

LES EFFETS DU RAMASSAGE DES PIERRES SUR LA PERTE DU SOL ET LES RÉCOLTES EN DOGUA TEMBIEN, TIGRÉ, ETHIOPIE.

Nyssen J.¹, Mitiku Haile², Poesen J.^{1,3}, Deckers J.⁴, Moeyersons J.⁵

¹ Laboratoire de Géomorphologie Experimentale, K.U. Leuven, Redingenstraat 16, B - 3000 Leuven, Belgique
jan.nyssen@geo.kuleuven.ac.be

² Makallè University, P.O.Box 231, Makallè, Ethiopie

³ Fonds pour la Recherche Scientifique - Flandre, Belgique

⁴ Institute for Land and Water Management, K.U. Leuven, Vital Decosterstraat 102, B - 3000 Leuven, Belgique

⁵ Musée Royal d'Afrique Centrale, B - 3080 Tervuren, Belgique

RESUME

De leur propre initiative, les paysans des hautes terres du Tigré ramassent des pierres dans les champs, quand ils considèrent que la couverture caillouteuse est excessive. En outre, de nombreuses pierres de toutes tailles sont enlevées des champs à l'occasion des travaux de conservation de l'eau et des sols. Les résultats d'interviews semi-structurées indiquent que les paysans hésitent souvent à ramasser les petits cailloux, comme ils considèrent que ceux-ci ont un impact positif sur la conservation de l'humidité et sur la protection du sol. Afin de vérifier le bien-fondé de cette idée, une expérience a été réalisée dans un champ sur Cambisol vertique (pente moyenne: 12,5 %), 2 km à l'est de Hagere Selam (climat sub-humide). Avant le début de la saison 1999 pendant laquelle un mélange de variétés locales de blé a été semé, les pierres ont été totalement, partiellement ou pas du tout enlevées de 12 sous-parcelles. Après la récolte, le volume de sédiment a été mesuré dans des tranchées au pied de chaque sous-parcelle et la récolte a été pesée. Nous avons trouvé une relation négative significative entre le taux de couverture caillouteuse et la perte de sol. Cependant, il n'y a qu'une faible relation positive entre la couverture caillouteuse et la récolte de blé et de paille. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'à cause des conditions pédologiques et climatiques, la parcelle n'est pas sujette à des problèmes de sécheresse. La recommandation qui ressort de cette étude est de ne pas enlever les petites pierres de la surface des champs pendant les travaux de conservation des eaux et des sols, mais d'utiliser plutôt comme remblai le mélange sol-pierres naturel.

Mots-clés : Ethiopie, Couverture pierreuse, Erosion du sol, Récolte de céréales

ABSTRACT

The farmers of the Tigray highlands remove stones from their fields at their own initiative, when they consider stone cover to be excessive. Moreover, farmers are often incited to remove large numbers of stones of all sizes from their fields during soil and water conservation works (stone bund building). Semi-structured interviews indicate that the farmers are often reluctant to collect the smaller stones from the field surface, since they consider that these have a positive impact on moisture and soil conservation. An on-farm experiment was carried out in a field on vertic Cambisol (average slope: 12.5 %), 2 km east of Hagere Selam (sub-humid climate). Before the beginning of the 1999 cropping season, during which a mixture of local wheat varieties (*Triticum* spp.) was sown, stones were totally, partially or not removed from 12 subplots. After harvesting, sediment volume was measured in trenches at the downslope end of each sub-plot and yield was measured. We found a significant negative relationship between stone cover and soil loss. However, the positive relationship between stone cover and

grain and straw yield is weak. This is explained by the fact that due to soil and climatic conditions the plot is not subject to drought problems. A recommendation resulting from this study is not to remove the smaller stones from the fields' surface during soil and water conservation works and instead to put stone rich soil at the top of the stone bunds' backfill.

Keywords : Ethiopia, Soil erosion, Stone cover, Cereal yields

INTRODUCTION

L'importance de la couverture caillouteuse pour la protection des terres arables de l'érosion des sols par l'eau est bien connue (Wischmeier & Smith, 1978; Römken, 1985). Poesen *et al.* (1994) passent en revue les processus partiels principaux qui induisent l'effet négatif de la couverture caillouteuse sur l'érosion aréolaire, qui sont (1) la réduction de l'érodibilité par la protection contre l'impact des gouttes de pluie et le détachement par le ruissellement; (2) réduction de la dégradation physique du sol (glaçage de la surface) et (3) diminution de la vitesse du ruissellement, réduisant ainsi sa capacité de détachement et de transport. Malgré que la couverture caillouteuse soit un phénomène important dans les champs des hauts-plateaux éthiopiens, elle n'a pas reçu suffisamment d'attention dans la recherche. Dans son adaptation de l'Equation Universelle de la Perte de Sol aux conditions éthiopiennes, Hurni (1985) tient compte de la couverture caillouteuse, sans cependant mentionner l'évidence sur laquelle sont basées ses estimations de la réduction de perte de sol qu'elle induit.

En ce qui concerne l'infiltration, Poesen et Lavee (1994) indiquent que les pierres augmentent le taux d'infiltration car elles protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et donc du glaçage de la surface. L'augmentation des taux d'infiltration dépend de facteurs tels que la position et la taille des pierres, le taux de couverture et aussi de la structure du sol. Dans les zones semi-arides d'Ethiopie, il a été prouvé que la conservation de l'humidité induit une augmentation substantielle de la récolte (Mitiku & Fassil, 1996).

Vu que dans un certain nombre de classifications des fragments de roche, le mot 'pierres' désigne un classe de tailles, de nombreux auteurs préfèrent d'utiliser le terme général 'fragments de roche'. Pour éviter d'utiliser une centaine de fois le long terme 'fragment de roche', le terme 'pierre', dans cet article, désigne toutes les particules minérales avec un diamètre > 5 mm. De la même manière, toute dimension de pierres donnée dans cet article vise leur diamètre intermédiaire.

Depuis l'abolition de la féodalité dans les années 1970, après de nombreuses années de guerre et plusieurs famines, il y a maintenant une volonté populaire au Tigré (Ethiopie du Nord) de gérer le legs de la nature; la participation des paysans à la conservation de l'eau et des sols (CES) est à un niveau élevé (Hurni & Perich, 1992). La construction de murets en pierres sèches (*stone bunds*, une technique récemment introduite - Nyssen, 1998) implique cependant l'utilisation de nombreuses pierres de tailles diverses qui sont généralement prises dans les champs. Les paysans construisent de solides murs avec des grandes pierres, utilisant des pierres de taille moyenne (5-10 cm) comme remblai (Figure 1). A la fin des travaux, ce remblai est couvert de petites pierres d'un diamètre moyen de 2 cm, qui servent comme filtre et retiennent les particules de sol pendant les pluies. Des pierres sont également prises dans les champs pour améliorer les routes rurales. Cet article analyse comment et dans quelle mesure le ramassage de pierres des champs de la zone agroclimatique du Dogua humide dans les hautes-terres nord-Ethiopiennes influence la perte de sol et la récolte.



Figure 1. Ramassage de pierres de la surface du champ afin d'aménager le muret (février 1998).

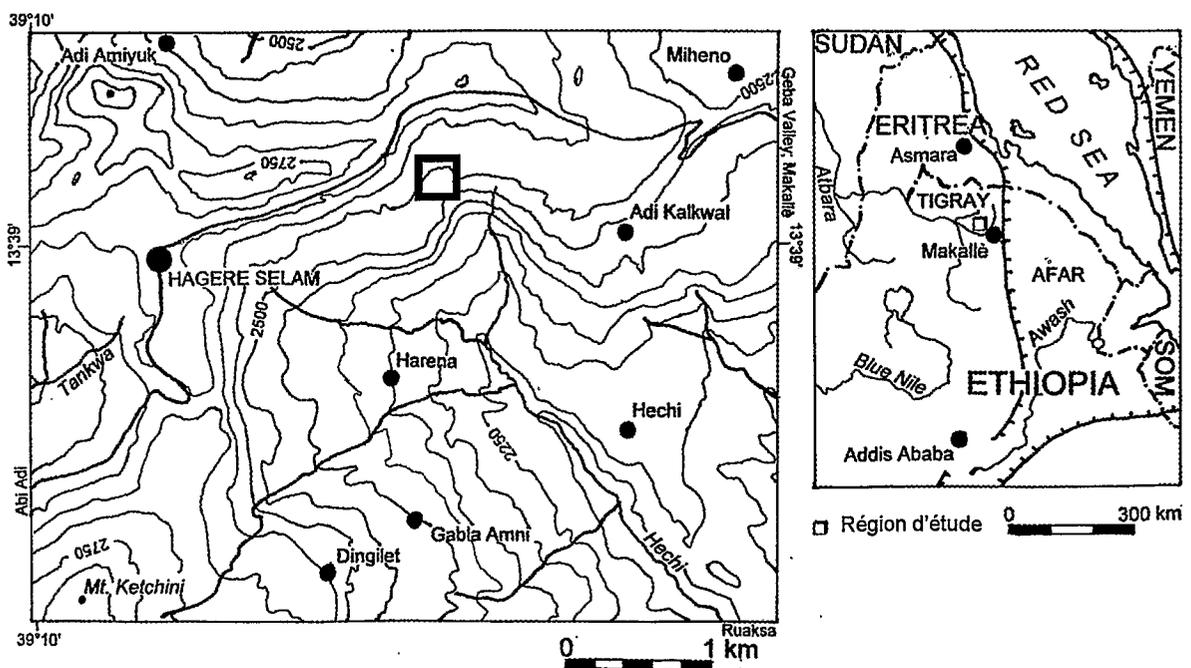


Figure 2. Carte de localisation. La position de la parcelle expérimentale est indiquée par un carré noir à bords gras.

MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Zone d'étude

Hagere Selam, bourg rural dans le *woreda* (district) du Dogua Tembien est situé à une altitude de 2650 m (Figure 2).

Les formations géologiques de la région sont d'âge Mésozoïque (calcaire d'Antalo et grès d'Amba Aradam), ainsi que des coulées de lave tertiaires (comprenant des dépôts lacustres silicifiés), formant des couches subhorizontales. Il y a également des formations quaternaires, des alluvions, des colluvions et du travertin. Le site expérimental est situé sur basalte, à la partie inférieure d'une caténa typique de sols rouges et noirs (Driesen & Dudal, 1991), plus précisément sur Cambisol vertique (FAO, 1998).

Les précipitations annuelles moyennes sont de 750 mm, concentrées en quelques mois.

L'impact des gouttes de pluie sur des sols qui ont perdu au cours des siècles la plus grande partie de leur couvert végétal naturel, ainsi que le ruissellement provoquent l'érosion de sols. La forte intensité des précipitations au moment des semailles, quand les sols sont nus, aggrave le problème de l'érosion aréolaire. Le pluviomètre situé près de la parcelle expérimentale a enregistré 821 mm de pluies en 1999, ce qui est légèrement au-dessus de la moyenne. Les pluies les plus intenses ont cependant seulement eu lieu en Août, quand la couverture végétale était déjà importante.

Dans la région étudiée, une couverture pierreuse se concentre à la surface des champs par différents processus: l'argillipédoturbation (Nyssen *et al.*, 2000), le lessivage des fines entre les pierres, transport à la surface généré par les labours, le piétinement et le ruissellement, tri vertical causé par les labours (Lavrysen, 2000).

De leur propre initiative, les fermiers retirent une partie des pierres les plus grandes des zones à haute couverture en pierres. Ils le font régulièrement, souvent annuellement, quand ils observent l'apparition de nouvelles grandes pierres suite aux processus mentionnés ci-dessus. Ils utilisent ces pierres pour la construction de murets en pierres sèches et pour clôturer leurs champs. S'il y en a un nombre excessif, les pierres sont rassemblées sur un tas entre un et trois m de haut à l'intérieur du champ, localement appelé *zala*. Sans compter l'espace qu'ils occupent, ceux-ci constituent, selon les fermiers, des abris pour les rongeurs, qui se reproduisent mieux dans les tas de pierres que dans les murets de pierres sèches, puisque chez ces derniers plus d'espace entre les pierres est rempli par du sol; il y a également plus d'eau de ruissellement (qui détruit rats et souris) traversant les murets de pierres sèches que les *zala*. Depuis l'introduction de la technique des murets, le *zala* allongé à la limite inférieure du champ est devenu la forme la plus populaire, puisqu'il agit également comme une technique de CES. Et dans beaucoup de zones il n'est plus nécessaire de faire des *zala*, les pierres étant utilisées pour la construction de murets.

Comme déjà mentionné, dans beaucoup de champs, il n'y a cependant aucun excès et les pierres nécessaires pour la construction de murets sont rassemblées dans le champ.

Expérience dans un champ

Une parcelle expérimentale a été installée dans un terroir appelé Zenak'o, quelque 2 km à l'est de Hagere Selam. La parcelle est située sur un Cambisol vertique et a une pente moyenne de 12,5 %. Elle est soumise à une érosion importante, spécialement quand après le début des pluies la fermeture des fissures de retrait réduit l'infiltration. La parcelle expérimentale consiste en quatre rangées de trois sous-parcelles, chacune large de 5 m et longue de 6 m. Les trois sous-parcelles de chaque rangée ont reçu un traitement différent: ramassage de toutes les pierres, de la moitié, ou pas du tout (Figure 3). Chaque sous-parcelle est séparée des sous-parcelles latérales par une diguette en terre. Le paysan a reçu l'instruction de donner le même traitement à toutes les sous-parcelles. Il a labouré parallèlement aux courbes de niveau en

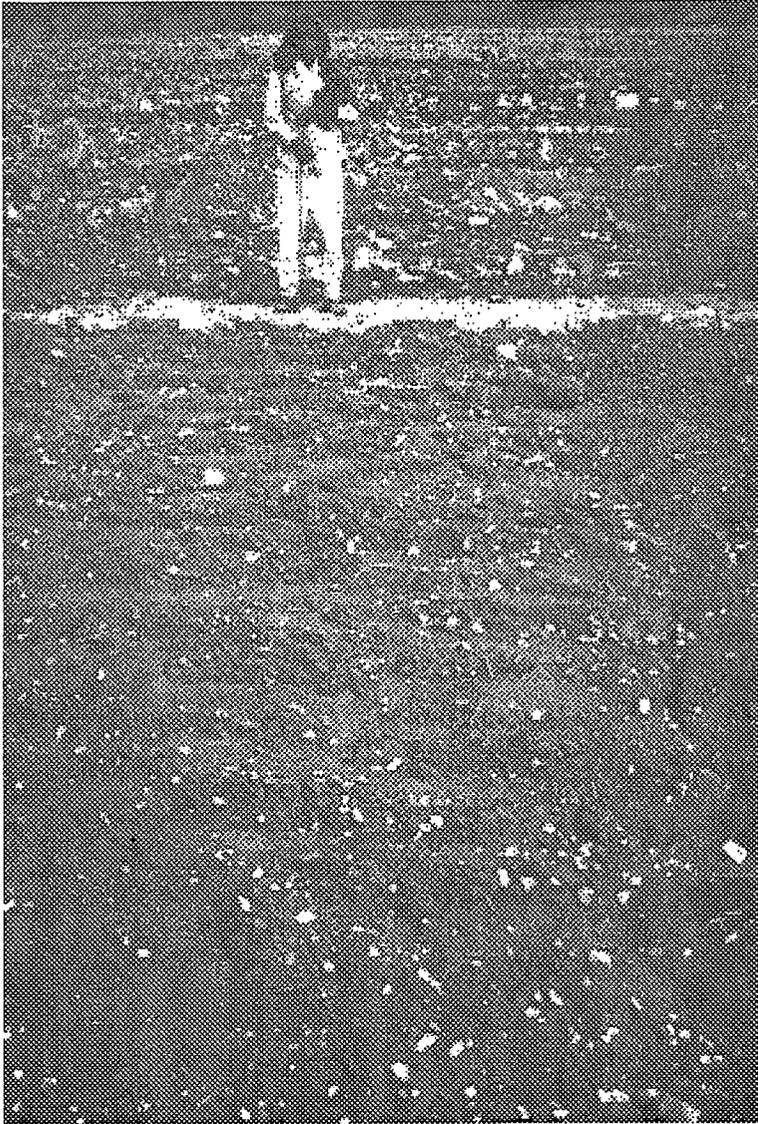


Figure 3. Vue partielle de la parcelle expérimentale. On remarquera l'existence de rigoles dans la sous-parcelle J où les pierres ont été enlevées (début juillet 1999).

méthode de comptage par points, exécutée sur le terrain: à distance régulière le long d'un mètre ruban déroulé à plusieurs endroits dans le champ, on note la présence ou l'absence d'une pierre. Il faut encore noter que les différents traitements donnés aux sous-parcelles concernent seulement le couvert et non le contenu en pierres, qui est également très important pour l'humidité du sol (Poesen & Lavee, 1994).

En 1998, la parcelle a été labourée deux fois (Tableau 1) et ensemencée avec *Colutea istria* ('Gwayeh'), mais l'expérience a échoué pour différentes raisons (entrée d'eau de ruissellement; certaines sous-parcelles étaient plus labourées que d'autres).

En 1999, de tels problèmes furent évités: la parcelle a été labourée deux fois et ensemencée avec un mélange local de variétés de blé (*Triticum* spp.), appelé *melileh*. La couverture en pierres était de nouveau mesurée dans les sous-parcelles et dans quatre d'entre elles, toutes les pierres étaient de nouveau enlevées pour ramener le couvert pierreux à 0 % (Figure 4).

utilisant l'araire ou *mahrasha* et en la soulevant par-dessus les diguettes. Au pied de chaque sous-parcelle, le sol érodé est collecté dans des tranchées en pierres de maçonnerie cimentées. Après évaporation et infiltration de l'eau de ruissellement, le volume de sol érodé est mesuré; un piquet métallique est inséré dans le sédiment jusqu'au contact avec les pierres plates enchâssées dans le fond de la tranchée (Moeyersons, 1990).

Les pierres ont été enlevées des parcelles pour les laisser avec le couvert caillouteux désiré (0-50-100 % du couvert originel).

Suite aux processus déjà mentionnés (surtout l'érosion du sol et les labours), la couverture caillouteuse programmée a changé dans le temps (Figure 4).

Pour cette raison, l'interprétation statistique des résultats par analyse de la variance devait être complétée par une régression utilisant la couverture caillouteuse juste après les premiers labours de 1999 comme variable indépendante. La couverture caillouteuse de chaque sous-parcelle a été mesurée par la

Tableau 1. Histoire de la parcelle

20.6.1998	labours
10.8.1998	enlèvement de pierres des sous-parcelles et mesure de la couverture en pierres
20.8.1998	mesure de la couverture en pierres
26.8.1998	mesure de la couverture en pierres
28.8.1998	seconds labours et ensemencement de <i>Colutea istria</i>
nov 1998	récolte
25.5.1999	labours
26.5.1999	mesure de la couverture en pierres
27.5.1999	restauration de couverture pierreuse de 0 % dans quatre sous-parcelles
22.6.1999	seconds labours et ensemencement de <i>Triticum</i> spp.
19.9.1999	mesure de volumes de sol érodé
16.11.1999	moisson et mesure de la récolte
24.1.2000	mesure de la couverture en pierres

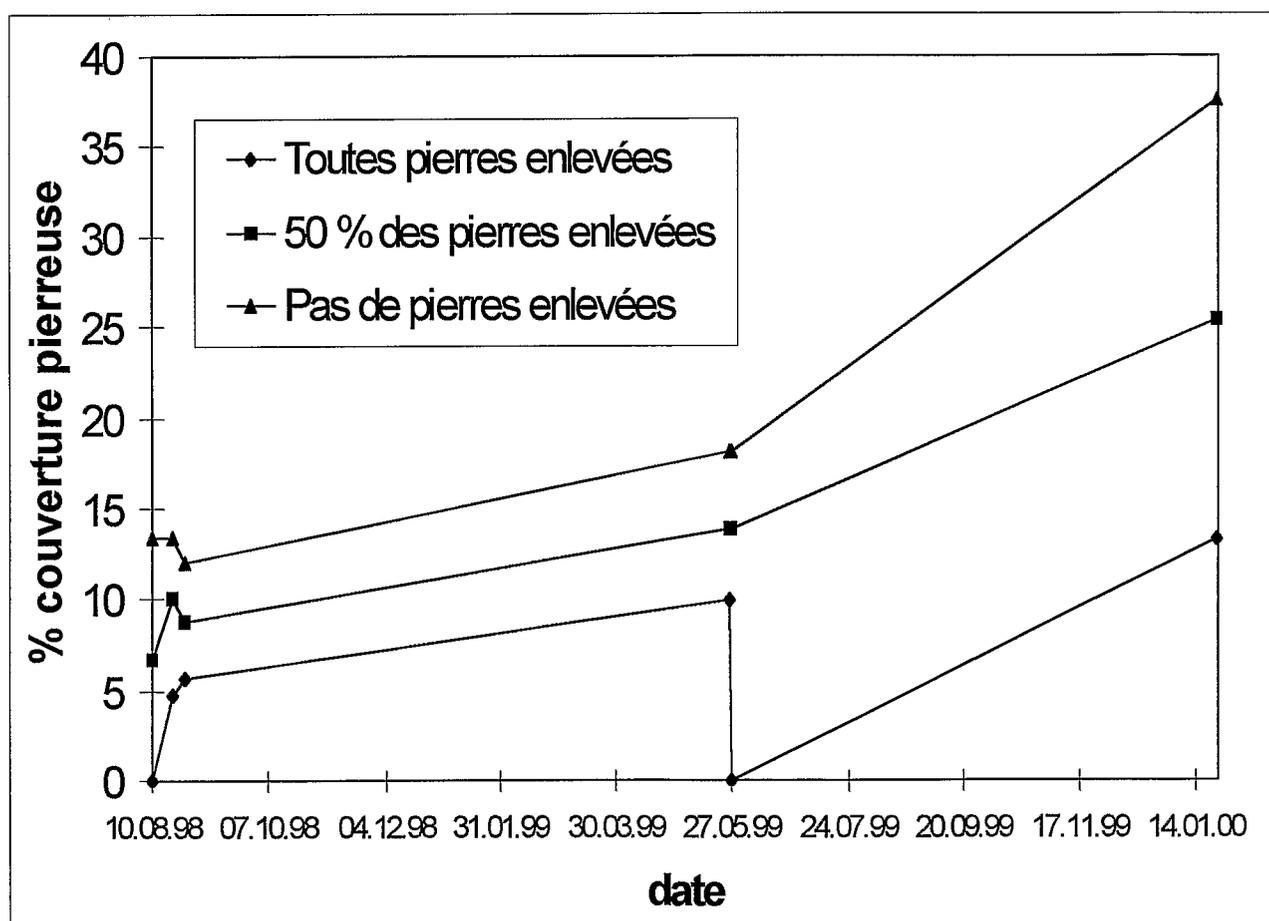


Figure 4. Evolution de la couverture en pierres pendant une année (moyennes par traitement). Comparez à l'histoire de la parcelle (Tableau 1). La chute vers 0%, le 27.5.1999 est due au ramassage de toutes les pierres dans ces parcelles par le chercheur. Notons que depuis le début de l'expérience, le paysan n'enlève plus les grosses pierres de son champ.

Le 19.9.1999, après assèchement de l'eau dans les tranchées, et avant que le sédiment riche en argile ne se fissure, le volume de sol collecté dans les tranchées au pied des sous-parcelles a été

mesuré. Du sédiment a été prélevé au moyen de bagues en acier d'un contenu de 100 cm³, afin d'en calculer la densité après séchage à 105°.

Tout le blé était moissonné sur chaque sous-parcelle; après battage, grain et paille étaient pesés et leur biomasse sèche calculée, des sous-échantillons ayant été séchés à 70° jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Entrevues semi-structurées

Un questionnaire a été préparé et des entrevues semi-structurées ont été conduites avec 20 fermiers. En outre, environ dix fermiers supplémentaires ont été interrogés informellement. La plupart des fermiers ont été interviewés sur le terrain, ce qui leur a permis de donner des réponses précises au sujet de la taille des pierres qu'ils laissent et retirent, de l'endroit où ils mettent les pierres après déplacement et ainsi de suite. Les premières questions du questionnaire étaient ouvertes, afin de permettre aux fermiers de donner leurs idées spontanées au sujet de la couverture en pierre et de son impact positif ou négatif. Les questions suivantes étaient plus précises afin de se concentrer sur certaines pratiques. Deux agents des services de vulgarisation et deux spécialistes en CES du bureau agricole du Dogua Tembien ont été également interviewés, particulièrement au sujet des réponses que nous avons reçues des fermiers.

Le 19.9.1999, après assèchement de l'eau dans les tranchées, et avant que le sédiment riche en argile ne se fissure, le volume de sol collecté dans les tranchées au pied des sous-parcelles a été mesuré. Du sédiment a été prélevé au moyen de bagues en acier d'un contenu de 100 cm³, afin d'en calculer la densité après séchage à 105°.

Tout le blé était moissonné sur chaque sous-parcelle; après battage, grain et paille étaient pesés et leur biomasse sèche calculée, des sous-échantillons ayant été séchés à 70° jusqu'à l'obtention d'un poids constant.

Entrevues semi-structurées

Un questionnaire a été préparé et des entrevues semi-structurées ont été conduites avec 20 fermiers. En outre, environ dix fermiers supplémentaires ont été interrogés informellement. La plupart des fermiers ont été interviewés sur le terrain, ce qui leur a permis de donner des réponses précises au sujet de la taille des pierres qu'ils laissent et retirent, de l'endroit où ils mettent les pierres après déplacement et ainsi de suite. Les premières questions du questionnaire étaient ouvertes, afin de permettre aux fermiers de donner leurs idées spontanées au sujet de la couverture en pierre et de son impact positif ou négatif. Les questions suivantes étaient plus précises afin de se concentrer sur certaines pratiques. Deux agents d'extension et deux spécialistes en CES du bureau agricole du Dogua Tembien ont été également interviewés, particulièrement au sujet des réponses que nous avons reçues des fermiers.

RESULTATS

Perceptions du rôle des pierres dans les champs

Les fermiers ne retirent jamais toutes les pierres de leurs champs, mais en laissent une quantité critique parce que les pierres favorisent l'infiltration, protègent le sol contre l'érosion et gardent l'humidité. Un fermier exprimait l'utilité des pierres pour la conservation de l'humidité en disant: "si vous mettiez du beurre sur la tête de quelqu'un (une pratique traditionnelle), il est mieux que sa tête ait des cheveux pour conserver le beurre; de la même manière, les pierres aident à garder l'humidité ". Les pierres plus grandes qu'environ 25 cm sont la plupart du temps retirées. Si elles sont entre 10 et 25 cm, une partie d'elles peut être retirée. Toutes les pierres plus petites sont laissées sur le champ. L'importance de la couverture en pierres dans la gestion traditionnelle du territoire peut être illustrée par le fait que des règles communautaires dans le

Dogua Tembien ne permettent pas de ramasser des pierres sur le champ d'autrui. En outre, au temps des semailles, de grandes pierres sont empilées en colonnes afin de libérer de l'espace pour les cultures; au premier labourage de la saison suivante, elles sont de nouveau réparties sur le champ afin de conserver l'humidité du sol. Tous les fermiers ont dit que la construction de murets en pierres sèches est la meilleure utilisation qui puisse être faite des pierres plus grandes quand elles sont trop nombreuses, mais beaucoup se sont plaints que les agents d'extension leur font prendre également les pierres plus petites pour les utiliser comme remblai derrière les murets de pierres sèches. Selon eux, ceci laisse le champ tout à fait exposé à l'érosion. Bien que tous les fermiers interviewés pensent que la présence de pierres sur les champs est un avantage, la plupart disent qu'ils ne pratiquent pas l'épandage de pierres (stone mulching) sur des champs avec basse couverture en pierres, puisque cela nécessite beaucoup de temps et d'énergie. Exceptionnellement cependant, Hiluf et Zenebe, fermiers du village de Harena ont couvert un champ de pierres. Zenebe dit: "d'abord j'ai mis quelques pierres sur mon champ à l'essai et plus tard j'en ai ajouté plus parce que cela améliore le rendement". Remarquons cependant que jusqu'à présent, nous n'avons pas visité ces expériences et que nous n'avons aucune information sur la lithologie des pierres apportées; le rendement amélioré pourrait tout aussi bien être dû à l'entrée de calcium des fragments de calcaire qu'à l'effet de l'épandage.

Les employés responsables de la CES au bureau agricole du Dogua Tembien nous ont donné les explications suivantes quant à la gestion par les paysans des pierres dans les champs. "Les fermiers veulent laisser une certaine quantité de pierres dans les champs parce que cela conserve l'humidité et protège les racines contre le soleil. Ils ne nous ont jamais parlé du rôle des pierres pour la protection du sol contre l'érosion. Nous avons entendu parler de quelques fermiers qui apportent des pierres des pâturages pour couvrir leur champ si celui-ci n'a pas assez de pierres. A Togoga, ils cassent également des pierres plus grandes (calcaire) à la masse et étendent les morceaux sur le champ. Mais généralement il y a excès de pierres, ainsi le manque de pierres n'est pas considéré comme étant un problème. Nous ne donnons aucun conseil à nos agents d'extension au sujet des pierres dans les champs. Il n'y a aucune instruction non plus d'où prendre les pierres pour la construction de murets, sauf qu'elles ne peuvent pas être prises des clôtures ou des restes de maison. La plupart du temps, les fermiers prennent des pierres de l'intérieur du champ, parce que généralement les pâturages sont éloignés. L'autre raison est que jusqu'à présent, nous n'étions pas très avertis des avantages des pierres sur les champs. Lors de nos tournées de supervision, il peut arriver que nous reprochons à des fermiers qu'ils ne mettent pas assez de petites pierres derrière les murets de pierres sèches. D'une façon générale, ils justifieront leur travail de mauvaise qualité en disant qu'ils laissent les pierres plus petites dans le champ parce qu'ils en ont besoin pour augmenter le rendement. C'est leur manière de cacher leur erreur".

La discussion avec les agents des services de vulgarisation concernait également l'augmentation du risque d'érosion suite au ramassage des pierres pour construire les murets de pierres sèches. Selon l'un d'eux, aucun fermier ne veut que des pierres soient retirées de son champ mais quand d'autres fermiers construisent des murets dans un champ en l'absence du propriétaire, ils prennent des pierres de l'intérieur du champ car ils ne veulent pas les apporter de loin. En ce qui concerne l'érosion accrue due au ramassage de pierres pendant la construction de murets, un autre agent des services de vulgarisation répondait que "même si le champ perd plus de terre, elle sera stockée derrière le muret".

Tableau 2. Résultats de l'expérience: pertes et flux de sol.

	traite- ment	couvert en pierres %	pente m/m	perte de sol				
				m ³	kg	total kg/m	due aux labours kg/m	par l'eau kg/m
A	control	12.75	0.11	0.122	122.697	24.5	14.5	10.1
B	all	2.5	0.12	0.259	261.702	52.3	16.5	35.8
C	half	13.5	0.10	0.146	147.792	29.6	13.2	16.3
D	control	19	0.12	0.152	153.196	30.6	16.0	14.6
E	all	0	0.12	0.201	203.085	40.6	16.1	24.5
F	half	17.25	0.12	0.254	256.742	51.3	16.6	34.8
G	control	21.25	0.13	0.113	114.137	22.8	17.9	4.9
H	half	12	0.13	0.170	171.659	34.3	18.0	16.3
I	all	0	0.13	0.216	217.778	43.6	18.0	25.6
J	all	0	0.14	0.208	209.670	41.9	18.3	23.6
K	half	12.5	0.14	0.148	149.752	30.0	19.0	11.0
L	control	19.25	0.13	0.114	115.287	23.1	17.9	5.2

Résultats de l'expérience

Pendant la saison des pluies de 1999, nous avons observé visuellement que des rigoles d'érosion se développaient dans les sous-parcelles sans couverture en pierres (Figure 3). La formation de rigoles a démarré avec la première pluie importante et s'est intensifiée pendant les pluies suivantes. Des semences étaient emportées vers les tranchées au pied de ces sous-parcelles, où elles ont germé. Ceci n'est pas arrivé dans les autres sous-parcelles, sauf dans la parcelle F, probablement à cause d'une légère dépression existant dans cette parcelle. Le Tableau 2 donne la couverture en pierres des sous-parcelles en %, ainsi que volume et masse de sol perdu de chaque sous-parcelle. (La densité sèche moyenne du sédiment humide piégé dans les tranchées était 1009 kg/m³). Cette perte en sol peut être transformée en flux de sol exprimé en kg/m, c'est-à-dire la masse de sol transportée à travers une unité de longueur parallèle aux courbes de niveau.

On doit se rappeler que la perte de sol mesurée provient autant de l'érosion par l'eau que du mouvement de sol généré par les labours (érosion mécanique sèche). Comme nous examinons l'influence des pierres sur l'érosion par l'eau, nous déduisons la masse estimée de sol déplacé par les labours de la masse totale collectée dans les tranchées afin d'obtenir la perte de sol nette suite à l'érosion par l'eau.

Le flux du sol à cause des labours peut être représenté par l'équation suivante (Kirkby, 1971; Govers *et al.*, 1994):

$$Q_s = K \cdot S$$

où: Q_s = flux du sol en kg/m;

K = constante de diffusion, indiquant le taux (en kg/m) d'érosion suite aux labours, pour une opération. Dans les hautes terres du Nord de l'Éthiopie, pour les labours avec la *mahrasha*, des expériences permettent d'estimer K à 67,5 kg/m (Nyssen *et al.*, 2000b);

S = la pente en m/m.

Le flux de sol suite à deux opérations de labours peut donc, pour une sous-parcelle avec une pente de par exemple 0,10 m/m, être estimée à 13,5 kg/m. Ceci a été déduit du flux de sol total afin d'obtenir le flux dû à l'érosion par l'eau (Tableau 2, dernière colonne).

Le flux de sol dû à l'érosion par l'eau est compris entre 4,9 et 35,8 kg/m, les valeurs inférieures correspondant sans aucun doute aux sous-parcelles avec la plus grande couverture caillouteuse. Comme nous l'avons déjà mesuré précédemment (Nyssen *et al.*, 2000b), nous

trouvons ici également que l'érosion mécanique sèche génère un flux de sol qui est du même ordre de grandeur que l'érosion par l'eau.

Les récoltes (Tableau 3) sont comprises entre 11,9 et 18,3 Qt/ha pour le blé et 15,9 et 26 Qt/ha pour la paille (biomasse sèche). Aucun engrais, ni organique ni minéral, n'avait été épandu sur le champ. Il y a une bonne corrélation ($R^2 = 0,53$) entre les récoltes de blé et de paille ce qui prouve la précision de nos mesures.

DISCUSSION

Des entrevues nous pouvons conclure que les fermiers dans les villages étudiés considèrent qu'une certaine quantité de pierres dans leurs champs est utile pour conserver l'humidité, pour favoriser l'infiltration, pour diminuer l'érosion et pour protéger les racines contre le soleil. Mais bien qu'ils sachent ces avantages la plupart des fermiers ne pratiquent pas l'épandage (de pierres) à cause des contraintes de travail. En outre, les fermiers sont en faveur de la construction de murets en pierres sèches mais peu disposés à utiliser les pierres plus petites pour celles-ci.

Les connaissances concernant la couverture pierreuse au niveau des agents des services de vulgarisation sont faibles. Nonobstant les remarques des fermiers ils appliquent une technique de construction de murets qui a comme conséquence un ramassage excessif de pierres. Il est dommage que la valeur des connaissances locales sur la couverture caillouteuse soit tellement sousestimée. Les résultats de l'expérience nous permettent de confirmer au moins partiellement les perceptions des fermiers.

Perte de sol

Le ramassage de pierres entraîne clairement un plus haut taux d'érosion du sol (Tableau 4). La masse moyenne de sol perdu (avant déduction même des pertes par l'érosion mécanique sèche) présente des différences significatives ($P = 0,05$) sous les trois traitements. L'importante perte de sol de la sous-parcelle F à grande couverture caillouteuse surprend cependant. C'est probablement dû à

une légère variation de la topographie, résultant en l'existence d'une faible dépression dans la sous-parcelle dans laquelle des rigoles sont formées, d'après l'exploitant déjà avant la mise en place de la parcelle expérimentale. Une régression du flux de sol suite à l'érosion par l'eau sur la couverture caillouteuse (Figure 5), à l'exclusion du point isolé F, démontre comment la perte de sol augmente avec la diminution de la couverture caillouteuse ($R^2 = 0,74$). La réduction de la couverture caillouteuse de 20 % à 0 % entraîne un triplement de l'érosion par l'eau. Cette dernière est déjà doublée quand seulement la moitié des pierres sont enlevées. Sans

Tableau 3. Récoltes de *melileh* pendant la saison 1999 sur les différentes sous-parcelles.

	% couv. pierres	paille t/ha	blé t/ha
A	12.75	2.600	1.836
B	2.5	2.035	1.460
C	13.5	1.914	1.532
D	19	2.176	1.621
E	0	1.669	1.616
F	17.25	2.349	1.769
G	21.25	1.865	1.437
H	12	1.593	1.472
I	0	1.588	1.193
J	0	2.007	1.404
K	12.5	1.960	1.718
L	19.25	1.855	1.516

Tableau 4. Masse de sol (kg) perdu des sous-parcelles de 30 m² sous trois traitements différents (pas de pierres enlevées, la moitié des pierres enlevées, toutes les pierres enlevées).

	contrôle	50% enlevées	toutes enlevées
bl1	122.697	147.792	261.702
bl2	153.196	256.742	203.085
bl3	114.137	171.659	217.778
bl4	115.287	149.752	209.670
moyenne	126.329	181.487	223.059

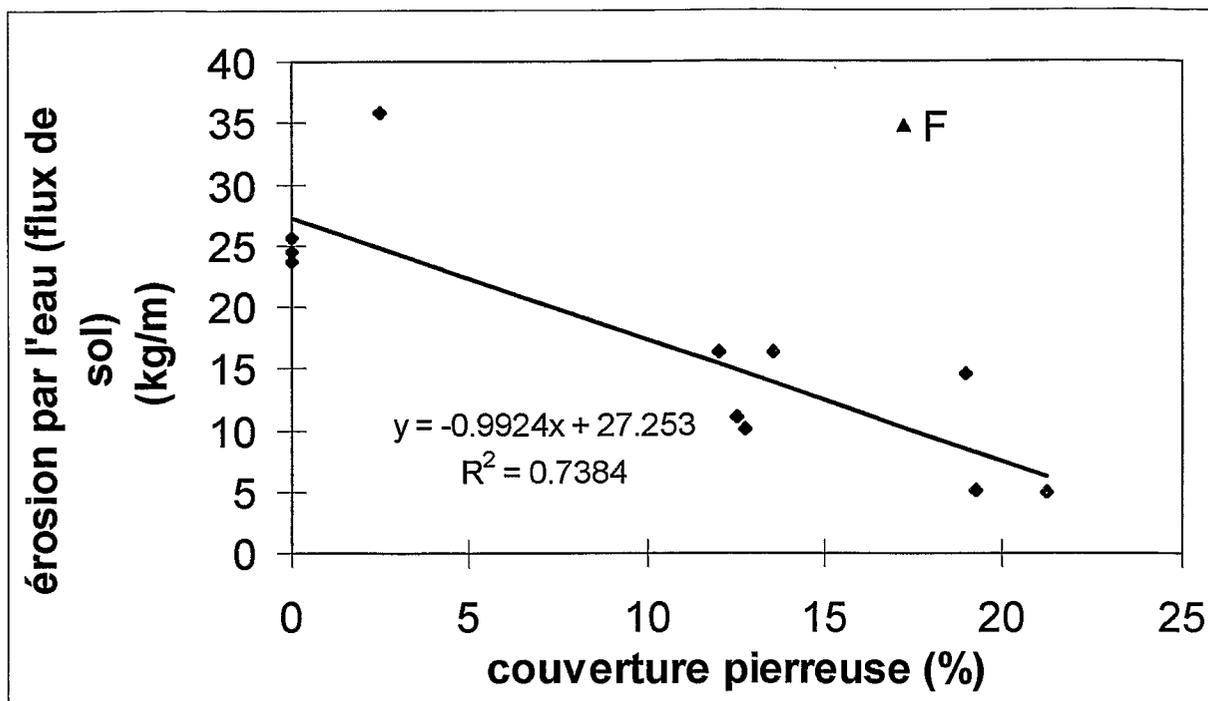


Figure 5. Régression linéaire de l'érosion par l'eau en fonction du couvert en pierre.

aucun doute sont elles rationnelles, les connaissances locales concernant l'érosion par l'eau provoquée par le ramassage excessif des pierres.

La Figure 4 montre qu'avec le temps, et à condition que le ramassage des pierres ne soit pas plus important que, dans ce cas, la moitié de la couverture originelle, cette dernière est assez bien restaurée endéans les deux années. Comme nous venons de voir, pendant cette période la perte de sol est cependant très importante, ce qui explique, avec l'érosion mécanique sèche, comment le creux derrière les murets peut être rempli si rapidement après leur construction. En outre, sur les sols à caractère vertique où la densité des pierres à la surface est beaucoup plus importante que dans le profil (Lavrysen, 2000), la réserve de pierres pourrait s'épuiser si l'on continue d'enlever les pierres.

Diminution de la récolte

Sur notre parcelle expérimentale, tant les récoltes de blé (Figure 6) que de paille (Figure 7) diminuent seulement légèrement suite au ramassage de pierres. En outre, les corrélations sont faibles (R^2 de 0,18 et 0,12 respectivement). Remarquons ici que les argiles smectiques de ce sol ont une très bonne capacité de rétention de l'eau, tant à la surface des argiles qu'entre leurs feuillets (Driesen & Dudal, 1991) et qu'il y avait suffisamment de pluie. Même en enlevant le couvert pierreux, il y avait donc suffisamment d'eau retenue dans le sol pour permettre une bonne récolte. Pour ces raisons, on dit

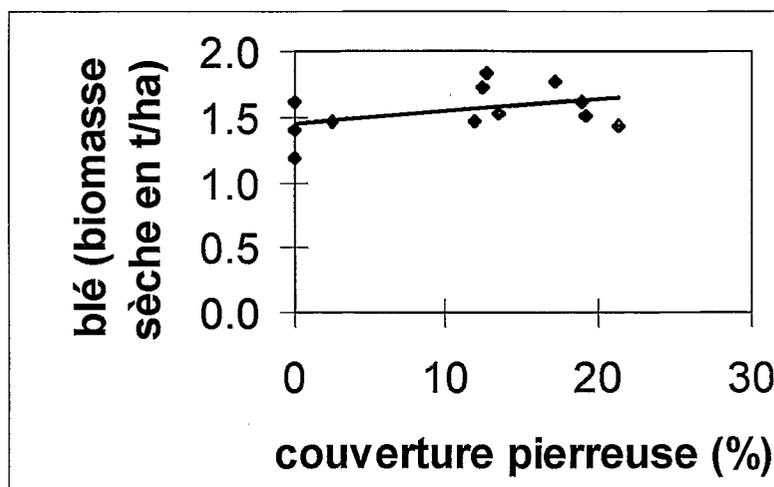


Figure 6. Régression linéaire de la récolte de blé (*Triticum* spp.) sur le couvert en pierre.

d'ailleurs que sur les sols argileux des hautes terres du Dogua Tembien, les récoltes ne sont jamais entièrement ratées. Il a été prouvé que c'est surtout dans les régions semi-arides et arides que les pierres augmentent la productivité du sol (Poesen & Lavee, 1994). Sans aucun doute, l'effet du ramassage des pierres sur les récoltes sera beaucoup plus dramatique dans les parties plus basses et moins arrosées du Dogua Tembien qui sont en outre situées sur calcaire.

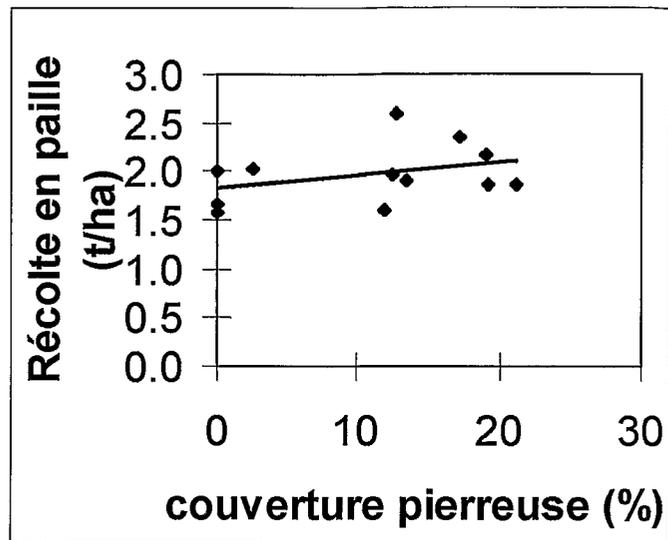


Figure 7. Régression linéaire de la récolte en paille en fonction du couvert en pierre.

CONCLUSIONS

Sur cette parcelle (pente = 12.5 %) sur Cambisol vertique dans la zone subhumide de hauts plateaux éthiopiens, le ramassage de l'entièreté de la couverture en pierres (comme cela se fait lors de la construction de murets en pierres sèches) provoque le triplement de la perte de sols suite à l'érosion par l'eau. Le flux total du sol, en ce compris le flux causé par les labours, est pratiquement doublé. D'après la littérature, l'effet sur d'autres sols en Ethiopie sera similaire. Ceci correspond aux dires des paysans interrogés. Nous n'avons cependant pas trouvé une diminution significative des récoltes, ce qui devrait exister dans les parties plus sèches du pays, à commencer par les villages situés plus bas que Zenak'o, où il pleut moins et où les sols sont pauvres en argiles.



Figure 8. On utilise de plus en plus du sol riche en pierres comme remblai pour les murets. Ceci évite le ramassage excessif de pierres du champ. Les tranchées d'excavation servent à faciliter l'infiltration. (Adi Kolakol, début juillet 1999).

L'évaluation de la connaissance indigène concernant la couverture en pierre devrait être améliorée en tenant compte de l'effet perçu des pierres sur différents types de sols. Des expériences sur l'épandage de pierres comme technique de CES, tenant compte de la lithologie des pierres appliquées et des types de sols devraient être effectuées.

Enfin, depuis 1999, du sol riche en pierres est creusé derrière les murets de pierres sèches et employé pour terminer le remblai, ce qui implique que les petites pierres ne sont souvent plus ramassées dans le champ pour la construction des murets. Nos observations visuelles tendent à indiquer que la sédimentation derrière les murets de pierres sèches est plus lente en ce cas et que l'érosion est donc moindre (Figure 8). Nous pensons que ceci est une amélioration substantielle apportée à la technique des murets.

REMERCIEMENTS

Cette étude fait partie d'un programme de recherche financé par le Fond pour la Recherche Scientifique - Flandre (Belgique). Nous remercions spécialement Berhanu Gebremedhin Abay pour la traduction et l'aide à tous les travaux sur le terrain, à Aferay Tsegay pour la conduite des entrevues, à Fekishu Ahimed pour les mesures de la sédimentation et à Gebremeskel Gebremichael, exploitant du champ sur lequel l'expérience a été effectuée. Les employés de la branche locale de REST (Relief Society of Tigray) et du Dogua Tembien Agricultural Office nous ont aidés de différentes manières. Marc Corbeels a donné des commentaires valables pour l'amélioration expérimentale. Enfin, nous remercions de nombreux fermiers de la région pour leur aide.

BIBLIOGRAPHIE

- DRIESEN P., DUDAL A., 1991. The major soils of the world. *Wageningen and Leuven*, 310 p.
- FAO, 1998. World reference base for soil resources. *World Soil Resources Reports, 84, FAO-ISRIC-IUSS*, 88 p.
- GOVERS G., VANDAELE K., DESMET P., POESEN J., BUNTE K., 1994. The role of tillage in soil distribution on hill slopes. *Eur. J. Soil Sci.*, 45 : 469-478.
- HURNI H., 1985. Erosion – productivity – conservation systems in Ethiopia . *Proc. 4th Int. Conf. On Soil Conservation, Maracay, Venezuela* : 654-674.
- HURNI H., PERICH I., 1992. Towards a Tigray Regional Environmental and Economic Strategy (TREES). *Group for Development and Environment, University Berne, Switzerland*, 32 p.
- KIRKBY M., 1971. Hill slope processes – response models based on the continuity equation. *Inst. Br. Geogr. Spec. Publ.*, 3 : 15-30.
- LAVRYSEN E., 2000. Studie van de ruimtelijke spreiding van stenigheid in een tropisch berggrivierbekken, Tigray, Ethiopië. *Unpub. M. Sc. Thesis, Department of Geography, University of Leuven*, forthcoming.
- MITIKU H., FASSIL K., 1996. Soil and moisture conservation in the semi-arid areas of Ethiopia. *Proc. 3d Conf. Eth. Soc. Soil Sci.* : 60-76.

- MOEYERSONS J., 1990. Soil loss by rain wash : a case study from Rwanda. *Z. Geomorph. N.F.*, 34 (4) : 385-408.
- NYSSSEN J., 1998. Soil and water conservation under changing socio-economic conditions in the Tembien Highlands (Tigray, Ethiopia). *Bull. Soc. Géog. Liège*, 35 : 5-17.
- NYSSSEN J., MOEYERSONS J., DECKERS J., MITIKU H., POESEN J., 2000 a. Vertic movements and the development of stone covers and gullies, Tigray Highlands, Ethiopia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, in press.
- NYSSSEN J., POESEN J., MITIKU H. MOEYERSONS J., DECKERS J. 2000 b. Tillage erosion on slopes with soil conservation structures in the Ethiopian highlands. *Soil and Tillage Research*, in press.
- POESEN J., LAVEE H., 1994. Rock fragments in topsoils : significance and processes. *Catena*, 23 : 1-28.
- POESEN J., TORRI D., BUNTE K., 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different scales : a review. *Catena*, 23 : 141-166.
- RÖMKENS M., 1985. The soil erodibility factor : a perspective. In : *El-Swaify S., Moldenhauer W., Lo A. (eds), Soil erosion and conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa*, 793 p.
- WISCHMEIER W., SMITH D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agricultural Handbook 537. *United States Department of Agriculture, Washington*, 58 p.