire, une étude permettant de prévoir l'érosion des petits bassins versants de la Dorsale tunisienne a été réalisée. Cette prévision peut s'effectuer à l'aide des caractéristiques physiques, physiographiques et anthropiques des bassins versants. Le premier critère à prendre en compte est la topographique, c'est la pente moyenne du bassin-versant (indice global de pente I_g en m/km). Le second critère est de nature lithologique, sous la forme d'un pourcentage de couverture en roches argileuses (marnes et argiles) du bassin-versant. Les deux autres critères sont anthropiques, le premier étant le pourcentage de mise en culture des sols et le second le pourcentage de couverture du bassin par les aménagements de conservation des eaux et des sols (banquettes, ados en demi-lunes, forêts ou reboisements).

Aucun critère à lui seul, sauf s'il dépasse un certain seuil, ne paraît déterminant pour estimer l'érosion des sols à l'échelle des petits bassins versants de la Dorsale tunisienne. Ainsi, la mise en culture n'a une influence significative sur l'érosion des sols que lorsque le taux de mise en culture dépasse 50% de la superficie du bassin-versant, sur sols marneux ou argileux et pentes moyennes à fortes. C'est la combinaison des critères qui permet en définitive d'estimer l'ordre de grandeur de l'érosion des sols.

Mots-clés : Envasement, lacs collinaires, Dorsale tunisienne.

14th ISCO meeting

14 to 19 may 2006, Marrakech, Morocco

Predetermination of silting up in the little artificial lakes in the Tunisian mountain range

(1) Boufaroua M., (2) Lamachère J.-M., (1) Débabria A., (3) Ksibi F.

(1) Ministère de l'Agriculture, DG ACTA, D CES, 30 rue Alain Savary, 1002 Tunis

(2) Mission IRD, BP 434, 1004 El Menzah 4, Tunis

(3) Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez El Bab (ESIER)

Abstract

Central Tunisia, during ten years, from 1994 to 2004, hydrological and bathymetric observations were conducted on an experimental network consists of 24 little artificial lakes set up at the outlets of little mountainous catchments affected by hydric erosion. The areas of these little catchments are included from 1.6 to 18 km² and the volumes of water stocked behind the little dams did not exceed 250 000 m³ just after the installation of water.

Ten years after the installation of water in these little artificial lakes, one lake in six is completely silted up, with a volume of water stocked behind the dam lower than 10 % of the initial capacity, one lake in four is silted up more than 60 % and one lake in three is silted up more than 40 %.

In order to improve for irrigation the use of the water stocked behind the little dams in the Tunisian mountain range, it appears now necessary to choose the sites and to determine the initial volume of water according to the erosion sensibility on the uphill catchments. To do that, a study was carried out in order to predetermine the erosion on the little catchments in the Tunisian mountain range and that study has shown that was possible with the physical, natural and anthropogenic characteristics of the little catchments.

The first criterion to consider is the topography : the average slope of the catchments, overall slope index I_g , stated in m/km. The second criterion is the lithology with the cover of marls and clays on the catchments, stated in percent. The two others criteria are anthropogenic : in first the ration of the area covered by cultivated soils to the area of the catchments, stated in percent and in secondary position the ratio of the area covered by anti-erosive improvements (reforestations, contour ridges, drystone half-moon banks).

A single criterion cannot determine the erosion of soils on the little catchments in the Tunisian mountain range. For example, the cultivated soils plays an important part in the erosion of the soils when the ratio of the cultivated soils, on marly or clayish soils and steep slopes, is greater than 50% of the catchments areas. In fact, the criteria must be combined to give a rough estimate of the soils erosion.

Key words : Silting up, little artificial lakes, Tunisian mountain range.

Introduction

Un lac collinaire est une retenue artificielle d'un volume variant de quelques dizaines de milliers à un million de mètres cubes, pour des bassins versants d'une superficie allant de quelques centaines à deux milliers d'hectares (Boufaroua et al., 2000). Il est créé par la construction d'un petit barrage en terre d'une dizaine de mètres de hauteur, dont la longueur varie de 100 à 300 mètres. En 1990, le nombre de lacs collinaires tunisiens était estimé à 87 unités réparties dans les gouvernorats de Nabeul, Siliana et Kairouan. Ils totalisaient alors environ 5 millions de m³ d'eaux superficielles utilisées pour la recharge des nappes phréatiques, l'abreuvement du cheptel et l'irrigation. Au cours de l'année 2000, suite à la stratégie décennale tunisienne de mobilisation des eaux de surface, on dénombrait 607 lacs collinaires totalisant une capacité de stockage égale à 56 millions de m³ (D/CES, 2000).

Autour de ces lacs collinaires, le développement agricole local est incontestable. Les lacs collinaires réalisés dans un objectif de production agricole s'élevait à 403 unités au début de l'année 2000 (environ 2 retenues sur 3), permettant l'irrigation de 3260 hectares, l'arboriculture occupant 74 % des superficies ainsi irriguées et le maraîchage 16 %. La pérennité des lacs collinaires est cependant menacée par l'envasement. En septembre 1999, sur un ensemble de 24 lacs collinaires suivis par la D CES depuis 1993, dont la capacité initiale de stockage s'élevait à 2 634 000 m³, 22 % de cette capacité initiale (580 000 m³) avaient été perdus par envasement des retenues (Albergel et al., 2001). En supposant que la densité moyenne des vases est de 1,3, cet envasement correspond à une érosion spécifique des bassins versants qui varie de 1,4 à 24 t.ha⁻¹.an⁻¹. En supposant que la période d'observation (1993-1999) est représentative du régime hydrologique sur une plus longue période, les mêmes auteurs ont estimé que 30 % des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne avaient une durée de vie inférieure à 20 ans et environ 30 % avaient une durée de vie supérieure à 50 ans, une retenue sur deux ayant une durée de vie inférieure à 30 ans.

Or la durée de vie d'un lac collinaire dépend principalement de l'érosion des sols de son bassin-versant, mais aussi de la capacité initiale de stockage du barrage. S'il paraît difficile de réduire significativement l'érosion des sols d'un bassin-versant sans limiter considérablement les apports en eaux superficielles, il est possible de dimensionner la capacité de stockage de la retenue en tenant compte de la capacité à l'érosion des sols de son bassin-versant. A cette fin, nous présentons dans le présent article une méthode permettant d'évaluer la capacité à l'érosion des sols des petits bassins versants de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon à partir des informations collectées par la DG ACTA et l'IRD (D CES-ORSTOM 1996,1997 ; D CES-IRD 1999,2000 ; DG ACTA-IRD 2001-2002) sur le réseau pilote des lacs collinaires de ces deux régions et d'une connaissance sommaire des caractéristiques physiques et anthropiques des bassins versants basée sur l'utilisation de documents cartographiques (topographie et géologie), photographiques (occupation des sols et aménagements anti-érosifs en banquettes ou forêts) et sur la réalisation de quelques relevés de terrain concernant la lithologie des formations géologiques.

Matériel et méthode

Nous présentons sur la figure 1 la localisation des lacs collinaires tunisiens du réseau pilote de surveillance hydrologique et sur le tableau 1 les caractéristiques de chaque lac :

coordonnées géographiques, altitude, capacité initiale de stockage, année de construction, dates de début et de fin des observations hydrologiques.

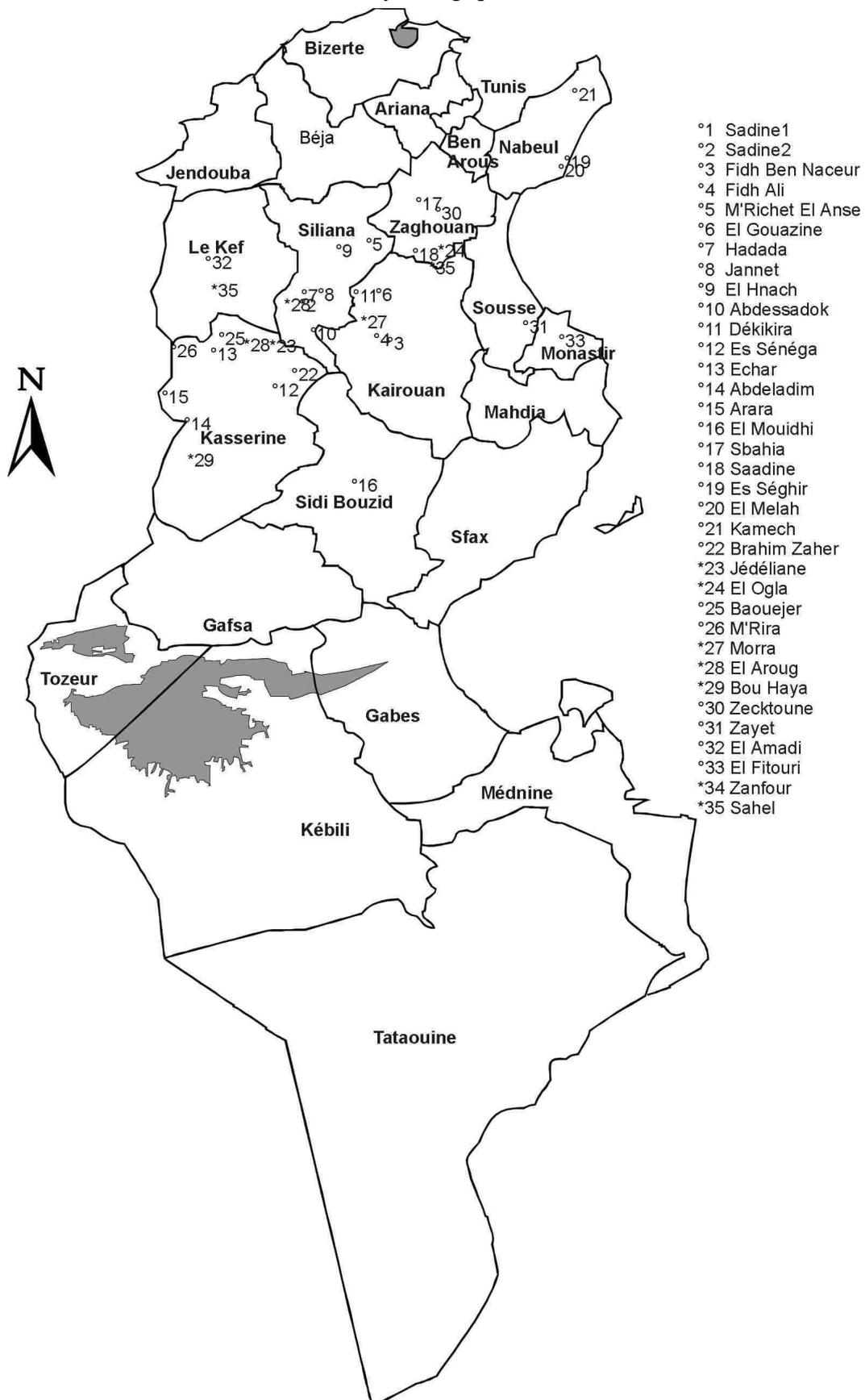


Tableau 1 : Caractéristiques des lacs collinaires du réseau pilote de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon.

Nom	Latitude nord	Longitude est	Altitude en m	Année de const.	Capacité initiale en m ³	Observations	
						Début	Fin
Sadine 1	35°47'49"	09°03'58"	842	1988	34 380	07/02/92	05/04/00
Sadine 2	35°47'53"	09°04'42"	825	1990	82 400	11/11/92	01/09/00
Fidh Ben Naceur	35°43'26"	09°35'20"	350	1990	47 110	27/01/93	20/09/01
Fidh Ali	35°42'40"	09°36'13"	335	1991	134 710	27/01/93	10/2004
M'Richet	36°05'37"	09°35'41"	590	1991	41 780	21/09/93	10/2003
El Gouazine	35°54'30"	09°42'13"	376	1990	233 370	12/10/93	En cours
Hadada	35°50'25"	09°07'42"	900	1992	84 970	22/09/93	En cours
Jannet	35°52'16"	09°11'36"	820	1992	95 570	23/09/93	10/2003
El H'Nach	36°04'10"	09°26'55"	447	1992	77 220	13/10/93	En cours
Abdessadock	35°40'52"	09°14'49"	815	1990	92 530	14/10/93	07/12/00
Dékikira	35°53'04"	09°40'53"	380	1991	219 100	26/10/93	En cours
Es Sénégal	35°29'21"	09°06'18"	618	1991	86 420	10/11/93	09/2002
Echar	35°33'11"	08°40'45"	970	1993	186 840	09/11/93	01/09/99
Abdeladim	35°13'01"	08°33'02"	1030	1992	164 080	18/11/93	En cours
Arara	35°22'09"	08°24'25"	910	1993	91 150	19/11/93	09/2002
Sbaihia	36°29'43"	10°12'31"	300	1993	135 100	15/12/93	En cours
Saadine	36°06'55"	09°56'36"	245	1992	35 620	25/01/94	10/03/99
Es Séghir	36°29'08"	10°41'05"	70	1992	192 450	26/01/94	04/2004
El Melah	36°28'01"	10°39'13"	90	1991	19 875	27/01/94	02/09/99
Kamech	36°52'18"	10°52'08"	95	1993	142 560	09/03/94	En cours
Brahim Zaher	35°33'12"	09°14'00"	570	1992	86 540	24/03/94	29/09/99
Baouejer	35°34'52"	08°50'11"	987	1991	66 030	15/05/93	01/09/00
M'Rira	35°36'34"	08°28'37"	770	1991	126 350	16/04/93	En cours
El Amadi	36°10'32"	08°47'03"	565	1992	200 000	27/08/99	09/2004

Hydrométrie

Chaque lac collinaire du réseau pilote d'observation hydrologique est équipé d'une batterie d'échelles limnimétriques, d'un limnigraphe muni d'une sonde mesurant le niveau du lac avec une précision de 1 cm, d'un pluviographe à augets basculeurs mesurant les chutes de pluie au pas de 0,5 mm, d'un bac à évaporation et d'un pluviomètre, ces deux derniers appareils étant relevés par des observateurs. Des centrales électroniques ont permis d'enregistrer cotes et hauteurs à la seconde près. Les évacuateurs de crues ont été aménagés avec des seuils déversant. Ceux-ci ont amélioré significativement l'estimation des débits déversés, sans toutefois permettre une précision supérieure à 20 % en raison de leurs grandes largeurs par rapport à la lame d'eau déversant au-dessus du seuil.

Bathymétrie, topographie

La bathymétrie des lacs a été effectuée périodiquement. Les mesures de profondeur des plans d'eau ont été réalisées par sondages des retenues à l'aide d'une mire graduée ou, pour les profondeurs supérieures à 4 m, d'un décamètre lesté. Le sondeur était porté par une embarcation pneumatique déplacée manuellement en travers du plan d'eau sur des lignes espacées de 20 mètres, matérialisées par des cordes tendues au ras de l'eau. Les relevés ont été régulièrement espacés sur chaque ligne de manière à effectuer au moins 500 relevés par lac. Les relevés bathymétriques ont été complétés par des nivellements au théodolite laser, de manière à obtenir un bon repérage des lignes transversales et prolonger les lignes transversales au-dessus du plan d'eau le jour du nivellement. La précision dans la mesure des profondeurs est de l'ordre 2 cm alors que celle des mesures au théodolite est de l'ordre du centimètre, les mesures étant effectuées au contact de la vase consolidée.

Les mesures bathymétriques et topographiques d'un lac collinaire permettent d'établir périodiquement les variations de la surface du plan d'eau et du volume d'eau stocké en fonction de la cote aux échelles limnimétriques. Elles permettent également de déterminer le volume de vase stocké dans la retenue depuis sa construction.

Transports solides évacués par le déversoir et par la vidange de fond

Le ruissellement sur les bassins versants apporte aux lacs collinaires des sédiments en quantités plus ou moins grandes selon l'importance des crues et selon la susceptibilité des sols à l'érosion lorsque surviennent les événements pluvieux les plus importants. Les fortes crues peuvent transporter rapidement de très grosses quantités de sédiments et le lac collinaire joue alors le rôle d'un piège jusqu'à ce que la retenue soit complètement envasée. Ce rôle de piège à sédiments contribue à limiter considérablement les transports solides évacués par le déversoir et par la vanne de fond, protégée de l'envasement par une tour de prise.

Sur le lac collinaire de Kamech, des prélèvements ont été réalisés au cours de l'hiver 2003-2004 en aval du déversoir et de la vanne de vidange. Le dépouillement de ces prélèvements a montré que les valeurs de la concentration des eaux turbides en aval du barrage a varié de 0,50 à 0,10 g/l en crue, avec une moyenne de 0,26 g/l, mais de 0,1 à 0,01 g/l après les crues, alors que la concentration moyenne des eaux de ruissellement à l'entrée du barrage a pu être estimée à 33 g/l.

Au cours de l'année 1998-1999, le tonnage apporté par l'oued El Gameh au barrage de Kamech a été estimé à 10 000 tonnes, alors que le tonnage exporté par le déversoir et la vanne

de fond a été estimé à 10 tonnes. On peut donc considérer que dans la majorité des cas, lorsque le barrage n'est pas complètement envasé, ce dernier peut être négligé

Caractéristiques biophysiques et anthropiques des bassins versants

La caractérisation topographique des bassins versants a été réalisée en utilisant les cartes au 1/50 000^{ème} disponibles sur la plupart des sites. Comme paramètres topographiques globaux (tableau 2), nous n'avons retenu ici que la superficie et l'indice global de pente des bassins versants, ces deux paramètres jouant un rôle significatif sur le ruissellement et les transports solides évacués par l'exutoire. L'indice global de pente, exprimé en $m.km^{-1}$, est égal au rapport de la dénivelée entre les altitudes qui laissent 5 % au-dessus et au-dessous d'elles et la longueur du rectangle équivalent, rectangle de même superficie et de même périmètre que le bassin versant.

La caractérisation géologique des bassins versants (tableau 2) a été faite en utilisant les cartes géologiques de Tunisie au 1/50 000^{ème} ou au 1/200 000^{ème} en fonction de leur disponibilité sur chaque site, les cartes au 1/50 000^{ème} ayant été privilégiées là où elles existent. Sur chaque carte géologique, ont été relevées les superficies occupées par chaque formation en leur attribuant une dominante dure lorsque la formation était calcaire ou gréseuse et une dominante tendre lorsque la formation était sableuse, marneuse, marno-calcaire ou argileuse.

La caractérisation des bassins versants relativement aux aménagements de conservation des eaux et des sols (ouvrages hydrauliques et reboisements) et aux activités agricoles (cultures, parcours) a été réalisée sur des photographies aériennes. Elle trouve sa justification dans les travaux réalisés à l'échelle de la parcelle et de petits bassins versants par Wischmeier et Smith aux Etats-Unis (1978), Cormary et Masson (1964) puis Masson en Tunisie (1971), Roose en Afrique de l'Ouest (1977), Fritsch en Guyane (1992).

Parmi les ouvrages hydrauliques de CES, les aménagements les plus répandus dans la Dorsale tunisienne sont les banquettes à rétention totale ou partielle. Ces ouvrages sont nettement visibles sur les photographies aériennes et jouent un rôle important de stockage des eaux de ruissellement sur les versants et par conséquent ils limitent les transports solides à l'échelle des petits bassins versants. Les reboisements sont eux aussi parfaitement bien identifiés sur les photographies aériennes et jouent un rôle important, réduisant considérablement le ruissellement et l'érosion lorsque la végétation est dense.

En ce qui concerne les travaux agricoles, la mise en culture joue un rôle fondamental sur l'érosion et le ruissellement des sols de la Dorsale tunisienne. Ce rôle est variable au cours du temps car les labours d'automne, surtout s'ils suivent les courbes de niveau, limitent considérablement le ruissellement tant que le cumul des pluies après labour ne dépasse pas 100 mm. Par contre, dès que les semis de céréales ont été effectués, généralement entre la mi-novembre et la mi-décembre, les sols deviennent très vulnérables à l'érosion hydrique en raison de l'absence de micro-relief et de couvert végétal. Cette vulnérabilité perdure jusqu'à la mi-mars en climat sub-humide, date à laquelle le couvert végétal cultivé commence à bien recouvrir la surface du sol. Par contre, en climat semi-aride les couvertures végétales, naturelles et cultivées, varient beaucoup d'une année à l'autre et la protection des sols par la végétation cultivée est nettement plus réduite, surtout lorsque surviennent les gros orages d'automne.

Tableau 2 : Caractéristiques des bassins versants en amont des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon.

Nom	Superf. du bassin S en km ²	Indice de pente en m/km	Lithologie		Sols cultivés % de S	Parcours % de S	Aménagements CES hydr. forestier	
			calcaires grès % de S	marnes argiles % de S			% de S	% de S
Sadine 1	3,84	106	30	70	68	32	15	0
Sadine 2	6,53	59	20	80	62	38	8	0
Fidh Ben Naceur	1,69	55	5	95	57	43	80	0
Fidh Ali	2,38	38	5	95	88	12	0	0
M'Richet	1,58	72	11	89	92	8	0	0
El Gouazine	18,1	18	44	56	53	7	0-45	40
Hadada	4,69	94	46	54	76	24	0	0
Jannet	5,21	67	14	86	62	38	2	0
El H'Nach	3,95	104	25	75	44	56	10	0
Abdessadock	3,07	128	30	70	52	48	10	0
Dékikira	3,07	37	40	60	10	50	0	40
Es Sénégal	3,68	87	50	50	44	40	10	16
Echar	9,17	35	18	82	81	19	0	0
Abdeladim	6,42	45	30	70	51	10	10	39
Arara	7,08	78	25	75	20	25	0	55
Sbahia	3,24	77	30	70	48	10	40	42
Saadine	2,72	93			90	10		0
Es Séghir	4,31	41	6	94*	28	0	80	72
El Melah	0,85	36	70	30	80	20	0	0
Kamech	2,45	40	20	80	84	16	0	0
Brahim Zaher	4,64	80	29	71	27	28	0	45
Baouejjer	4,86	32	27	73	0	55		17
M'Rira	6,13	35	10	90	86	0	10	14
El Amadi	3,28	93	0	100	30	70	0	0

Résultats, discussion

Nous présentons sur le tableau 3 les principaux résultats concernant les mesures d'envasement des lacs collinaires du réseau pilote tunisien de surveillance hydrologique.

Tableau 3 : Envasement des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon.

Nom	Année de création	Durée des observations	Vitesse de sédimentation		Durée de vie	Groupes d'érosion
			m ³ /an/ha	t/an/ha		
		années			années	
Sadine 1	1989	10	10	13	9	II-III
Sadine 2	1990	10	12	15	11	III
Fidh Ben Naceur	1990	9	9,8	13	28	II-III
Fidh Ali	1991	9	23	30	24	V
M'Richet	1992	7	8,7	11	31	II
El Gouazine	1990	10	0,92	1,2	143	I
Hadada	1992	4	8,2	11	23	II
Jannet	1992	6	19	25	10	IV
El H'Nach	1992	4	13	17	15	III
Abdessadock	1990	8	11	14	27	III
Dékikira	1991	5	15	19	49	III-IV
Es Sénégal	1991	7	8,8	12	25	II
Echar	1993	3	2,1	2,7	100	I
Abdeladim	1992	7	1,5	1,9	182	I
Arara	1992	6	14	18	9	III
Sbaihia	1993	12	11	14	37	III
Saadine	1992	5	22	29	6	V
Es Séghir	1990	6	0,8	1	614	I
El Melah	1990	9	6,5	8,4	37	II
Kamech	1991	13	11	14	53	III
Brahim Zaher	1992	7	9,8	13	19	II-III
Baouejer	1991	7	1,9	2,4	69	I
M'Rira	1991	5	4	5,4	54	I
El Amadi	1992	10	5,2	6,8	49	II

Cinq groupes de bassins versants ont été distingués relativement à leur aptitude à l'érosion :

- le groupe I dont l'érosion est très faible, inférieure à $6,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$;
- le groupe II dont l'érosion est faible, comprise entre $6,6$ et $13 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$;
- le groupe III dont l'érosion est moyenne, comprise entre $13,1$ et $20 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$;
- le groupe IV dont l'érosion est forte, comprise entre $20,1$ et $26 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$;
- le groupe V dont l'érosion est très forte, comprise entre $26,1$ et $40 \text{ t.ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$.

Le tableau 2, relatif aux caractéristiques physiques et anthropiques des bassins versants, permet de classer les bassins en 4 classes pour chacun des critères de pente, de lithologie, de mise en culture et d'aménagement anti-érosif.

Pour la **pente**, on peut distinguer :

P1 - les bassins à très forte pente - $I_g > 100 \text{ m/km}$ (Sadine 1, Abdessadok, El H'Nach)

P2 - les bassins à forte pente - $50 < I_g < 100 \text{ m/km}$ (Sadine 2, Fidh Ben Naceur, M'Richet El Anse, Hadada, Jannet, Es Sénégal, Arara, Sbaihia, Saadine, Brahim Zaher, El Amadi)

P3 - les bassins à pente moyenne - $25 < I_g < 50 \text{ m/km}$ (Fidh Ali, Dékikira, Echar, Abdeladim, Es Séghir, Kamech, El Melah, Baouejjer, M'Rira)

P4 - les bassins à faible pente - $I_g < 25 \text{ m/km}$ (El Gouazine)

Pour la **lithologie** :

L1 - les bassins couverts à plus de 60% par des roches dures (El Melah)

L2 - Les bassins versants couverts entre 40 et 60% par des roches dures (El Gouazine, Hadada, Dékikira, Es Sénégal, Echar)

L3 - Les bassins versants couverts entre 60% et 80% par des marnes ou des argiles (Sadine1, El H'Nach, Abdessadok, Abdeladim, Arara, Sbaihia, Brahim Zaer, M'Rira, Baouejjer)

L4 - Les bassins versants couverts à plus de 80% par des marnes ou des argiles (Sadine2, Fidh Ben Naceur, Fidh Ali, M'Richet El Anse, Jannet, Echar, Saadine, Kamech, El Amadi)

Une mention spéciale doit être faite au bassin-versant Es Séghir, localisé sur des sables.

Pour la **mise en culture** :

C1 - Les bassins peu cultivés couverts à moins de 25% par des cultures (Dékikira, Baouejjer, Arara)

C2 - Les bassins versants moyennement cultivés, couverts entre 25 et 50% de cultures (El H'Nach, Es Sénégal, Sbaihia, Séghir, Brahim Zaer, El Amadi)

C3 - Les bassins versants très cultivés, couverts entre 50 et 75% de cultures (Sadine1, Sadine2, Fidh Ben Naceur, El Gouazine, Jannet, Abdessadok, Abdeladim)

C4 - Les bassins versants très fortement cultivés, couverts à plus de 75% par des cultures (Fidh Ali, M'Richet El Anse, Hadada, Echar, Saadine, El Melah, Kamech, M'Rira)

Pour l'**aménagement anti-érosif** :

A1- Les bassins aménagés sur moins de 25% de leur superficie (Sadine1, Sadine2, Fidh Ali, M'Richet El Anse, Jannet, El H'Nach, Abdessadok, Echar, Saadine, M'Rira, El Melah, Kamech, Baouejjer, El Amadi)

A2 – Les bassins versants couverts entre 25 et 50% d'aménagements en banquettes ou de forêts (Dékikira, Es Sénégal, Abdeladim, Brahim Zaer)

A3 – Les bassins versants couverts entre 50 et 75% d'aménagements en banquettes ou de forêts (Fidh Ben Naceur, Arara)

A4 – Les bassins versants couverts à plus de 75% par des banquettes ou des forêts (El Gouazine, Sbaihia, Es Séghir)

Le croisement de ces classifications avec celle de l'envasement annuel moyen des lacs collinaires permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

Les bassins versants où l'ablation est la plus forte (Groupes IV et V), supérieure à 20 t/ha/an ($15 \text{ m}^3/\text{an}/\text{ha}$), sont des bassins à pente moyenne à forte (P3-P2), couverts à plus de 80% par des marnes ou des argiles (L4), cultivés à plus de 50% (C3-C4) et non aménagés en banquettes ou en reboisements (A1). Le bassin-versant de Dékikira semble être ici l'exception mais son lac collinaire n'a fait l'objet que de deux bathymétries et son envasement reste donc à confirmer.

Les bassins versants où l'ablation est moyenne (Groupe III), comprise entre 13 et 20 t/ha/an ($10 \text{ à } 15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$), sont des bassins versants à pente moyenne à très forte (P3-P2-P1), couverts à plus de 60% par des marnes ou des argiles (L3-L4), sans aménagements anti-érosifs (A1) ou avec des aménagements en banquettes ou des forêts sur fortes pentes et terrains argileux où ils perdent beaucoup de leur efficacité (Sbaihia, Arara).

Les bassins versants où l'ablation est faible (Groupe II), comprise entre 6,5 et 13 t/ha/an ($5 \text{ à } 10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$), sont le plus souvent des bassins versants à pente moyenne à forte (P3-P2), sur lesquels la couverture lithologique comporte une part notable de roches dures (L1-L2-L3), peu aménagés (A1-A2) ou avec des aménagements en banquettes ou des forêts sur fortes pentes et terrains argileux où ils perdent beaucoup de leur efficacité (Brahim Zaer, Es Sénégal).

Les bassins versants où l'ablation est très faible (Groupe I), inférieure à 6,5 t/ha/an ($5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$), sont des bassins à pente moyenne à faible (P3-P4), sur lesquels la couverture lithologique comporte une part notable de roches dures (L2-L3), très aménagés (A4) ou peu aménagés (A1).

Conclusion

La prédétermination de l'érosion des sols des petits bassins versants de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon est donc possible en ne prenant en compte que les principales caractéristiques physiques (topographie, lithologie) et anthropiques (mise en culture, aménagements anti-érosifs) des bassins versants. Cependant, aucun de ces critères, pris séparément, s'il ne dépasse un certain seuil, ne permet la réalisation de cette prédétermination. Pour la pente moyenne du bassin, elle doit être inférieure à 25 m.km^{-1} pour que l'ablation du bassin-versant soit très faible. Pour la lithologie, la couverture du bassin en roches dures doit être supérieure à 40% de sa superficie pour que celles-ci jouent un rôle significatif de réduction de l'ablation des sols. La mise en culture ne joue un rôle que pour une couverture du bassin supérieure à 50% sur sols marneux ou argileux et sur fortes pentes. Les aménagements anti-érosifs ne jouent un rôle important que sur pentes moyennes à faibles.

C'est donc la combinaison des critères physiques et anthropiques qui permet une prédétermination de l'ablation des sols des petits bassins versants de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon. Cette prédétermination reste grossière mais elle peut être affinée en améliorant d'une part la connaissance lithologique et géologique structurale des bassins versants du réseau pilote d'observation hydrologique et d'autre part la connaissance des aménagements anti-érosifs et de leur fonctionnement hydrologique, principalement en ce qui concerne les banquettes. Par ailleurs, la prise en considération d'autres critères tels que la densité des ravines sur les formations argileuses et marneuses, la répartition des pentes à l'intérieur du bassin et l'importance des sols nus lors de l'occurrence des fortes pluies peuvent contribuer utilement à l'amélioration de l'estimation des apports solides aux lacs collinaires.

Références bibliographiques

Albergel J., Nasri S., Boufaroua M., Pépin Y. (2001). Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne. Séminaire International « hydrologie des Régions Méditerranéennes », Montpellier, 11-13 octobre 2000. PHI-V / Documents Techniques en Hydrologie : n°51 : 63-70.

Boufaroua M., Albergel J. et Pépin Y. (2000). Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne. Vth International Conference on the geology of the Arab World (GAW – 5) Le Caire, 21 au 24 février 2000.

Cormary Y. et Masson J.-M. (1964). Etude de conservation des eaux et du sol au Centre de Recherche du Génie Rural de Tunisie. Application à un projet type de l'équation de perte de sols de Wischmeier. Cahiers ORSTOM, Pédologie, tome 2, n° 3 : 3-26.

D/CES, 2000. Les lacs collinaires en Tunisie : un instrument de développement. ONAGRI.URL, <http://www.onagri.nat.tn/Bulletin/bul29.pdf>

D CES-ORSTOM (1996, 1997). Annuaires hydrologiques des lacs collinaires. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Année 1994-1995, mars 1996, 140 p. ; Année 1995-1996, février 1997, 184 p. ; Année 1996-1997, décembre 1997, 200 p.

D CES-IRD (1999, 2000). Annuaires hydrologiques des lacs collinaires. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Année 1997-1998, mars 1999, 208 p. ; Année 1998-1999, février 2000, 202 p.

DG ACTA-IRD (2001, 2002). Annuaires hydrologiques des lacs collinaires. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Année 1999-2000, mars 2001, 201 p. ; Année 2000-2001, avril 2002, 175 p. ; Année 2001-2002, en cours ; Année 2002-2003, en cours.

Fritsch J.-M. (1992). Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants. Opération ECEREX en Guyane française. Thèse de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Editions de l'ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Paris, 392 p.

Masson J.-M. (1971). L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse de Doc. Ing. de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 244 p. + 40 fig. + 19 tab.

Roose E. (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : 20 années de mesures en petites parcelles. ORSTOM, Paris, Coll. Travaux et Documents, n° 130, 105 p.

Wischmeier et Smith (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Handbook n° 537, 59 p.