

COMPARAISON D'UN TEST SIMPLE D'ERODIBILITE DES SOLS ET DE MESURES SUR PARCELLES D'EROSION DANS LE BASSIN VERSANT DE DJITIKO (MALI SUD)

Diallo Drissa*, Eric Roose**, Bernard Barthès**

*IPR de Katibougou, BP. 84 Bamako, Mali

**IRD, LCSC, BP. 5045, 34032 Montpellier, France

Résumé

Dans le cadre de l'étude de la spatialisation des risques d'érosion et de ruissellement à l'aide d'un SIG, des recherches d'indicateurs d'érodibilité des sols ont été conduites dans un bassin versant (Djitiko = 104 km²) d'un affluent du Niger en zone soudanienne du Mali Sud. Ces travaux tiennent compte de la diversité des sols : sol caillouteux des versants des collines birrimiennes, sol brun vertique du bas-fond, sol gravillonnaire sur plateaux cuirassés et sols ferrugineux rouge sur glacis. Après avoir comparé divers tests de stabilité structurale en laboratoire (sur mottes, agrégats, simulation de pluies), on a prélevé en novembre 1998, sur l'ensemble des six sols du bassin, des échantillons 0-5 cm et procédé au test de tamisage à l'eau des macroagrégats stables (>200 μ), le plus pratique et le plus efficace d'après les travaux antérieurs (Diallo et al, 1998).

Durant la campagne 1998, le ruissellement et l'érosion ont été mesurés sur parcelles nues installées sur 3 sols (gravillonnaire, rouge et brun vertique). Ces sols peuvent être classés en fonction du coefficient de ruissellement et des pertes en terre. On a mesuré en outre les macroagrégats stables en situation de jachère sur tous les sols du bassin. D'après les taux de macroagrégats stables, mesurés sur jachère, les sols se classent du plus stable au moins stable comme suit : sol brun vertique (717g/kg), sol caillouteux (644 g/kg), sol rouge (555 g/kg), sol gravillonnaire (532 g/kg de sol), sol jaune (319 g/kg) et sol beige (260 g/kg).

Les mesures de ruissellement et d'érosion faites sur parcelles nues, pendant la campagne 1998, montrent que le sol rouge présente le plus fort coefficient de ruissellement annuel moyen : 48% contre 41 % sur sol gravillonnaire et 23% sur sol brun. La plus forte érosion est mesurée sur le sol rouge (30 t/ha/an) suivi par le sol brun (22,5 t/ha/an) et le sol gravillonnaire (4,4 t/ha/an). Les valeurs de l'érodibilité K (Wischmeier et Smith, 1978) des sols, calculées à partir des érosions mesurées, sont 0,21 pour le sol rouge, 0,13 pour le sol brun et 0,02 pour le sol gravillonnaire. Le classement des sols d'après le taux de macroagrégats stables dépend principalement de leur teneur en matière organique. Cependant, le sol gravillonnaire est le moins érodible sur le terrain alors qu'il présente en laboratoire un taux de macroagrégats stables très faible. Sa résistance à l'érosion s'expliquerait essentiellement par l'effet des gravillons qui couvrent la parcelle à 90%. En effet les gravillons interceptent l'énergie des gouttes de pluies et du ruissellement. Pour les deux autres sols, l'érosion mesurée sur le terrain semble être liée à la résistance des macroagrégats à l'eau. Ces résultats partiels confirment les travaux de Barthès et al., (2000).

Mots clés : Mali, Zone soudanienne, Erodibilité des sols, Test en laboratoire, Mesure en parcelles d'érosion.

Abstract

In order to study erosion risk spatialization with a GIS, researches of soil erodibility indicators were conducted in a little watershed DJITIKO (104 km²), affluent of Niger in the Sudanian southern Mali. Taking into account the diversity of soil profiles : stony lithosols, loamy brown vertisols, gravelly ferrallitic soils, and sandy ferruginous tropical soils, red, yellow

and grey. Comparisons of laboratory tests (clods stability, wet sieving of macroaggregates of $>200 \mu$) showed that the last was the most efficient and practicable (Diallo et al., 1998).

During the 1998 year runoff and erosion were measured on runoff plots under natural and bare fallows. The data showed that yearly average runoff is stronger on red ferruginous soils (48%), then the gravelly lithosol (41%) and the brown vertisol (23%). Concerning soil losses, the order was slightly different because the gravels intercepted splash and wash energy : 30 t/ha/year for bare red soils, 22,5 t/ha/year for vertisols and 4,4 t/ha/year for gravelly soils. The erodibility index of Wischmeier and Smith (1978) were respectively 0,21, 0,13 and 0,02, from very stable to moderately stables. With the wet sieving test (Kemper et Rosenau, 1986), soils under natural fallow are classified in relation to the organic matter content of the topsoil (5 cm) : brown vertisols more stables > as stony lithosols, >red ferruginous, >gravelly lithosols, >as ferruginous yellow and grey. The gravelly soil gave few erosion on the runoff plot but low aggregates content : gravels absorbed the rainstorm energy. For the other soils, sheet erosion seems in good relation with the content in macro-aggregates water stable as in other experiments (Barthès et al., 2000).

Key-words : Mali, Sudanian area, Soil erodibility, Wet sieving test, Runoff plots.

1. Problématique

Les études d'érosion sur parcelles expérimentales sous pluies naturelles et simulées sont utilisées depuis longtemps par les chercheurs pour collecter des données sur le ruissellement, l'érosion et les mécanismes qui entrent en jeu (Roose, 1977 ; Casenave et Valentin, 1989). Ces études exigent des moyens financiers et matériels considérables et plusieurs années d'observation sous pluies naturelles. De ce fait, l'expérimentateur qui travaille dans un espace géographique important (bassins versants de 100 km², grands bassins fluviaux, domaines bioclimatiques, etc.), doit nécessairement choisir des sites représentatifs. Il s'en suit forcément une simplification de la réalité qui peut compliquer les travaux ultérieurs de cartographie de l'érosion à partir de données collectées sur parcelles.

Une alternative consiste à utiliser des indicateurs pertinents dont l'acquisition en grand nombre est envisageable avec des moyens limités. Dans ce sens, on peut penser aux tests d'érodibilité déterminés en laboratoire comme : MWD (Mean Weight Diameter) de Kemper et Rosenau (1986), le diamètre médian (D50) (Truman et al., 1990, cités par Le Bissonnais et Le Souder, 1995), le taux de macroagrégats stables (MA) (Barthès, 1998). Les échantillons servant aux études de laboratoire doivent être prélevés en respectant la structure du sol, la diversité des couvertures pédologiques et de leurs utilisations par l'homme.

Cependant autant que possible, les résultats des tests de laboratoire doivent être comparés à des données collectées sur parcelles afin de les valider dans un environnement donné.

Le présent travail porte sur des données relatives au bassin versant de Djitiko en zone soudanienne du Mali sud. Il s'agit d'une part de données obtenues sur 3 parcelles de jachère nue au cours de la campagne 1998 et d'autre part de résultats de test de tamisage des macroagrégats stables ($>200\mu$) sur chacun des sols observés. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude de la spatialisation des risques d'érosion et de ruissellement à l'aide d'un SIG.

2. Le milieu

2.1. Généralités

Le bassin versant de Djitiko est inscrit entre les latitudes 12°3' et 12°11' et les longitudes 8°22' et 8°27' dans le haut bassin du fleuve Niger (figure 1). Son exutoire (pont de Madina) est situé à 80 km au sud de Bamako sur la piste de Kangaba sur la rive gauche du fleuve Niger.

L'examen des données granulométriques montre que les sols caillouteux et gravillonnaires contiennent des taux importants de sable surtout grossier à l'opposé des sols bruns vertiques et ferrugineux rouges où les fractions fines sont dominantes. Une différence importante entre ces deux derniers est la teneur élevée de limon grossier par rapport au limon fin dans le sol rouge contrairement au sol brun. Les sols bruns vertiques et les lithosols caillouteux sont nettement plus riches en carbone que les autres. Dans le cas du sol brun, le taux de carbone est 2,4 à 4,2 fois plus élevé que ceux des couvertures pédologiques ferrugineuses très cultivées étudiées (sols rouge, jaune et beige). Cependant ces derniers montrent des taux de matière organique usuels pour cette latitude (Dabin et Maignien, 1979). En ce qui concerne la qualité de la matière organique, le rapport C/N est élevé dans tous les sols, excepté le sol gravillonnaire, suggérant une carence importante en azote. Les horizons humifères sont faiblement acides.

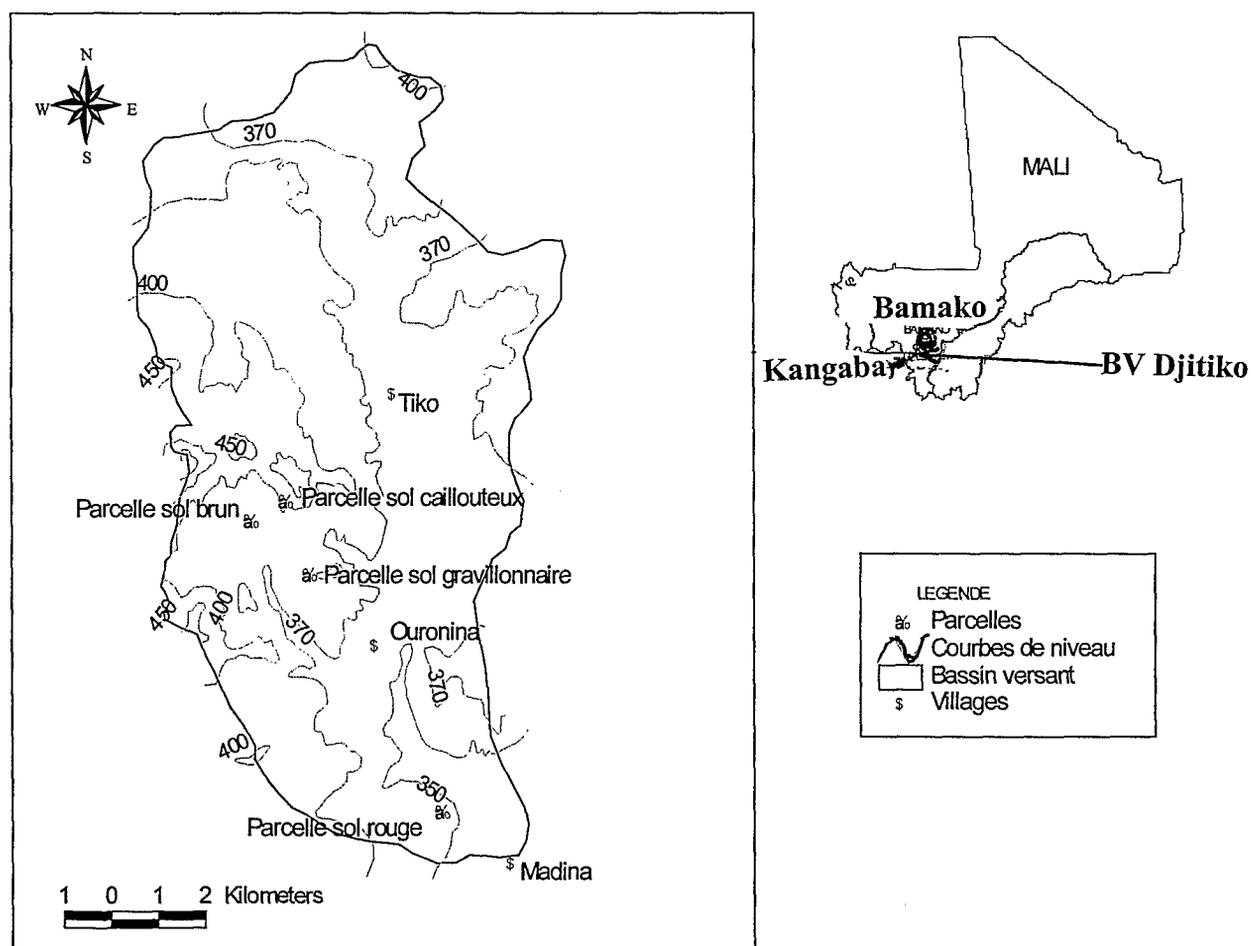


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de Djitiko

Le bioclimat est de type soudanien, caractérisé par deux saisons contrastées : une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche le reste de l'année. La pluviosité annuelle varie de 700 à 1300 mm. Le drainage du bassin est assuré par un cours d'eau à écoulement temporaire, en rapport avec le régime des pluies.

Les formations géologiques comprennent :

- des granites et granodiorites du socle précambrien : ils occupent la majeure partie du bassin ,
- les roches vertes birrimiennes, observées dans le centre ouest du bassin : ce sont des schistes argileux et micaschistes redressés avec quelques sills doléritiques.

Le relief du bassin versant est dominé par les collines birrimiennes culminant à 583 m d'altitude. Environ 60 % de la surface totale du bassin se situent entre 350 à 400 m et le reste à une altitude inférieure.

La végétation est une savane arborée à *Vitellaria paradoxa*, *Parkia bigloboza*, *Isoberlinia doka* et diverses *combrétacées* avec un tapis graminéen très dense et essentiellement annuel. Le couvert ligneux est parfois discontinu, entrecoupé de grandes surfaces cuirassées, occupées essentiellement par le seul tapis graminéen. Les feux de brousse s'étalent de décembre à mai et parcourent pratiquement toute la brousse chaque année.

La pression humaine sur le bassin versant est faible (20 habitants / km²) en comparaison avec d'autres situations au Mali. Les surfaces cultivées représentent moins de 20 % pour Djitiko contre 70 % dans le vieux bassin cotonnier.

2.2. La couverture pédologique

Le bassin versant de Djitiko présente une diversité de sols dont les principaux sont : les lithosols caillouteux des versants des collines birrimiennes, les sols bruns vertiques des bas fonds environnants, les sols gravillonnaires peu profonds sur cuirasse ferrugineuse, les sols ferrugineux jaune, rouge et beige. Les caractéristiques de ces sols sont résumées au tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des sols testés

* D'après les caractérisations des horizons pédologiques supérieurs des types de sol

** D'après les analyses faites sur les échantillons utilisés pour le test

Caractéristiques	Sol caillouteux	Sol brun vertique	Sol gravillonnaire	Sol jaune	Sol rouge	Sol beige
Substratum géologique	Schiste	Schiste	Granite	Granite	Granite	Granite
Epaisseur du Profil (cm)	40 à plus de 100	> 100	20 à 30	50 à 75	60 à plus de 100	> 100
Granulométrie (%)						
Argile	19,70	26,10	12,00		25,10	
Limon fin	9,50	31,70	9,00		21,22	
Limon grossier	21,40	24,20	21,70		37,75	
Sable fin	17,60	11,90	26,5		13,65	
Sable grossier	31,80	6,00	30,80		2,29	
Humidités caractéristiques**						
pF2,5	25,56	47,46	19,18		34	
pF3	19,67	30,84	11,68		25,3	
pF4,2	12,53	23,75	5,13		17,1	
Matière organique** (couche 0 - 5 cm)						
C (mg.g-1)	26,30	33,00	14,00	8,20	10,30	7,90
N (mg.g-1)	1,50	2,00	1,00	0,50	0,60	0,50
C/N	17,70	16,40	14,20	15,10	16,30	16,00
pH	6,09	6,02	5,65		5,61	

3. Méthodes

3.1. Le test de stabilité des agrégats

Le test de stabilité a porté sur des échantillons provenant des six principaux types de sols du bassin versant. Il s'agit d'échantillons prélevés en fin de saison pluvieuse dans la couche 0-5 cm, celle qui subit le plus de transformations sous l'effet des facteurs météorologiques et biologiques. C'est elle qui règle la dynamique de l'infiltration et la résistance à la battance.

Parmi la diversité des tests de stabilité structurale nous avons retenu la méthode développée au laboratoire LCSC du centre IRD (Barthès, 1998) et qui est inspirée de celle de Kemper et Rosenau (1986). Elle a déjà été trouvée pertinente dans la caractérisation des sols du bassin versant de Djitiko (Diallo et al., 1998). Cette méthode consiste à tamiser à 0,2 mm un échantillon de sol par agitation dans l'eau déminéralisée. La fraction retenue dans le tamis comprend des macroagrégats stables ($> 0,2$ mm), des sables grossiers, et aussi des matières organiques grossières dont le poids est négligeable. La détermination de la teneur en sables grossiers (SG), après dispersion totale à la soude, permet de calculer par différence la teneur en macroagrégats stables (MA). La teneur en éléments de taille < 0.02 mm (microagrégats notée MI) après tamisage dans l'eau est déterminée de manière complémentaire, par sédimentation. Ces différentes teneurs sont exprimées en g/kg de l'échantillon initial séché à 105°C. Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque échantillon de sol.

3.2 Mesure du ruissellement et de l'érosion sur parcelle nue

Trois parcelles d'érosion standards (jachère nue travaillée de 100 m²) ont été installées sur sol rouge, sur sol gravillonnaire et sur sol brun vertique pendant la campagne 1997 pour étudier la résistance du type de sol à l'érosivité des pluies. Les eaux de ruissellement et les matériaux érodés sont collectés dans un canal relié par un partiteur à 2 cuves de stockage). Les pentes mesurées sur les parcelles sont du même ordre de grandeur : 1,5 % sur sol rouge, 1,8 % sur sol gravillonnaire et 2 % sur sol brun vertique.

3.3 Mesure de l'érodibilité du sol (K de Wischmeier)

L'érodibilité d'un sol est sa résistance à la battance des gouttes de pluie à la surface du sol et à l'entaille du ruissellement entre les mottes, dans les griffes ou les rigoles (Roose, 1994). Dans le cadre du présent travail, on recherche une évaluation rapide de K, un indicateur validé à partir de l'érosion mesurée sur 3 parcelles nues au cours de la campagne 1998.

4. Résultats et discussions

4.1 Stabilité des agrégats

Les taux de macroagrégats stables (MA) mesurés sous jachère sur les 6 principaux sols du bassin versant sont donnés à la figure 2. Les sols bruns (BJ) et caillouteux (CJ) sont nettement plus riches en agrégats stables que les sols gravillonnaires (GJ) et les sols ferrugineux rouges (RJ), jaunes (JJ) et beiges (BeJ).

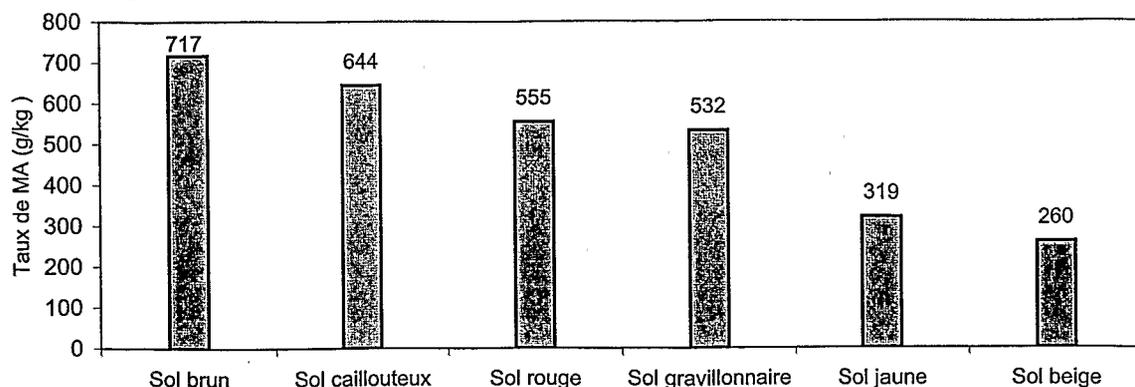


Figure 2 : Taux de macroagrégats stables (g/kg) mesurés dans différents sols sous jachère

Les sols ferrugineux tropicaux (sols rouge, jaune, beige) et les sols gravillonnaires sont les moins stables d'après les résultats présentés. La meilleure stabilité des sols brun vertique et caillouteux s'explique par les teneurs élevées de ces sols en carbone (respectivement 33 et 26,3 g/kg de sol). En effet, il existe une nette corrélation entre les taux de macroagrégats stables et de carbone avec un coefficient $r = 0,78$. L'équation de la droite de corrélation est :

$$Y = 261,2 X + 11,82$$

Y = taux de macroagrégats stables en g/kg de sol ; X = taux de carbone en g/kg.

Cependant la teneur en carbone n'explique pas à elle seule la richesse en MA comme le confirme la comparaison entre les sols gravillonnaires et les sols ferrugineux jaune : le premier est nettement plus riche en carbone (tableau 1) mais présente un taux de MA légèrement inférieur. Il faut rappeler que plusieurs caractéristiques des sols influencent le comportement structural (Wischmeier et Mannering, 1969) : la texture, la teneur en matière organique, la minéralogie des argiles, les cations, les oxydes de Fe et Al, le CaCO₃.

4.2. Ruissellement et érosion sur parcelle d'érosion

Les mesures de ruissellement et d'érosion au cours de la campagne 1998 (figures 3 et 4) montrent :

- * un coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM) plus fort sur sol rouge et sol gravillonnaire que sur sol brun ;
- * des coefficients de ruissellement maximal (KRMax) plus élevés sur sols gravillonnaire et ferrugineux rouge que sur sol brun ;
- * une érosion plus forte sur le sol rouge (30 t/ha/an) que sur le sol brun (22,5 t/ha/an) et une érosion nettement faible sur le sol gravillonnaire (seulement 4,4 t/ha/an) ;

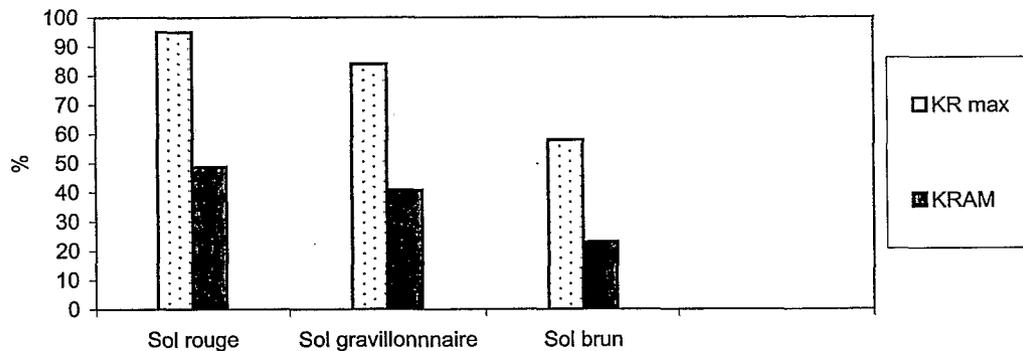


Figure 3. Coefficients de ruissellement (R/P %) mesurés sur parcelles nues (campagne 1998)

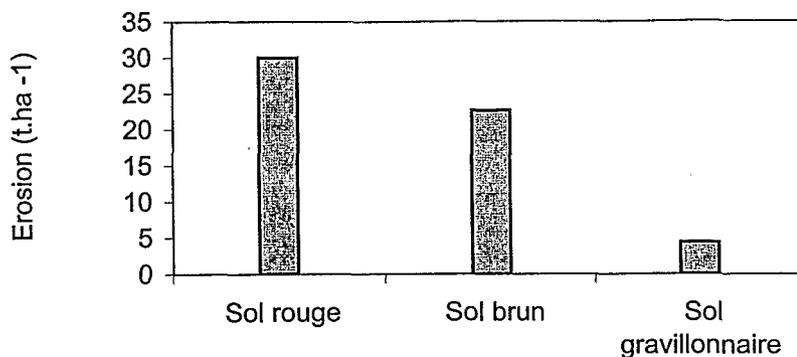


Figure 4 : Erosions (t/ha/an) mesurées sur parcelles nues (campagne 1998)

Les coefficients de ruissellement sont relativement faibles sur sol brun en comparaison avec les sols rouge et gravillonnaire qui ont des comportements similaires. Cependant le fort ruissellement dans le cas du sol gravillonnaire ne s'accompagne pas d'un grand transport de matière solide. Cette résistance du sol gravillonnaire ne peut pas être attribuée au taux de macroagrégats stables de la fraction fine de ce sol, mais s'expliquerait par l'effet des gravillons qui couvrent la parcelle à 89 %. On peut en conclure que la stabilité de la teneur en macroagrégats stables de la fraction fine des matériaux graveleux n'est pas un critère unique pertinent pour leur comparaison avec d'autres matériaux au point de vue susceptibilité à l'érosion.

4.3. Erodibilité K des sols

Le coefficient d'érodibilité des sols selon le modèle USLE de Wischmeier est calculé à partir de l'équation suivante :

$$K = E / R \times SL \times 2.24$$

Les valeurs de l'érodibilité K sont données pour les sols rouge (0,21), gravillonnaire (0,02) et brun (0,13) à la figure 5. On constate que le sol rouge présente la plus forte érodibilité et il est suivi par le sol brun. Ces deux sols sont 10 fois plus érodibles que le sol gravillonnaire, protégé par le mulch de gravillons que le ruissellement en nappe ne peut emporter.

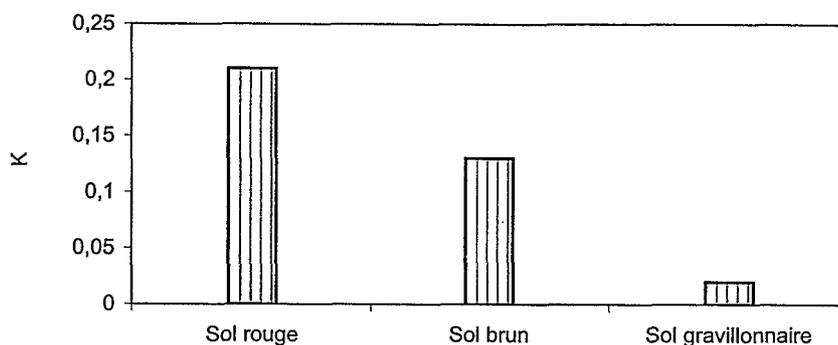


Figure 5 : Erodibilité K des sols d'après les érosions mesurées en 1998

Le classement obtenu avec les valeurs de K reflète la réalité du terrain. Cependant, la position du sol gravillonnaire n'est pas conforme à sa teneur en agrégats stables. Il faut encore remarquer que la présence de gravillons formant rapidement un mulch protégeant la surface du sol est un facteur plus déterminant que les caractères de la matrice (matière organique en particulier) dans le comportement hydrodynamique et la susceptibilité à l'érosion du sol gravillonnaire. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par les pédologues de l'IRD en Afrique de l'Ouest (Roose, 1977 et 1994 ; Casenave et Valentin, 1989).

5. Conclusion

Parmi les 3 sols où l'érosion est mesurée sur parcelles nues, le sol gravillonnaire est le moins érodible sur le terrain alors qu'il présente en laboratoire un taux de macroagrégats stables très faible (en comparaison avec ceux obtenus sur les deux autres sols). Sa résistance à l'érosion s'expliquerait essentiellement par l'effet des gravillons (qui couvrent la parcelle à 90%) et non par l'influence des taux de carbone et de macro-agrégats stables à l'eau. Pour les deux autres sols, l'érosion mesurée sur le terrain semble être liée à la fois aux taux de carbone et de macro-agrégats stables.

On peut retenir qu'à l'exception du sol gravillonnaire ou des sols contenant des éléments grossiers, les sols peuvent être classés d'après leur comportement hydrodynamique et leur susceptibilité à l'érosion à partir d'indicateurs obtenus en laboratoire : taux de macroagrégats stables (MA), taux de carbone. Cependant des mesures et des analyses plus approfondies sont encore nécessaires pour confirmer les cohérences observées sur un nombre trop limité de cas.

Remerciements

Nous remercions :

- la Mission française de coopération à Bamako qui a bien voulu financer la formation, les recherches et la participation de Drissa Diallo au colloque de Yaoundé;
- les équipes des laboratoires impliqués en particulier Didier Orange, responsable du LECOM à Bamako et Georges De Noni, responsable du LCSC à Montpellier.

Bibliographie

- Barthès B. (1998). Stabilité structurale : méthode développée au Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés (LCSC), ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1.
- Barthès B., Azontonde A., Boli Z., Prat C & E. Roose, (2000). Field scale runoff and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). In : *European Journal of Soil Science*, 51 : 1-11.
- Casenave A. et Valentin C., (1989). Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Editions ORSTOM Paris : 229 p.
- Dabin B., Maignien R., (1979). Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. *Cah. ORSTOM., sér. Pédol* ; 18, 4 : 235-257.
- Diallo D., Roose E., Barthès B., Khamsouk B., Asseline J., (1998). Recherche d'indicateurs d'érodibilité des sols dans le bassin versant de Djitiko (Haut Bassin du Niger au Sud Mali). ORSTOM Montpellier, *Bull. Réseau Erosion* 18 : 336-347.
- Kemper WD., & Rosenau RC., (1986). Aggregate stability and size distribution. In : *Methods of soil analysis : I, Physical and mineralogical methods*. 2d edition (Ed A. Klute), :425-442.
- Le Bissonnais Y. & LeSouder, (1995). Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et Gestion des sols* 2, 1 :43-56.
- Roose E., (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt ans de mesure en petites parcelles expérimentales. Editions ORSTOM, Paris : 107 p.
- Roose E., (1981). Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux d'Afrique Occidentale. Thèse de doctorat de l'université d'Orléans, Travaux et Documents de l'ORSTOM, Paris : 567 p.
- Roose E. et Sarrailh JM., (1988). Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahier ORSTOM Pédol.*, 25, 1-2 : 7-30.
- Roose E., (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO n° 70*, Rome, 420 p.
- Wischmeier WH. & Smith DD., (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA-ARS, Handbook n°537, 58 p.
- Wischmeier WH. & Mannering, (1967). Relation of soil properties to its erodibility. *Purdue Journal paper n°3275*, 15 p.