

EVALUATION DES RISQUES D'ÉROSION SUR UN BASSIN VERSANT DÉGRADÉ  
UTILISANT LE SIG ET LA SIMULATION  
Le cas de Silmiougou (région de Kaya du Burkina Faso)

Willem Hoogmoed<sup>1</sup> et Leo Stroosnijder<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Travail du Sol, Université Agronomique Wageningen, Pays Bas; <sup>2</sup> Département de l'irrigation et de la conservation des eaux et du sol, Université Agronomique, Wageningen, Pays Bas.

MOTS CLES

simulation de pluie, SIG, croûtes, matière organique, dégradation, ruissellement

RESUME

L'influence du taux de matière organique (M.O.) sur la formation des croûtes, le ruissellement et l'érosion a été étudiée dans un bassin versant dans la province du Sanmatenga, Burkina Faso. Les sols dans le bassin sont sérieusement dégradés, ils ont une surface encroûtée et une végétation presque nulle.

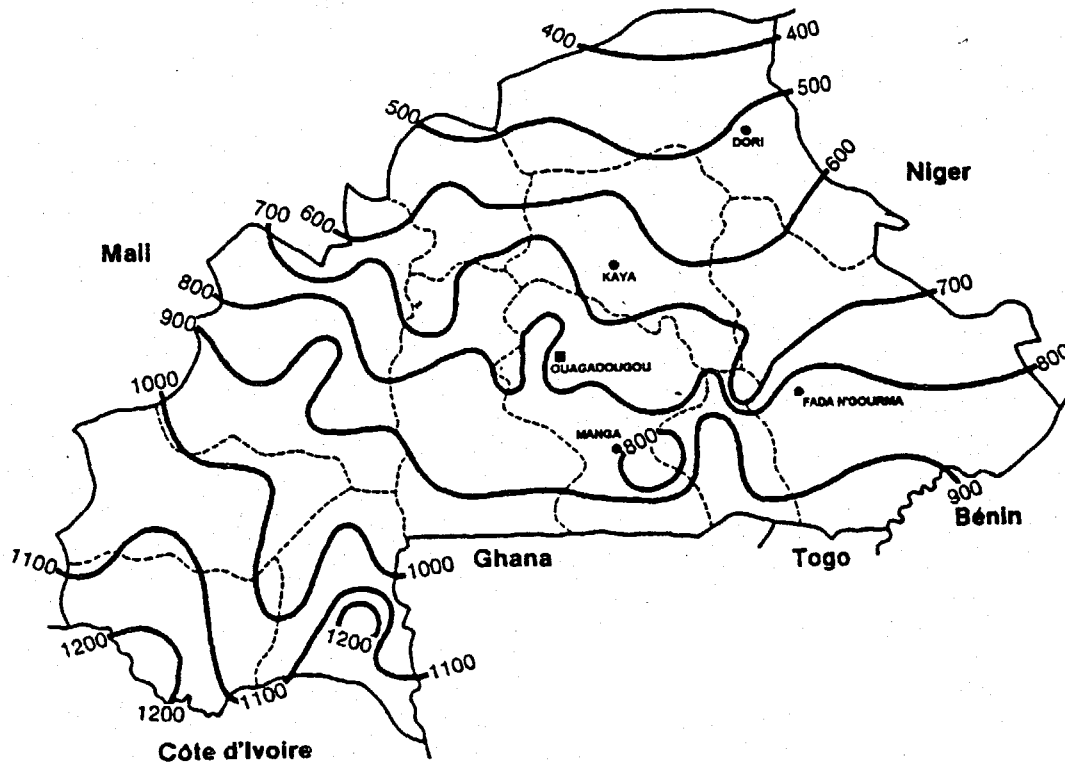
Un grand nombre de caractéristiques du sol et du terrain est mesuré: topographie, degré d'encroûtement, caractéristiques physiques comme  $K_{sat}$ ,  $K_{unsat}$ , pF, stabilité des agrégats etc. Les mesures ont été faites en utilisant un simulateur de pluie (type ORSTOM). Sur un sol léger (< 10% d'argile), la formation des croûtes sur un site avec environ 0.3 % M.O. a causé une vitesse d'infiltration finale (après 3 événements de pluie simulée) de moins de 10 mm/heure, alors que sur un site avec environ 1.2% M.O. la vitesse d'infiltration finale n'était pas descendu sous un niveau de 50 mm h<sup>-1</sup>.

Un modèle qui combine les résultats de simulation de pluie avec les résultats d'une analyse de caractéristiques de la pluie (intensités), a été appliqué pour évaluer l'effet d'une diminution de taux de M.O. comme occasionnée par le travail du sol (itinéraires techniques) et l'exportation de biomasse.

Plusieurs scénarios ont été évalués en utilisant les données du sol du bassin versant et les données climatologiques de 15 années de la région.

## INTRODUCTION

Silmiougou est un mini bassin versant de 12,5 ha au nord de Kaya, province du Sanmatenga du Burkina Faso avec une pluviométrie moyenne annuelle de 650 mm, voir Figure 1. Ce bassin versant est sérieusement dégradé, avec une végétation clairsemée d'arbustes, d'arbres et d'herbes. Dans ce document, on présente quelques informations sur les méthodologies, les mesures sur le temps, le paysage et les propriétés physiques du sol, le ruissellement et l'érosion aussi bien que quelques résultats préliminaires de l'analyse de simulation.



**Figure 1.** Carte du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest avec des isohyètes, montrant Kaya, Ouagadougou et Dori.

## CLIMAT

Une station météorologique automatique fonctionnait d'août 1992 à mars 1994 sur le bassin versant, mesurant la température (de l'air, dans le sol sous la végétation et sous un sol nu), l'humidité relative de l'air, la vitesse et la direction du vent, le rayonnement et l'albédo, les précipitations (intensité). En plus de ces valeurs, les précipitations et autres données météorologiques ont été collectées à partir des stations météorologiques à Fada N'Gourma, Ouagadougou et Dori. Une analyse spéciale a été menée sur les intensités des précipitations (basée sur la digitalisation des données enregistrées du pluviomètre et l'analyse informatique qui en découle) des 15 dernières années pour ces trois localités (voir Figure 2).

Les indications des indices d'érosivité, comme l'énergie cinétique, l'indice de l'énergie de Hudson, l'indice d'intensité de Lal, la valeur R de Wischmeier, ont été calculés en se

basant sur l'analyse de l'intensité des précipitations. L'analyse permet aussi les estimations de ruissellement (par événement de pluie ou par saison). La force érosive des pluies augmente de façon exponentielle avec l'étendue des pluies, voir Figure 3. Pour une pluie de 40 mm l'indice d'érosivité  $EI_{30}$  est d'environ 1000  $[J\ mm\ m^{-2}\ h^{-1}]$  pour chaque mm de pluie et cette valeur double jusqu'à 2000  $[J\ mm\ m^{-2}\ h^{-1}]$  pour chaque mm de pluie d'une précipitation de 80 mm.

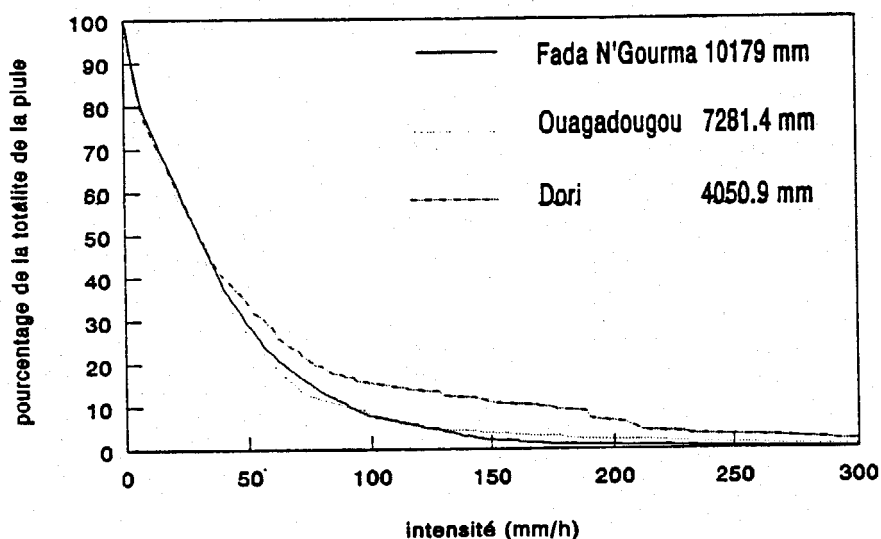


Figure 2. Analyse de l'intensité de pluie pour trois localités au Burkina Faso.

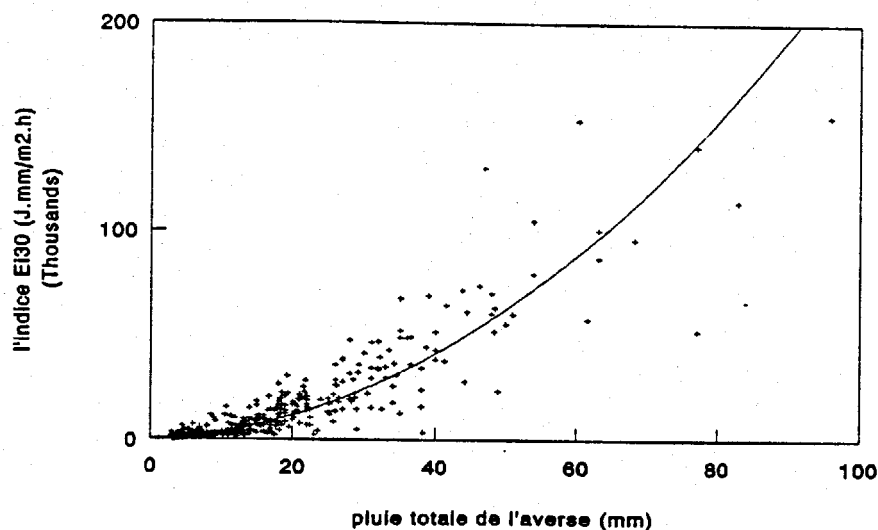


Figure 3. Indice d'érosivité en fonction de l'étendue des précipitations pour le Burkina Faso, Afrique de l'Ouest.

## PAYSAGE ET BASSIN VERSANT

Le paysage de Silmiougou présente quelques collines (avec des pentes abruptes) et des bas-fonds, mais il est plutôt dominé par de très longues pentes douces appelées glacis. Les formes et les élévations du bassin versant ont été déterminées en utilisant des méthodes variées:

- 1 une étude topographique avec un instrument de niveau
- 2 la construction d'un modèle de hauteur digitalisé en utilisant des types de programmes variés: SPATANAL (semi-variogrammes), MAPIT (interpolation géostatistique), SURFER (contours).
- 3 l'importation dans un système d'information géographique (IDRISI 4.0)
- 4 digitalisation (basée sur les observations de terrain) des phénomènes de surface comme les croûtes, les ravins, la végétation annuelle et pérenne en utilisant TOSCA
- 5 analyses des données brutes avec IDRISI (pentes, pourcentage de couverture, rigoles etc.)

**Tableau 1.** *Les classes typiques de pentes sur le bassin versant de Silmiougou.*

| Classe de pente | pente (%) | % du bassin |
|-----------------|-----------|-------------|
| 1               | < 1       | 40          |
| 2               | 1-2       | 33          |
| 3               | 2-3       | 15          |
| 4               | 3-5       | 6           |
| 5               | > 5       | 6           |

La pente médiane du bassin versant est de 1.2 %

Récemment un modèle d'élévation digitalisé a été fait pour certaines parties de la province de Sanmatenga (y compris Silmiougou) en utilisant un SPG sophistiqué (système de position globale). Ce système est capable de produire rapidement des informations très précises sur les dimensions X, Y et Z. Le système est cependant, très cher.

On avait accordé une attention particulière à la couverture de croûte: les inventaires ont été faits sur la base des observations visuelles, utilisant la classification telle que proposée par Casenave et Valentin (1989) comme une ligne directrice, et soutenus par les mesures de la capacité d'infiltration.

Quand les 'glacis' sont dégradés ils sont en partie nus et couverts par 5 types de surface:

- 1 Les dunes récentes de sable formées par des dépôts de sable éolien. Ces petites dunes sont hautes de 10-15 cm et couvrent une superficie de 2-20 m<sup>2</sup> et souvent recouvertes par une végétation pionnière rapide.
- 2 Les dunes plus anciennes où l'érosion a commencé, la surface du sol comporte plus de limon que les dunes récentes, il y a moins de couverture végétale et plus de poussée d'algues. Le type de croûte 2 est une succession (en croissance) du type 1.
- 3 Les affleurements de gravillons (concrétions de latérite).
- 4 Les croûtes-B très développées qui sont supposées être une succession de croûtes de type 3 après retrait du pavé protecteur.
- 5 Les croûtes de déposition (sédimentaire)

Les résultats des observations des croûtes pour Silmiougou sont donnés dans la Figure 4 et leur classification selon leurs propriétés de ruissellement en 6 classes est présentée au Tableau 2. Classe 1 représente les champs agricoles parce que dans la région on trouve des étendues des types de sol comparables avec des profils plus profonds. Les classes 2-6 sont des espaces sylvo-pastoraux.

**Tableau 2.** *Classes de croûtes typiques sur la base des mesures faites à Silmiougou, partie nord du Burkina Faso.*

| Classe de croute                 | % du bassin versant | % ruissellement par saison | % ruissellement par 89 mm (= pluie typique) |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------|---|
| 1                                | 8                   | 16                         | 20  |
| 2                                | 21                  | 25                         | 55  |
| 3                                | 27                  | 55                         | 65  |
| 4                                | 29                  | 60                         | 75  |
| 5                                | 14                  | 65                         | 85  |
| 6                                | 1                   | 70                         | 95  |
| <b>ruissellement moyen pesé:</b> |                     | <b>49 %</b>                | <b>64 %</b>                                 |

Pour mesurer et analyser le ruissellement le volume d'eau (de pluie) qui peut être retenu à la surface est très important. A cet égard, on devrait distinguer la macro- et la micro-rugosité. La première est liée au sens de l'écoulement alors que la dernière détermine la capacité de conservation de la surface pour l'eau libre avant qu'elle ne commence à couler sur le sol. Cette capacité de conservation se reflète dans un seuil de pluie au dessous du quel aucun ruissellement n'est pas possible.

## LES PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DU SOL

Une connaissance détaillée des caractéristiques physiques du sol est nécessaire pour deux raisons:

- (1) pour évaluer les processus de dégradation du sol (quoique jusque là on ne sache pas quels paramètres sont les meilleurs indicateurs de la dégradation du sol), et
- (2) pour permettre l'application des modèles de simulations physiquement valables utilisés dans l'étude de la croissance de la végétation (cultures) et du sol et de la conservation des eaux.

Les paramètres suivants étaient mesurés:

*Conductivité hydraulique saturée* (labo: méthode de la charge constante)

*Conductivité hydraulique non saturée* (au champ: infiltromètre à disque ou à tension)

*Capacité de rétention de l'eau* (labo: équipement de la plaque marmite à pression)

*Divers densité du sol* (au champ: densité apparente, au labo: petits éléments structuraux, phase solide)

*Stabilité des agrégats* (labo: force de cohésion, impact des gouttes d'eau, dispersion, tamisage sous l'eau, teste de résistance à l'effondrement)

*Formation de croûte* (au champ: simulateur de pluie)

# Silmiougou: crust features

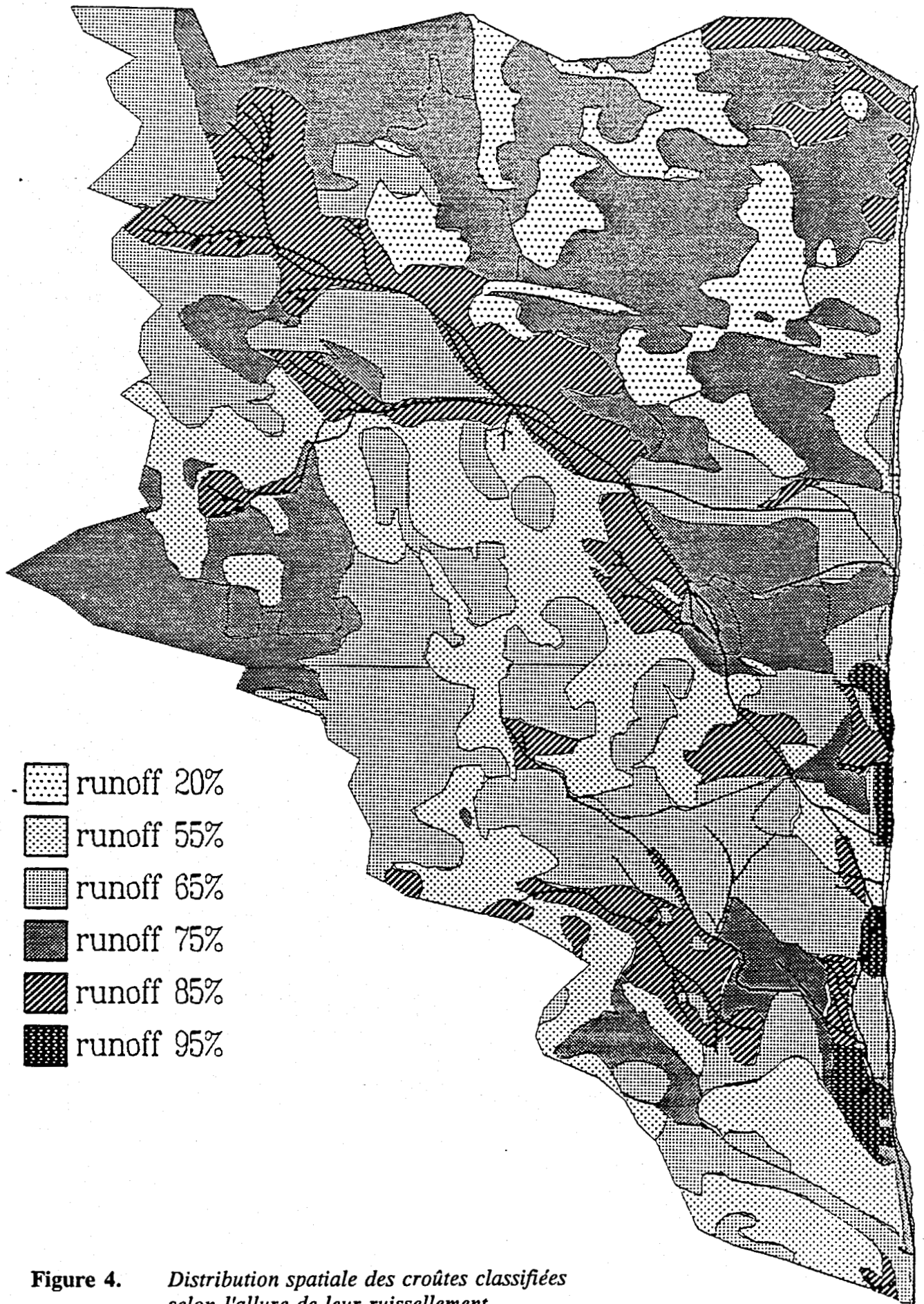


Figure 4. *Distribution spatiale des croûtes classifiées selon l'allure de leur ruissellement.*

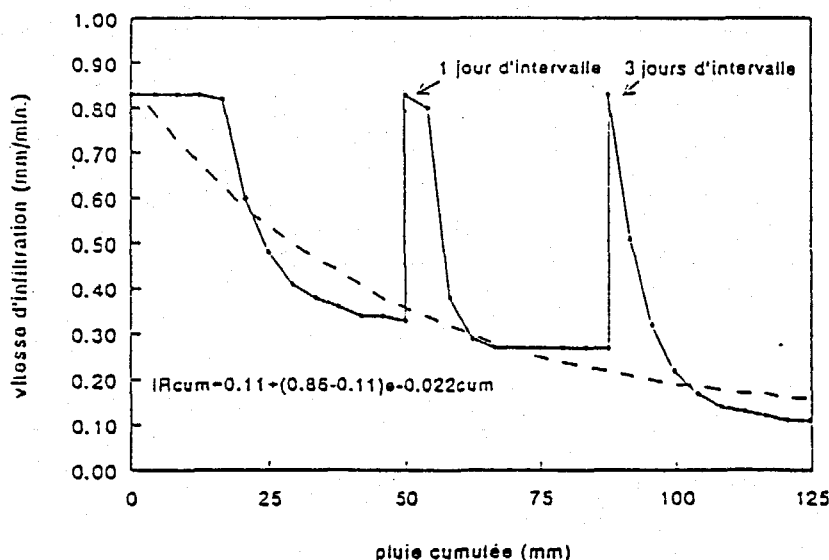
## RUISSELLEMENT ET EROSION

Le ruissellement du bassin versant était évalué de deux manières:

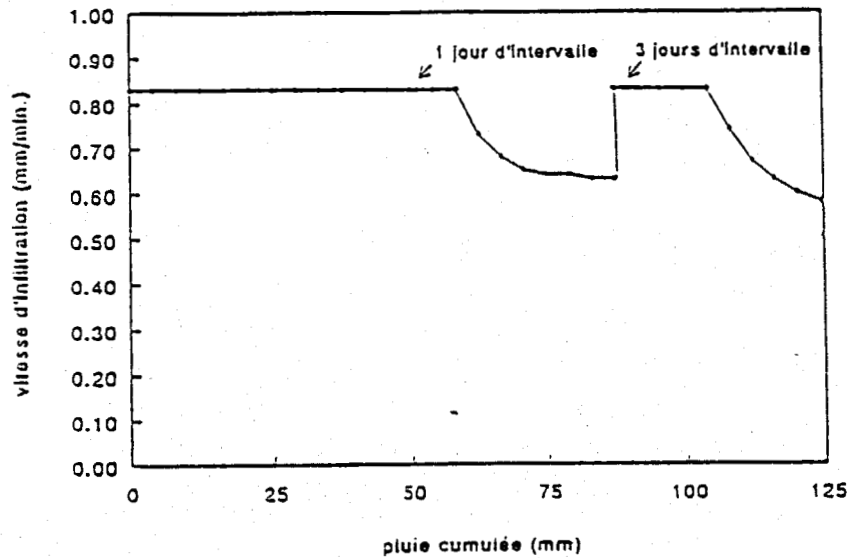
(1) Le ruissellement résultant de pluie naturelle a été collecté à partir de petites placettes (1 m<sup>2</sup>) sur des surfaces typiques au niveau du bassin versant de Silmiougou. Ces placettes étaient faites d'une feuille métallique mesurant 0,8 x 1,25 m (longueur le long de la pente), avec un système de collection consistant en une barrique de 80 litres, enterrée dans le sol. Ainsi, c'est le volume total seulement de ruissellement qui pouvait être mesuré. Les résultats de ces mesures sont mentionnés dans Stroosnijder and Hoogmoed (1994).

(2) Le processus de formation de croûte et le ruissellement qui en résulte étaient mesurés avec un simulateur de pluie (type ORSTOM) utilisant un jet-T envoyant l'eau d'une hauteur d'environ 4 m sur une placette 1 m<sup>2</sup>. Les tests de simulateur de pluie ont donné une courbe montrant la baisse de la vitesse d'infiltration avec le temps ou des pluies cumulées. Cette étude a montré que les croûtes sur les sols de Silmiougou se développent rapidement, après avoir été détruites par un labour, sous l'influence de pluies cumulées, et que la vitesse de formation de croûte est fortement déterminée par le taux de matières organiques du sol (voir Figure 5 et 6).

Les résultats des tests de simulateur de pluie étaient accompagnés d'une analyse des intensités des pluies, telle que effectuée pour Dori et Ouagadougou (pour compenser l'absence de données suffisantes provenant de Kaya). Une différence en 'agressivité' était observée, montrant des intensités plus élevées pour la situation au nord (plus sec) de Dori comparé à Ouagadougou. Ce phénomène avait été relevé aussi lors des études analysant les pluies au Niger. L'analyse de l'intensité des pluies a donné une image détaillée de chaque cas individuel de pluie, qui peut être superposée sur les courbes d'infiltration de pluie. Cela permet un calcul réaliste de l'infiltration et du ruissellement. Les résultats de cette analyse, utilisant les courbes telles qu'elles sont dans les Figures 5 et 6, plus les données de 15 ans de pluie des deux localités ci-dessus mentionnées sont donnés dans le Tableau 3.

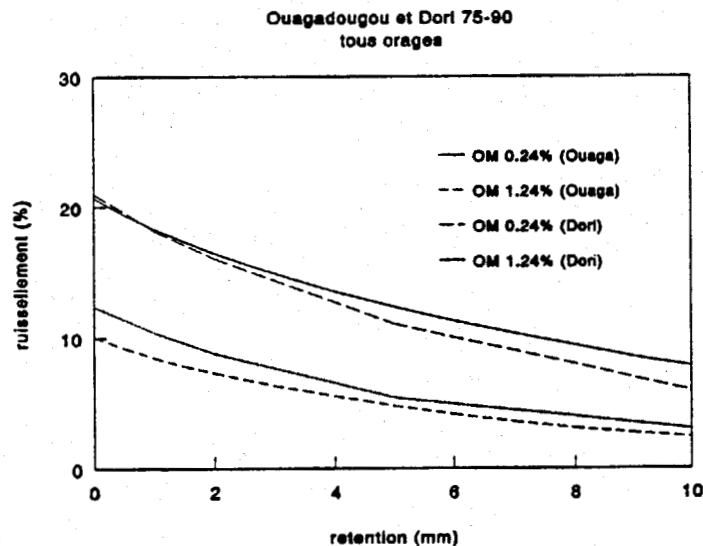


**Figure 5.** Vitesse d'infiltration en fonction de pluies cumulées sur des sols physiquement pauvres avec 0,24% de matière organique après destruction de la croûte.



**Figure 6.** *Vitesse d'infiltration en fonction de pluies cumulées sur des sols agricoles avec 1,24% de matière organique après destruction de la croûte.*

Deux effets sont montrés au Tableau 3: l'effet de la matière organique, et l'effet (semi-théorique) rétention de surface. On peut voir qu'au cas où on n'entreprend aucune mesure de conservation de surface (rétention 0), un pourcentage de matière organique plus élevé dans le sol augmentera l'infiltration à tel niveau, que les pertes de ruissellement soient réduites d'environ 50% (de 20% à 12% pour Dori, de 21% à 10% pour Ouagadougou). L'effet d'augmentation de conservation de surface (rétention) est fort: les pertes de ruissellement sont réduites par un facteur de 3 à 5 quand la rétention augmente de 0 à 10 mm. Ces résultats sont aussi montrés dans la Figure 7.



**Figure 7.** *Effet de la matière organique et la rétention de la surface sur le ruissellement.*



**Tableau 3.** *Ruissellement calculé en utilisant les données de l'intensité de la pluie (à partir de l'analyse des pluies réelles) et les résultats de la simulation de pluie (comportement de l'infiltration).*

|  | Dori |    | Ouagadougou |    |
|--|------|----|-------------|----|
|  | mm   | %  | mm          | %  |
| pluviométrie annuelle moyenne ('75-'90, toutes les événements) | 271* |    | 518*        |    |
| ruissellement:   |      |    |             |    |
| rétention 0 mm, MO bas   | 55   | 20 | 107         | 21 |
| rétention 10 mm, MO bas  | 15   | 6  | 41          | 8  |
| rétention 0 mm, MO haut  | 32   | 12 | 52          | 10 |
| rétention 10 mm, MO haut                                       | 8    | 3  | 12          | 2  |
| pluviométrie annuelle moyenne (événements > 20mm)              | 154  |    | 309         |    |
| ruissellement:   |      |    |             |    |
| rétention 0 mm, MO bas   | 42   | 27 | 95          | 31 |
| rétention 10 mm, MO bas  | 15   | 10 | 40          | 13 |
| rétention 0 mm, MO haut  | 22   | 15 | 44          | 14 |
| rétention 10 mm, MO haut                                       | 7    | 5  | 12          | 4  |
| pluviométrie annuelle moyenne (événements 0-20 mm)             | 118  |    | 209         |    |
| ruissellement:   |      |    |             |    |
| rétention 0 mm, MO bas   | 13   | 11 | 12          | 6  |
| rétention 10 mm, MO bas  | 0    | 0  | 1           | 0  |
| rétention 0 mm, MO haut  | 9    | 8  | 8           | 4  |
| rétention 10 mm, MO haut                                       | 0    | 0  | 0           | 0  |

\* Ces quantités sont inférieures à la moyenne longue-terme comme indiquée par Figure 1, parce que pas toutes les événements étaient disponibles pour l'analyse des intensités.

L'effet de rétention souligne l'importance des opérations de labour et/ou et quelque forme de rugosité de surface. Les sols sableux instables de la région ont tendance à former très tôt une surface lisse et croûtée. En brisant la croûte et augmentant la rugosité de la surface peut beaucoup aider à réduire les risques de ruissellement et d'érosion. Cependant, l'importance d'un niveau MO élevé est aussi clairement indiquée, même différemment de l'effet positif sur la nutrition des plantes (qui ne sera pas débattue ici).

La perte de sol démontre une pauvre corrélation avec l'étendue de l'averse, l'intensité ou la force érosive de l'averse. Pour les expériences avec les pluies naturelles, la faible fiabilité de collecte de sédiment est probablement due au sol déposé par l'érosion éolienne sur les placettes d'expérimentation. Partant des études de simulateur de pluie, on avait trouvé que la perte de sol des placettes avec un grand pourcentage de matières organiques était approximativement un tiers de sol perdu mesuré sur les placettes avec un faible pourcentage de matières organiques. Le nombre des expériences était très limité pour fournir des données fiables ici.

Donc, en terme général, la perte de sol est souvent exprimée en unités [ $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm pluie}^{-1}$ ]. Pour l'utilisation des terres sylvo-pastorales les valeurs trouvées se situent entre 3 et 45 [ $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm pluie}^{-1}$ ] de telle sorte que la perte annuelle de sol se situe entre 2 et 30 [ $\text{t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ].

On peut utiliser les relations de ruissellement en combinaison avec les zones de croûte pour augmenter proportionnellement les informations jusqu'à l'échelle du bassin versant. Cela est essentiellement important pour la conception de la technologie de conservation des eaux et du sol. Pour cela on n'utilise pas seulement une moyenne saisonnière de répartition des pluies mais aussi ce qu'on appelle un plan de hauteur de précipitations. C'est l'averse qui a la probabilité d'occurrence de 1 sur 10 ans qui pour Silmiougou est de 89 mm. L'analyse d'une pluie torrentielle de Dori avec un volume (85 mm) proche du volume de ce plan a montré que le ruissellement de ce seul cas était de 62% et 44% (pour les faible et haut niveaux de OM, respectivement) en présence d'une rétention de 10 mm. Ces valeurs de ruissellement sont considérablement plus élevées que les valeurs moyennes annuelles de ruissellement de long terme comme présentées dans le Tableau 3.

## CONCLUSIONS

La méthodologie et l'équipement moderne telle que SPG et SIG peuvent donner des informations détaillées et fiables sur les caractéristiques du paysage et de surface (croûtes, pente etc) et peuvent aider à quantifier la répartition spatiale de ces caractéristiques.

Le simulateur de pluie demeure un outil indispensable pour fournir des données essentielles sur l'allure des croûtes et les caractéristiques d'infiltration/ruissellement.

L'analyse de données des précipitations eu égard à l'intensité et de la répartition de l'intensité est nécessaire pour une simulation réaliste d'occurrence de ruissellement sur le terrain. Les valeurs moyennes fourniront les indications de l'effet de certaines mesures tels que le labour, les modifications des matières organiques et d'autres mesures de conservation des eaux et du sol, mais les cas-'sommet' réels devrait guider le projet.

Les méthodes présentées dans cette communication peuvent générer des données qui peuvent être appliquées à d'autres modèles de simulation existants sur l'érosion et le développement de la végétation ou la production agricole. Les résultats à partir de l'effet des changements en matières organiques seront utilisés en DUET, un modèle de simulation développé à Wageningen (Hoogmoed et al, 1992; Stroosnijder et al, 1991) pour traduire les effets des mesures en projections produites de long terme.

## REFERENCES

- Bleumink, A., 1993. La goutte qui se fait déborder la surface: une recherche indicative à l'influence du climat local sur la dégradation des états de la surface. Student report nr. 21.
- Coolegem, L., 1994. Recherche des intensités de la pluie dans trois stations à Burkina Faso. Student report nr. 26
- Dijk, K. van, 1994. Evaluation des mesures de régénération des terres dégradés à Zana Mogho, Burkina Faso. Student report nr. 22
- Geelhoed, R., 1995. Ecoulement des nutriments dans ruissellement et sediment et l'importance relative d'entraînement. Student report nr.xx

- Haas, M. de, 1994. Assessment of aggregate stability of Sahelian soils from Burkina Faso. Student report nr. 11
- Hien, F., 1995. Régénération de l'espace sylvo-pastorale au Sahel: Une étude de l'effet de mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Tropical Resource Management Papers nr. 7, Wageningen Agricultural University, 240 p.
- Janssen, I., 1994. De invloed van korsten op afstroming en nutriëntenverliezen in de Sahel. Student report nr. 24
- Poutsma, S.J.T., 1992. Geografische Informatie Systemen en Bodem- en Waterconservering, een praktijkvoorbeeld. Student report nr. 2
- Rietkerk, M., 1992. Les différences locales du sol et la capacité de régénération: Une étude pour la régénération des écosystèmes sylvo-pastoraux Sahéliens, dans la Forêt Classée de Yabo (Burkina Faso). Student report nr. 1
- Tammes, B., 1993. L'effet de la matière organique des sols sableux au Burkina Faso sur la formation des croutes et sur l'érosion. Carte des états de surface du bassin versant de Silmiougou. Student report nr. 6
- Wijnhout, J.D. and A.J. Otto, 1994. Physical properties of soils in the Kaya Area, Burkina Faso. Student report nr. 30
- Wit, A. de, 1993. L'effet du bilan hydrique sur la croissance des arbres tropicaux: une étude sur la distance optimale des diquettes à l'aide de quantité d'eau utilisée par l'acacia Seyal. Student report nr. 4

Autres publications:

- Stroosnijder, L., Hoogmoed, W.B. and Berkhout, J.A.A., 1991. Modelling effects of water conservation tillage in the semi-arid tropics. International Seminar Agroclimatic Management of Rainfall. A pathway for reducing the technological GAP in tropical Africa, Bamako 9-13 December 1991, pp. 18.
- Hoogmoed, W.B., Berkhout, J.A.A. and Stroosnijder, L., 1992. Soil tillage options for water management under erratic-rainfall conditions. Int. Seminar of the 3rd Section of the International Commission on Agricultural Engineering: Tillage in arid and semi-arid areas, Rabat, Morocco, 22-23 April 1992. p.228-247.
- Stroosnijder, L. and W.B. Hoogmoed, 1995. Physical measurements on a degraded watershed under silvo-pastoral land use. In: Field guide, Internat. Symp. on GIS and RS, Ouagadougou, BF, Febr. 1995.