

MODELISATION HYDROLOGIQUE SPATIALISEE DE PETITS BASSINS VERSANTS EN CONTEXTE SEMI-ARIDE MEDITERRANEEN

Mansouri T.*. Albergel J.*. Séguis L.**.

* IRD Tunis Bp 434 El Menzeh

** IRD Montpellier

RESUME

Ce papier présente l'application d'un modèle physique de modélisation hydrologique : Kinematic Runoff and Erosion Model (KINEROS2) au bassin versant du lac collinaire El Gouazine en Tunisie centrale semi-aride. Ce modèle a été utilisé pour reproduire les débits mesurés pour plusieurs événements "averse - crue".

Nous décrivons : la préparation des données, l'estimation des paramètres, l'analyse de sensibilité des principaux paramètres, la calibration du modèle et sa validation en vue d'une exploitation ultérieure.

Le modèle présente une trentaine de paramètres. Nous avons effectué une analyse de sensibilité sur sept paramètres de la fonction de production nécessitant un calage. Les paramètres de la fonction de transfert dérivent du modèle numérique de terrain effectué sur le bassin.

Un échantillon de 34 crues entrant dans la retenue collinaire et reconstituées à partir des données hydro-pluviométriques a été utilisé pour la mise en œuvre du modèle. Ces crues ont été observées entre 1994 et 1998, période pendant laquelle un important aménagement des versants a été réalisé. En 1996-97, 470 hectares ont été aménagés en digues isohypses d'environ 2 m de haut.

Le critère de Nash a été utilisé pour évaluer l'adéquation du modèle aux observations. Les valeurs du coefficient de Nash pour les lames écoulées, débit maximum et temps de réponse de crues varient de 0.84 à 0.92 en calage. En validation ces valeurs se sont légèrement dégradées et varient de 0.7 à 0.9.

MOTS CLES

Tunisie, semi-aride, modèle "pluie - débit", petit bassin versant, aménagement, KINEROS2, retenue collinaire.

INTRODUCTION

Le développement de l'informatique a provoqué au cours des vingt dernières années une abondance de modèles mathématiques dans les sciences de l'eau, dont l'objectif est de prévoir la future distribution des ressources en eau et de mieux comprendre les mécanismes physiques et chimiques mis en jeu (Abott et Refsgaard, 1996).

Les modèles hydrologiques à paramètres physiques distribués, décrivant de mieux en mieux les différents processus en jeu, permettent maintenant de lier les flux d'eau aux caractéristiques physiques des bassins versants et résolvent une forme aussi complète que possible des équations de continuité et de quantité de mouvement lié au transport d'eau et/ou de substances ou d'énergie (Musy, 1998).

Ils permettent de prendre en compte des modifications dans le bassin versant tel que les aménagements anti-érosifs ou les modifications d'occupation des sols suivant les saisons ou les transformations des itinéraires agricoles (Moussa et al, 1998).

Pour décrire le ruissellement par événement pluvieux sur un bassin versant représentatif du milieu semi-aride, on propose d'utiliser un modèle à bases physiques KINEROS2 (Woolhiser et al, 1989). Ce modèle, mis au point sur des bassins versants grecs en milieu méditerranéen, utilise le modèle d'infiltration de Green & Ampt (1911) pour calculer le ruissellement et la propagation de l'onde cinématique pour calculer le transfert de l'eau. Il tient compte de l'hétérogénéité spatiale des caractéristiques du bassin versant et de la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations et des processus de redistribution de surface. Il tente de reproduire les mécanismes physiques du cycle de l'eau.

Ce modèle a été utilisé en zone sub-humide tunisienne, sur le bassin versant de l'oued Mkhachbia d'une superficie de 106 km² (Jaoued, 1996). Il a été calé sur quatre crues et n'a pas donné lieu à de validation. En zone semi-aride tunisienne, (Lajili, 1998) a aussi réalisé un calage du modèle sur le petit bassin versant de Bargou (1.4 km²).

Etant distribué et développé spécifiquement pour des régions semi-arides, nous avons utilisé ce modèle sur le bassin versant d'El Gouazine (16.9 Km²) sur lequel nous avons réalisé une importante base de données géographique et une autre hydro-pluviométrique.

DONNEES ET METHODES

Données géographiques

Le bassin versant du lac El Gouazine a une superficie de 16.9 km². Il appartient au bassin versant du Nebhana en Tunisie centrale semi-aride. Il appartient au synclinal d'Oueslatia et est constitué par des marnes intercalées de barres calcaires du Lutétien Bartonien. Ces barres calcaires ont un fort pendage. La partie amont du bassin versant est surmontée par des encroûtements calcaires sub-horizontaux. Les interfluves présentent des sols calcimagnésiques à encroûtement calcaire plus ou moins enduré ; tandis que les vallées présentent des sols peu évolués. Le pourcentage de cailloux en surface dans l'amont du bassin versant témoigne de l'érosion en nappe.

L'occupation des sols varie d'un couvert semi-forestier à des parcelles totalement consacrées à l'activité agricole : terres cultivées (45 %), des forêts denses et claires (17 %), des parcelles d'alfa (11 %), des terres de parcours et de garrigues (18 %), des vergers (1.7 %), oliviers et céréales (4.7 %). Un petit barrage a été construit à l'exutoire de ce bassin en 1990 ; le lit de l'oued et le lac collinaire occupent 1.6 % de la surface. 40% de sa superficie a été aménagée en banquettes isohypses en 1996 et 1997. Cet aménagement concerne les terres de céréalicultures et les vergers.

Le climat est de type méditerranéen semi aride avec une saison chaude d'été et une saison fraîche d'hiver. La continentalité et le relief accentuent les contrastes thermiques et la sécheresse de l'été. La pluviométrie est en moyenne de 350 mm mais connaît une très forte variabilité tant spatiale que temporelle. Durant la période d'observation (1994 à 2000) la pluviométrie annuelle a varié de 253 mm à 577 mm.

Les coordonnées du lac en Latitude et Longitude sont respectivement de 35°54'30 N, 9°42'13 E. L'altitude varie de 376 à 575 m. L'indice de pente est de 18 m/km. La densité du réseau hydrographique 4.5 km/km².

Caractéristiques et données hydrologiques

Ce travail a été effectué dans le cadre du programme HYDROMED (Albergel & Rejeb, 1997). Les données hydropluviométriques proviennent de la banque de données DCES /IRD (1996 à 2000).

Un suivi hydrologique a été mis en place en octobre 1993. Il consiste en (i) l'enregistrement des variations de hauteur d'eau à la retenue collinaire, (ii) des mesures de bathymétrie, (iii) l'étalonnage du déversoir et des fuites du barrage, (iv) un suivi de la pluviographie en 2 points : amont et aval du bassin versant.

Nous avons effectué un dépouillement des données hydro-pluviométriques et reconstitué les crues du lac collinaire avec un pas de temps de 5 minutes (Albergel, Mansouri, Pépin et Séguis, 1999). Il en ressort un apport moyen annuel de 206035 m³, une lame ruisselée moyenne annuelle de 11 mm, un coefficient de ruissellement moyen annuel de 3 %, le coefficient de ruissellement à l'échelle de l'averse peut atteindre 39 %.

La pluie journalière maximale observée est de 80 mm, elle a eu lieu le 24/9/98. En considérant la station de référence d'Oueslatia, sa période de retour est de 6 ans. Le débit maximum observé de la plus forte crue est de 35 m³/s, le débit spécifique correspondant est de 2100 l/s/Km², il correspond à des intensités en 5 et 30 minutes respectives de 53 et 27 mm/h.

Le lac a vécu trois périodes d'assèchement avec des niveaux de fond de la retenue croissants. Ceci atteste d'un envasement progressif du lac. La cote de déversement du lac est de 830 cm. Nous avons observé deux déversements les 20 et 21 puis 24 et 25 septembre 1995 (Fig. 1).

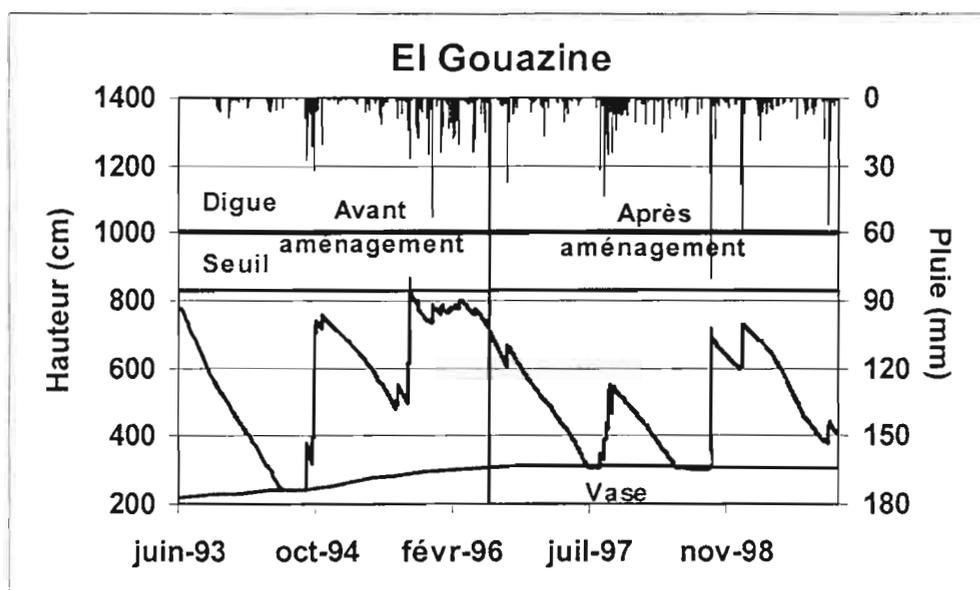


Fig. 1 : Variation des niveaux de remplissage du lac collinaire El Gouazine

On remarque un affaiblissement important de l'hydraulicité du bassin après les aménagements de 1996 et 1997, le lac n'a plus déversé même pour la pluie du 24/09/98.

Choix des événements "averse - crue" pour la modélisation

Nous avons utilisé les données pluviographiques des deux stations en fonctionnement depuis le début des observations hydrométriques (El Gouazine Lac se trouve en aval du bassin et Dékikéra au premier tiers amont). Nous avons reporté sur le même graphique les hyétogrammes des pluies qui ont généré des crues pour les 2 stations ainsi que les hydrogrammes correspondant.

Nous avons choisi les événements survenus avant aménagement du bassin versant soit 14 événements sur 24 événements. Nous avons dû supprimer 10 crues qui ne peuvent pas être expliquées par les données pluviographiques existantes. Trois parmi ces crues sont survenues avant les pluies, et s'expliquent par des pluies tombées hors de la zone d'installation des pluviographes. Les crues survenues après aménagement ont servi à la détermination de l'impact de l'aménagement qu'on développera dans une publication ultérieure.

Le tableau 1 donne la liste des crues retenues et leurs caractéristiques. Les 8 premières lignes correspondent aux crues utilisées lors du calage.

TABLEAU.1: caractéristiques des crues retenues

Date	pluie lac (mm)	pluie Dékikira (mm)	Volume écoulé (m ³)	Coefficient d'écoulement (%)	Débit maximal (mm/h)	Débit spécifique (m ³ /s/km ²)
04/11/94	14	19	27000	12	2.1	0.4
09/06/95	9.5	12	1720	1	0.6	0.1
13/09/95	12	17	36300	18	2.3	0.5
20/09/95	27	17	147340	32	7.8	1.7
22/09/95	9.5	14	26089	16	1.6	0.3
11/12/95	6.5	3.5	6000	5	0.7	0.1
15/02/96	11	8.5	8000	4	1.4	0.3
15/03/96	6	7	6000	6	1.4	0.3
30/09/94	12	15	12140	5	5.7	1.2
03/10/94	19	21	125189	39	6.25	1.3
17/09/95	14	11	11495	6	0.02	0.0
10/12/95	25	31	27166	7	3.3	0.7
13/01/96	25	2.8	14000	3	0.75	0.2
14/03/96	13	13	6000	3	0.7	0.1

Données cartographiques

Les données cartographiques disponibles sont :

- Les courbes de niveau numérisées au 1/25 000^{ème} et au 1/50 000^{ème} à partir des cartes topographiques OTC ;
- Les points cotés digitalisés à partir des cartes topographiques OTC au 1/50 000^{ème} ;
- Le réseau hydrographique et les limites des bassins versants numérisés au 1/50 000^{ème} ;
- Les cartes pédologiques et d'occupation des sols des bassins versants numérisés au 1/20 000^{ème} ;
- Les photo-aériennes au 1/20 000^{ème} dont la correction géométrique a été faite à l'aide de levées GPS sur le terrain.

LE MODELE HYDROLOGIQUE KINEROS2

Principe du modèle

Le modèle KINEROS2, conçu en 1977 par Woolhiser, Smith et Goordich, est un modèle mathématique distribué événementiel à bases physiques qui décrit les processus d'interception, d'infiltration, de ruissellement et d'érosion des bassins versants urbains ou agricoles. Le bassin versant est représenté par une cascade de plaines et de chenaux. Les équations qui décrivent le ruissellement sur les panneaux et son transfert dans les chenaux, l'érosion et le transport solide sont résolus par la technique des différences finis. Il tient compte de la variabilité spatiale de la pluie de l'infiltration et des paramètres d'érosion. Il permet de voir l'impact des aménagements sur le ruissellement et le transport solide. Dans ce travail nous nous intéressons qu'à la modélisation pluie débit, sans aborder la modélisation du transport solide.

Fonction de production

La fonction de production néglige l'évapotranspiration et l'écoulement souterrain qui sont des quantités mises en jeu très faibles durant les crues de courtes durées sur les petits bassins versants méditerranéens.

L'interception (I) est la partie des précipitations qui est retenue par le feuillage du couvert végétal et les flaques de petites dépressions endoréiques. Par conséquent, elle est exclue du taux du ruissellement. Elle est influencée par la végétation, les saisons et la vitesse du vent.

Au début d'un orage, sur un bassin versant, il y a toujours une période initiale pour laquelle le taux d'infiltration (f) est égal aux taux de pluie (r) et l'excès de pluie (q) est nul. Durant cette période, le sol a tendance à absorber une quantité d'eau plus importante que celle fournie par la pluie : c'est la période limite d'infiltration. Le taux maximal de l'eau qui entre dans le sol, est appelé capacité d'infiltration (fc).

Il est décrit par la fonction (f) qui dépend de la teneur initiale en eau (θ_i) et de la quantité de pluie déjà absorbée par le sol (F) :

$$F_c = f(F, \theta_i)$$

La teneur initiale en eau est maintenue constante sur une profondeur mouillée, mais elle varie entre les événements orageux. La relation $f(F, \theta_i)$, est dérivée d'une supposition simplifiée admettant une solution analytique de l'équation d'écoulement de Darcy et la continuité de la surface traversée par l'eau (Smith et al, 1993).

$$G = 1/K_s \int_0^{\infty} K(\Psi) d\Psi$$

Où G : la capillarité effective nette ;

K_s : la conductivité hydraulique relative du sol ;

Ψ : la matrice potentielle du sol ;

K(Ψ) : fonction de la conductivité hydraulique.

La capillarité effective nette (G), dépend des caractéristiques hydrauliques du sol. C'est un paramètre qui peut être déterminé sur terrain à l'aide d'un infiltromètre. Il peut être aussi approché lorsque l'on connaît le K_s.

Fonction de transfert

Elle est basée sur l'équation de l'onde cinématique.

RESULTATS

DECOUPAGE DU BASSIN VERSANT EN PANNEAUX HOMOGENES

Suivant le principe de la modélisation exposé, nous avons commencé par découper le bassin versant en panneaux homogènes et défini les biefs qui forment une image des chemins de l'eau. Le premier découpage est celui des unités hydrauliques. Il est obtenu à partir de la réalisation d'un modèle numérique de terrain (MNT). Un second découpage est réalisé à partir de la définition de zones aux quelles on peut associer les mêmes paramètres de production. Elles sont définies à partir du SIG qui croise les cartes d'occupation des sols et leur nature. Les zones aménagées ont été individualisées en fonction de la date des travaux.

Les biefs ont été déterminés à partir du réseau hydrographique obtenu sur les photos aériennes redressées. Nous avons aussi calculé un réseau hydrographique par le MNT, mais il a paru moins précis que celui des photos aériennes.

Réalisation d'un modèle numérique de terrain et définition des sous bassins

Nous avons choisi d'utiliser la méthode de la triangulation pour obtenir un MNT avec une grande précision. Ce modèle a été ensuite validé : on a comparé les courbes de niveaux calculées à celles de la carte topographique, les contours de bassins et les plus grands cours d'eau générés par le MNT à ceux observés sur le terrain. Cette phase de validation a servi à rectifier ce modèle en rajoutant quelques points de limite du bassin.

La figure 3a montre le MNT réalisé au pas de 20 m sur le bassin d'El Gouazine.

Réalisation du SIG

Trois cartes ont été réalisées sur le terrain puis digitalisées et géoréférencées dans le logiciel ARC VIEW :

- La carte d'occupation des sols ;
- La carte de la nature des sols ;
- La carte des aménagements de conservation des eaux et des sols (CES).

A ces trois cartes on rajoute celles obtenues par le MNT : carte des altitudes, carte des pentes, carte d'orientations des pentes, carte des contours de sous-bassins et celle du réseau hydrographique.

Définition des panneaux élémentaires de la modélisation

Le modèle numérique de terrain (MNT), l'occupation des sols, la pédologie et l'état de surface servent au découpage du bassin versant en zones homogènes (panneaux) requis par le modèle. La réflexion sur les paramètres pertinents pour réaliser ce découpage a conduit à un découpage en se basant sur les plans dérivés du MNT à savoir les contours, les pentes et leurs orientations ainsi que les directions d'écoulements (Fig. 3). Nous sommes basés aussi sur le réseau hydrographique qui a servi pour le découpage en biefs.

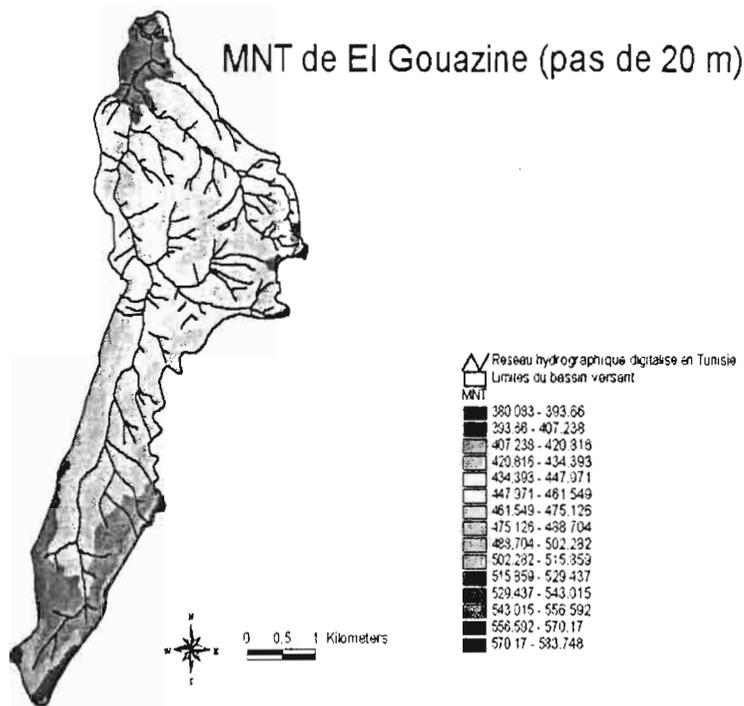


Fig.3a : modèle numérique de terrain du bassin versant

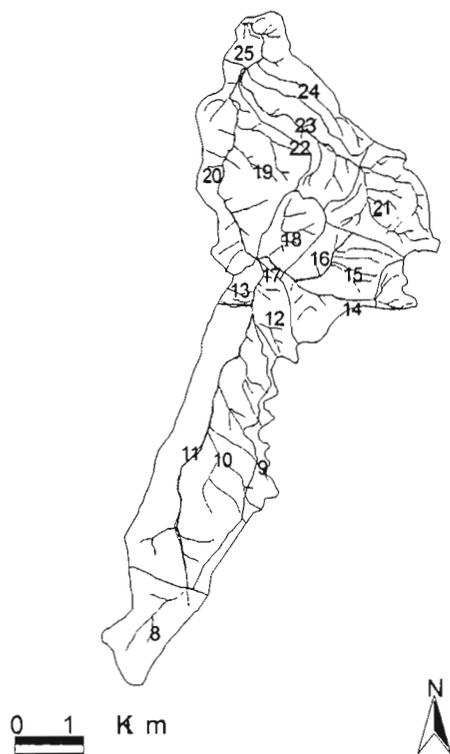


Fig.3 découpage du bassin versant en panneaux

Définition des paramètres de production

Pour chaque paramètre nous avons établi une carte qui a été croisé avec la carte du découpage en panneaux. Les valeurs des paramètres obtenus ont été pondérées par les surfaces. D'où pour chaque panneau une valeur du paramètre pondérée par la surface a été obtenue.

Détermination de valeurs acceptables pour le bassin étudié

L'interception (I)

Les hauteurs de pluies interceptées pour différents types d'occupation de sols déterminés expérimentalement aux Etats-Unis (Lawrance et Dingman, 1996).

La conductivité hydraulique à saturation (Ks)

Nous avons effectué une campagne de simulation de pluie à l'aide d'un irrigateur manuel à rampe (Roose, 1996) dans le bassin versant d'El Gouazine. Le dépouillement de ces données a permis de déterminer les valeurs de la conductivité hydraulique à saturation (Ks) pour chaque site de simulation.

Les valeurs de Ks pour El Gouazine ont été assimilées aux valeurs de Fn déterminées à l'arrosoir et calées par rapport à la simulation de pluie effectuée dans le bassin versant de Mrichet (Palmquist et Tullberg, 1997) proche de la zone d'étude (Tab. 4).

La succion au niveau du front d'humectation (G)

Les valeurs de Ks déduites de la simulation de pluie ont servi à déduire les valeurs de G (Tab. 4) à partir de la formule de Green et Ampt (1911).

Humidité antécédente aux averses

Dans la genèse des écoulements dans les régions semi-arides, l'humidité antécédente aux averses joue un rôle important. Le Ik choisi est celui de Kholer (Linsey et al, 1949).

Ik n est l'indice des précipitations antérieures de Kholer, correspondant à un indice d'humectation avec $IK_{n,j} = (IK_{n,j-1} + P_{n,j-1}) e^{-aT}$

T : est l'intervalle de temps en jours séparant les pluies journalières des jours j ($P_{n,j}$) et j-1.

a : est une constante régionale égale à 0.5 dans notre cas.

Cet indice nous donne une idée sur la saturation initiale du sol (Sat).

La porosité

Les analyses granulométriques de la porosité pour chaque type de sol ont servi de déduire les valeurs de la porosité par panneau (Tab. 4).

Analyse de sensibilité

Nous cherchons à déterminer les paramètres les plus sensibles du modèle, l'interdépendance entre ces paramètres afin de proposer un jeu de données pour un calage optimal.

Nous avons remarqué que le modèle est sensible à la répartition spatiale des pluies. Nous avons interverti l'ordre des deux pluviographes et avons vu des différences allant jusqu'à 100 % de la valeur de la lame écoulée.

Le doublement de l'interception diminue considérablement la lame écoulée ou l'annule. Le tableau 2 résume cette analyse de sensibilité. + la lame écoulée varie peu pour un doublement de la valeur du paramètre ; ++ la lame écoulée varie moyennement et +++ la lame écoulée varie fortement sur notre bassin versant.

TABEAU 2 : Analyse de sensibilité

G	Ks	Ma	I	CV	THI (panneau)	THI (bief)
++	+++	+++	++	+	+++	+++

DEFINITION DES PARAMETRES DE LA FONCTION DE TRANSFERT

Les paramètres de la fonction de transfert dans les panneaux sont directement calculés dans le MNT (Tab. 4, colonne 2 à 5).

TABLEAU 3 : Paramètres des panneaux du bassin versant d'El Gouazine

Identifiant	Longueur moyenne (m)	Largeur moyenne (m)	Pente moyenne (%)	Surface (Km ²)	Porosité	G	Ma	Ks
8	1450	833,22	6,91	1,21	43	90	0,18	54
9	210	3221,97	11,12	0,68	45	79	0,21	60
10	650	3922,71	5,90	2,55	36	96	0,20	51
11	430	5161,81	7,14	2,22	42	126	0,19	37
12	1100	488,13	6,64	0,54	42	255	0,2	19
13	410	585,89	10,38	0,24	45	86	0,18	57
14	1600	503,97	5,23	0,80	48	86	0,21	57
15	750	1048,11	6,31	0,79	43	170	0,22	40
16	325	1005,75	8,47	0,33	45	79	0,21	61
17	110	387,42	8,09	0,04	38	135	0,24	32
18	1000	652,57	10,83	0,65	45	94	0,21	53
19	850	1879,37	7,76	1,60	45	83	0,19	59
20	320	3674,65	8,45	1,18	34	114	0,19	45
21	1200	1330,44	9,67	1,60	45	76	0,20	62
22	425	1695,80	8,73	0,72	41	142	0,19	47
23	210	2295,35	8,03	0,48	46	73	0,18	64
24	1950	538,07	8,96	1,05	41	114	0,21	43
25	370	632,51	4,72	0,23	44	73	0,18	63

Dans les biefs, les paramètres longueur et pentes sont donnés par le MNT, la largeur est une largeur moyenne mesurée sur le terrain, l'infiltrabilité dans le bief et la rugosité sont données par des abaques en fonction de la nature lithologique et l'encombrement des lits de l'oued (LAWRANCE, 1994) (tab. 4).

TABLEAU 4 : paramètres morphologiques des biefs du bassin versant d'El Gouazine

Identifiant	Longueur (m)	Identifiant des panneaux et des biefs amont	Identifiant des panneaux latéraux	Pente moyenne (%)	Profondeur (m)	Largeur (m)	Rugosité
107	1051,6	105,106	24,25	4,05	1,50	2,50	0,04
106	2477,2	21	22,23	5,91	1,00	3,00	0,04
105	3226,8	102,104	19,20	4,20	2,00	3,00	0,04
104	504	14,103	17,18	5,53	1,00	2,00	0,04
103	1360	14	15,16	5,33	1,00	2,00	0,04
102	762	101	12,13	5,52	1,00	2,00	0,04
101	4482,6	8	10,11	4,68	1,00	2,00	0,04

CALAGE DU MODELE

Huit crues ont été sélectionnées pour caler le modèle. L'échantillon initial de 14 crues a été divisé en deux lots : 2 crues fortes et 12 crues moyennes ou faibles. Une procédure de tirage au hasard a été réalisée pour choisir 1 crue parmi les fortes et sept crues parmi les moyennes ou faibles sans considérer ni la date ni la saison. Nous avons joué sur les valeurs des paramètres les plus sensibles pour optimiser ce calage en prenant comme critère d'optimisation la valeur la plus proche de 1 pour le critère de Nash qui permet de minimiser les écarts entre les valeurs observées et simulées (Nash et Sutcliffe, 1970).

Le modèle permet de faire varier les valeurs d'un paramètre dans tous les panneaux ou tous les biefs dans une même proportion.

Le scénario retenu donne des coefficients de Nash suivant pour les trois principaux paramètres de crue : la lame écoulée (0.98), temps de réponse (0.94) ; et débit de pointe (0.98) (Fig. 4, 5 et 6). Il a été obtenu en divisant G par 10 et Ks par 15 dans tous les panneaux et en fixant les valeurs suivantes : Ks dans les biefs à 100 mm/h, CV (coefficient de variation du Ks à l'intérieur d'un même panneau) à 0.1, l'indice de saturation des sols avant la pluie à 0.4 quel que soit l'événement antécédent.

En dépit d'un coefficient de Nash de 0.94 le temps de réponse reste un phénomène très difficile à contrôler en effet les simulations ou le temps de réponse ne coïncide pas avec celui mesuré correspondant à :

- Des crues à plusieurs pics : 13/9/95 et 22/09/95 ;
- Des données où il y a une réaction brutale du bassin versant (5 min.) : crue du 9/6/95 qui ne semble pas être très bien expliquée par les données pluviométriques surtout que le bassin versant est très allongé ;
- Des intensités de pluie et des débits maximums de crues observés très faibles : crue 15/03/96.

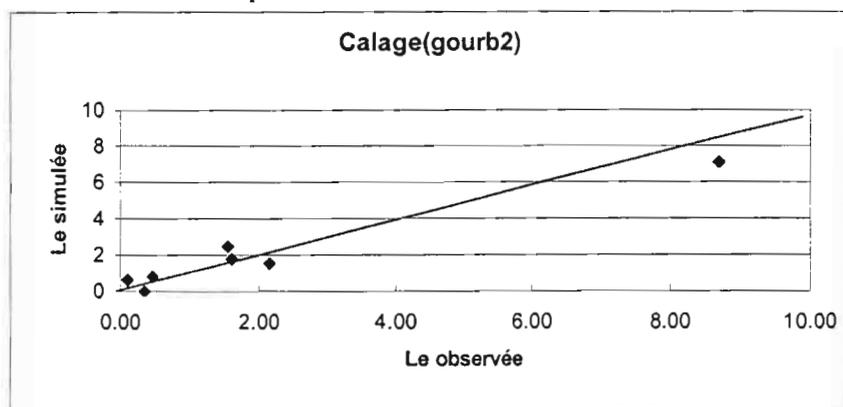


Fig.4: Variation de la lame écoulée calculée en fonction de celle observée (mm)

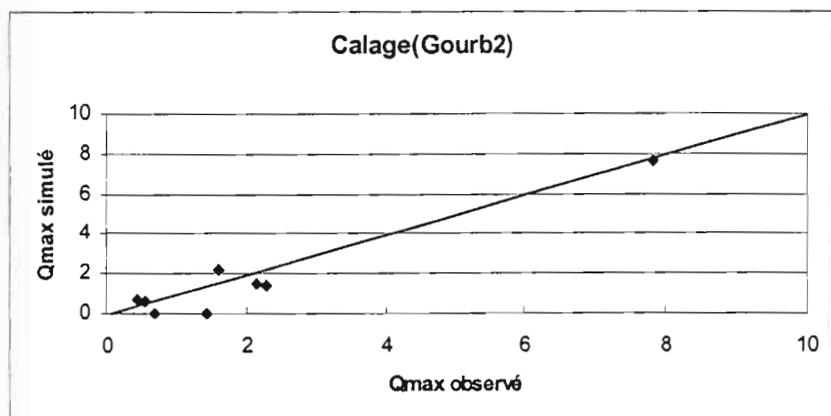


Fig.5: Variation du débit de pointe calculé en fonction de celui observé (m³/s)

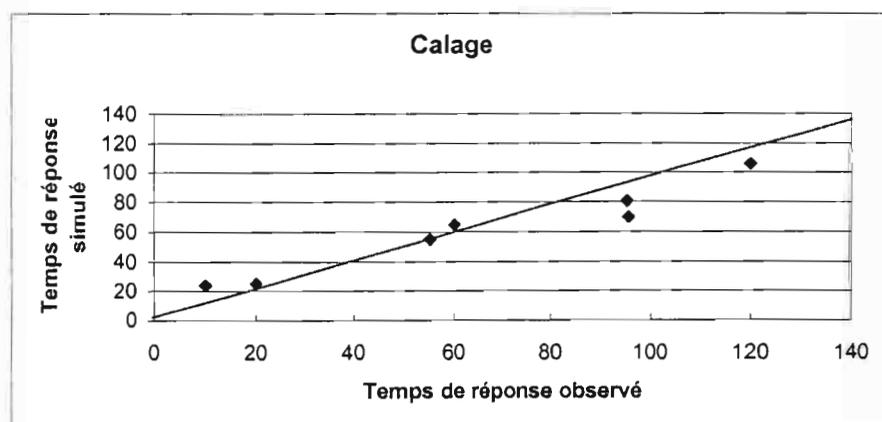


Fig.6: Variation du temps de réponse simulé en fonction de celui observé (min.)

VALIDATION DU MODELE

Les 6 crues non considérées lors du calage ont été utilisées pour la validation. Le jeu de paramètres établi dans la phase de calage est utilisé pour faire tourner le modèle sur ces six crues. Les coefficients de Nash se sont légèrement détériorés mais restent acceptables : ils sont respectivement pour la lame écoulée de 0.7, pour le débit de pointe de 0.91 et pour le temps de réponse de 0.82. Les graphiques 7, 8 et 9 montrent pour les simulations de lame écoulée, le temps de réponse et le débit maximum de crues, les différences entre valeurs observées et valeurs calculées.

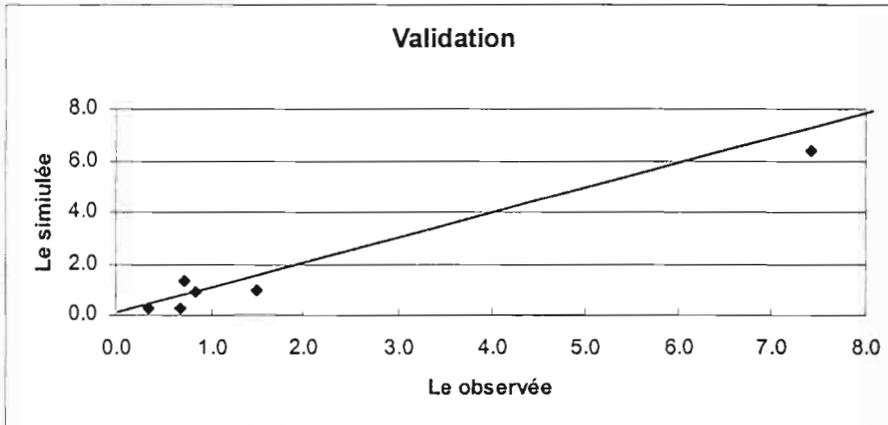


Fig.7: Variation de la lame écoulée calculée en fonction de celle observée (mm)

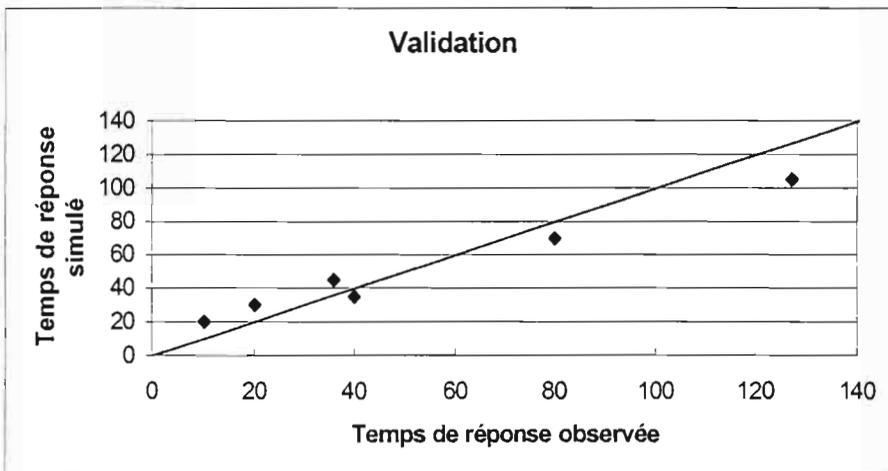


Fig.8: Variation du temps de réponse simulé en fonction de celui observé (min.)

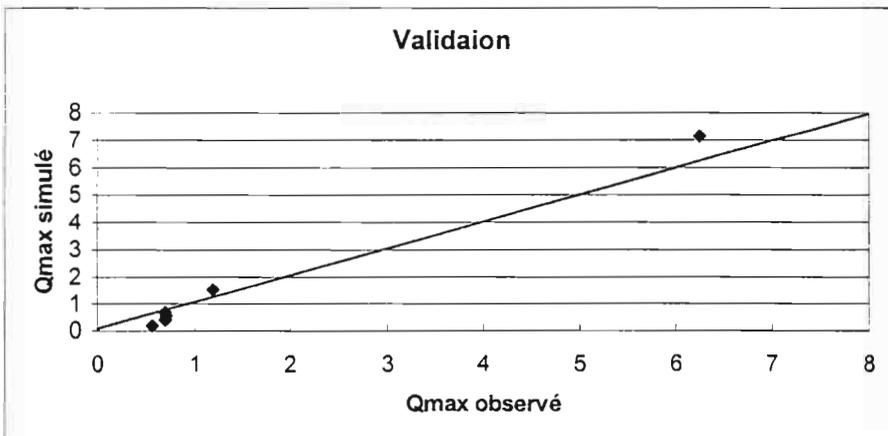


Fig.9: Variation du débit de pointe calculé en fonction de celui observé (m³/s)

DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans la phase de calage l'essai de tenir compte d'une saturation initiale à partir de l'indice de Kohler pour chaque averse n'a pas donné de bons résultats. Une valeur unique faible a été préférée. Des améliorations du calage peuvent se faire en modifiant par essais successifs cette valeur pour chaque crue en fonction des pluies antécédentes mais nous n'avons pas trouvé de relation significative entre l'indice de Kohler et la valeur à attribuer.

Utiliser un paramètre interception par la végétation n'a pas amélioré le calage. Les abaques proposés pour définir ce paramètre ne conviennent pas en Tunisie semi-aride. A titre d'exemple le bassin versant présente des forêts denses, moyennement denses et claires. Les abaques donnent une seule valeur de 15 mm l'interception pour les forêts. Cette valeur annule de nombreux écoulements dans le bassin. Les cultures annuelles non pérennes n'interceptent pas les pluies de la même façon tout le long de l'année. Les abaques n'en tiennent pas compte.

Les différences entre les débits maximums de crues observées et simulées s'expliquent par la réponse variable du bassin dépendant de la répartition spatiale des pluies. Les réponses brutales sont générées par des pluies fortes près du lac, les réponses lentes sont générées par des pluies qui ont lieu sur la partie la plus en amont du bassin versant.

Il est à signaler que, malgré le coefficient de Nash plausible, les hydrogrammes observés et simulés présentent quelques décalages. Nous expliquons ceci par :

- Le manque des données sur l'hétérogénéité spatiale des pluies pour lequel le modèle est sensible ; deux autres pluviographes ont été installés en 1998 sur le bassin. Leurs observations devraient améliorer les résultats ;
- Les paramètres réels ne peuvent tous être pris en compte. Il reste certains processus inconnus qui ne permettent pas une simulation coïncidant avec la réalité. La simulation de pluie donne un ordre de grandeur des valeurs de la conductivité hydraulique à saturation ce qui s'est traduit par une division des valeurs par 15 lors du calage, des simplifications ont été faites lors de la détermination de l'humidité au niveau du front d'humectation. Le coefficient de Manning a été déduit d'un abaque (Lawrance et Dingman, 1994).

Cette première tentative d'utilisation du modèle KINEROS2 à un bassin versant du semi-aride Tunisien en utilisant un même jeu de données pour 14 crues permet de montrer que ce modèle peut s'appliquer aux bassins ruraux.

La sélection des crues et la grande sensibilité du modèle à l'inversion des pluviographes montrent que les modèles spatialisés requièrent une bonne connaissance de la variabilité spatiale de l'entrée. Hors s'il est facile de construire un SIG à partir des données invariables dans le temps comme la pédologie ou faiblement variables comme l'occupation des sols il est beaucoup plus difficile d'entretenir un réseau d'observations fiables de la pluviographie.

Avec l'apparition des modèles spatialisés et des SIG un effort important a été réalisé sur la cartographie des caractéristiques physiques des bassins versants, mais sans générer le même effort sur l'observation hydropluviométrique.

BIBLIOGRAPHIE

- ABOTT M B et REFSGAARD., 1996. Distributed hydrologic modeling. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- ALBERGEL J, MANSOURI T, PEPIN Y et SEGUIS L., 1999. Reconstitution des crues des lacs collinaires de la Tunisie centrale et du Cap-Bon. Journal d'hydrologie de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis.
- ALBERGEL J. & REJEB N., 1997. Les lacs collinaires en Tunisie : Enjeux, contraintes et perspectives. Comptes rendus à l'Académie d'Agriculture de France. Vol 83 n°2 (1997) 77(2)-88(2) et 101(2)-104(2).
- GREEN W H and AMPT, G A., 1911. Studies on soil physics : 1. Flow of air and water through soils. J. Agric. Sci., 4 : 1-24.
- DCES /IRD., 1996 à 2000. Annuaire hydrologiques des lacs collinaires de la Tunisie.
- JAOUED M., 1996. Modélisation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Mkhachbia. Mémoire de DEA. Université de Tunis II. 100 p + annexes.
- LAJILI L., 1998. L'érosion hydrique en zone semi-aride tunisienne : modélisation, estimation des paramètres et application à l'aménagement anti-érosif. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Univ. de Gand.
- LAWRANCE and DINGMAN S., 1994. Physical hydrology. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Jersey 07632.
- LINSEY R K, KOHLER M A and PAULUS J L., 1949. Applied hydrology, 414-418. Mac Graw Hill, New York (USA).

- MOUSSA R, LAGACHERIE P, VOLTZ M, ANDRIEUX P and BOUZIGES R., 1998. Hydrological modelling of a farmed Mediterranean catchment. Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, 20-26 august 1998, symposium 3.
- MUSY CH., 1998. Hydrologie appliquée. Office Fédéral de l'Éducation et de la Science/suisse (N° 96.01). Editions H*G*A, Bucarest.
- NASH J E, and SUTCLIFFE J E., 1970. River flow forecasting through conceptual models, part 1 – A discussion of principales. *J. Hydrol.*, 10(3) : 282-290.
- PALMQUIST O and TULLBERG O., 1997. An experimental study of pollutant transport and erosion susceptibility in Tunisia. A study with rainfall simulation and dye in the M'Richet El Anze catchment. Master of Science thesis, Minor Field Study. Lund, (Swedish).
- ROOSE E., 1996. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés de montagne. Bulletin 16, réseau érosion, états de surface du sol et risques de ruissellement et d'érosion. ORSTOM.
- SMITH R E, CORRADINI C and MELONE F., 1993. Modeling infiltration for multistorm runoff events. *Water resources research* 29(1) :133-144.
- WOOLHISER D A, SMITH D R E and GOOLDRICH D C., 1989. KINEROS : A Kinematic Runoff and Erosion Model. Documentation and user manuel. USDA, ARS. 92p + annexes.