

Enregistrement scientifique n° : 477

Symposium n° : 31

Présentation : poster

Micro-relief induced by ridging : Measurement, modelling, consequences on overland flow and erosion **Le micro-relief d'un sol sarclé : mesure, modélisation et conséquences sur le ruissellement et l'érosion**

PLANCHON Olivier, ESTEVES Michel, SILVERA Norbert

ORSTOM, BP1386, Dakar, Sénégal – Olivier.Planchon@orstom.sn

The soil studied have sandy top layer. They are cultivated in a two year rotation cycle (groundnut/millet). The use of animal powered tools generates ridges whose main direction is more or less perpendicular to the hill slope. At the beginning of the farming cycle, the soil is weeded by two ploughings. From the flowering onwards, soils can no longer be ploughed and furrows rapidly erode. In these cultivated areas, global properties governing infiltration, surface runoff and erosion at field scale intimately depend on local micro-topography features : direction, regularity and state of conservation.

The micro-topography of a groundnut plot has been recorded over a full cultivation cycle, using an automated device which measured 16.2 m² every 5 cm with an accuracy of a few millimetres and a good reproducibility.

Results were first used in order to measure roughness evolution with time on each plot.

Then, the main features of furrows and their evolution with time are computed from these data. Once characterised, modelled furrows can be overlaid on a larger scale (one for which the elevation is known every 4 metres). Implications on hydrological properties are studied at two different scales : 16.2 m² as measured in situ and on the catchment scale.

This method provides at a low cost some quantitative results on the effect of micro-topography on a field for which only a coarse DTM is available.

Key words : profil meter, micro-relief, soil roughness, water erosion, Senegal, modeling, surface storage, flow directions, tillage, DTM

Mots clés : micro-relief, Sénégal, érosion hydrique, rugosimètre, profilographe, modélisation, MNT, transfert d'échelle

Enregistrement scientifique n° : 477

Symposium n° : 31

Présentation : poster

Micro-relief induced by ridging : Measurement, modelling, consequences on overland flow and erosion **Le micro-relief d'un sol sarclé : mesure, modélisation et conséquences sur le ruissellement et l'érosion**

PLANCHON Olivier, ESTEVES Michel, SILVERA Norbert

ORSTOM, BP1386, Dakar, Sénégal – Olivier.Planchon@orstom.sn

Introduction

Le micro-relief a une importance reconnue dans les processus hydrologiques. Il modifie la rugosité du sol et la direction des écoulements. Il permet le stockage superficiel d'une partie de l'eau. Ceci influe non seulement sur l'hydrogramme de la crue, mais aussi sur la capacité de détachement et de transport des écoulements.

Les dispositifs les plus classiques de mesure du micro-relief sont dérivés du profilographe de Kuipers (1957). Ils nécessitent un contact entre l'instrument de mesure et la surface du sol. Certains sont automatisés (Podmore et Huggins, 1981 ; Shakesby, 1993). D'autres méthodes permettent des mesures sans contact. Elles utilisent des faisceaux infrarouge ou laser (Römken et al., 1986 ; Huang et al., 1988 ; Bertuzzi et al., 1990) ou des méthodes de stéréorestitution photogrammétrique à partir de photographies ou d'images numériques (Bruneau et Gascuel-Oudou, 1990 ; Warner, 1995).

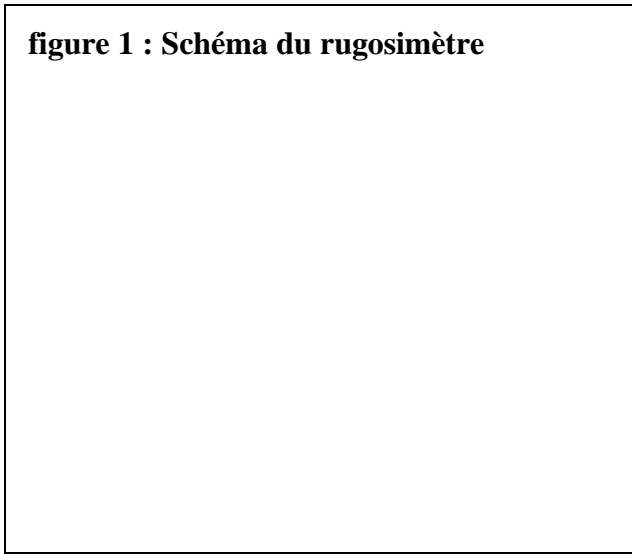
Ces mesures servent pour l'essentiel à définir des paramètres globaux caractérisant la surface du sol, comme la rugosité (Kuipers, 1957 ; Romkens et Wang, 1986 ; Lehrs et al., 1988) ou la rétention superficielle (Moore et Larson, 1979). La rétention superficielle mise à part, ces paramètres sont rarement intégrés directement dans les modèles hydrologiques ou d'érosion hydrique.

Cet article présente un rugosimètre électronique et les résultats d'une campagne de mesures au champ au cours d'un cycle de culture d'arachide. Les données collectées permettent de suivre en continu au cours du cycle de culture : (i) l'érosion de la parcelle, (ii) la rugosité du micro-relief, et (iii) la capacité de rétention superficielle. Elles permettent également de déterminer l'effet d'un labour sur la direction des écoulements à l'échelle du bassin-versant.

Matériel et méthode

Le rugosimètre électronique. Le micro-relief est mesuré au moyen d'un rugosimètre électronique conçu et réalisé au centre ORSTOM de Dakar. Il est constitué d'un cadre transportable de 4.5 m de côté et de 1.2 m de haut, posé sur des socles installés à demeure sur la parcelle et ancrés dans le sol à une profondeur de 50 cm. Sur le cadre se déplace un rail transversal qui guide un robot. Le robot commande une canne verticale à l'extrémité de laquelle se trouve un palpeur qui détecte le contact avec le sol. La mesure

figure 1 : Schéma du rugosimètre



se fait en deux temps : a) le robot se déplace à la verticale du point à mesurer ; b) la canne descend vers le sol jusqu'à ce que le palpeur signale un contact. La position du palpeur, connue en permanence dans les 3 directions par le module de commande programmable, est enregistrée à chaque contact. La cadence de mesure est de 0.6 point/s.

Au cours de la mesure de chaque parcelle, un certain nombre de lignes furent répétées pour caractériser la précision des mesures. Il ressort de cette analyse que la mesure de

chaque point a un écart type de 0.85 mm en altitude et de 6 mm en position. Ces erreurs sont spatialement indépendantes et elles se compensent lors du calcul de l'altitude moyenne de la parcelle. Les différentes opérations nécessaires au raccordement des mesures à un repère fixe en altitude engendrent une erreur supplémentaire de 1.75 mm d'écart type. Cette erreur se répercute directement sur la connaissance de l'altitude moyenne de la parcelle.

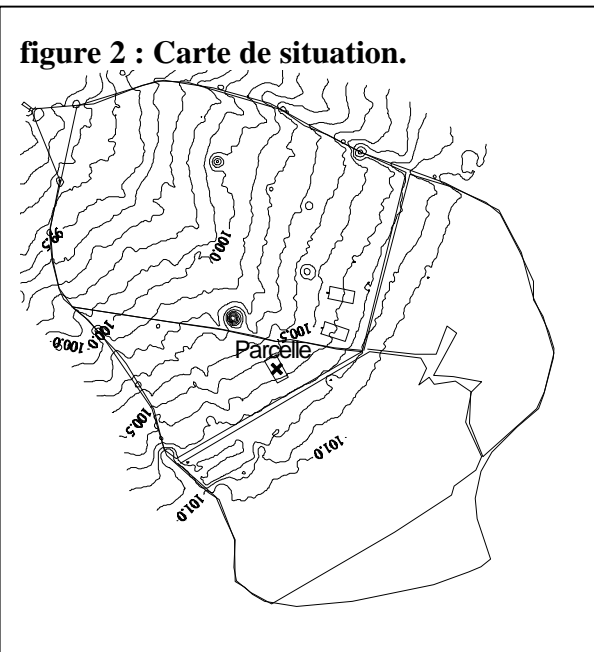
Le terrain d'étude. L'étude se déroule à Thyse Kaymor, dans la zone arachidière du Sénégal, sur un bassin-versant de 2.85 ha. 95% du bassin a une pente inférieure à 1.5%. La pente médiane est de 0.73%. La figure 2 présente la carte hypsométrique à l'équidistance de 10 cm et situe la parcelle de mesure de micro-relief.

La zone est cultivée en rotation annuelle mil-arachide (Perez, 1994). Le travail du sol se fait par culture attelée perpendiculairement à la pente.

Les résultats présentés ici concernent les mesures répétées, à chaque averse et à chaque

travail du sol, sur une parcelle de 16.2 m² cultivée en arachide. Un point est mesuré tous les 5 cm. 22 MNT ont ainsi été acquis du 28 juin au 13 octobre 1997.

figure 2 : Carte de situation.



Calcul de la rugosité. Avec les profi-lographes linéaires, la rugosité est évaluée par l'écart relatif entre la longueur de la surface du sol et celle de sa projection sur l'axe horizontal. Nous utilisons ici une généralisation en deux dimensions de cet indice : l'écart entre la superficie de la surface du sol et celle de sa projection horizontale.

Extraction du micro-relief. A partir des MNT bruts obtenus au pas de 5 cm, on génère une représentation du micro-

relief représentative de la zone. La méthode utilisée nécessite que l'axe des X du MNT initial soit orienté dans le sens du labour. Les étapes sont alors les suivantes :

- Extraction du micro-relief M (4x4 m), résidu d'une surface polynomiale de degré 4.
- Juxtaposition de M à son miroir en X. On obtient le motif M2 (8x4 m).
- Juxtaposition de M2 à son miroir en Y. On obtient le motif final M4 (8x8 m).

Le motif M4 possède une symétrie centrale qui lui permet d'être utilisé pour le pavage d'un plan incliné ou même d'un MNT. Il permet l'étude numérique de certaines propriétés du micro-relief d'origine sur des superficies plus grandes et plus variées que celle de la parcelle dont il est extrait.

Capacité de rétention superficielle. La capacité de rétention superficielle est la lame d'eau au-delà de laquelle le ruissellement commence. Elle dépend en partie de la rugosité, mais aussi de la valeur et de la direction de la pente. La méthode proposée ici permet de la caractériser pour un micro-relief donné M dans toutes les situations possibles d'orientation et de pente. Les étapes du calcul sont les suivantes :

- création d'un plan incliné de pente p dans une direction d ;
- pavage de M4 sur ce plan incliné ;
- calcul du volume des dépressions¹ dans la zone centrale du plan incliné ;

La méthode est répétée pour toutes les pentes de 0 à 5% par pas de 0.1%, inclinées dans toutes les directions par rapport à celle du labour, par pas de 10°. Elle permet d'obtenir un tableau à double entrée : capacité de rétention superficielle fonction de la pente du sillon et de la pente perpendiculaire au sillon.

Direction des écoulements. La direction des écoulements dépend de la capacité de rétention limite au-delà de laquelle l'écoulement traverse les sillons pour suivre la pente générale du terrain. Pour calculer ce seuil, on suppose que la prise en compte de la valeur de la pente perpendiculairement aux sillons est suffisante, c'est à dire que l'on néglige l'influence de la pente du sillon sur la valeur de ce seuil².

Pour calculer le seuil de débordement des sillons, le MNT M du micro-relief est bordé de « murs » sur 3 côtés de manière à forcer l'écoulement à se faire dans la seule direction perpendiculaire à la pente. Le MNT ainsi obtenu est incliné perpendiculairement aux sillons, pour toutes les pentes p de 0 à 5% par pas de 0.1%. La capacité de rétention superficielle ainsi obtenue est stockée dans une table $R(p)$ qui représente le seuil de débordement recherché.

On peut alors calculer la direction de l'écoulement en fonction de la lame d'eau sur toute la zone contenant la parcelle de mesure de M : on calcule en tout point la pente p_{xs} dans la direction perpendiculaire au labour à partir de la valeur de la pente, de sa direction, et de celle du labour. La table R fournit la lame limite $L_{lim}=R(p_{xs})$ qui est comparée à la lame L présente sur la parcelle. Si $L > L_{lim}$, les sillons débordent et

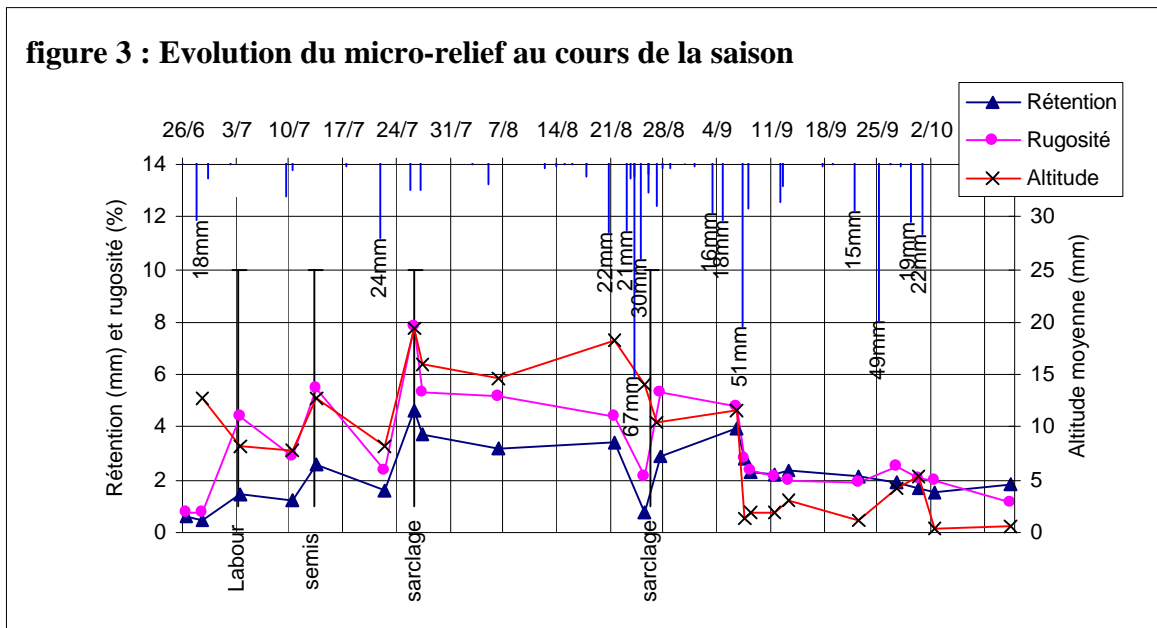
¹ Le calcul du volume des dépressions est fait au moyen d'une méthode inédite spécialement conçue. Alors que la méthode classique comble les dépressions par élévation progressive des points bas, la méthode mise en œuvre simule i) la submersion de tout le domaine par une épaisse lame d'eau, puis ii) la vidange de cette lame d'eau, en partant des cols. La méthode est à la fois rapide et exacte. Les dépressions, une fois remplies, ont une surface exactement plane.

² Cette simplification revient à assimiler le sillon à un chenal dans lequel la relation cote-volume est indépendante de la vitesse de l'écoulement.

l'écoulement se fait dans la direction de la pente générale, dans le cas contraire, l'écoulement suit la direction du sillon.

Résultats

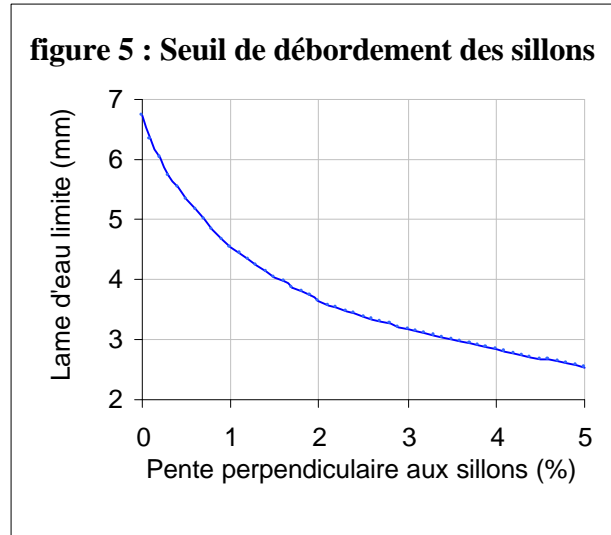
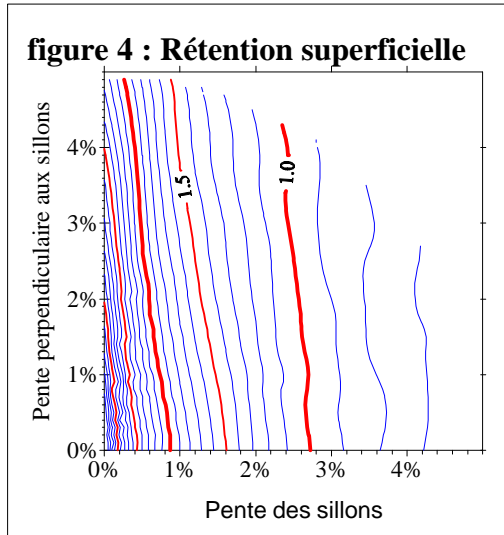
Suivi des pertes en terre et de la rugosité. La figure 3 représente l'évolution de la parcelle d'étude au cours de la saison de culture 1997. On voit que l'altitude moyenne de la parcelle, la capacité de rétention et la rugosité évoluent de pair : les 4 travaux du sol correspondent à une remontée de l'altitude moyenne de la parcelle (aération du sol),



une augmentation de la capacité de rétention superficielle (cloisonnement des sillons), et de la rugosité. Les pluies tassent et érodent le sol, l'aplanissent et ouvrent le micro-relief. Bien que les variations d'altitude englobent à la fois l'érosion et les variations de densité apparente du sol, l'estimation des pertes en terre par mesure directe de l'abrasion de la parcelle semble être un objectif réaliste avec la méthode employée grâce au nombre de mesures et à leur étalement dans le temps. Une régression linéaire sur la période indique une perte totale de 12 mm au cours de l'année. La seule pluie de 51 mm du 6 au 7 septembre, arrivant sur un sol sarclé 10 jours avant, a provoqué un abaissement de la surface du sol de 10 mm qui peut raisonnablement être assimilé à de l'érosion, la parcelle ayant déjà subi, après sarclage, des pluies de 16 et 18 mm.

Modélisation de la capacité de rétention superficielle. La capacité de rétention superficielle a été modélisée pour la date du 27 juillet en utilisant la méthode décrite plus haut. Le sarclage a eu lieu la veille et une pluie de 10 mm est tombée pendant la nuit. Le micro-relief est bien marqué. Il est par ailleurs plus représentatif du fonctionnement au cours d'une averse que celui de la veille, mesuré avant la pluie. Le résultat est représenté sur l'abaque de la figure 4, qui donne la capacité de rétention superficielle en fonction de la pente des sillons (abscisses) et de la pente perpendiculaire à ceux-ci (ordonnées). La sensibilité à la pente des sillons apparaît clairement : pour 1% de pente, la capacité maximale de 3.6 mm passe à 1.9 mm si la pente est dirigée dans le sens des sillons, mais se maintient à 3.3 mm si la pente est perpendiculaire à ceux-ci.

Pour cette même date du 27 juillet, on modélise le seuil de débordement des sillons. C'est le seuil de lame d'eau présente sur la parcelle au-delà duquel le ruissellement commence à traverser les sillons. Le maximum est de 6.7 mm et, pour 0.7% de pente (valeur médiane sur le bassin), le seuil s'abaisse à 5 mm (figure 5).

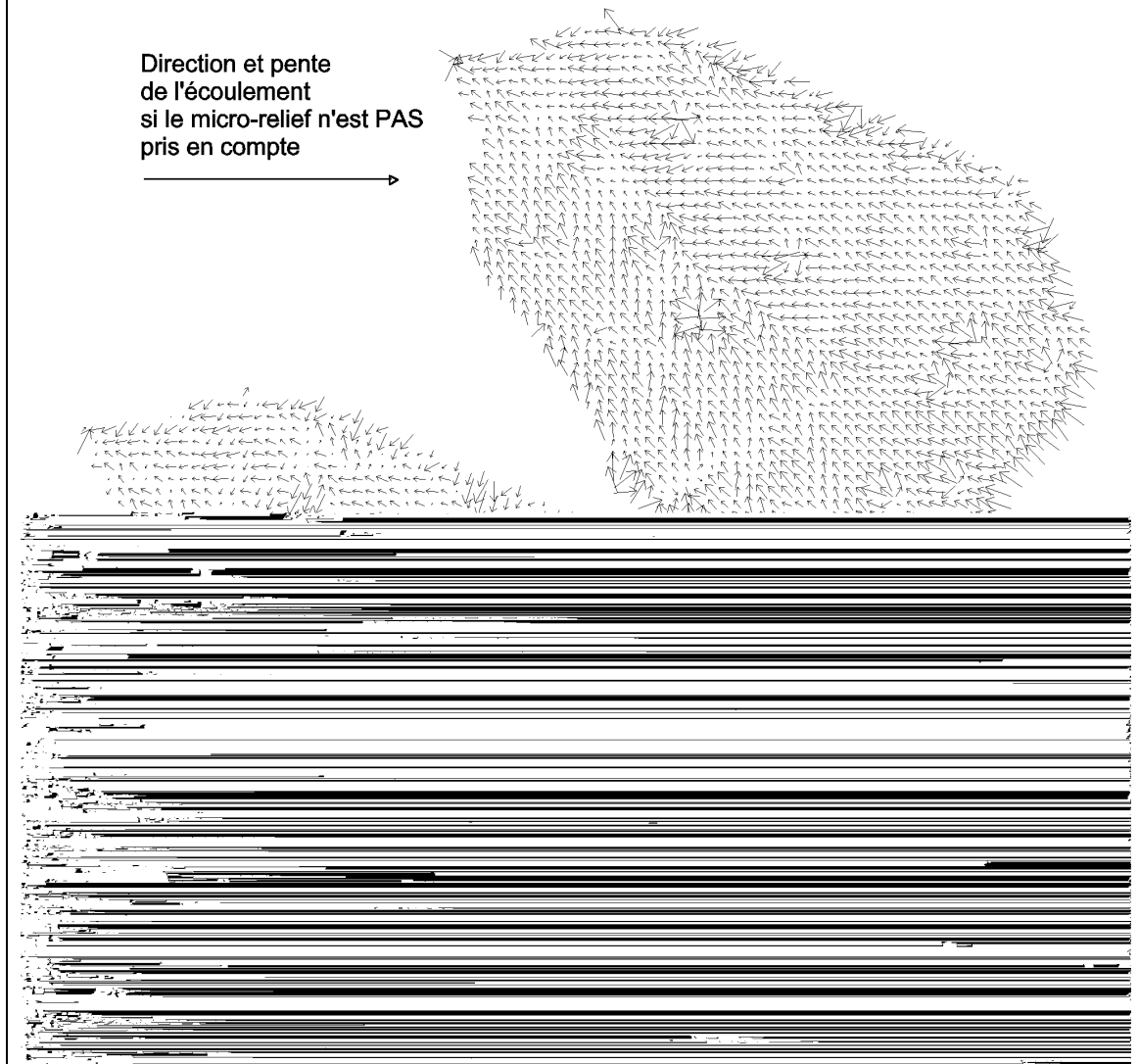


Transfert d'échelle. La combinaison des deux résultats précédents permet la prise en compte de l'effet du labour sur un bassin-versant complet. Les données nécessaires sont la pente, sa direction et celle du labour. Elles doivent être connues au pas de 4 m de manière à ce que chaque maille du MNT puisse être assimilée à une parcelle de micro-relief et qu'on puisse lui appliquer les caractéristiques lues sur les abaques des figures 4 et 5. On détermine alors en tout point du bassin les paramètres suivants :

- la lame d'eau immobile : c'est la capacité de rétention superficielle (figure 4), elle dépend à la fois de la pente du sillon et de la pente perpendiculaire au sillon.
- La lame d'eau qui circule le long du sillon : c'est la lame limite lue sur la figure 5, moins la lame d'eau immobile.
- La lame d'eau qui circule dans le sens naturel de la pente : c'est la partie de la lame présente sur le sol au delà des deux seuils ci-dessus.

A titre d'illustration, Le calcul est mené sur le MNT du bassin-versant contenant la parcelle de mesure, et pour lequel la direction du labour est connue en tout point. Les résultats sont illustrés sur la figure 6. Les flèches y sont orientées dans le sens de la pente et leur longueur est proportionnelle à celle-ci. La carte du haut représente la direction et la pente de l'écoulement sans prise en compte du micro-relief. Celle du bas représente les mêmes variables calculées pour une lame d'eau uniforme de 5 mm en tenant compte du micro-relief. La différence entre les deux figures est explicite. On doit toutefois remarquer qu'une lame d'eau uniforme ne correspond pas à une situation réelle et que les méthodes développées ici trouveront leur application véritable lorsqu'elles seront intégrées à un modèle hydrologique et qu'elles serviront à déterminer la direction et la pente de l'écoulement pour chaque maille et à chaque pas de temps.

figure 6 : Calcul de la direction des écoulements su l'ensemble du bassin



Conclusion

Cet article présente un dispositif de suivi du micro-relief d'une parcelle de plein champ au cours d'une saison de culture complète. La technique employée permet d'étudier l'évolution du micro-relief au cours du temps avec une précision suffisante pour que les volumes érodés puissent être appréciés par mesure directe de l'abrasion au niveau de la parcelle. L'abrasion mesurée est de 12 mm au cours du cycle de culture.

Une méthode de modélisation des caractéristiques du micro-relief qui permet la prise en compte du rôle du labour sur le ruissellement dans les modèles hydrologiques est décrite. Elle permettra de mieux prendre en compte les directions vraies de l'écoulement pour les micro-reliefs orientés. Ceci améliorera la validité du calcul de la vitesse d'écoulement et donc celle de son énergie cinétique, contribuant ainsi à l'amélioration du couplage des modèles d'érosion hydrique aux modèles hydrologiques.

Sans attendre le développement de ces perspectives, les résultats ont été appliqués au cas d'une lame d'eau de valeur uniforme. Ceci a permis de mettre en application le transfert d'échelle de la parcelle de 16m² au bassin-versant.

Bibliographie

Bertuzzi P. Caussignac J.M. Stengel P. Morel G. Lorendeau J.Y. and Pelloux G. (1990). An automated non contact laser profile meter for measuring soil roughness in situ. *Soil Sci.*, 149, 169-178

Bruneau P. & Gascuel-Oudou C. (1990). A morphological assessment of soil microtopography using a digital elevation model on one square metre plots. *Catena*, 17, 315-325.

Huang C. Whire I. Thwaite E. G. and Bendeli A. (1988). A non contact laser system for measuring soil surface topography. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 350-355.

Kuipers M. (1957). A relief meter for soil cultivation studies. *Neth. J. Agric. Sci.*, 5, 255-262.

Lehrsch G.A. F.D. Whisler and M. J. M. Römken (1987). Soil surface roughness as influenced by selected soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 10, 197-212.

Moore I. D. and C. L. Larson. (1979). Estimating micro-relief surface storage from point data. *Trans. ASAE*, 22, 1073-1077.

Perez P. (1994) Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du Sud du Saloum Sénégal. Du diagnostic à l'aménagement de la parcelle. Thèse. ENSAM, Montpellier, 250p.

Podmore T.H. and L. F. Huggins (1981). An automated profile meter for surface roughness measurements. *Trans. ASAE*, 24, 663-665,669.

Römken M. J. M. and J. Y. Wang. (1986). Effect of tillage on roughness. *Trans. ASAE*, 29, 429-433.

Römken M. J. M. S. Singarayar and C. J. Ganzer. (1986). An automated noncontact surface profile meter. *Soil & Tillage Research*, 6, 193-202.

Shakesby R.A. (1993). The soil erosion bridge : A device for micro-profiling soil surfaces. *Earth Surface Processes & Landforms* , 18, 823-827

Warner W. S. (1995). Mapping a three dimensional soil surface with hand-held 35 mm photography. *Soil & Tillage Research*, 34, 187-197.

Key words : profil meter, micro-relief, soil roughness, water erosion, Senegal, modeling, surface storage, flow directions, tillage, DTM

Mots clés : micro-relief, Sénégal, érosion hydrique, rugosimètre, profilographe, modélisation, MNT, transfert d'échelle