

Utilisation de la légumineuse de couverture *Desmodium intortum* pour le contrôle de l'érosion hydrique dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun

I. Amani_(1,2*), E. Temgoua₍₁₎, P. Azinwi_(1,3) et C. Kondo₍₄₎

- 1) Département des sciences du sol, Faculté d'agronomie et des sciences agricoles, Université de Dschang, BP222, Dschang, Cameroun.
- 2) Département de production végétale, Faculté des sciences agricoles et de l'environnement, Université catholique la Sapiencia de Goma, Kituku N°2, Goma, RD Congo.
- 3) Département de génie minier et minéralier, Institut national supérieur polytechnique, Université de Bamenda, Cameroun.
- 4) Département de nutrition animale, Faculté d'agronomie et des sciences agricoles, Université de Dschang, BP222, Dschang, Cameroun.

* Auteur correspondant : iramani.ucs@gmail.com

RÉSUMÉ

L'érosion hydrique dans les hautes terres de l'Ouest Cameroun (HTOC) nécessite la mise en œuvre de techniques de conservation des sols adaptées au contexte environnemental et socio-économique de ce milieu essentiellement agricole. Une étude expérimentale a été menée dans le but de déterminer le rôle des légumineuses de couverture du sol et particulièrement du *Desmodium intortum* dans le contrôle de l'érosion hydrique dans les HTOC. Le dispositif expérimental était en blocs de Fisher avec quatre réplifications, établi à la Ferme d'Application et de Recherche (FAR) de l'Université de Dschang, sur un site en pente avec une inclinaison de 13 %. La collecte des eaux de ruissellement transportant des sédiments à l'exutoire des parcelles de 1 m² de superficie, a permis de quantifier les pertes de sol et le coefficient de ruissellement (CR) à quatre densités de plantation : 0 plante/m² (la parcelle non couverte en permanence), 13 plantes/m² (T1); 20 plantes/m² (T2) et 25 plantes/m² (T3). Aussi, une évaluation décadaire du taux de couverture végétale a été réalisée par la méthode de quadrant botanique. Le cumul des précipitations naturelles enregistrées durant la période de collecte est de 178 mm. Les résultats des observations effectuées sur cinq décades (50 jours) ont montré que l'utilisation de *D. intortum* a entraîné une réduction de 84 % des pertes en terre soit de 17,0 (T0) à 2,6 t/ha (T3) et une réduction de 46 % du ruissellement soit de 19,8 % (T0) à 10,7 % (T3). Les moyennes décadaires ont indiqué des différences significatives ($P < 0,05$) à la densité de 25 plantes/m², chaque 1 % du taux de couverture végétale ayant permis d'éviter une perte en terre moyenne d'environ 854 kg/ha selon l'équation de régression ($R^2 = 0,96$). Cependant, l'influence de la plante de couverture n'a été perceptible qu'au cours des deux dernières décades, pour des taux de couverture allant

Comment citer cet article :

Amani I., Temgoua E., Azinwi P. et Kondo C., 2022 - Utilisation de la légumineuse de couverture *Desmodium intortum* pour le contrôle de l'érosion hydrique dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun. *Étude et Gestion des Sols*, 29, 351-363

Comment télécharger cet article :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-29/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

de 27 à 71 %. Ces résultats ont révélé que l'utilisation de *D. intortum* comme plante de couverture dans le contexte des HTOC est à recommander, à condition de définir l'itinéraire technique adapté au système de production de l'agriculteur, y compris la possibilité de le combiner avec les techniques de travail du sol qui ont fait leurs preuves dans la conservation des sols.

Mots-clés

Sol de pente, érosion hydrique, plante de couverture, *Desmodium intortum*, Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (HTOC).

SUMMARY

USE OF THE COVER LEGUME DESMODIUM INTORTUM FOR WATER EROSION CONTROL IN THE CAMEROON WESTERN HIGHLANDS

Water erosion in the highlands of West Cameroon (HTOC) requires the implementation of soil conservation techniques adapted to the environmental and socio-economic context of this essentially agricultural environment. An experimental study was carried out to determine the role of leguminous soil covers, particularly *Desmodium intortum*, in controlling water erosion in HTOC. The experimental set-up was a Fisher block design with four replications, established at the University of Dschang Research and Application Farm (FAR); on a sloping site with a 13 % gradient. The collection of runoff water carrying sediments at the outlet of the plots measuring 1 m², allowed the quantification of soil losses and the runoff coefficient (CR) at four planting densities: 0 plants/m² (the plot not permanently covered), 13 plants/m² (T1); 20 plants/m² (T2) and 25 plants/m² (T3). Also, a decadal evaluation of the vegetation cover rate was carried out by the botanical quadrant method. The cumulative natural rainfall recorded during the collection period was 178 mm. The results of the observations carried out over five decades (50 days) showed that the use of *D. intortum* resulted in an 84 % reduction in soil loss, i.e. from 17 (T0) to 2.6 t/ha (T3), and a 46 % reduction in runoff, i.e. from 19.8 % (T0) to 10.7 % (T3). Decadal averages showed significant differences ($P < 0.05$) at the density of 25 plants/m², with each 1 % of the vegetation cover rate avoiding an average soil loss of 854 kg/ha according to the regression equation ($R^2 = 0.96$). However, the influence of the cover crop was only noticeable in the last two decades, for cover rates ranging from 27 to 71 %. These results revealed that the use of *D. intortum* as a cover crop in the context of HTOC is to be recommended provided that the technical itinerary adapted to the farmer's production system is defined, including the possibility of combining it with tillage techniques that have proven successful in soil conservation.

Key-words

Slope soil, water erosion, cover crop, *Desmodium intortum*, West Cameroon Highlands (HTOC).

RESUMEN

UTILIZACIÓN DE LA LEGUMINOSA DE COBERTURA DESMODIUM INTORTUM PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL ALTIPLANO OCCIDENTAL DE CAMERÚN

La erosión hídrica en las tierras altas del oeste de Camerún (HTOC) requiere la aplicación de técnicas de conservación del suelo adaptadas al contexto medioambiental y socioeconómico de este entorno esencialmente agrícola. Se realizó un estudio experimental para determinar el papel de las cubiertas de suelo de leguminosas, en particular *Desmodium intortum*, en el control de la erosión hídrica en el HTOC. El montaje experimental fue un diseño de bloques Fisher con cuatro repeticiones, establecido en la Granja de Investigación y Aplicación (FAR) de la Universidad de Dschang; en un sitio inclinado con una pendiente del 13 %. La recogida del agua de escorrentía que transportaba sedimentos a la salida de las parcelas de 1 m², permitió cuantificar las pérdidas de suelo y el coeficiente de escorrentía (RC) a cuatro densidades de plantación: 0 plantas/m² (la parcela no cubierta permanentemente), 13 plantas/m² (T1); 20 plantas/m² (T2) y 25 plantas/m² (T3). Asimismo, se realizó una evaluación decenal de la tasa de cobertura vegetal mediante el método del cuadrante botánico. La precipitación natural acumulada registrada durante el periodo de recogida fue de 178 mm. Los resultados de las observaciones realizadas durante cinco décadas (50 días) mostraron que el uso de *D. intortum* supuso una reducción del 84 % de las pérdidas de suelo, es decir, de 17 (T0) a 2,6 t/ha (T3), y una reducción del 46 % de la escorrentía, es decir, del 19,8 % (T0) al 11 % (T3). Los promedios decenales mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) a la densidad de 25 plantas/m², con cada 1 % de la tasa de cobertura vegetal evitando una pérdida media de suelo de 854 kg/ha según la ecuación de regresión ($R^2 = 0,96$). Sin embargo, la influencia del cultivo de cobertura sólo fue perceptible en las dos últimas décadas, para tasas de cobertura que iban del 27 al 71 %. Estos resultados revelaron que el uso de *D. intortum* como cultivo de cobertura en el contexto del HTOC es recomendable siempre que se defina el itinerario técnico adaptado al sistema de producción del agricultor, incluyendo la posibilidad de combinarlo con técnicas de labranza que han demostrado ser exitosas en la conservación del suelo.

Palabras clave

Suelo en pendiente, erosión hídrica, cultivo de cobertura, *Desmodium intortum*, Tierras altas del oeste de Camerún (HTOC).

INTRODUCTION

Le sol est l'une des ressources naturelles les plus importantes dont la plupart des populations africaines dépendent pour leur subsistance (Bashagaluke, 2018). Cependant, le sol est soumis à des pressions environnementales et humaines cumulatives, qui entraînent l'apparition de diverses formes de dégradation. La principale forme de dégradation des sols sous les tropiques est l'érosion hydrique (Roose *et al.*, 2015).

L'érosion hydrique correspond au déplacement des sédiments et de la matière organique d'un endroit à un autre sous l'action de l'énergie cinétique des pluies et du ruissellement qui en résulte (Fox *et al.*, 2008). La forme diffuse ou érosion en nappe attaque principalement l'horizon superficiel du sol (Le Bissonnais *et al.*, 2002) et conduit à une perte de la couche arable la plus riche en matière organique et en nutriments. Ceci entraîne à son tour une baisse de la productivité des terres agricoles et par conséquent un déficit dans la satisfaction des besoins nutritionnels, ainsi que des problèmes économiques, sociaux et environnementaux (Wang *et al.*, 2015).

Au Cameroun et particulièrement dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (HTOC), les effets combinés d'une pluviométrie élevée, d'un relief accidenté, de la nature du sol (sols ferrallitiques) et de pratiques culturales inadaptées (billonnage le long de la pente la plus forte et travail à plat) entraînent l'érosion hydrique (Fotsing, 1993). Cette érosion hydrique conduit à la dégradation des terres agricoles et par conséquent à une baisse de la production (Temgoua *et al.*, 2014). Les résultats de Boukong (2000) sur un Oxisol ont rapporté un départ moyen annuel du sol de 23 et 47 t/ha ; pour des billons parallèles à la pente principale de 9 et 20 % respectivement. Et plus récemment, les travaux de Djoukeng (2016) ont pu montrer que les billons isohypses permettaient de réduire les pertes en terre de 85 % (de 24,0 t/ha/an à 3,6 t/ha/an) par rapport aux parcelles cultivées à plat.

Face à l'échec des techniques mécaniques de lutte antiérosive manifesté à travers l'abandon des terrasses, la suppression de haies vives, l'ensablement des fosses, le labour dans le sens de la pente... (Fotsing, 1993; Djoukeng, 2016), il est nécessaire d'encourager les actions correctives et préventives. De ce point de vue, Rey *et al.* (2004) ont révélé que quelque soit l'agressivité du climat, la pente moyenne des versants et le type de sol, les phénomènes d'érosion sont faibles si le sol est couvert à plus de 90 % par de la végétation. Cependant, la capacité anti-érosive du couvert végétal dépend fortement de la nature morphologique et physiologique de la plante présente, qui définit à la fois sa capacité à réduire aussi bien le détachement que le transport des sols tout en augmentant la sédimentation.

Les légumineuses rampantes, dont le *Desmodium intortum* fait partie, constituent un atout majeur dans la lutte biologique contre l'érosion. *D. intortum* est une plante fourragère résistant à la sécheresse grâce à un système racinaire très développé. Elle existe dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun à l'état natif comme une mauvaise herbe ou une plante fourragère (Orwa

et al., 2009). Cependant, aucune étude ne s'est penchée sur sa capacité à contrôler l'érosion et à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. C'est au regard de ce déficit d'informations que ce travail a été initié avec l'objectif de déterminer l'efficacité de *D. intortum* dans le contrôle de l'érosion hydrique (genèse du ruissellement et perte en sol) ainsi que les conditions requises pour son utilisation efficace.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description du site d'étude

Cette étude a été menée à la Ferme d'Application et de Recherche (FAR) de l'Université de Dschang. Le site est situé dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (HTOC) à 05°44' de latitude Nord, 10°07' de longitude Est et 1387 m d'altitude. Le site présente une pente moyenne de 13 % d'après les mesures effectuées sur le terrain par la méthode du niveau à bulle. Le précédent cultural sur le site était une association haricot-manioc-taro sur des billons parallèles à la direction de la pente.

Dans cette zone, les précipitations varient entre 1500 et 2000 mm, la saison sèche allant de mi-novembre à mi-mars et la saison des pluies de mi-mars à mi-novembre couvrant la saison culturale. La végétation originelle de cette région est une savane arbustive avec parfois des forêts galeries.

Les sols de cette région sont des Oxisols dans les hautes terres et des gleysols dans les bas-fonds (Boukong, 2000). Ces sols se sont développés sur un substratum granito-gneissique et des basaltes anciens ; décrits par Valet (2012) comme des sols érodés de ferralite-gravionnaires rouges.

Méthodes

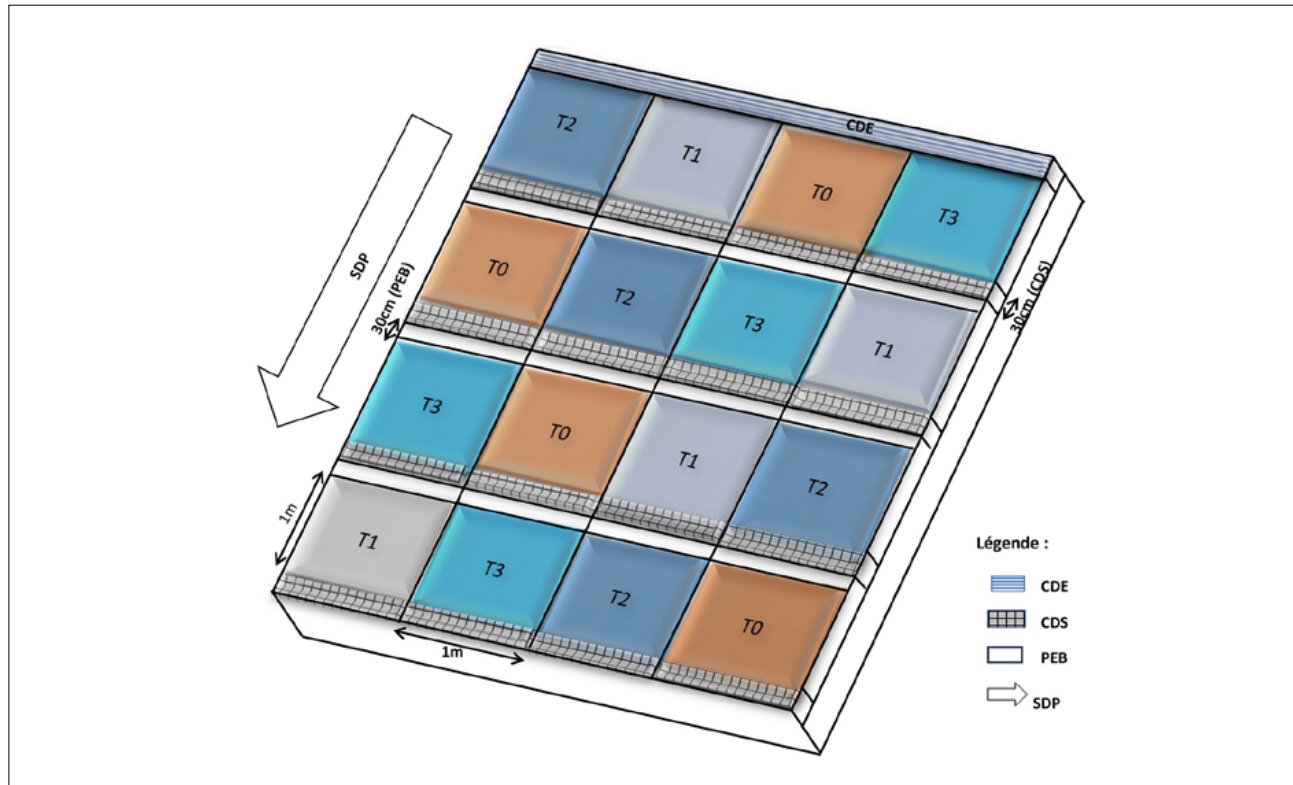
Plan d'expérience

Le plan expérimental était un bloc de Fisher à quatre répétitions. Le principal facteur étudié était la densité de semis. Les différents niveaux ont été choisis selon les normes établies pour diverses exploitations, notamment le pâturage, la culture intercalaire et la jachère améliorée (Granier et Chatillon, 1972; Orwa *et al.*, 2009).

Pour ce faire, quatre blocs, comprenant chacun quatre traitements, ont été établis dans la direction perpendiculaire à la pente principale. Chaque parcelle était équipée en aval d'un collecteur d'un volume de 7,5 dm³ pour piéger les eaux de ruissellement et les sédiments transportés par celles-ci (Bashagaluke, 2018). Les parcelles adjacentes d'un même bloc étaient séparées les unes des autres par une paroi en polyéthylène (profondeur : 25 cm et hauteur : 25 cm) afin d'éviter les interactions hydriques entre les traitements. De plus, le champ expérimental était limité en amont par un canal de

Figure 1 - Dispositif du champ expérimental en bloc de Fisher où CDE = Canal de drainage des eaux, CDS = Collecteur des sédiments, PEB = Passage entre blocs, SDP = Sens de la pente ; T0, T1, T2, T3 sont les traitements aux densités de semis respectives de 0 ; 13 ; 20 et 25 plants/m².

Figure 1 - Fisher block experimental field layout where CDE = Water drainage channel, CDS = Sediment collector, PEB = Block passage, SDP = Slope direction; T0, T1, T2, T3 are the treatments at 0, 13, 20 and 25 plants/m² respectively.



drainage pour éliminer toute eau provenant de l'extérieur du champ (Figure 1).

Pratiques culturales

Chaque traitement, à l'exception du témoin, était constitué de cinq rangées de lits de semences perpendiculaires à la direction de la pente. Les rangs successifs étaient espacés de 20 cm les uns des autres. La préparation du sol a consisté en un labour peu profond et la mise en place de lits de semences (sillons) après le nettoyage du terrain.

Quantification des pertes en terre et du ruissellement

Les données des pertes en terre ont été collectées sur chaque parcelle après chaque événement pluvieux érosif. Les hauteurs de précipitations érosives et non érosives étaient mesurées en même temps. Les sédiments mélangés aux liquides collectés par parcelle ont été pesés sur site (Nouvelot, 1992) à l'aide d'une balance électronique (1 g à 5 kg) pendant cinq décades (50 jours).

Un échantillon homogène (solide + liquide) de 100 g a été prélevé à chaque fois, filtré et la phase solide a été séchée à l'étuve jusqu'à poids constant (105°C). La phase solide sèche obtenue a ensuite été repesée pour obtenir le poids sec. Le poids sec ainsi obtenu a ensuite été mis en relation avec le volume total de sédiments collectés par parcelle (Nouvelot, 1992).

Les poids cumulés par traitement sur l'ensemble de l'expérience ont ensuite été extrapolés à 1 ha. Par ailleurs, la perte totale de sol (PT) a été obtenue en cumulant les pertes enregistrées sur l'ensemble des pluies érosives, où « pt » pertes en terre pour chaque décade avec pt1, pt2, pt3, pt4, pt5 pour chacune des 5 décades.

$$PT = pt1 + pt2 + pt3 + pt4 + pt5 \quad (1)$$

La profondeur de la couche de sol érodé a été calculée en divisant la masse de sol érodé par la densité apparente. L'évaluation du ruissellement a été faite sous la forme d'un coefficient de ruissellement (CR) par traitement. Le CR a été calculé selon l'équation (2).

$$CR = \frac{VR(dm^3)}{VP(dm^3)} * 100 \quad (2)$$

Avec :

- CR : Coefficient de Ruissellement (%)
- VR : Volume ruisselé
- VP : Volume des précipitations reçues sur la parcelle

Evaluation du taux de couverture végétale du sol

L'évaluation de la couverture végétale a été réalisée tous les 10 jours à partir du 10^e jour après le semis (JAS). Le taux de couverture par parcelle a été déterminé par la méthode du cadran botanique. Cette méthode consiste à appliquer un cadre botanique d'une surface intérieure de 1 m² et subdivisé en 400 mailles de 25 cm² chacune. Le taux de couverture est le rapport de la somme des mailles occupées (par la végétation) à plus de 50 %, sur le nombre total de mailles. La surface de la parcelle étant équivalente à la surface du cadre, le taux de couverture a été obtenu par la relation (3).

$$TCV = \frac{Mc}{Mt} * 100 \quad (3)$$

Avec :

- TCV : Taux de couverture du sol
- Mc : Nombre de mailles couvertes à plus de 50 %
- Mt : Nombre total des mailles du cadran (400)

Analyses en laboratoire

Les analyses du sol ont été réalisées sur un échantillon composite de l'horizon de surface prélevé à 20 cm de profondeur. Les échantillons ont été prélevés dans différents blocs de la parcelle expérimentale avant le semis. Les analyses physico-chimiques du sol ont été réalisées au laboratoire d'analyse des sols et de chimie environnementale de l'Université de Dschang selon les protocoles liés aux paramètres concernés (Soil Survey Staff, 2014).

Les analyses physiques ont porté sur la composition granulométrique (par la méthode hydrométrique) et la détermination de la densité apparente (par cylindres). Les analyses chimiques ont concerné l'azote total par la méthode Kjeldahl, le phosphore disponible par la méthode Bray 2, les bases échangeables (K⁺, Na⁺, Ca²⁺), selon Soil Survey Staff (2014), le pH-H₂O et le pH-KCl par la méthode potentiométrique, le C organique par la méthode Walkley-Black tandis que le taux de saturation en bases (S/T) ainsi que la capacité d'échange cationique (CEC) par la méthode Schollenberg (Reeuwij, 2002).

De plus, un profil de sol de 1 m de profondeur et de 1 m² de surface a été décrit sur le site pour la caractérisation morphologique du sol selon le modèle de la FAO et en tenant compte de l'enracinement de la culture en question, qui ne dépasse généralement pas 50 cm (Baize et Jabiol, 2011).

Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé était constitué de semences de *Desmodium intortum* provenant du *Rwanda Agriculture and Animal Resources Development Board (RAB)*, station de Musanze. Le taux de germination mesuré a varié de 65 à 70 %, la plantation ayant eu lieu en début Avril.

Analyse des données

Le traitement des données et les calculs relatifs aux pertes en terre, aux coefficients de ruissellement (CR) ainsi qu'au taux de couverture végétale (TCV) ont été effectués avec le tableur Excel 2016. Ce même logiciel a permis de calculer les précipitations décennales et de générer les différents graphiques illustrant les variations aussi bien du ruissellement que de pertes en terre décennales en fonction du cumul des précipitations correspondantes. Les analyses réalisées grâce au logiciel Ri386 4.0.3 ont concerné la comparaison bilatérale appariée des moyennes décennales aussi bien pour les pertes des sols que pour le CR en fonction du traitement témoin selon le T-test. Par suite, une régression linéaire multiple entre précipitation, taux de couverture végétale et pertes en terre a été établie afin de percevoir la liaison entre les principaux facteurs d'érosion ainsi que le poids attribuable à chacun d'eux.

RÉSULTATS

Profil pédologique et propriétés physico-chimiques du sol

Le profil pédologique creusé sur le flanc de la colline présente deux horizons à limites diffuses dont un horizon superficiel (0-45 cm) de couleur brun très foncé (7,5YR2,5/3) et un horizon sous-jacent (45-100 cm) de couleur brun foncé rougeâtre (2,5YR3/4), présentant tous une texture sablo-argileuse (diagnostic tactile) et une structure massive. La porosité, la compacité, la fragilité, la plasticité et la friabilité sont modérées pour les deux horizons, qui ne montrent aucun signe d'hydromorphie. L'horizon superficiel présente 25 % des matériels grossiers de taille nodulaire, tandis que l'horizon sous-jacent présente 15 % des matériels grossiers de taille centimétrique et décimétrique et de fragments de roche. En outre, une très faible activité biologique a été observée dans la fine couche superficielle, tandis que des débris de feuilles fraîches, des racelles et une importante présence de racines (plantes ligneuses) ont été notés dans l'horizon sous-jacent.

La fraction fine du sol du site expérimental est caractérisée par une texture modérément grossière avec 56,5 % de sable et 27 % de limon (*Tableau 1*). Cette texture correspond à la

classe Loam-sableux du triangle textural de la base mondiale de référence pour les ressources en sols (2014). Le sol a une densité apparente moyenne (1,07 g/cm³). Le pH-H₂O est légèrement acide (6,1) et la différence (Δ pH) entre le pH-H₂O et le pH-KCl de valeur 0,7 (inférieure à l'unité) indique l'absence d'acidité échangeable. La teneur en matière organique est élevée (6,63 % soit un %C = 3,96), le sodium et le calcium sont modérés (0,58 cmol⁺/Kg et 8,08 cmol⁺/Kg) tandis que le potassium (2,98 cmol⁺/Kg) et le magnésium (4,08 cmol⁺/Kg) sont élevés selon Beernaert et Bitondo (1992). Le même tableau montre un faible taux de phosphore (13,6 mg/Kg), un taux d'azote moyen (0,24 %) et une CEC modérée (18,8 cmol⁺/Kg) (Tableau 1).

Caractéristiques des données pluviométriques

Un total de 16 événements pluvieux dont 06 non érosifs et 10 érosifs a été enregistré et regroupé en décades. La moitié des pluies non érosives, soit 3 sur 6, a été enregistrée à la première décade tandis que le maximum des pluies érosives a été observé à la quatrième décade (Tableau 2).

Les hauteurs les plus élevées ont été enregistrées au cours des troisième et quatrième décades avec des cumuls respectifs de 47,4 et 61,5 mm des pluies pour un total de 177,6 mm enregistrés, soit près de 61 % des précipitations. Par contre, la plus faible hauteur cumulée (7,9 mm) a été enregistrée au cours de la deuxième décade. Cette situation démontre l'irrégularité et l'agressivité des pluies qui influencent à la fois la dynamique de croissance de la plante de couverture et les phénomènes érosifs observés.

Dynamique de croissance de la plante de couverture

De manière globale, le *D. intortum* a présenté une dynamique de croissance positive mais irrégulière sur les différentes périodes, et cela indifféremment de la densité de semis. Une phase de latence (Figure 2) consécutive à la faible hauteur des précipitations a été observée sur les trois courbes de croissance.

La phase de croissance optimale a été enregistrée entre 30 et 50 JAS, avec des taux moyens de couverture passant de 24 à 61 %, de 18 à 45 % et de 9 à 27 % respectivement pour les densités T3, T2 et T1 (Figure 2). Par ailleurs, les taux moyens de couverture de 37 % pour T1, 54 % pour T2 et 71 % pour T3 ont été enregistrés au bout de 60 JAS. Cette couverture a été,

Tableau 1 - Caractéristiques physico-chimiques de la fraction fine du sol sur le site expérimental.

Table 1 - Physical and chemical characteristics of the fine soil fraction at the experimental site.

Propriétés physiques					Propriétés chimiques						
Texture					Densité apparente (g/cm ³)						
Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)			1,068						
16,5	27	56,5									
pH		C (%)	N (%)	P (mg/kg)	Bases échangeables (cmol ⁺ /Kg)				C/N	S/T (%)	CEC (cmol ⁺ /Kg)
pH-H ₂ O	pH-KCl	3,96	0,24	13,6	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	16,2	83,8	18,75
6,1	5,4				8,08	4,08	2,98	0,58			

Source : Laboratoire d'Analyse des Sols et de Chimie de l'Environnement de l'Université de Dschang

Tableau 2 - Distribution et caractéristiques des événements pluvieux décadaires.

Table 2 - Distribution and characterization of decadal rainfall events.

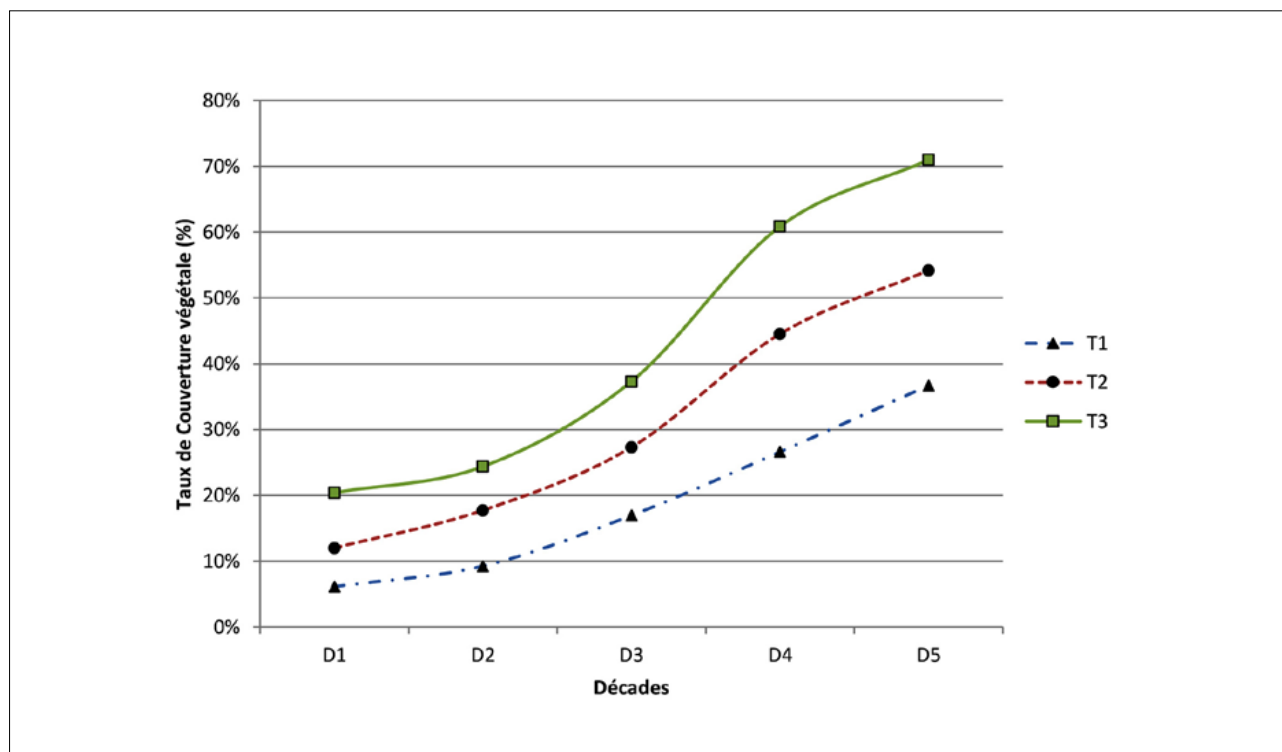
Décade	Pluies érosives	Pluies non érosives	Jours secs	Précipitation décadaire (mm)	Cumul décadaire (mm)	Total des pluies
DC1	2	3	5,0	38,6	38,6	5
DC2	1	1	8,0	7,9	46,5	2
DC3	2	2	6,0	47,4	93,9	4
DC4	3	0	7,0	61,5	155,5	3
DC5	2	0	8,0	22,2	177,6	2
TOTAL	10	6	6,8	177,6	-	16

Légende : DC1, DC2, DC3, DC4 et DC5 correspondent respectivement à la 1^{ère}, 2^e, 3^e, 4^e et 5^e décade.

Where DC1, DC2, DC3, DC4 and DC5 correspond to the 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th decade respectively.

Figure 2 - Evolution de la croissance du *D. intortum* sur la base du taux de couverture du sol pour les trois densités de semis utilisées. Où : T1, T2 et T3 sont les traitements aux densités respectives de 13 ; 20 et 25 plants/m².

Figure 2 - Evolution of the growth of *D. intortum* based on the soil cover rate for the three sowing densities used. Where: T1, T2 and T3 are the treatments at densities of 13, 20 and 25 plants/m² respectively.



par la suite, mise en relation avec la perte de sol décadaire afin de mettre en évidence l'influence de la dynamique du couvert végétal sur l'érosion du sol.

Quantification des pertes en terre et du ruissellement

Variation des pertes en terre par rapport à la distribution décadaire des précipitations

Les pertes en terre décadaires ont été influencées de manière variable par les quantités de pluies enregistrées au cours des mêmes décades (DC). Il s'observe que les quantités de pluies les plus élevées n'ont pas nécessairement conduit aux plus grandes pertes en terre. Ceci résulterait du rôle important joué par les deux autres paramètres de l'érosivité, c'est-à-dire l'intensité et la distribution des précipitations (Figure 3).

Il faut également ajouter l'influence de l'état d'humidité du sol et de la dynamique de croissance de la plante de couverture, qui modifient à leur tour l'érodabilité des terres (Baril, 1991). Les coefficients de ruissellement suivent la même tendance mais avec des variations plus prononcées et assez contrastées, surtout dans les deuxième et cinquième décades (Figure 4).

On observe par ailleurs une relation très complexe entre la pluviométrie et le coefficient de ruissellement, de sorte qu'il serait prématuré d'établir une véritable relation de cause à effet entre ces deux paramètres sans intégrer l'ensemble des facteurs érosifs, chacun dans sa complexité et sa variabilité dans le temps et l'espace selon Leguédou (2003).

Effet de la densité de semis sur le coefficient de ruissellement (CR)

Les coefficients de ruissellement ont varié différemment au cours des différentes décades. Les deux premières décades ont montré des variations irrégulières tandis que les trois dernières décades ont indiqué une diminution du ruissellement proportionnelle à l'augmentation de la densité, c'est-à-dire du traitement à sol non couvert T0 au traitement T3 (Tableau 3).

Le taux de réduction a été obtenu par la différence entre la valeur cumulée du traitement T0 et d'un traitement donné (T1, T2, T3) divisée par la valeur T0, le tout exprimé en pourcentage.

Les CR cumulés sur les 5 décades suivent la même tendance que les trois dernières décades et montrent une réduction de 46,2 % du ruissellement (de 19,88 à 10,7 %) en passant de la parcelle non couverte (T0) à la parcelle avec une densité de 25 plantes/m² (T3).

Figure 3 - Variation des pertes en terre décadaires par traitement en fonction des hauteurs de précipitations correspondantes. Où PT1, PT2, PT3 et PT0 sont les pertes en terre respectives des traitements T1, T2, T3 et T0.

Figure 3 - Variation of decadal soil loss (PT) per treatment as a function of the corresponding rainfall. Where PT1, PT2, PT3 and PT0 are the respective soil losses of the T1, T2, T3 and T0 treatments.

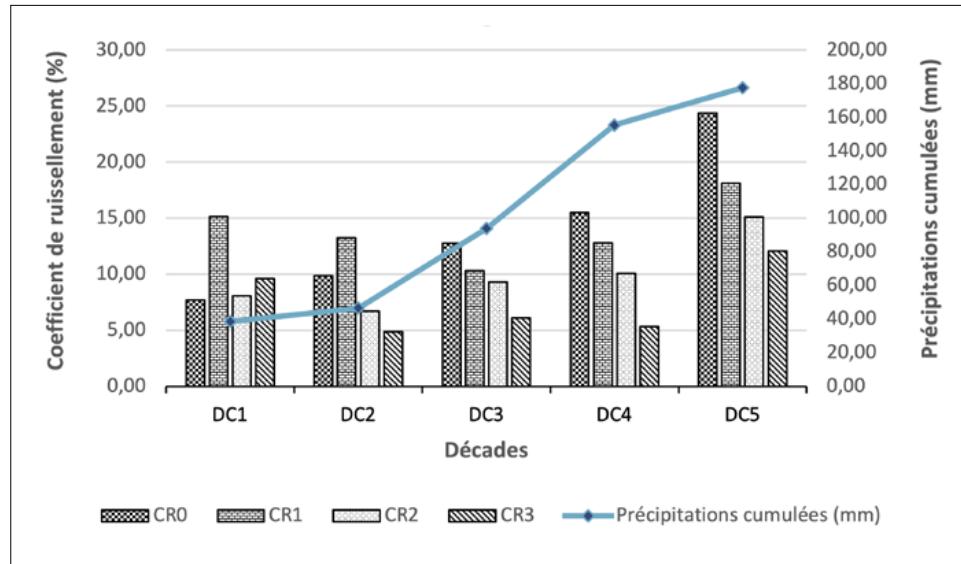


Figure 4 - Variation des coefficients de ruissellement décadaires (CR) par traitement en fonction des hauteurs des précipitations correspondantes. Où CR0, CR1, CR2 CR3 sont respectivement les Coefficients de ruissellement des traitements T0, T1, T2 et T3.

Figure 4 - Variation of the decadal runoff coefficients (CR) per treatment in relation to the corresponding rainfall amounts. Where CR0, CR1, CR2, CR3 are the runoff coefficients for treatments T0, T1, T2 and T3 respectively.

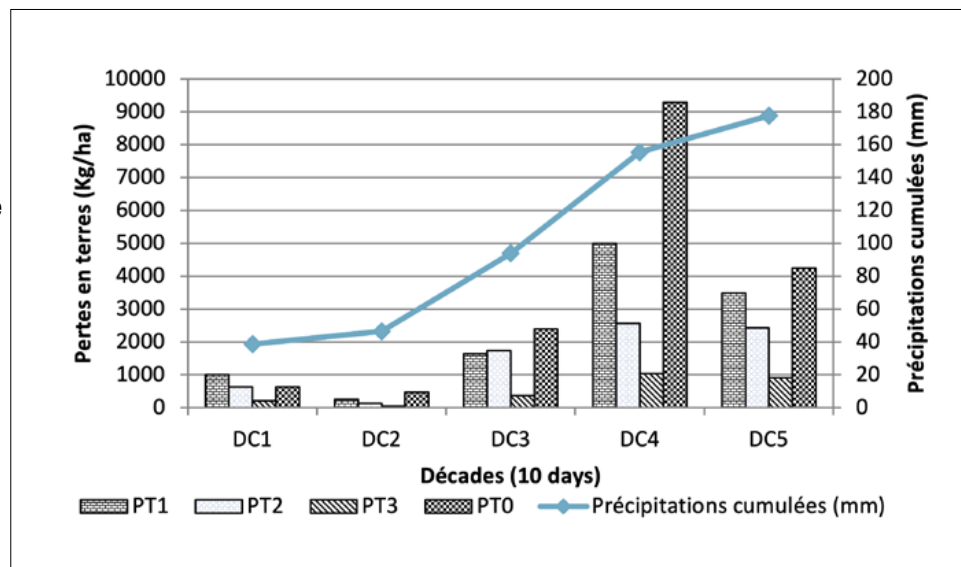


Tableau 3 - Coefficients de ruissellement décadaires par traitement.

Table 3 - Decadal runoff coefficients per treatment.

Traitement	Coefficient de Ruissellement décadaire (%)					CR du cumul (%)	Taux de réduction (%)
	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5		
T0 (0 plants m ⁻²)	7,71	9,88	12,79	14,75	35,82	19,88	0,00
T1 (13 plants m ⁻²)	15,14	13,24	10,31	12,22	25,32	17,43	12,36
T2 (20 plants m ⁻²)	8,08	6,71	9,32	10,26	21,83	16,81	15,47
T3 (25 plants m ⁻²)	9,60	4,88	6,09	7,36	14,24	10,70	46,20

Légende : DC= décade. Where DC= decade.

Tableau 4 - Comparaison des moyennes des CR des différents traitements par rapport à T0.**Table 4** - Comparison of the means of the CR of the various treatments in relation to T0.

Paramètre		Traitements comparés		Test de Student		
		Sol Couvert	Sol nu (T0)	Ddl	Itl	P(>Itl)
Coefficient de Ruissellement (%)	T1	15,25 ± 8,20a	16,19 ± 13a	32	2,03	0,78
	T2	12,36 ± 7,49a	16,19 ± 13a	30	2,04	0,26
	T3	8,43 ± 6,13b	16,19 ± 13a	27	2,05	0,023*

Seuil de signification : 5 % (*). Les moyennes aux lettres identiques sont statistiquement égales, au seuil de 5 %.
Significance level : 5% (*). Means with identical letters are statistically equal at the 5% level.

Par ailleurs, il s'observe une différence significative ($P = 0,023$) pour le CR du traitement T3 par rapport au témoin T0, ce dernier étant comparable au CR des traitements T1 et T2 (Tableau 4). Ceci prouve, en effet, que toute augmentation de la densité n'entraîne pas systématiquement une réduction significative du ruissellement.

Effet des densités de semis sur les pertes en terre

Les quantités des pertes en terre ont varié différemment selon les densités de semis et en fonction de l'évolution du couvert végétal comparativement à la parcelle non couverte (Figure 5, figure 6 et figure 7). L'influence du couvert végétal sur la variation des pertes a augmenté proportionnellement au taux de couverture du sol. Cependant, cette influence ne devient nettement perceptible qu'à partir des quatrième et cinquième décades, et cela dans tous les traitements.

Considérant les deux dernières décades, les plus grandes variations (9,29 t/ha vs 1,03 t/ha et 4,25 t/ha vs 0,90 t/ha) ont été obtenues avec le traitement T3 correspondant aux taux de couverture du sol respectifs de 61 et 71 % (Figure 7), comparativement aux variations moyennes liées au traitement T2 (9,29 t/ha vs 2,58 t/ha et 4,25 t/ha vs 2,42 t/ha) pour des taux de couverture du sol respectifs de 45 et 54 % (Figure 6).

Par contre, la plus faible influence du couvert a été observée sur le traitement T1 (9,29 t/ha vs 5,00 t/ha et 4,25 t/ha vs 3,48 t/ha) pour des taux de couverture végétale respectifs de 27 et 37 % (Figure 5). Cette influence coïncide avec la phase de croissance active de la plante de couverture, consécutive aux précipitations abondantes enregistrées durant cette période.

Il s'observe une variation entre les diverses pertes en terre selon les densités de semis utilisées comparativement à la parcelle non couverte (Tableau 5). Cette variation est plus prononcée dans les deux dernières décades renfermant près de 75 % du cumul des pertes en terre comparativement aux trois premières décades. Cela a conduit à des fortes variations dans les moyennes décadaires par traitement qui dès lors ne peuvent présenter la situation réelle de l'érosion. Par contre, sur la base des valeurs cumulées par traitement, on constate que la plante de couverture a conduit à une réduction de pertes en terre de 85 % lorsque la densité de semis passe de 0 à 25 plants/m². Cela correspond à un gain de 0,14 mm de la couche arable soit 14,44 tonnes de sol sur un hectare.

Il ressort du tableau 6 qu'il y a une différence significative ($P = 0,015$) entre les pertes en terre enregistrées au traitement T3 par rapport au témoin T0, les deux autres moyennes des traitements T2 et T3 étant statistiquement comparables à T0

Figure 5 - Variations comparées des pertes décadaires en terre du traitement T0 en fonction du traitement T1 et de l'évolution de son couvert végétal.

Figure 5 - Comparative variations of the decadal soil losses of treatments T0 and T1 according to the evolution of their vegetation cover.

Légende : PT0 and PT1 sont respectivement les pertes en terre des traitements T0 et T1.

Where PT0 and PT1 are respectively the soil losses of treatments T0 and T1

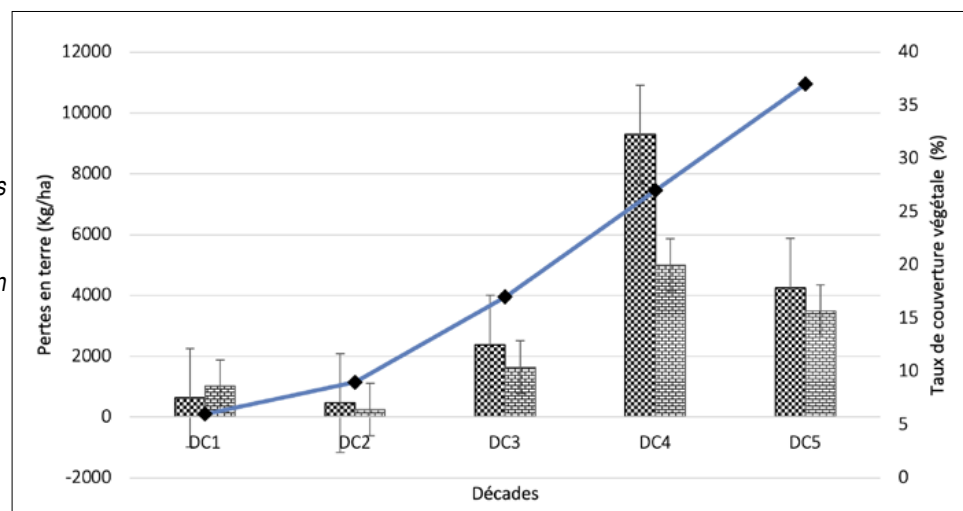


Figure 6 - Variations comparées des pertes décadaires en terre du traitement T0 en fonction du traitement T2 et de l'évolution de son couvert végétal.

Figure 6 - Comparative variations of the decadal soil losses of treatments T0 and T2 according to the evolution of their vegetation cover.

Légende : PT0 and PT2 sont respectivement les pertes en terre des traitements T0 et T2.

Where PT0 and PT2 are respectively the soil losses of treatments T0 and T2.

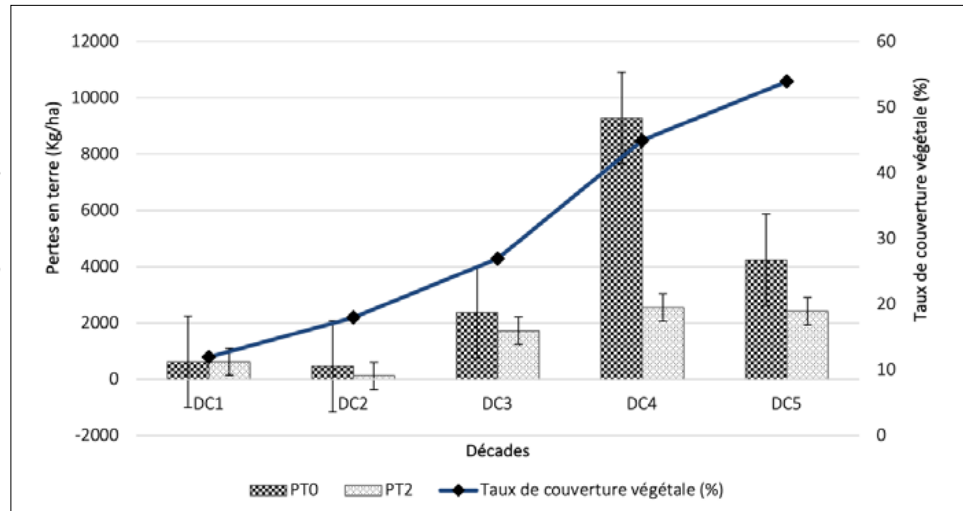


Figure 7 - Variations comparées des pertes décadaires en terre du traitement T0 en fonction du traitement T3 et de l'évolution de son couvert végétal.

Figure 7 - Comparative variations of the decadal soil losses of treatments T0 and T3 according to the evolution of their vegetation cover.

Légende : PT0 et PT3 sont respectivement les pertes en terre pour les traitements T0 et T3.

Where PT0 and PT3 are the soil losses for treatments T0 and T3 respectively.

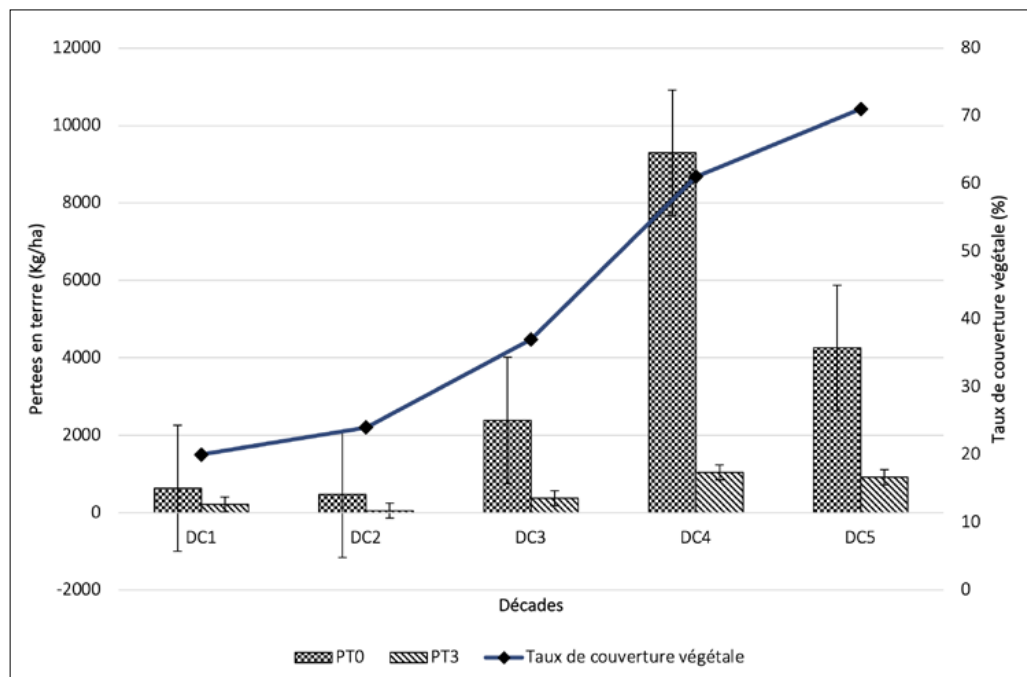


Tableau 5 - Effet de la densité de semis sur les pertes décadaires en terre.

Table 5 - Effect of sowing density on decadal soil loss.

Traitement	Pertees décadaires en terre par traitement (t ha ⁻¹)						Couche du sol érodée (mm)	Taux de réduction (%)
	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5	Cumuls (tha ⁻¹)		
T0 (0 plants m ²)	0,63	0,47	2,39	9,29	4,25	17,04	0,16	0
T1 (13 plants m ²)	1,01	0,25	1,64	5	3,49	11,39	0,10	33,1
T2 (20 plants m ²)	0,63	0,13	1,73	2,56	2,43	7,47	0,07	56,1
T3 (25 plants m ²)	0,21	0,05	0,37	1,04	0,92	2,6	0,02	84,8

Légende : DC= décade. Where DC= decade

au seuil de 5 %. Ceci explique l'importance de la densité de semis qui influence la vitesse du couvert végétal et la densité du système racinaire réduisant ainsi l'impact de l'agressivité climatique sur l'érosion du sol.

De surcroît, une corrélation linéaire multiple a démontré une forte liaison ($R^2 = 0,96$) entre les précipitations, le taux de couverture végétale et les pertes en terre correspondantes pour le traitement T3 (Tableau 7). Ceci a permis de générer une équation de régression qui prédit les pertes en terres en fonction de ces deux facteurs importants de l'érosion que sont la pluie et la végétation.

La couverture végétale a exercé une forte influence sur le contrôle de l'érosion malgré la forte corrélation ($R^2 = 0,92$) observée entre les précipitations et les pertes en terre. En effet, sur la base de l'équation de régression, on constate que chaque 1 mm des précipitations supplémentaires entraîne une augmentation moyenne d'environ 317 kg de pertes en terre par hectare tandis que chaque élévation du taux de couverture végétale de 1 % permet d'éviter une perte en terre moyenne d'environ 854 kg/ha.

DISCUSSION

Influence des précipitations sur le ruissellement et les pertes en terres

Les précipitations ont eu des effets différents sur les pertes en terre et les coefficients de ruissellement décennaux.

En général, la perte en terre a augmenté avec la quantité de pluies ($R^2 = 0,92$), la même observation ayant déjà été faite par plusieurs auteurs (Roose et al., 2015). En revanche, les coefficients de ruissellement n'ont pas nécessairement augmenté avec les précipitations. Ces variations peuvent être liées à la répartition des précipitations, qui affecte la teneur en eau du sol, et à la variation de l'intensité des précipitations, qui prime sur la hauteur dans la détermination de l'érosivité. Dans cette perspective, Roose et De Noni (2004) ont montré que les pluies tropicales sont nettement plus agressives que les pluies de montagne ou tempérées. Ces pluies peuvent être 10 à 20 fois plus importantes que dans les zones tempérées. De même, Fox et al. (2008) ont constaté que le ruissellement ne se produit que lorsque l'intensité de la pluie est supérieure au taux d'infiltration d'une part, ou lorsque la terre a atteint son niveau de saturation d'autre part. Dans ce dernier cas, la répartition des pluies érosives et non érosives, qui détermine la teneur en eau du sol, a une influence sur le ruissellement. De ce point de vue, Brûlé et al. (1997) ont montré que l'état initial des surfaces imperméables dépend de l'historique des précipitations, en particulier des conditions hydrologiques et météorologiques depuis la dernière pluie qui précède l'événement pluvieux considéré.

Ces observations corroborent celles de Boukong (2000) sur un Oxisol dans les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun où une relation complexe entre l'agressivité des pluies et le ruissellement est mise en évidence. Ce dernier observe, d'une part, que la variation de la première ne va pas forcément dans le sens de la seconde et d'autre part la persistance d'un ruissellement important en fin de culture malgré la forte couverture du sol.

Tableau 6 - Comparaison appariée des moyennes des pertes en terre des différents traitements par rapport au témoin T0.

Table 6 - Paired comparison of the mean soil losses of the different treatments to the T0.

Paramètre		Traitements comparés		Test de Student		
		Sol Couvert	Sol nu (T0)	Ddl	Itl	P
Pertes en terre (t/ha)	T1	2,30 ± 3,07a	3,76 ± 5,98a	19	2,02	0,057
	T2	1,52 ± 1,61a	3,76 ± 5,98a	19	2,08	0,051
	T3	0,52 ± 0,68b	3,76 ± 5,98a	19	2,68	0,015*

Seuil de signification : 5 % (*). Les moyennes aux lettres identiques sont statistiquement égales, au seuil de 5 %.

Significance level : 5% (*). Means with identical letters are statistically equal at the 5% level.

Tableau 7 - Corrélation linéaire multiple entre les pertes en terre, les précipitations et le taux de la couverture végétale.

Table 7 - Multiple linear correlation between soil loss, rainfall and vegetation cover rate.

Variable	R2 simple	P (au seuil de 5%)	R2 multiple	Coefficient du variable	Equation de régression
Précipitations (X1)	0,92	0,048		317,3	
Taux de couverture végétale (X2)	0,84	0,051	0,96	-854,1	$Y=317,3X1 - 854,1X2 + 7931,3$
Constante	-	0,027		7 931,3	

Légende : R2 = Coefficient de détermination, P= probabilité et Y= pertes en terre.

Where R2 = Coefficient of determination, P= probability and Y= soil losses.

Effet de la couverture végétale sur la perte en terre et le coefficient de ruissellement

Le couvert végétal obtenu par une densité de semis de 25 plantes/m² a permis une meilleure réduction des pertes en terre ($P=0,015$) et du ruissellement ($P=0,023$) sur les cinq décades. Aussi, une forte corrélation négative ($R^2=0,84$) a été observée entre le taux de couverture végétale et les pertes en terre enregistrées. Cependant, l'action de la plante de couverture n'a été clairement perceptible qu'à partir des deux dernières décades, ce qui explique la grande variation de la moyenne, qui ne peut mieux expliciter la performance de la plante de couverture. En effet, on peut admettre avec Fox *et al.* (2008) que l'effet protecteur d'un couvert végétal n'est souvent pas efficace avant environ 40-50 % et qu'il y a peu de différence dans son action au-delà de 80-90 %. Cependant, l'impact de *D. intortum* était perceptible à partir du taux de couverture de 27 % qui sont beaucoup plus bas que ceux soulevés par Fox *et al.* (2008), soutenant ainsi son efficacité dans le contrôle de l'érosion. De plus, ces résultats corroborent ceux de Tengberg *et al.* (1997), sur des sols ferrallitiques, qui ont trouvé des coefficients de 20 % pour une terre nue, et de 8 % pour une terre couverte de résidus sur 30 % de sa surface, comparables aux valeurs trouvées dans cette étude (20 % vs. 11 %). Des taux de ruissellement similaires (28 % vs 8 %) ont été déterminés par Barthès *et al.* (2017) respectivement sous maïs traditionnel pur et maïs sur terre couverte par un paillis de *Mucuna sp.* au Bénin.

Les quantités de pertes en terre d'environ à 2,6 t/ha pour une densité de semis de 25 plants/m² sont légèrement supérieures à celles obtenues par Boukong (2000) sur des billons cloisonnés perpendiculaires à la pente. Cette différence pourrait être le résultat de la variation du mode de travail du sol, des apports d'engrais et de l'inclinaison de la pente. De plus, les durées des deux expériences sont extrêmement différentes. Néanmoins, Barthès *et al.* (2017) ont obtenu des pertes en terre similaires (34 t/ha vs. 2,9 t/ha) respectivement sous maïs traditionnel pur et maïs sur paillis de *Mucuna sp.* au Bénin. Globalement, les valeurs d'érosion restent relativement modérées et ne dépassent pas le seuil de tolérance généralement admis, fixé entre 2 et 12 t/ha/an selon Mazour et Roose (2002). Dans l'ensemble, les résultats obtenus vont dans le sens des observations faites par Roose et De Noni (2004) ainsi que Boukong (2000), qui recommandent une association judicieuse des cultures, permettant d'atteindre rapidement une couverture optimale du sol afin de contrôler au mieux l'impact de l'agressivité des pluies sur les pertes en terre, notamment dans les deux premiers mois de culture.

Impact de la dynamique de croissance du *D. intortum* sur l'érosion hydrique

Le couvert végétal fourni par *D. intortum* a réduit le coefficient de ruissellement de 46,2 %, c'est-à-dire de 19,88

(T0) à 10,7 % (T3), et a également diminué les pertes totales en terre de 85 %, c'est-à-dire de 17,04 (T0) à 2,6 t/ha (T3). En outre, cela permet d'éviter une perte estimée à 0,14 mm de terre végétale, soit 14,44 t/ha de terre. Cela correspond à 57,8 kg de grains de maïs, d'après les résultats de Tengberg *et al.* (1997) qui montrent que chaque tonne de terre perdue entraîne une perte de rendement estimée à 4 kg/ha. De surcroît, chaque augmentation de 1 % du couvert végétal a permis une réduction de pertes en terre moyenne estimée à 0,854 t/ha. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Djoukeng (2016), notamment pour les pertes en terre (3,6 t/ha) ce qui permet d'admettre que *D. intortum* a plus joué un rôle de filtre que de barrière aux eaux de ruissellement au sens de Hudson (1977). Néanmoins, il faut considérer qu'il s'agit de deux techniques de contrôle de l'érosion différentes mais potentiellement complémentaires. Des pertes en terre similaires de l'ordre de 2,66 à 2,75 t/ha ont été obtenues par Bashagaluke (2018) sur du maïs avec du biochar au Ghana. Des taux de réduction allant de 2 à 15 fois ont également été observés par le même auteur. Des résultats comparables ont été trouvés dans les Hautes Terres malgaches par Douzet *et al.* (2010), qui ont constaté une forte réduction des pertes en terre (de 24 à 0,4 t/ha); la grande variation étant ici liée à la durée de la culture de couverture (3 ans), ce qui implique un apport important de MO et une amélioration des propriétés physiques du sol dans le temps. A cela s'ajoute la variabilité des propriétés intrinsèques du sol, caractérisée dans notre cas par une texture grossière dominée par le limon et le sable mettant en évidence une stabilité structurale relativement sensible, qui ne tient qu'au taux de MO relativement élevé (6,83 %) et à l'abondance d'éléments grossiers en surface (Valet 2012; Temgoua *et al.*, 2014).

CONCLUSION

L'utilisation de *D. intortum* comme plante de couverture (non associée) a conduit à une réduction de 46,2 % du coefficient de ruissellement (CR) et à une réduction de 85 % des pertes en terre. Les moyennes décadales ont montré des différences significatives à la densité de 25 plants/m² pour le CR et la perte en terre par rapport à la parcelle non couverte. Cependant, l'influence de la plante de couverture n'a été perceptible qu'au cours des deux dernières décades avec des taux de couverture allant de 27 à 71 %. Malgré les fortes précipitations enregistrées, chaque augmentation de 1 % du couvert végétal a permis d'éviter une perte en terre moyenne de 854 kg/ha. Cela démontre l'efficacité de *D. intortum* dans le contrôle de l'érosion, en particulier pour les pertes en terre, étant donné que la plupart des cultures n'ont pas d'influence notable sur l'érosion hydrique avant d'atteindre 40-50 % de couverture.

Ainsi, l'utilisation de *D. intortum* comme plante de couverture dans le contexte des Hautes Terres de l'Ouest Cameroun est

recommandable à condition de définir un itinéraire technique adapté au système de production de l'agriculteur.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Université Catholique la Sapientia de Goma (UCS-Goma) d'avoir financé cette recherche ainsi que notre séjour au Cameroun.

BIBLIOGRAPHIE

- Baize D., Jabiol B., 2011 - Guide pour la description des sols. Ed. Quae, Versailles, France, 20 p.
- Baril P., 1991 - Erodibilité des sols et érodabilité des terres : Application au Plateau Vaudois. Thèse Ecole Tech. De Lausanne, Depart. Gen. Rur ; 218 p.
- Barthès B., Azontonde A., Feller C., 2017 - Effets du Mucuna sur la production et la durabilité de systèmes de culture à base de maïs au Sud-Bénin. *In* : Éric Roose (dir.) Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens IRD Éditions. 403-413.
- Bashagaluke J., 2018 - Quantifying soil and nutrients losses under different soil amendments and cropping systems on a Plinthic Vertic Lixisol in Ghana. Thesis at Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi. 220 p.
- Beernaert F., Bitondo D., 1992 - Simple and practical methods to evaluate analytical data of soil profiles, CUDs Dschang soil science department, 66 p.
- Boukong A., 2000 - Influence des pratiques culturales sur la perte en terre, le ruissellement et le rendement de maïs sur un oxisol des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun. Bull. Réseau Erosion, N°20, IRD, GTZ, BP 5035, Montpellier, 34032, France:388-398.
- Brûlé D., Blanchet F., Rouselle J., 1997 - Étude des pertes au ruissellement sur surfaces imperméables en milieu urbain. Rev.Sel. Eau2, 147-166.
- Djoukeng H.-G., 2016 - Le billonnage cloisonné en agriculture des montagnes : évaluation et facteurs d'acceptation. Cas des Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun (Thèse de doctorat). Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 166 p.
- Douzet J.-M., Scopel E., Muller B., Rakotoarisoa J., Albrecht A., Drazafindramanana N.C., 2010 - Effets des systèmes de cultures en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des Hautes Terres de Madagascar. *Etude et Gestion des Sols*, 17,2. 131-142.
- Fotsing J.-M., 1993 - Érosion des terres cultivées et propositions de gestion conservatoire des sols en pays bamiléké (Ouest-Cameroun). Cah. Orstom, sér. Pédol., vol. XXVIII, n°2,351-366.
- Fox D., Carrega P., Morschel J., Ensellem K., Equipe T., 2008 - La dégradation des sols dans le monde. Université Nice Sophia Antipolis à consulter sur <https://unit.univ-cotedazur.fr/uoh/degso/facteurs-erosion.php#> consulté le 06.06.2021 à 23h58.
- Granier P., Chatillon G., 1972 - *Desmodium intortum* : Utilisation dans l'alimentation des vaches laitières. *Rev. Elev.Méd.vét. Pays trop.*, 1972, 25 (3) : 425-432.
- Hudson N., 1977 - Soil conservation. 2nd Ed. (Cornell University Press: New York) ACTA, 1996. Index phytosanitaire, 32^e édition. Paris Cedex, France, 575 p.
- Le Bissonnais Y., Montier C., Jamagne M., Daroussin J., King D., 2002 - Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena* 46: 207–220.
- Leguédou S., 2003 - Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse Uni. Orléans, 179 p.
- Mazour M., Roose E., 2002 - Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord-Ouest de l'Algérie. *Bull Erosion*, 320-330.
- Nouvelot J.-F. 1992 - Erosion mécanique, transport solide, sédimentation dans le cycle de l'eau. Centre Orstom de Montpellier. 126 p.
- Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Simons A., 2009 - Agroforestry Database: a tree reference and selection guide. Version 4.0; available at (<http://www.worldagroforestry.org/af/treedb/>)
- Reeuwij V.K.L., 2002 - Procedures for soil analysis, ISRIC-FAO, Wageningen, Netherlands.
- Rey F., Ballais J.-L., Marre A., Rovéra G. 2004 - Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *C. R. Geoscience* 336, 991–998.
- Roose E., Boli Z., Rishirumhirwa T., 2015 - Les sols tropicaux et leur dégradation en fonction des types d'érosion. *In* : Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens : Contribution à l'agroécologie Version préliminaire, 15-23.
- Roose E., De Noni G., 2004 - Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique: revue et perspectives. *Sécheresse* n°1, vol.15.IRD. 121-129.
- Soil survey Staff, 2014 - Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigation Report N°42, Version 5.0 ed. R. Burt and Soil survey Staff. Lincoln, NE: USDA Naturel Resources Conservation Service.
- Temgoua E., Djoukougou J., Likeng J.D., Tematio P., 2014 - Structural stability of Andisols and Andic Ferralsols from Mount Bambouto, West Cameroon highlands. *Cameroon Journal of Experimental Biology* 2014 Vol. 10 N° 01, 26-34.
- Tengberg A., Stocking M., Dechen S., 1997 - The impact of erosion on soil productivity: an experimental design applied in São Paulo state, Brazil. *Geografiska Annaler* 79, 95-107.
- Valet S., 2012. L'aménagement traditionnel des versants et le maintien des cultures associées : Cas de l'Ouest-Cameroun. Edition IRD, Université des Sciences, Poitiers, 32 p.
- Wang Z., Van Oost K., Govers G., 2015 - Predicting the long-term fate of buried organic carbon in colluvial soils, *Global Biogeochem. Cycles*, 29, 65–79.

