

# Analyse des facteurs d'évolution des caractéristiques de ruissellement à l'échelle d'une parcelle cultivée sur sols argileux vertiques au nord du Cap Bon (Tunisie)

A. EL KHALILI<sup>1</sup>, J. M. LAMACHERE<sup>2</sup> & H. HABAIEB<sup>3</sup>

(Reçu le 09/01/2012; Accepté le 15/03/2012)

## Résumé

L'analyse hydrologique à l'exutoire d'une parcelle cultivée, sur sols argileux vertiques développés, a montré que le ruissellement et le transport solide dépendent principalement du calendrier cultural et des dates choisies pour les labours et pour les semis ainsi que du développement du couvert végétal. Sur les sols limono-argileux peu épais de la parcelle agronomique, le ruissellement dépend principalement du cumul des pluies depuis la dernière opération culturale (labour ou semis) ou depuis le début de la saison des pluies. Il dépend secondairement de l'humidité du sol, plus particulièrement lorsque les averses se suivent à des intervalles de temps de quelques heures. La charge solide moyenne des crues de la parcelle dépend du débit maximum des crues mais l'encroûtement de la surface du sol et le développement de la végétation réduisent progressivement l'érosion de la parcelle. L'érosion devient extrêmement faible dès que le taux de recouvrement végétal excède 50%.

**Mots-clés :** ruissellement, érosion, parcelle cultivée, sols vertiques, ravine, Tunisie, Cap Bon

## INTRODUCTION

Les régions méditerranéennes sont sujettes à de longues périodes de sécheresse estivale, suivies par de violents orages automnaux qui tombent sur des pentes fortes et des sols fragiles (Van Rompaey et al., 2003). Il en résulte une forte érosion hydrique, due à l'énergie du ruissellement, qui croît avec le volume ruisselé et la vitesse d'écoulement, et à la faible résistance du sol à l'incision qui dépend du type de sol, de la protection de la surface du sol par la couverture végétale, de l'encroûtement et de la compaction du sol. Sur les sols cultivés des zones tempérées et sur la plupart des sols des régions méditerranéennes semi-arides, le volume ruisselé dépend surtout de l'intensité des pluies, de la capacité du sol à l'infiltration et de la surface de l'impluvium, ou du bassin versant drainé par le même chenal (Vandekerckhove et al., 1998). Or, la vitesse de l'écoulement dépend de la hauteur de la lame ruisselée, de la pente et de la rugosité hydraulique. La rugosité du terrain, créée par la végétation, la litière, les cailloux, les mottes de labours ou de buttage, les micro-barrages perméables ou les aménagements antiérosifs, peut cependant réduire considérablement la vitesse du ruissellement et donc sa capacité de transport.

L'objectif de cet article est de caractériser les fonctionnements hydrologique et érosif de la parcelle cultivée en tenant compte du type de culture et de son calendrier cultural. Pour chaque période caractérisant l'évolution des états de surface de la parcelle, nous déterminons les différentes variables explicatives du ruissellement et de l'érosion.

La première partie de cet article est consacrée à l'exposé des méthodes utilisées afin de quantifier la production sédimentaire de la parcelle et de caractériser ses fonctionnements hydrologique et érosif. La deuxième partie présente les résultats obtenus quant à la variabilité du ruissellement et de la production sédimentaire de la parcelle.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### Site d'étude

La parcelle cultivée, objet de cette étude, est localisée sur le petit bassin versant de Kamech, au nord du Cap Bon. Le climat de la région est méditerranéen subhumide, avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 14°C et une pluie moyenne annuelle de 650 mm sur la période 1994-2007. La saison pluvieuse s'étend d'octobre à février et la saison sèche de juin à août. Notre site d'étude est une parcelle cultivée, d'une superficie de 1,18 ha, située en rive droite du bassin versant de Kamech, dans la partie médiane du bassin, en amont du versant, sur une pente de 7%. Les sols sont peu épais, limono-argileux vertiques sur marnes.

En aval de la parcelle expérimentale, la station hydrologique a été conçue de manière à mesurer les débits ruisselés et le transport solide sur toute la gamme des débits projetés (0 à 225 l/s). Elle se compose, de l'amont vers l'aval, de (Hamdi et al., 2008):

- 2 canaux collecteurs qui permettent de récupérer le ruissellement sur toute la largeur de la parcelle;

<sup>1</sup> INAT Tunis, emira2111@gmail.com

<sup>2</sup> IRD Rabat, jean-marie.lamachere@ird.fr

<sup>3</sup> INAT Tunis, hbaieb.hamadi@inat.agrinet.tn

- une fosse à sédiments circulaire (4,4 m<sup>3</sup>) équipée d'un trop-plein cylindrique qui permet d'évacuer les débits supérieurs à 100 l/s;
- un canal Venturi qui mesure, avec une bonne précision, les débits compris entre 5 et 100 l/s;
- un canal en béton recueillant les eaux du canal Venturi et du trop-plein cylindrique, équipé d'un déversoir triangulaire pour la mesure des faibles débits (0-30 l/s) et surmonté d'un déversoir rectangulaire pour la mesure des forts débits (30-225 l/s).

La station est équipée aussi de:

- 3 échelles limnimétriques; la première est située à 2 mètres en amont du déversoir aval (échelle H<sub>1</sub>), il est constituée d'un élément d'échelle 0-1 m; la seconde (échelle H<sub>2</sub>) est intégrée dans le canal venturi et va de -50 mm à 365 mm, le zéro correspondant au niveau du seuil du venturi. La troisième (échelle H<sub>3</sub>), constituée d'un élément d'échelle 2-4 m, est située dans la fosse à sédiments.
- 3 nilomètres, un nilomètre est associé à chaque échelle et se situe donc à proximité de celle-ci.
- 1 préleveur automatique, de type SIGMA 900A, dont la crépine est placée en amont de la fosse à sédiments.

## Analyse des résultats

Pour chacune des périodes caractérisant l'état de surface de la parcelle cultivée (avant les labours, entre labours et semis, après les semis pour un couvert végétal inférieur à 50% puis supérieur à 50%), nous avons cherché a priori des relations linéaires entre la lame ruisselée (Lr) à l'échelle de la parcelle et la pluie (P), relation de la forme:

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

où le paramètre P<sub>0</sub> représente la capacité de rétention globale de la parcelle, quantité de pluie nécessaire au déclenchement du ruissellement et où le paramètre A représente l'accroissement de la lame ruisselée avec l'accroissement de la pluie.

Nous avons ensuite cherché à relier les paramètres P<sub>0</sub> et A aux variables susceptibles d'expliquer leurs variations : la somme des pluies cumulées (Pcum) depuis le début de la période (le début de la saison des pluies, les labours ou les semis) et l'indice des pluies antérieures (IK) que l'on peut assimiler à un indice d'humectation des sols.

L'indice des pluies antérieures peut être caractérisé par un indice de type Kohler (Linsley et al., 1949) calculé selon l'expression:

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha T}$$

où IK<sub>n</sub> est la valeur de l'indice avant l'averse n, P<sub>n-1</sub> est la hauteur de l'averse de rang n-1, exprimée en mm, T est la durée en jours et fractions décimales de jours entre deux pluies successives de rang n-1 et n, α est un coefficient d'ajustement exprimé en jours<sup>-1</sup> qui dépend des facteurs climatiques et pédologiques.

Pour déterminer la relation entre P<sub>0</sub> et l'indice d'antériorité des pluies IK (ou la pluie cumulée Pcum), nous nous sommes intéressés à la fois aux événements pluvieux n'ayant pas produit de ruissellement à l'échelle de la parcelle et aux

événements pluvieux ayant produit un faible ruissellement. En distinguant les événements qui ruissellent de ceux qui ne ruissellent pas, on trace une courbe limite entre ces deux types d'événements. Cette courbe limite définit la pluie limite du ruissellement P<sub>0</sub> en fonction de l'indice d'antériorité des pluies (IK) ou de la pluie cumulée (Pcum). Nous avons supposé que la décroissance de P<sub>0</sub> en fonction de l'indice d'antériorité des pluies IK ou de la pluie cumulée Pcum est exponentielle et que P<sub>0</sub> prend les formes mathématiques suivantes (Casenave, 1982; Albergel 1988; Hermessi, 2010):

$$P_0 = \gamma \cdot e^{-\beta IK} \quad \text{ou} \quad P_0 = \gamma \cdot e^{-\beta Pcum}$$

où γ est la pluie limite du ruissellement, exprimée en mm, en début de saison des pluies (IK = 0 ou Pcum = 0), β est le coefficient de décroissance exponentielle exprimé en mm<sup>-1</sup>.

Pour la prise en compte de l'intensité des pluies dans les relations entre la pluie et la lame ruisselée à l'échelle de l'averse, nous avons défini une valeur 'seuil' appelée intensité maximale de la pluie limite du ruissellement (IL). Pour déterminer la relation entre IL et l'indice d'antériorité des pluies IK (ou la pluie cumulée Pcum), nous nous sommes intéressés à la fois aux averses n'ayant pas produit de ruissellement à l'échelle de la parcelle et aux averses ayant produit un faible ruissellement en supposant que l'intensité maximale de la pluie limite du ruissellement suit une relation du type (Hermessi, 2010):

$$IL = IL_0 \cdot e^{-\delta IK} \quad \text{ou} \quad IL = IL_0 \cdot e^{-\delta Pcum}$$

où IL est l'intensité maximale de la pluie limite de ruissellement en mm/h, IL<sub>0</sub> l'intensité maximale de la pluie limite du ruissellement exprimée en mm/h pour un sol sec (IK = 0 ou Pcum=0), δ est un coefficient de décroissance exponentielle de IL en fonction de IK ou de Pcum.

En ce qui concerne les concentrations moyennes en matières solides des crues à l'exutoire de la parcelle, nous avons cherché à définir, pour chacune des périodes caractérisant l'état de surface de la parcelle cultivée, des relations du type (Ghgenim et al., 2011):

$$C = \mu Q_{max} + C_0$$

$$C = \eta (Vr/10)^\sigma + \tau_0$$

Où C est la concentration moyenne en g/l, μ un coefficient de croissance de la concentration en fonction du débit maximal de la crue, Q<sub>max</sub> le débit maximal de la crue exprimé en l/s, C<sub>0</sub> la concentration moyenne en g/l pour un faible débit maximal, η un coefficient de croissance de la concentration moyenne en fonction du volume ruisselé, Vr le volume ruisselé le crue exprimé en m<sup>3</sup>, σ un facteur puissance compris entre 1 et 2 exprimant la plus ou moins forte croissance de la concentration en fonction du volume ruisselé et τ<sub>0</sub> la valeur initiale de la concentration quand le volume ruisselé est faible. Ces relations entre les concentrations en matières solides et les débits liquides ont pu être établies pour chaque crue ayant fait l'objet d'un échantillonnage des eaux turbides à la montée et à la descente des niveaux d'eau.

Pour l'analyse des fonctionnements hydrologiques et érosifs de la parcelle, nous avons défini 4 périodes:

- Une première période allant du 1 septembre à la date des labours,
- Une seconde période comprise entre les labours et les semis,

- Une troisième période après les semis avec un taux de recouvrement végétal inférieur à 50%,
- Une quatrième période lorsque le taux de recouvrement végétal est supérieur à 50%.

L'analyse hydrologique s'effectuera sur la base d'une prise en compte des évolutions de l'humidité des sols et des états de surface. L'évolution de l'humidité sera prise en compte par l'utilisation d'un indice des pluies antérieures et l'évolution de l'état de surface par l'utilisation du cumul des pluies antérieures comptabilisé successivement à partir du début de la saison des pluies, de la date des labours, de la date des semis et de la date de sarclage.

L'analyse hydrologique s'effectuera sur la base d'une série de données enregistrées au cours des années 2003-2009. Pour l'étude des conditions du ruissellement à la parcelle agronomique nous avons utilisé les données de 505 averses dont la hauteur de pluie est supérieure à 2 mm et 155 crues enregistrés à l'exutoire de la parcelle agronomique. Pour la détermination des relations entre les concentrations moyennes en matières solide en fonction des débits maximaux nous avons distingué 30 crues dont les concentrations en matière solide sont disponibles.

**RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

La figure 1 montre qu'il est possible de définir des courbes à décroissance exponentielle séparant les averses qui ruissellent des averses qui ne ruissellent pas. On remarque cependant l'existence de plusieurs averses qui ruissellent sous une première courbe d'ajustement. L'examen des conditions d'occurrence de ces événements qui ruissellent et se situent au-dessous de ces courbes limites correspondent à des averses précédées par d'autres averses dans un intervalle de temps inférieur à la journée. Pour ces averses survenant dans des conditions de forte humectation de la surface du sol, il est possible de définir la pluie limite de ruissellement comme la différence entre la valeur de la pluie limite de ruissellement de la première averse et la hauteur de pluie observée au cours de cette première averse. Il est aussi possible de définir une seconde courbe enveloppe aux valeurs les plus faibles de l'intensité maximale de pluie limite du ruissellement.

La figure 2 montre que la réponse de la parcelle cultivée peut varier fortement et rapidement après les semis de céréales. Juste après un semis, la parcelle cultivée ruisselle très peu mais les averses successives modifient plus ou moins rapidement l'état de surface du sol, de telle sorte que le coefficient de croissance de la lame ruisselée est égal à 0,23 après environ 90 mm de pluies cumulées, à 0,62 après un cumul d'environ 120 mm et atteint la valeur maximale de 0,9 pour un cumul d'environ 150 mm après

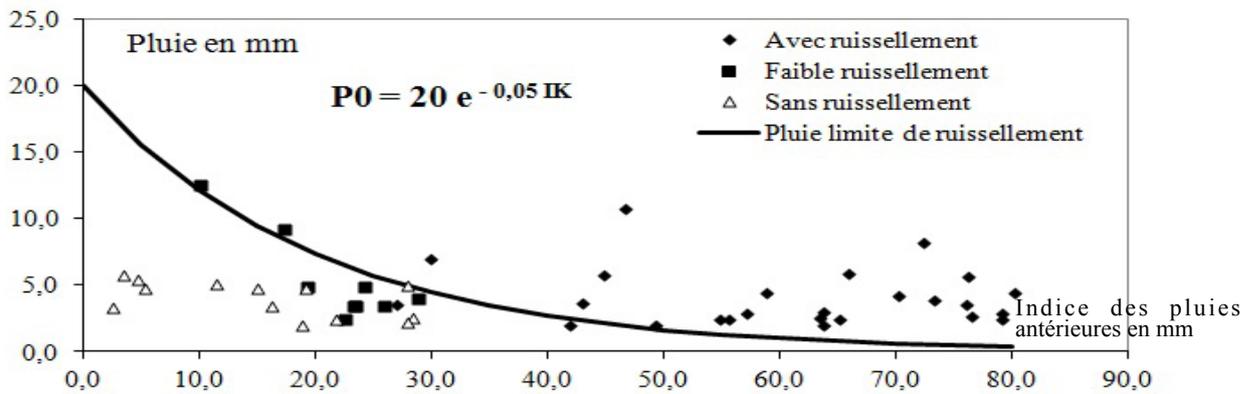


Fig.1. Définition de la pluie limite du ruissellement (P0) après un semis de céréales en fonction de l'indice des pluies antérieures (IK)

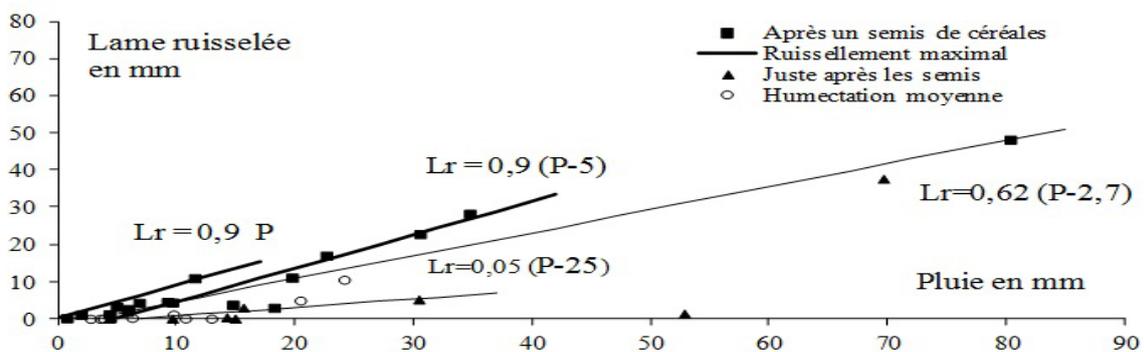


Fig. 2. Relations entre la lame ruisselée observée à l'exutoire de la parcelle agronomique et la hauteur pluviométrique après les semis de céréales pour un taux de recouvrement végétal inférieur à 50 %

les semis. Il est ainsi possible de relier le coefficient de croissance de la lame ruisselée avec le cumul des pluies tombées après les semis de céréales en définissant des seuils de pluies cumulées caractérisant des types de croissance de la lame ruisselée.

Nous avons étendu cette analyse hydrologique du comportement des sols cultivés au ruissellement et à l'infiltration à toutes les périodes d'une saison agricole caractérisant l'évolution des états de surface des sols cultivés : avant les labours, après les labours, après les semis de céréales, de fèves et de pois chiches pour un taux de recouvrement végétal des cultures inférieur à 50% et pour un taux de recouvrement végétal supérieur à 50%. Les résultats de cette analyse sont reportés sur le tableau 1 où figurent également les relations entre la concentration moyenne en matériaux solides des crues et les débits maximaux observés reportées sur la figure 3.

La figure 3, montre que les concentrations moyennes en matériaux solides des crues de la parcelle agronomique croissent avec les débits maximums, le coefficient de croissance étant égal à 0,33 g.s/l<sup>2</sup> pour la plupart des crues, sauf pour 6 crues pour lesquelles le coefficient de croissance peut être estimé à 0,17 g.s/l<sup>2</sup>. Ces crues à faible croissance de la concentration moyenne en matériaux solides correspondent à des événements survenus en fin de saison des pluies, lorsque le couvert végétal est bien

développé, ou à des crues pour lesquelles le cumul des pluies après semis est supérieur à 200 mm. Les valeurs les plus élevées de la concentration moyenne en matériaux solides sont observées pour de fortes averses après les semis et les valeurs les plus faibles pour des événements survenus en fin de saison des pluies lorsque le taux de recouvrement végétal est supérieur à 50 % ou quand le cumul des pluies après les semis dépasse une valeur seuil de 200 mm. La droite des valeurs minimales de la concentration moyenne en matériaux solides est caractérisée par une valeur à l'origine de 0,4 g/l et une pente de 0,17 g.s/l<sup>2</sup>. La droite des valeurs maximales de la concentration moyenne en matériaux solides est caractérisée par une valeur à l'origine de 6,5 g/l et une pente de 0,33 g.s/l<sup>2</sup>.

La figure 4 montre, que les concentrations moyennes en matériaux solides des crues de la parcelle agronomique ont tendance à croître avec les volumes ruisselés de manière plus ou moins forte en fonction de la date d'occurrence de la crue et de leur ordre chronologique. Les crues de fin de saison (mars et avril) ont des concentrations moyennes en matériaux solides nettement plus faibles que les autres crues, ce qui peut s'expliquer par le développement de la couverture végétale cultivée. Lorsque des crues se suivent dans un intervalle de temps assez rapproché, les premières crues ont des concentrations moyennes en matériaux solides plus fortes que les suivantes. Il est cependant

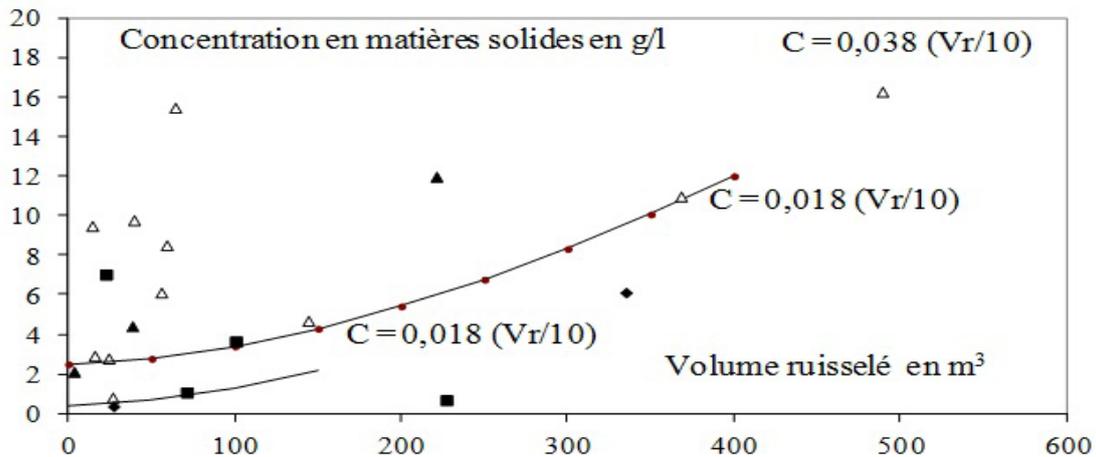


Fig. 3. Variations de la concentration moyenne en matières solides en fonction du débit maximal des crues

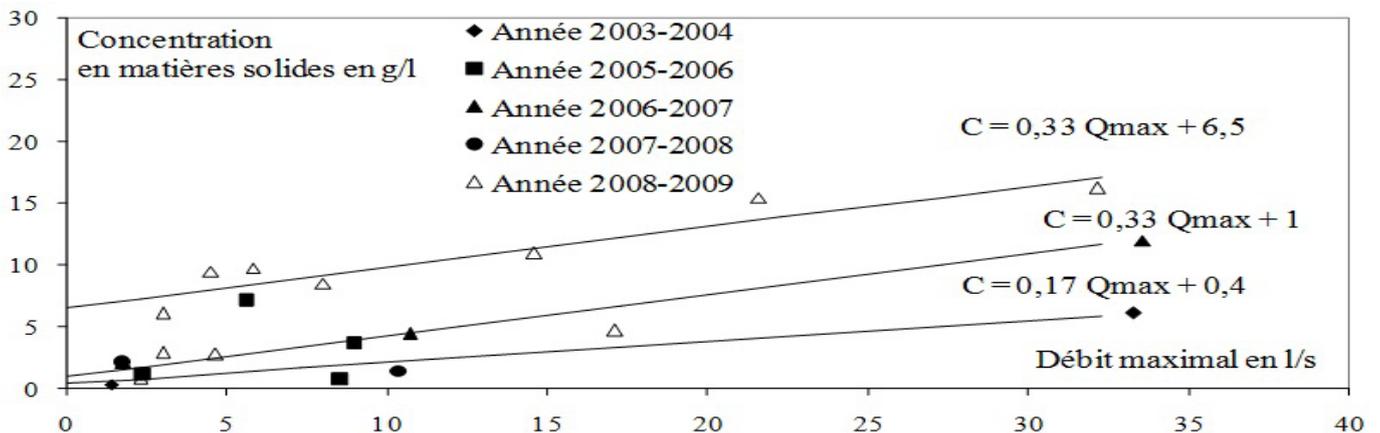


Fig. 4. Relations entre la concentration moyenne en matières solides et le volume ruisselé

**Tableau 1. Relations entre les variables explicatives du ruissellement et du transport solide et les variables décrivant les états de surfaces (indice d'antériorité des pluies IK et pluie cumulée Pcum)**

Période culturale	Couvert végétal	Conditions	P = P0 e <sup>-γIK</sup>		IL=IL0 e <sup>-δIK</sup>		A	C= μ Qmax +C0		C= η(Vr/10) <sup>σ</sup> +τ0				
			P0	γ	IL0	δ		μ	C0	η	σ	τ0		
Avant les labours	inférieur à 50 %	Pcum > 60	26	0,04	45	0,009	0	0,33	6,5	0,038	1,4	8		
		Pcum < 60					0,0016 (Pcum-60)							
Après les labours	inférieur à 5 %	Pcum < 100	20	0,012	65	0,03	0,0003 Pcum	0,33	6,5	0,038	1,4	8		
		Pcum > 100			16	0,02	0,005 Pcum							
Après les semis de céréales ou de fèves	inférieur à 5 %	Pcum < 80	20	0,05	20	0,042	0,05	0,33	6,5	0,038	1,4	8		
		80 < Pcum < 150			10	0,040	0,0126 (Pcum-80) +0,05							
					20	0,042	0,040						0,33	6,5
inférieur à 25 %	10	0,040	0,0126 (Pcum-80) +0,05	0,33	6,5	0,038	1,4	8						
inférieur à 50 %	Pcum > 150	20	0,042	0,040	0,9	0,33	1,0	0,018	1,7	2,5				
Après les semis de pois chiches	inférieur à 50 %	Pcum < 80	8	0,04	20	0,042	0,05	0,33	6,5	0,038	1,4	8		
		80 < Pcum < 150					6						0,04	0,0126 (Pcum-80) +0,05
							Pcum > 150						0,9	0,33
Après les semis de céréales ou de fèves	supérieur à 50 %	IK < 15	36	0,05	32	0,03	0,2	0,17	0,4	0,018	1,7	0,4		
		15 < IK < 60					20						0,05	0,129 IK
		IK > 60					0,8						0,17	0,4

N.B. : les valeurs en italiques gras correspondent à des relations qui font intervenir la pluie cumulée (Pcum) depuis le début de la période. Les autres relations font intervenir l'indice d'antériorité des pluies (IK).

difficile, avec les résultats actuellement disponibles, d'en tirer des renseignements plus précis sur la réduction des concentrations moyennes en fonction des cumuls pluviométriques ou du cumul des lames ruisselées.

Le tableau 1 présente les résultats obtenus pour chacune des périodes considérées et correspondant à l'évolution des états de surface de la parcelle cultivée.

On constate que les coefficients de corrélation sont acceptables et que la concentration en matières en suspension croît suivant la forme  $C=a.Q_1^b$ .

## CONCLUSION

Sur sols argileux vertiques développés sur marnes, l'analyse des fonctionnements hydrologique et érosif d'une parcelle cultivée en céréales et en légumineuses du bassin versant de Kamech au nord du Cap Bon a montré qu'il était nécessaire de distinguer quatre périodes successives caractérisant l'état de surface des sols de la parcelle : une première période précédant les labours, une seconde période entre les labours et les semis, une troisième période après les semis jusqu'à ce que le couvert végétal atteigne

le taux de recouvrement de 50 % et une quatrième période lorsque le couvert végétal cultivé dépasse un taux de recouvrement de 50 %.

En début de saison des pluies sur un sol sec, l'intensité des pluies doit dépasser 45 mm/h pour engendrer un ruissellement et la hauteur de l'averse 26 mm; après un labour ces valeurs sont égales respectivement à 65 mm/h et 20 mm; après les semis de céréales ou de fèves, elles sont égales à 20 mm/h et à 20 mm. L'humectation des sols ou le cumul des pluies fait décroître assez rapidement ces valeurs seuils selon des relations exponentielles. Le cumul des pluies après une opération culturale (labour ou semis) joue également un rôle très important sur le coefficient de croissance de la lame ruisselée en fonction de la pluie susceptible de ruisseler que l'on peut définir comme la différence entre la hauteur de l'averse et la pluie limite du ruissellement. La valeur maximale de ce coefficient atteint la valeur maximale de 0,9 pour un cumul pluviométrique supérieur à 150 mm après les semis et lorsque les averses sont très rapprochées. Lorsque deux averses assez fortes se suivent dans un intervalle de temps inférieur à la journée, on observe une nette réduction de l'intensité de pluie

limite du ruissellement pour la seconde averse dont la valeur se trouve réduite de moitié par rapport à la valeur de la première averse. Cette réduction de la capacité d'infiltration des sols est liée à l'humectation superficielle engendrée par la première averse. On observe également une réduction de la valeur de la pluie limite de ruissellement d'une valeur égale à la hauteur de la première averse.

Dès qu'il dépasse 50%, le taux de recouvrement végétal semble jouer un rôle important sur le stockage superficiel et sur l'infiltration des sols argileux vertiques de la parcelle : la valeur initiale de la pluie limite de ruissellement passe de 20 à 36 mm et la valeur initiale de l'intensité de pluie limite de ruissellement passe de 20 à 32 mm/h.

En ce qui concerne la concentration moyenne en matières solides des volumes ruisselés, celle-ci apparaît être en relation linéaire avec le débit maximum ruisselé à l'exutoire de la parcelle, la valeur minimale de la concentration étant de 6,5 g/l en début de saison. Au-delà d'un cumul des pluies égal à 150 mm après les semis, la valeur minimale de la concentration moyenne en matières solides n'est plus que de 2,5 g/l et cette valeur minimale est égale à 0,4 g/l dès que le couvert végétal cultivé dépasse le taux de recouvrement de 50 %. Des relations analogues ont été trouvées entre les concentrations moyennes en matières solides et les volumes ruisselés.

Ces résultats ont été utilisés pour modéliser le ruissellement et l'érosion à l'échelle de la parcelle cultivée sur le bassin versant de Kamech. Ils ont été également utilisés avec succès pour modéliser le ruissellement et l'érosion à l'échelle d'un petit bassin versant marocain du Rif Occidental.

Il est certain que la durée du jeu de données actuellement disponible est insuffisante pour réellement évaluer la performance du modèle conceptuel présenté dans cet article. Il offre néanmoins des perspectives intéressantes et son potentiel mériterait d'être confirmé par l'exploitation de données supplémentaires sur le même bassin et/ou sur d'autres bassins méditerranéens. Il semble notamment envisageable, en étudiant un nombre suffisant de bassins, d'expliquer la valeur de certains paramètres du modèle à partir des caractéristiques physiques du milieu et/ou des caractéristiques hydro-climatiques de la région concernée.

## RÉFÉRENCES

- Albergel J., 1988. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup>, étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Editions de l'OROSTOM, Paris, coll. Etudes et thèses :341.
- Casenave A., 1982. Le mini-simulateur de pluies. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. OROSTOM, sér. Hydrol., vol. XIX n°4 : 207-227.
- Ghgenim A.N., Megnounif A., 2011. Précision des relations reliant la concentration en suspension au débit liquide. Etude comparative. Communication science & technologie N°9. Faculté des sciences de l'ingénieur, université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen-algerie : 17-23.
- Hamdi R., Lamachère J.M. & Raclot D., 2008. L'équipement hydrométrique du bassin versant de Kamech (hors lac collinaire). Rapport technique, IRD Tunis : 82 p.
- Hermessi t., 2010. Paramétrisation des modèles hydrologiques à base physique sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale tunisienne. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, I.N.A.T., Tunis : 263.
- Linsley R. K., Kohler M. A. And Paulhus J. L. H., 1949. Applied hydrology. Mac Graw Hill Book Company, New-York, chap. 16 : 414-418.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., De Figueiredo, T., 1998. Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. Catena 33 pp: 271-292.
- Van Rompaey, A., Vieillefont, V., Jones, R., Montanarella, L., Verstraeten, G., Bazzoffi, P., Dostal, T., Jozef Krasa, J., Deventer, J., Poesen, J., 2003. Validation de l'aléa érosion des sols à l'échelle européenne. European Soil Bureau Research Report No.13, EUR 20827 FR, (2003), 27pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.