

14^{ème} Conférence de l'ISCO

14-19 mai 2006, Marrakech, Maroc

Prédétermination des apports liquides et solides dans les lacs collinaires de la Dorsale tunisienne

(1) Lamachère J.-M., (2) Boufaroua M., (3) Guerhazi L. (3) Habaieb H.

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

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

(3) Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)

Résumé :

Depuis 1994, un réseau pilote de 24 lacs collinaires localisés au Centre de la Tunisie fait l'objet d'un suivi hydrologique grâce à un équipement comprenant, pour chaque lac de ce réseau, l'enregistrement automatique des hauteurs d'eau et des hauteurs pluviométriques, l'enregistrement manuel de l'évaporation. Des mesures bathymétriques et topographiques périodiques permettent d'établir les courbes de remplissage et d'envasement en suivant leurs évolutions au fil des ans.

A l'échelle annuelle, les apports liquides aux lacs collinaires (lame ruisselée, L_r en mm) peuvent être modélisés en fonction de la pluie annuelle (P en mm) par une relation linéaire à deux paramètres de la forme : $L_r = A (P - P_0)$ où A est le coefficient de croissance de la lame ruisselée en fonction de la pluie et P_0 un paramètre de position réglant la rétention annuelle des sols ou des aménagements du bassin-versant.

L'analyse des caractéristiques physiques (topographie, lithologie) et anthropiques (mise en culture, aménagements anti-érosifs) des bassins montre que ceux qui ruissellent le plus correspondent à des bassins versants aux pentes moyennes à fortes, sur roches marneuses ou argileuses, très cultivés et peu ou pas aménagés ($A > 0,30$). Les bassins qui ruissellent le moins correspondent à des bassins à pente moyenne à faible, en partie sur roches dures (calcaires ou grès) avec des reboisements forestiers ($A < 0,05$). La valeur du paramètre de position (P_0) dépend à la fois des aménagements en banquettes réalisés sur pentes moyennes à faible et de la nature des argiles formant les sols du bassin. Les sols à argiles gonflantes contribuent en effet à accroître considérablement la valeur de ce paramètre jusqu'à des valeurs de l'ordre de 300 à 350 mm.

L'analyse des relations entre les volumes de sédiments déposés dans les retenues et les volumes ruisselés sur les bassins versants, pour une densité moyenne des sédiments stockés dans les lacs prise égale à 1,3, a révélé l'existence de cinq familles de bassins versants, les teneurs en sédiments variant de 6 g/l à 110 g/l. Pour la détermination de ce paramètre, la pente moyenne du bassin versant et la localisation des roches meubles par rapport aux pentes des versants jouent les rôles les plus importants.

Mots-clés : Apports liquides et solides, prédétermination, lacs collinaires, Dorsale tunisienne

14th ISCO meeting

from 14 to 19 may 2006, Marrakech, Morocco

Predetermination of water and sediments supplies in the little artificial lakes in the Tunisian mountains range

(2) Lamachère J-M., (2) Boufaroua M., (3) Guermazi L., (3) Habaieb H.

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

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

(3) Institut National Agronomique de Tunisie (INAT)

Abstract :

In the Central Tunisia area, since 1994, a hydrological pilot network was created with 24 little artificial lakes. These lakes have been equipped with electronics recorders to measure the water stages of the lakes and the rainfall intensities. Observers have been recruited to measure daily water stages of the lakes, daily depths of rainfall and evaporation and to note the releases. With bathymetrical and topographical measures, it was possible to draw up the filling curves, which have changed with the silting up in the pools from one year to another.

On a yearly scale, water supplies in the little artificial lakes, represented by the runoff depth (L_r stated by mm) can be calculated from the rainfall depth (P stated by mm) with a linear relation in that form: $L_r = A (P - P_0)$ where A is the coefficient of runoff growth in ratio to rainfall depth and P_0 is a position parameter which sets the annual water retention of the soils and of the anti-erosive improvements of the basin.

With the physical (topography, lithology) and anthropogenic (cultivated areas, anti-erosive improvements) analysis of the catchments it is possible to show that the catchments from which the runoff coefficients are the greatest ($A > 0.30$) correspond to catchments with steep or average slopes, on marls and clays, extremely cultivated but no equipped with anti-erosive laying out. The catchments from which the runoff coefficients are lowest ($A < 0.05$) correspond to catchments with average and low slopes, partly on hard rocks (limestone or sandstone) with reforestation. The value of the position parameter (P_0) depends both on the area covered by the contour ridges constructions and on the type of clays forming the soils of the catchments. The shrinking soils contribute strongly to the growth of the position parameter up to 300 and 350 mm.

The analysis of the relations between the sediments volumes settled in the pools and the runoff volumes from the catchments, corresponding to these sediments volumes, has pointed out the existence of five groups of catchments with average wash loads varying from 6 g/l to 110 g/l (with an average sediments density taken equal to 1.3). The average slope of the catchment and the location of the crumbly rocks on the steep or average slopes are the two deciding criteria to determine the wash load of the runoff volumes.

Key words: water and sediments supplies, predetermination, little artificial lakes, Tunisian mountains 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 %.

Or l'utilisation des eaux d'un lac collinaire dépend tout d'abord du remplissage de la retenue par le ruissellement sur son bassin versant mais aussi de l'érosion des sols, qui contribue à réduire la capacité de stockage de la retenue au fil des ans. Pour choisir la capacité initiale d'une retenue artificielle, il faut donc tenir compte à la fois de la capacité au ruissellement du bassin versant mais aussi de sa capacité à l'érosion afin de sur-dimensionner la retenue en fonction de l'importance des apports solides au lac collinaire qui, en se déposant dans la retenue, réduisent progressivement sa capacité de stockage. A cette fin, nous présentons dans le présent article une méthode permettant d'évaluer le ruissellement et 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.

Détermination des apports liquides

Pour calculer les apports liquides sur le réseau pilote d'observation hydrologique des lacs collinaires tunisiens, on utilise les enregistrements de hauteur d'eau dans le lac, les observations de pluie et d'évaporation, ainsi que les courbes d'étalonnage de la retenue

(courl
débits

iteurs-

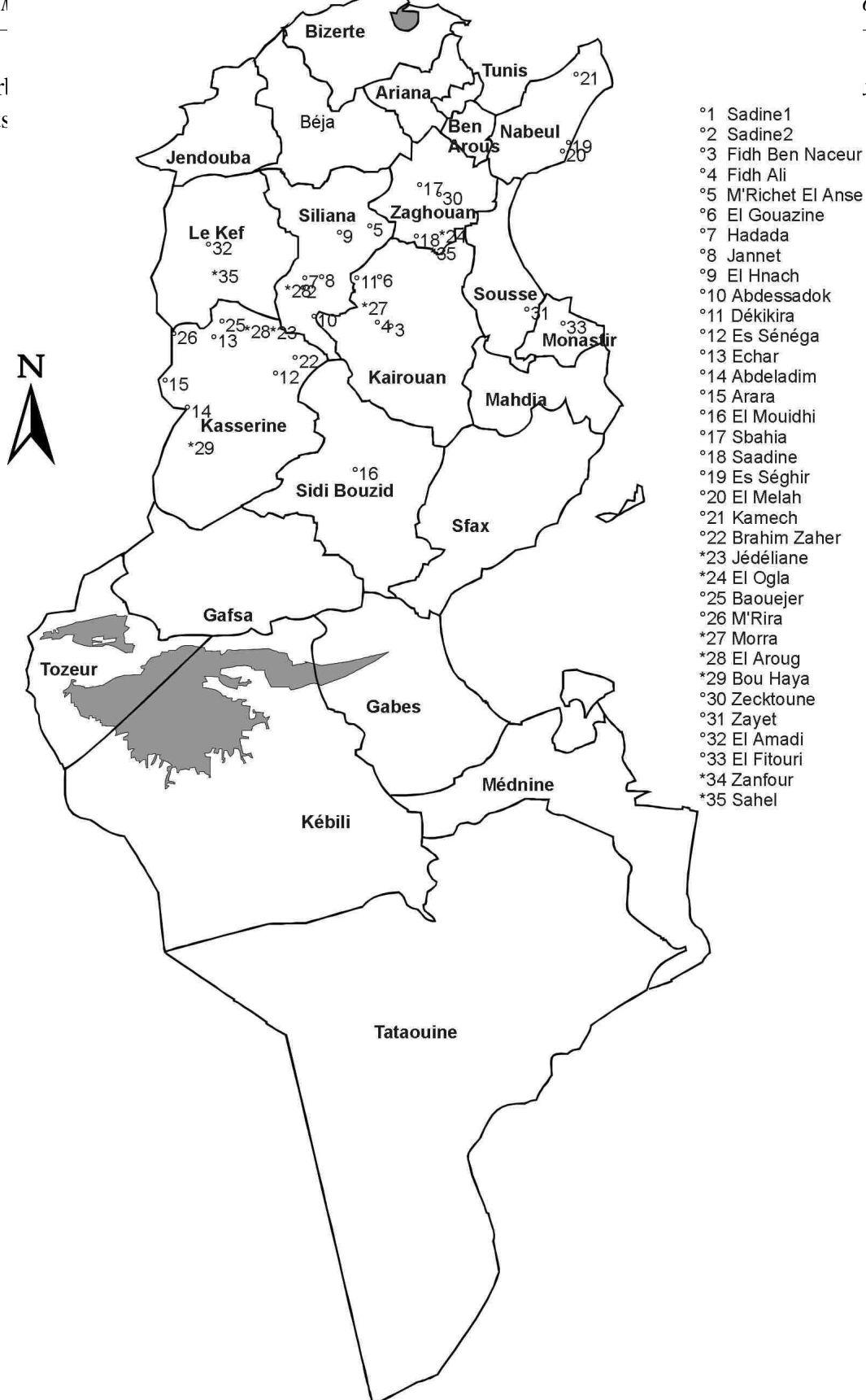


Figure 1 : Situation des lacs collinaires du réseau pilote tunisien de surveillance hydrologique.

L'équation du bilan hydrique d'une retenue est de la forme :

$$V = (Vr + Vp + Ves + Vf) - (Vd + Vvid + Vev + Vinf + Vut)$$

où V est le volume stocké ou déstocké sur un intervalle de temps t et où, sur le même intervalle de temps, Vr est le volume ruisselé, Vp le volume pluviométrique tombé sur la retenue, Ves le volume d'eaux souterraines entrant dans la retenue, Vf le volume d'eau associé à la fonte des neiges, Vd le volume déversé, Vvid le volume vidangé par la vanne de fond, Vev le volume évaporé par le plan d'eau, Vinf le volume infiltré au fond de la retenue ou au travers de la digue, Vut le volume utilisé par pompage ou siphonnage.

Tableau 1 : Caractéristiques des lacs collinaires du réseau pilote tunisien.

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
Sbahia	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

Baouejjer	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

En période de crue, le bilan hydrologique d'un lac collinaire prend la forme suivante :

$$V = (Vr + Vp) - (Vd + Vvid)$$

Cette simplification du bilan hydrologique d'un lac collinaire suppose qu'en période de crue l'infiltration, les apports souterrains, l'évaporation et les usages de l'eau sont négligeables devant les autres termes du bilan. Pour un lac collinaire situé à l'exutoire d'un petit bassin-versant, cette hypothèse se vérifie parfaitement.

L'imprécision dans la détermination des volumes ruisselés est due essentiellement à l'imprécision sur les débits déversés et vidangés ceux-ci étant connus avec une précision de l'ordre de 20 %. Lorsque la retenue n'a pas déversé et si les vidanges ont été limitées dans le temps, la précision sur les volumes ruisselés est généralement excellente, de l'ordre de 5 %. Elle ne dépend plus que de la précision des mesures bathymétriques et topographiques.

Détermination des apports solides

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 hauteur d'eau (cote aux échelles limnimétriques). Elles permettent également de déterminer le volume de vase stocké dans la retenue depuis sa construction.

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.

Relations entre les lames ruisselées et les pluies annuelles

Pour mettre en relation les lames ruisselées entrant dans les lacs collinaires et les pluies annuelles tombées sur les bassins versants, nous avons supposé que cette relation était linéaire, de la forme :

$$Lr = A \times (P - P_0)$$

où Lr est la lame d'eau ruisselée annuellement sur le bassin versant, A est un coefficient de croissance de la lame ruisselée en fonction de la pluie, P est la pluie annuelle tombée sur le

bassin versant et P0 un paramètre de position que l'on peut assimiler à une pluie annuelle limite du ruissellement.

Dans cette relation, A exprime l'aptitude annuelle moyenne des sols au ruissellement et P0 l'aptitude du bassin versant à la rétention, soit en raison d'une aptitude particulière des sols au stockage (fentes de retrait, labours) soit en raison d'un aménagement anti-érosif permettant de stocker les ruissellements superficiels (banquettes, petits réservoirs superficiels).

Relations entre les volumes sédimentés et les volumes ruisselés

Afin d'établir des relations entre les volumes sédimentés et les volumes ruisselés, il est apparu nécessaire de calculer les volumes ruisselés sur le même intervalle de temps que les volumes sédimentés. Ces derniers étant déterminés sur la base des levés bathymétriques et topographiques, nous avons donc calé nos calculs des volumes ruisselés sur les intervalles de temps séparant deux levés bathymétriques et topographiques successifs d'un même lac collinaire.

Sur un ensemble comprenant 25 lacs collinaires nous avons pu déterminer 20 relations directes entre volumes sédimentés et volumes ruisselés. Ces relations sont du type :

$$Vséd = B \times Vr$$

où Vséd est le volume des sédiments déposés dans la retenue sur un intervalle de quelques mois ou de 2 à 3 ans et Vr le volume ruisselé sur le même intervalle de temps, B étant un coefficient sans dimension qui représente la teneur moyenne en sédiments des eaux ruisselées et qui, multiplié par 1300 (en supposant que la densité des vases est de l'ordre de 1,3), s'exprime en grammes par litre.

Pour les collinaires n'ayant fait l'objet que de trop rares levés bathymétriques, nous avons utilisé le rapport entre le volume moyen annuel sédimenté dans la retenue et le volume moyen annuel ruisselé. Nous obtenons ainsi une estimation indirecte de la teneur moyenne en sédiments des volumes ruisselés.

De l'importance des sédiments exportés par déversement ou vidange

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 environ 20 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 trop envasé, le tonnage exporté par déversement ou vidange peut être négligé devant le tonnage sédimenté dans la retenue.

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.

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	
			calcaires grès % de S	marnes argiles % de S			hydr. % de S	forestier % 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
Sbaihia	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	0	17
M'Rira	6,13	35	10	90	86	0	10	14
El Amadi	3,28	93	0	100	30	70	0	0

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.

Résultats, discussion

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 - $I_g > 100$ m/km (Sadine 1, Abdessadok, El H'Nach)

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

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

P4 – les bassins à faible pente – $I_g < 25$ 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)

Nous présentons sur le tableau 3 les principaux résultats concernant l'estimation des lames ruisselées et des volumes sédimentés dans les lacs collinaires du réseau pilote tunisien de surveillance hydrologique.

Le croisement des classifications selon la pente, la lithologie, la mise en culture et l'aménagement du bassin-versant avec celle du paramètre de rétention (P0) du bassin versant montre que :

- $100 \text{ mm} < P_0 < 150 \text{ mm}$ correspond à des bassins versants sans banquettes ni réservoirs amont où les roches dures couvrent une partie notable du bassin versant (plus de 20% de la superficie),

- 150 mm < P0 < 200 mm correspond à des bassins versants sans banquettes ou peu de banquettes (couverture inférieure à 20%) sur pentes fortes et sols argileux ou marneux peu affectés par les phénomènes de retrait et gonflement,
- 200 mm < P0 < 250 mm correspond à des bassins versants avec banquettes sur pentes moyennes à faibles ou à des bassins versants sans banquettes sur sols argileux ou marneux moyennement affectés par le retrait (couverture inférieure à 20%),
- 250 mm < P0 < 300 mm correspond à des bassins versants sur sols à argiles gonflantes couvrant 20 à 40% de la superficie du bassin-versant,
- P0 > 300 m correspond à des bassins versants cultivés à plus de 75% sur sols à argiles gonflantes (plus de 40% de la superficie du bassin versant).

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

Nom	Pluie annuelle médiane	Coefficient A	Paramètre de position P0	Lame ruisselée médiane	Coefficient B Vséd / Vr	Coefficient $V_{séd}^{moy} / V_r^{moy}$
	mm		mm	mm		
Sadine 1	478	0,06	180	23	0,045	0,05
Sadine 2	430	0,12	180	32	0,05	0,037
Fidh Ben Naceur	316	0,14	180	20	0,03	0,048
Fidh Ali	285	0,09	180	10	0,08	0,215
M'Richet	454	0,06	300	12	0,06	0,076
El Gouazine	345	0,006	100 / 240	15 / 6	0,005	0,006
Hadada	422	0,13	140	36	0,03	0,023
Jannet	455	0,25	200	62	0,06	0,029
El H'Nach	436	0,11	220	27	-	0,057
Abdessadock	362	0,15	290	13	0,09	0,086
Dékikira	338	0,20	200	30	0,07	0,045
Es Sénégal	278	0,12	100	21	0,04	0,034
Echar	405	0,11	300	12	-	0,018
Abdeladim	323	0,08	140	13	0,002	0,01
Arara	265	0,25	180	25	0,07	0,055
Sbahia	441	0,11	280	17	-	0,062
Saadine	384	0,40	240	57	0,07	0,032
Es Séghir	478	0,06	250	12	0,01	0,006
El Melah	478	0,08	200	20	0,01	0,026
Kamech	688	0,32	350	118	0,015	0,010
Brahim Zaher	274	0,15	100	25	0,05	0,035
Baouejjer	365	0,03	100	8	-	0,022
M'Rira	324	0,35	220	38	-	0,009
El Amadi	532	0,16	280	40	0,04	0,013

Le croisement des classifications physiques et anthropiques avec celle du coefficient de croissance du ruissellement (A) en fonction de la pluie montre que :

- $A < 0,05$ correspond à des bassins versants à pente moyenne à faible, moyennement à peu cultivés, où les roches dures couvrent une partie assez notable du bassin versant (plus de 20% de la superficie),
- $0,06 < A < 0,10$ correspond à des bassins versants à moyenne à forte, où les sols, cultivés sur plus de 50% de la superficie du bassin, possèdent une bonne capacité d'infiltration (teneur en argiles modérée pour les sols bruns calcaires),
- $0,11 < A < 0,15$ correspond à des bassins versants à forte pente, où les sols possèdent une assez bonne capacité d'infiltration, soit en raison de la bonne couverture végétale (forêts, garrigue dense), soit en raison d'une teneur en argiles modérée (sols bruns calcaires),
- $0,16 < A < 0,30$ correspond à des bassins à pente moyenne à forte sur marnes et argiles (plus de 60% de la superficie du bassin), peu cultivés ou moyennement cultivés.
- $A > 0,30$ correspond à des bassins versants à pente moyenne à forte, très cultivés (plus de 75 % de la superficie du bassin versant) sur argiles ou marnes (plus de 60% de la superficie du bassin).

Le croisement des classifications physiques et anthropiques avec celle du coefficient B de turbidité moyenne des volumes ruisselés fournit les résultats suivants :

- $B < 0,008$ (10 g/l) correspond à des bassins versants à pente moyenne à faible, couverts dans une proportion notable de roches dures (plus de 20% de la superficie du bassin), aménagés sur plus de 40% de leurs superficies (banquettes ou forêts),
- $0,009 < B < 0,017$ (11 à 20 g/l) correspond à des bassins versants à pente moyenne, couverts dans une proportion notable de roches dures (plus de 20% de la superficie du bassin), peu ou pas aménagés,
- $0,018 < B < 0,033$ (21 à 40 g/l) correspond à des bassins à pente forte, couverts dans une proportion notable de roches dures (plus de 20% de la superficie du bassin), peu ou pas aménagés,
- $0,034 < B < 0,067$ (41 à 80 g/l) correspond à des bassins à pente forte, sur marnes et argiles (plus de 70% d la superficie du bassin-versant),
- $0,068 < B < 0,10$ (81 à 120 g/l) correspond à des bassins à forte pente, sur marnes et argiles (plus de 70% d la superficie du bassin-versant) et très cultivés (plus de 75% de leurs superficies).

Sur pentes fortes, les aménagements anti-érosifs en banquettes semblent donc ne jouer qu'un rôle marginal sur la protection des sols contre l'érosion à l'échelle du bassin-versant, alors que l'importance des calcaires et du grès détermine la croissance du ruissellement en fonction de la pluie annuelle et la proportion de sédiments dans les volumes ruisselés.

Conclusion

La prédétermination des apports liquides et solides aux lacs collinaires est donc possible à partir des seules caractéristiques pluviométriques (pluie annuelle médiane), physiques (pente moyenne, lithologie) et anthropiques (mise en culture, aménagements forestiers, banquettes)

des bassins versants. Cette prédétermination, malgré son imprécision, peut permettre aux projecteurs de fixer l'ordre de grandeur des apports liquides et solides d'un petit bassin de la Dorsale tunisienne ou du Cap Bon et ainsi de déterminer le volume initial d'un réservoir, compte tenu non seulement des apports liquides prévisibles mais également des risques d'envasement de la retenue.

Sans modifier le nombre des critères, une amélioration de cette méthode est possible en réalisant des cartographies plus précises de la lithologie des bassins versants, de leurs aménagements en banquettes et des sols nus. En augmentant le nombre des critères par l'analyse de la structure des formations géologiques relativement à la pente et aux axes de drainage et par la cartographie des ravines il est également possible d'améliorer la précision de l'estimation des risques érosifs.

Références bibliographiques

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). Annuaire 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). Annuaire 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). Annuaire hydrologiques des lacs collinaires. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Année 1999-2000, mars 2001, 201 p. ; année 2000-2001, avril 2002, 175 p.

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.