

Vingt-troisième article : Évaluation des pertes de sol par ruissellement et du rendement du soja sous labour en demi-billon dans la région centrale du Togo

Par : K. Koudjega , K. K. A. Ablede , K. K. Ganyo et K. Afawoubo

Pages (pp.) 182-193.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) - Numéro Spécial Productions Végétales, Animales et Halieutiques, Économie Rurale, Sociologie Rurale, Agronomie, Environnement, Développement Durable & Sécurité Alimentaire de l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) – Octobre 2019

Le BRAB est en ligne (on line) sur les sites web <http://www.slire.net> & <http://www.inrab.org>

ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Centre de Recherches Agricoles à vocation nationale basé à Agonkanmey (CRA-Agonkanmey)

Programme Information Scientifique et Biométrie (PIS-B)

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél.: (229) 21 30 02 64 / 21 13 38 70 / 21 03 40 59 ; E-mail : brabinrab@yahoo.fr / craagonkanmey@yahoo.fr

Évaluation des pertes de sol par ruissellement et du rendement du soja sous labour en demi-billon dans la région centrale du Togo

K. Koudjega⁴⁷, K. K. A. Ablede⁴⁸, K. K. Ganyo⁴⁹ et K. Afawoubo⁴⁷

Résumé

Menée sur le terroir de Sessaro-Laoudè dans la région centrale du Togo, l'étude avait pour objectif d'évaluer l'effet de la technique de travail minimum de sol par labour en demi-billon sur les pertes de sol par érosion hydrique sous la culture de soja. Deux essais ont été installés sur deux types de sol ferrugineux représentatifs de la zone à savoir les cambisols et les plinthosols. Le demi-billon avec contrôle des herbes par herbicide (DB+H), le demi-billon avec contrôle des herbes par sarclage (DB+S) et le billon plein avec contrôle des herbes par sarclage (BP), constituant la pratique paysanne, ont été les trois techniques de travail du sol testées sous la culture du soja. Les résultats de l'analyse des données collectées pour 10 pluies pour un total de 317 mm enregistrés, ont montré que sur les cambisols, les quantités d'eau ruisselée ont été deux fois plus importantes sur la parcelle BP (146mm) que sur la parcelle DB+H (70 mm), alors qu'elle a été de 105 mm sur les DB+S. Sur les plinthosols, les ruissellements ont été respectivement de 66 mm, 92 mm et 94 mm avec les techniques de DB+H, de DB+S et de BP. Les quantités d'eau ruisselée ont été plus élevées de 11 à 55% sur les cambisols que sur les plinthosols. Les techniques de DB+H et DB+S ont respectivement réduit de 63 et 49% les pertes de sol sur les cambisols et de 68 et 50% sur les plinthosols par rapport au BP. Les pertes de sol ont été de 1.786 kg/ha sur les cambisols et de 1.492 kg/ha sur les plinthosols. Indépendamment du type de sol, les différentes pratiques de labour n'ont pas eu d'effet sur le rendement de soja. Toutefois, vis-à-vis du type de sol, et indépendamment des pratiques, les cambisols ont produit les meilleurs rendements de soja (1.927 kg/ha) par rapport aux plinthosols (1.609 kg/ha). Somme toute, pour une meilleure réduction des pertes de sol sous culture de soja sur les sols ferrugineux de la région centrale du Togo et pour une meilleure rentabilité, la technique de demi-billon avec le traitement herbicide peut être recommandée aux producteurs.

Mots clés : érosion, technique de labour, type de sol, soja, Région Centrale-Togo.

Evaluation of soil losses through runoff and yield of soybean under half-ridge soil tillage technique in the central Region of Togo

Abstract

Conducted on the Sessaro-Laoudè terroir in the central region of Togo the study aimed at evaluating the effect of the minimum soil tillage technique of semi-ridges on soil loss by water erosion under soybean cropping. Two trials were installed on the two major types of ferruginous soils of the area, which are Cambisols and Plinthosols. Three tillage techniques were tested under soybean cultivation: (i) half-ridge with weed control by herbicide (DB + H); (ii) half-ridge with weed control by hoe weeding (DB + S) and (iii) full ridge with weed control by hoe weeding (BP) which was the farmer practice. Analysis of data collected for 10 rainfalls for a total of 317 mm recorded indicated on Cambisols that the amount of runoff was twice as high on the BP plot (146 mm) as on the DB + H plot (70mm) while it was 105 mm on the DB + S. On the plinthosols, runoff was respectively 66 mm, 92 mm and 94 mm with the DB + H, DB + S and BP techniques. The amounts of runoff were 11 to 55% higher on Cambisols than on Plinthosols. As compared with BP the DB+H and DB+S techniques reduced soil losses on Cambisols by 63 and 49% respectively and by 68 and 50% on plinthosols. Soil losses were

⁴⁷ Dr. Ir. Kossi KOUDJEGA, Centre de Recherche Agronomique du Littoral (CRAL-Davié), Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA), E-mail : koudjeg@gmail.com, Tél. : (+228)90031197, République du Togo.

⁴⁸ Dr. Ir. Komlan Adigninou ABLEDE, Direction Scientifique (DS/ITRA), BP 1163, Lomé, E-mail : komlan.ablede@gmail.com, Tél. : (+228)90263252, République du Togo.

⁴⁹ Dr. Ir. Komla Kyky GANYO, Direction des Laboratoires (DL/ITRA), BP 1163, Lomé, E-mail : desireganyo@gmail.com, Tél. : (+228)90072680, République du Togo.

Ir. Koffi AFAWOUBO, DL/ITRA, BP : 1163, Lomé, E-mail : koffiafawoubo@gmail.com. Tél. : (+228)90072680, République du Togo.

1,786 kg/ha on Cambisols and 1,492 kg/ha on Plinthosols. Regardless of soil type, the different tillage practices had no effect on soybean yield. But with regards to the type of soil, Cambisols produced higher soybean yield (1,927 kg/ha in average) as compared with plinthosols (1,609 kg/ha). The study found that for a better reduction of soil losses on ferruginous soils of the central region of Togo, and for a better profitability of soybean cropping, the half-ridge technique with weed control by herbicide can be recommended for farmers.

Key words: Erosion, tillage technique, soil type, soybean, Central Region-Togo

INTRODUCTION

Pour un pays, les ressources naturelles se composent des terres, des eaux, des plantes, des animaux, etc. Pour un meilleur cadre de vie, ces ressources naturelles devraient subir des transformations par les activités humaines et si le moyen de transformation de ces ressources naturelles est la technique, alors, il convient de rechercher un équilibre entre la technique et la nature qui produit ces ressources (Brabant *et al.*, 1996). Le Togo qui a une superficie de 56.600 km² dispose actuellement de 41.400 km² de terres arables mais qui sont en constante dégradation. Brabant *et al.* (1996), soulignent que l'évolution de l'état de dégradation des sols estimée sur une période de 30 ans est de 3%, soit 124,134 hectares tous les ans. Si cette tendance est maintenue, le pays ne disposerait que de 36.000 km² de terres cultivables autour de l'an 2035 soit 0,30 hectare par habitant.

D'une façon générale, Brabant *et al.* (1996) ont donné une définition de la dégradation des terres comme étant un processus résultant de certaines activités humaines et qui perturbent une, plusieurs ou toutes les fonctions essentielles du sol. Elle entraîne une réduction plus ou moins forte de la capacité des terres à contribuer aux besoins de la vie humaine. Dans un contexte spécifiquement agricole, Mbagwu (2004) a défini la dégradation du sol comme étant la perte de son potentiel productif causée par les activités humaines. De ce point de vue, la dégradation résulte d'une altération des propriétés chimiques et physiques du sol *in situ*. Cependant, dans la très grande majorité des cas, la dégradation du sol résulte d'une érosion aggravée due aux eaux de ruissellement (Fox *et al.*, 2008). Camberlin et Philippon (2002) ont indiqué que la dégradation des terres est toujours causée par des actions anthropiques.

Dans l'ensemble du Togo comme dans tout pays sous les tropiques, le type de dégradation le plus répandu est l'érosion en nappe qui entraîne une réaction en chaîne conduisant à d'autres types de dégradation caractérisés au niveau physique par la destruction de la structure du sol, au niveau chimique par la baisse du taux de matière organique, l'acidification et les carences en éléments minéraux, au niveau biologique par la disparition des micro-organismes responsables de la transformation de la matière organique (Zamba, 1999). Au plan mondial, les données de dégradation des sols sont alarmantes. ISRIC (2012), souligne que 46,4% des sols sont en forte baisse de productivité. Plus de neuf millions d'hectares sont irrémédiablement perdus. Des 133 millions d'hectares dégradés par surexploitation de la couverture végétale pour des besoins domestiques, 50% sont situés en Afrique (Brown, 2013 ; Boughriet, 2008).

Concernant l'érosion hydrique dont sont victimes les terres agricoles sous les tropiques, les facteurs sont les précipitations, la pente, l'érodibilité, le couvert végétal et enfin l'homme, par ses actions diverses de déforestation, de feux de végétation, de surpâturage (Bkhairi, 2012). Les pertes en sol résultent directement du phénomène d'érosion et sont très souvent bien perceptibles sur le terrain (Morgan, 2005). Plusieurs méthodes permettent de les estimer. La plus connue est l'équation universelle des pertes de sol ou équation de Wischmeier et Smith (1978). Il s'agit d'une équation empirique se présentant sous la forme d'un produit de six facteurs indépendants.

Dans la lutte contre l'érosion hydrique, les techniques se complètent pour maîtriser l'érosivité de l'eau d'une part et réduire l'érodibilité de la surface du sol d'autre part. Il existe des centaines de techniques de lutte contre l'érosion. Fox *et al.* (2008) ont classé les différentes méthodes de lutte en fonction des facteurs sur lesquels elles agissent. Parmi ces techniques, celles agricoles notamment le couvert végétal et le travail minimum du sol sont celles qui ont été prises en compte dans la présente étude.

Eu égard à ce problème de dégradation des sols qui porte préjudice à l'agriculture togolaise, un secteur qui occupe une place essentielle dans l'économie togolaise en employant environ 70% de la population active et contribue en moyenne à 30% du produit intérieur brut (PIB), il convient d'intégrer dans les systèmes de culture, des technologies appropriées pouvant limiter la dégradation des terres agricoles en vue de leurs exploitations durables. En effet, suite aux travaux du projet « *Balance nutriments management systems (BNMS)* » qui s'étaient consacrés de 2002 à 2005 aux questions de la fertilité des sols sur les terroirs pilotes d'Affem et Sessaro-Laoudè, le projet « renverser la tendance » exécuté par l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA) en collaboration avec l'Université Catholique de Leuven (UKL) s'était penché entre 2007 et 2012 dans les mêmes localités pilotes sur les pratiques visant à réduire la dégradation des terres sous l'effet de l'érosion hydrique. Ainsi, des techniques de travail minimum ont été considérées comme des pratiques à tester et à faire valoir.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude où l'objectif principal était de tester des techniques de labour minimum permettant de limiter au mieux la dégradation des terres agricoles par le ruissellement. Spécifiquement, il s'est agi de tester la technique de demi-billon et évaluer son effet sur la réduction des pertes de terres par érosion hydrique par rapport à la technique de billon entier ordinairement pratiquée sous le soja, une culture dont l'emblavure augmente de plus en plus dans la zone.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site de l'étude

L'étude a été menée sur le terroir de Sessaro-Laoudè dans la Région Centrale du Togo situé entre 08°34' et 08°41' longitude Nord et 01°08' et 01°12' latitude Est (ITRA, 2007). La zone jouit d'un climat de type tropical semi humide caractérisé par deux grandes saisons distinctes : une saison pluvieuse allant d'avril-mai à octobre avec un maximum de précipitations en août-septembre et une saison sèche de novembre à mars-avril. La pluviosité moyenne régionale oscille entre 1.200 et 1.400 mm en 100 à 120 jours de pluie. La température moyenne annuelle du terroir est de 27°C. Les sols de la zone sont de type ferrugineux tropical répartis en les deux grandes catégories suivantes (Mathé et Sodjadan, 2006) : les cambisols (encore appelés *sols bruns* selon le Système de classification de sol français) ; les plinthosols (sols à plinthite, pétroplinthite ou pisolithes). Les propriétés physico-chimiques des sols des sites étudiés ont été présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des deux unités de sol

Type de sol	Paramètre physico-chimiques								
	Sable (%)	Argile (%)	Limon (%)	% C	CEC (CMol/kg)	C/N	Bray 1-P (mg.kg ⁻¹ sol)	Taux de Saturation (%)	pH eau
<i>Plinthosol</i>	73,72	10,09	16,20	2,43	23,20	12,40	13,72	100,00	6,10
<i>Cambisol</i>	56,28	17,05	26,67	0,75	9,00	13,80	1,86	100,00	7,30

Dispositif expérimental

Deux essais ont été installés sur chaque type de sol dans les champs des producteurs. Les traitements testés ont été les suivants :

- *T1 (DB+H)* : demi-billon avec contrôle des adventices par herbicide ;
- *T2 (DB+S)* : demi-billon avec contrôle des adventices par sarclage ;
- *T3 (BP)* : billon plein avec contrôle des adventices par sarclage (pratique paysanne).

Le dispositif expérimental était de type blocs de Fisher à trois répétitions. La parcelle élémentaire adoptée était de 4,5 m x 5 m soit une superficie de 22,5 m².

Conduite des essais

La préparation du terrain a consisté au défrichage de la parcelle, puis à la confection des billons à la daba. Le soja (*Glycine max*), de variété TGX 1910 14-F sélectionné par l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA Ibadan) a été semé avec un schéma cultural de 75 cm x 10 cm. A la levée, le soja a été démarrié à deux plants par poquet laissant une densité de 626.667 plants/ha. L'engrais SSP (18% P₂O₅) à la dose de 30 kg/ha de P₂O₅ a été apporté 21 jours après semis comme recommandé par les précédents travaux dans la zone (ITRA, 2007). L'herbicide Kalach 360 SL (Glyphosate) a été apporté sur les parcelles T1 juste après le semis ; les parcelles T1 et T2 ont été sarclées au besoin.

Dispositif de collecte des eaux de ruissellement

Sur chaque parcelle élémentaire, un dispositif de collecte des eaux de ruissellement a été installé suivant la méthode développée dans le cadre du projet (ITRA, 2007). Ce dispositif était constitué d'une feuille de tôle galvanisée de 1 m de largeur sur 0,40 m de hauteur avec une ouverture circulaire de 5 cm de diamètre faite au milieu et à 10 cm du bord inférieur de la tôle. Un tuyau PVC de 5 cm de diamètre et 30 cm de long a été fixé à la plaque au niveau de son ouverture circulaire et rattaché à un bidon disposé dans un trou (Figure 1).



Figure 1. Dispositif de collecte des eaux de ruissellement

Observations, paramètres déterminés et analyse statistique des données

Les observations faites ont été les suivantes :

- Les hauteurs des pluies tombées ;
- Les quantités d'eau ruisselées et recueillies dans les bidons après chaque pluie. Après l'agitation de l'eau de ruissellement recueillie, trois échantillons de 0,5 litre chacun ont été prélevés dans des bouteilles en plastique. Les mesures de ruissellement d'eau ont porté sur 10 pluies pour un total de 16 enregistrées. Pour les 6 autres pluies, les mesures n'ont pas été prises pour des raisons de pluies trop importantes qui ont débordé les bidons de collecte, ou des pluies trop faibles pour provoquer le ruissellement ou encore des bidons certaines fois renversés suite à l'entrée de l'eau dans les fosses où ils sont disposés ;
- Les pertes de sol. Des trois échantillons d'eau de ruissellement, trois sous échantillons de 100 ml ont été prélevés et mis à l'étuve dans des bocaux à 105°C pendant 48 heures au laboratoire. Après évaporation totale de l'eau, les sédiments (résidus de sol sec) ont été pesés pour déterminer la quantité de sédiments ruisselés par unité de surface à partir de la formule :

$$P(g/m)^2 = \frac{C(g/l)}{S(m^2)} \times V(l)$$

, où : P est égal aux pertes de sol, C : les charges en sédiments, V : le volume total de ruissellement, et S : la surface de la parcelle de ruissellement ;

- **Le rendement du soja graine à maturité** : le soja sec a été récolté par arrachage des plants et battage. Les graines obtenues ont été pesées par parcelle et les données ont permis de déterminer les rendements par la formule suivante :

$$R(\text{kg/ha}) = \frac{P(\text{kg})}{S(\text{m}^2)} \times 10000$$

, où : R est le rendement du soja grain, P : le poids du soja récolté sur la parcelle utile et S la surface récoltée ;

- **Le bénéfice net** : une évaluation économique des techniques testées par rapport à la pratique paysanne a été faite et a permis de dégager le bénéfice net calculé à partir de la formule suivante (CIMMYT, 1989) :

$$\text{Bénéfice net} = \text{Revenu net} - \text{Charges variables liées à la technique}$$

Les opérations et leurs coûts indiqués dans le Tableau 2 ont été ceux enregistrés dans la zone pendant la période d'étude.

Tableau 2. Paramètres et coûts considérés dans la détermination du budget partiel

Rubrique	Unité	Prix
Herbicide (kalash)	FCFA/litre	3.500
Main d'œuvre confection demi-billon	FCFA/ha	16.000
Main d'œuvre confection billon plein	FCFA/ha	25.000
Main d'œuvre pour application d'herbicide	FCFA/ha	4.000
Main d'œuvre battage et vannage du soja	FCFA/sac de 100 kg	1.000
Main d'œuvre sarclage	FCFA/ha	15.000
Prix d'un emballage de 100 kg	Sac	400
Prix de vente du soja	kg	145

Les données collectées ont été traitées avec le tableur Excel et SigmaPlot pour le tracé des graphes. L'analyse de variance et le regroupement des moyennes par test de Student-Newman-Keuls ont été faits à l'aide du logiciel GenStat 12^{ème} édition au seuil de 5%.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Pluviosité du site

Sur la figure 2 ont été illustrées les hauteurs des pluies enregistrées pendant la période d'étude.

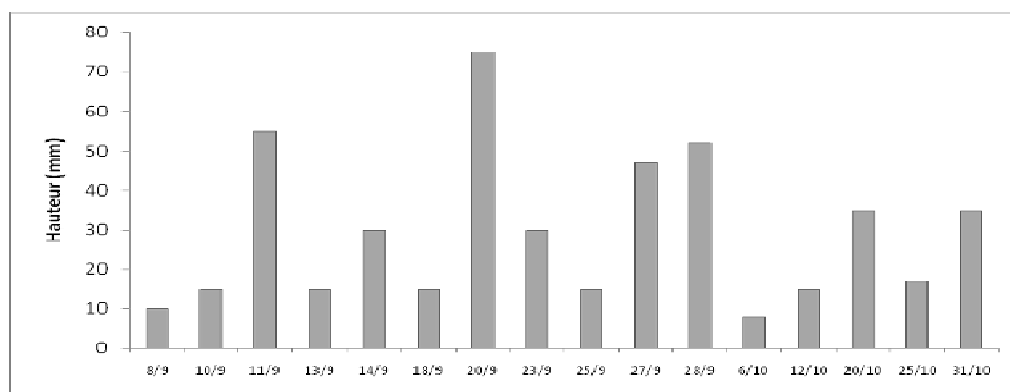


Figure 2. Hauteurs des pluies enregistrées pendant le période d'étude

Seize (16) pluies ont été enregistrées dont onze (11) dans le mois de septembre et cinq (05) dans le mois d'octobre. Le mois de septembre a été plus pluvieux avec une pluviosité totale de 354 mm tandis

que octobre a été moins pluvieux avec au total 110 mm de pluie. Les hauteurs de pluie enregistrée pour les deux mois sont supérieures aux moyennes mensuelles relevées sur une période antérieure de trente ans (1986 à 2015) dans la préfecture de Sotouboua où l'essai a été conduit. Sur cette période de trente ans, les hauteurs moyennes de pluie s'élèvent à 236 mm en 18 jours de pluie pour le mois de septembre et 105 mm pour 10 jours de pluie (DGMN, 2018). En général, on note des hauteurs de pluie élevées par rapport à la moyenne générale mais sur des nombres de jours de pluies plus réduits, ce qui indique que les pluies ont été plus intenses et donc doivent avoir induit plus de ruissellement.

Effet des traitements sur la quantité d'eau ruisselée

Les cumuls des quantités d'eaux ruisselées sur les parcelles des différents traitements des essais ont été présentés dans le Tableau 3. Les résultats indiquent que sur les cambisols, les quantités d'eaux ruisselées ont été plus fortes (105 mm) sur les traitements de demi-billon avec sarclage et sur les traitements de billon plein (146 mm) tandis que les plus faibles ruissellements ont été collectés sur les parcelles de demi-billon avec application d'herbicide (73 mm). Des tendances similaires ont été obtenues avec les différents traitements sur les plinthosols.

Tableau 3. Effet du travail minimum du sol sur les quantités d'eau ruisselées

Traitement	Moyennes des quantités d'eau ruisselée (mm)	
	Cambisol	Plinthosol
Demi-Billon + Herbicide	73 b	66 b
Demi-Billon + Sarclage	105 a	92 a
Billon Plein	146 a	94 a
Coefficient de variation (%)	18,7	26,1
Pluviométrie totale enregistrées (mm)	317	

Les moyennes des colonnes avec les mêmes lettres (a ou b) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keul).

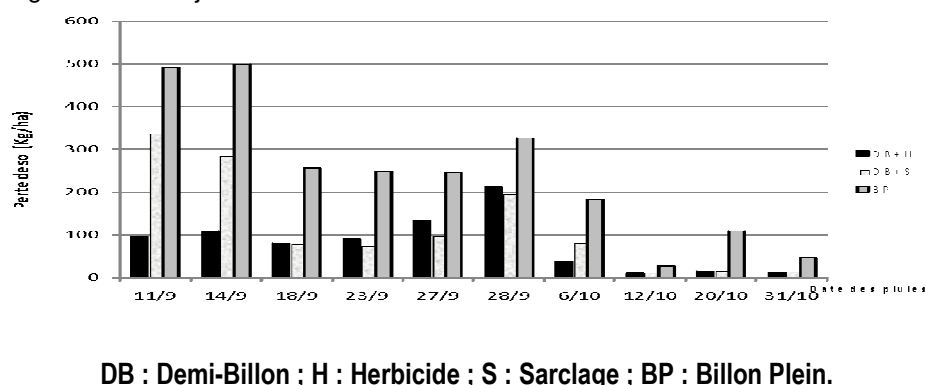
Sans distinction du type de sol, la technique de demi-billon avec application d'herbicide a permis de mieux réduire le ruissellement par rapport à la technique de demi-billon avec sarclage et la pratique paysanne (Tableau 3). Les plus faibles ruissellements enregistrés avec la technique de demi-billon peuvent être liés aux effets des résidus de végétaux laissés sur la face non retournée du demi-billon. La matière organique issue de ces résidus intercepte l'écoulement de l'eau et favorise son infiltration dans le sol. Alors que sur la parcelle de technique de billon plein, le sol nu avec des sillons bien marqués favorise l'écoulement rapide de l'eau. Ce résultat confirme ceux de Roose et Bertrand (1971). Ainsi, les pratiques agricoles doivent permettre de pourvoir la surface du sol en résidus de végétaux pour limiter l'érosion hydrique. En milieu traditionnel, on tire bien parti de la biomasse accumulée en laissant en place la litière et les racines qui retiennent le sol (Roose, 1985 ; Six *et al.*, 2000). Au regard des types de sol, les résultats indiquent de plus forts ruissellements sur les cambisols que sur les plinthosols. Par conséquent, les cambisols présentent une plus grande vulnérabilité de part leur structure face à l'érosion que les plinthosols.

Effet des traitements sur les pertes de sol

Les pertes de sédiments enregistrées par pluie sur les différents traitements des essais ont été indiquées sur la figure 3 pour les cambisols et la figure 4 pour les plinthosols. En général, les pertes en sol les plus élevées ont été enregistrées avec le BP et les plus faibles avec le DB+H (figures 3 et 4). Le travail minimum du sol réduit plus les pertes de sol. Ces résultats confirment la thèse selon laquelle l'érosion est réduite par le travail minimum du sol et l'agriculture sans labour (ASL) (FAO, 2005). Sur le même terroir de Sessaro-Laoudè et sur les mêmes sites, des études de travail minimum du sol sous la culture du maïs avaient également révélé que la technique de demi-billon permettait de

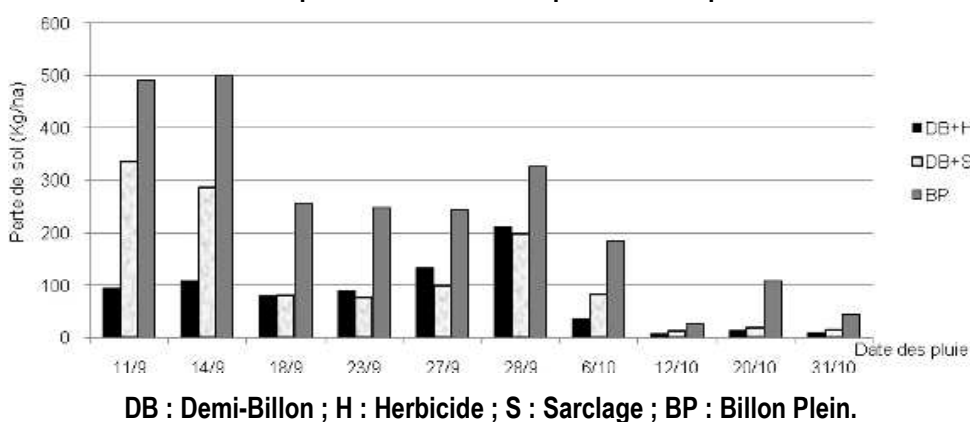
significativement réduire les pertes de sol par érosion hydrique par rapport à la pratique paysanne de billon plein (Ablede, 2012).

Par ailleurs, de plus grandes pertes ont été enregistrées sur les deux types de sol en début de collecte des données alors que vers la fin, les pertes ont été faibles (figures 3 et 4). Ce contraste peut s'expliquer par l'évolution de la couverture végétative du sol par le soja qui en début de la collecte des données de ruissellement était faible alors que la végétation avait évolué vers une couverture presque totale à la fin des observations. Par ailleurs, au cours de son développement végétatif, le soja laisse tomber ses vieilles feuilles mortes sur le sol constituant un paillis qui réduit l'effet splash, ralentit la vitesse d'écoulement de l'eau et améliore l'infiltration du sol. Ceci témoigne de l'importance du paillis dans la protection des sols contre l'érosion hydrique (Roose, 1977). Ces résultats infirment ceux d'une étude menée par Engel *et al.* (2009) qui au Brésil, ont trouvé que les pertes en sol augmentaient avec le stade de végétation du soja.



DB : Demi-Billon ; H : Herbicide ; S : Sarclage ; BP : Billon Plein.

Figure 3. Effet des techniques de labour sur les pertes de sol par ruissellement sur cambisol



DB : Demi-Billon ; H : Herbicide ; S : Sarclage ; BP : Billon Plein.

Figure 4. Effet des techniques de labour sur les pertes de sol par ruissellement sur plinthosol

Les cumuls des quantités en g/m^2 et par extrapolation en kg/ha de sédiments ruisselés par traitement et par site ont été présentés dans le Tableau 4. Des différences significatives ($p < 0,05$) ont été observées entre les traitements et les types de sol. Sur les plinthosols, les pertes totales de sol ont été significativement ($p < 0,05$) différentes d'un traitement à un autre. Elles ont été de $796 kg/ha$ pour DB+H, de $1.214 kg/ha$ pour DB+S et de $2.467 kg/ha$ pour BP. Par rapport au type de sol, les pertes en sédiments ont été plus importantes sur les cambisols que sur les plinthosols. Des tendances similaires ont été obtenues par Ablede (2012) sous culture de maïs. Cette différence peut être liée aux différences dans les caractéristiques physiques des sols (Tableau 1). Les cambisols sont à granulométrie plus fine (fortes proportions d'argile et de limon) facilement détachables par les gouttelettes de pluie et susceptibles d'être entraînés par l'eau de ruissellement (Roose, 1975).

Sur les figures 5 et 6 ont été illustrées les pertes de sol avec les quantités d'eau ruisselées sur chaque type de sol. Sur les deux types de sol, les pertes indiquent en général que plus le ruissellement est grand, plus il provoque les pertes de terre. Ces résultats corroborent avec ceux d'autres chercheurs (Kheir, *et al.*, 2001 et Pesant *et al.*, 1987) qui ont indiqué sous différents systèmes de culture que les pertes de sol augmentent avec les quantités d'eau ruisselées.

Sur les figures 7 et 8 ont été illustrées les pertes de sol en fonction des quantités de pluies tombées. Elles indiquent jusqu'au 28 septembre que plus la hauteur de pluie est élevée, plus les pertes en sédiments sont importantes. Ces résultats sont en conformité avec ceux de Roose (1994), et Wischmeier et Smith (1978) qui ont trouvé que les pertes de sols augmentent avec les quantités de pluies tombées. L'effet des pluies sur l'érosion s'explique d'une part par l'effet splash, un processus au cours duquel les particules de terre fines sont projetées par l'énergie cinétique d'une goutte de pluie (Wischmeier et Smith, 1978) et d'autre part par l'entraînement des particules détachées du sol par les eaux de ruissellement (Kheir *et al.*, 2001).

Tableau 4. Effet du travail minimum du sol sur les pertes en sol

Traitement	Moyennes des pertes cumulées de			
	Cambisol		Plinthosol	
	(g/m ²)	(kg/ha)	(g/m ²)	(kg/ha)
Demi-Billon + Herbicide	104 c	1.043 c	79 c	796 c
Demi-Billon + Sarclage	146 b	1.460 b	121 b	1.214 b
Billon Plein	285 a	2.854 a	246 a	2.467 a
Moyenne	149,0 b	1.492,6 b	178,6 a	1.786,1 a
Coefficient de variation (%)	18,3		22,9	

Les moyennes des colonnes avec les mêmes lettres (a ou b) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keuls).

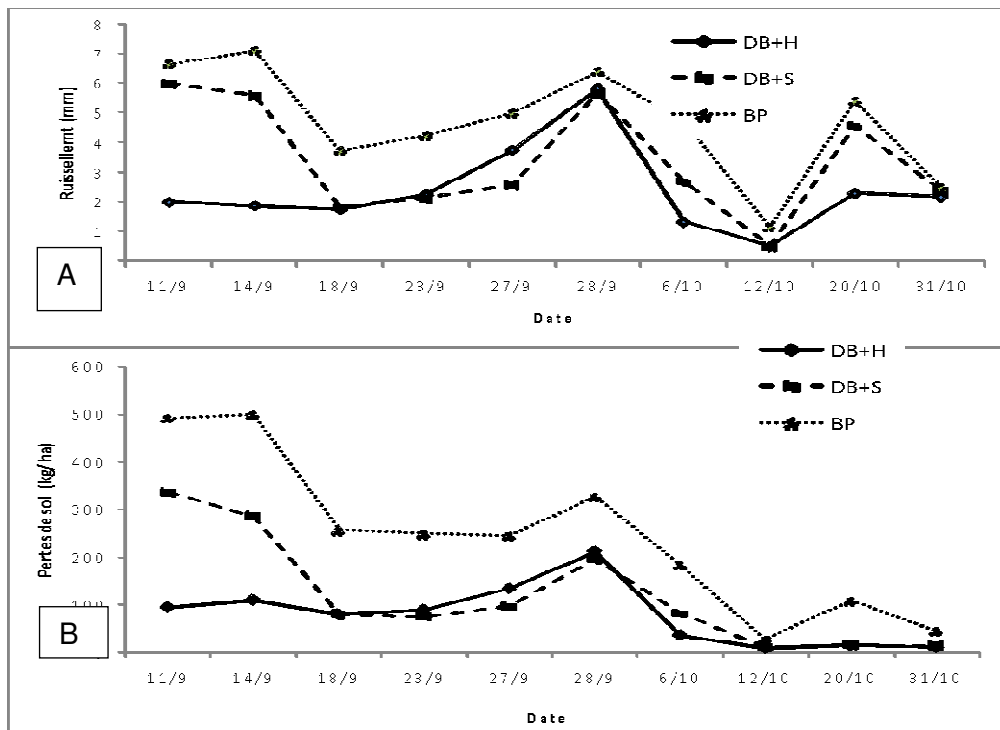


Figure 5. Évolution des quantités d'eau ruisselées (A) et conséquences sur les pertes de sol (B) sur plinthosols

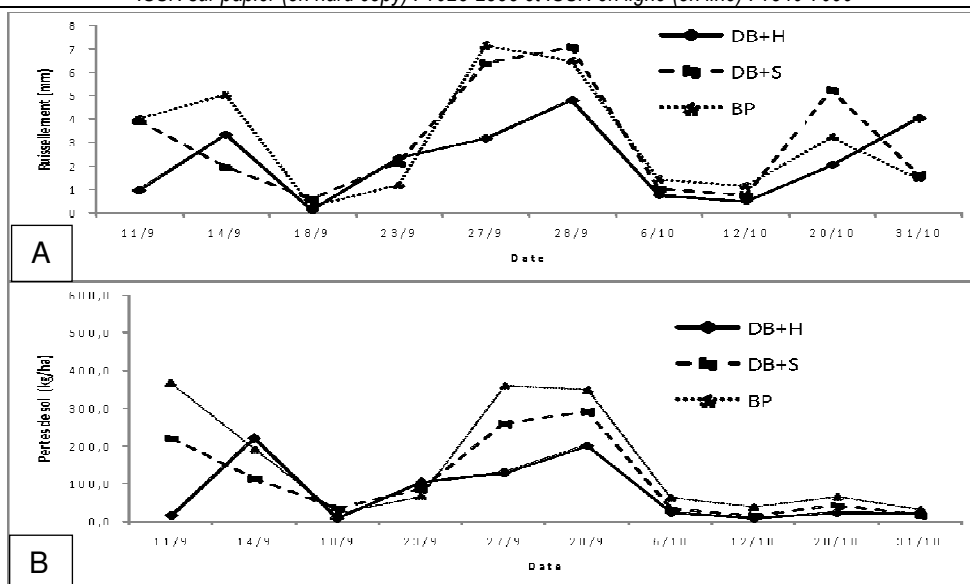
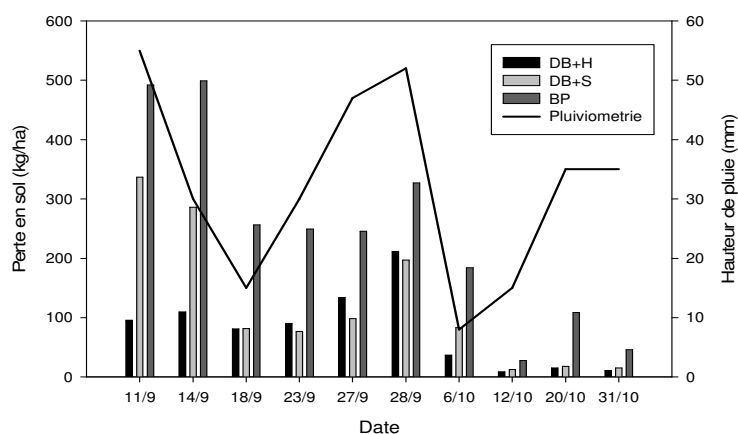
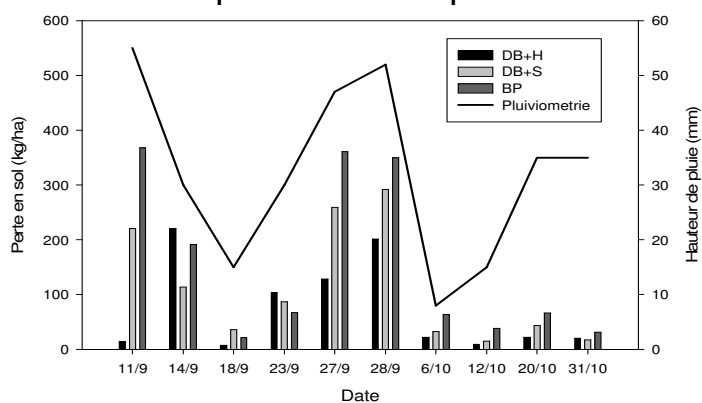


Figure 6. Évolution des quantités d'eau ruisselées (A) et conséquences sur les pertes de sol (B) sur cambisol



DB : Demi-Billon ; H : Herbicide ; S : Sarclage ; BP : Billon Plein.

Figure 7. Effet de la pluviométrie sur les pertes en sol sur les cambisols



DB : Demi-Billon ; H : Herbicide ; S : Sarclage ; BP : Billon Plein.

Figure 8. Effet de la pluviométrie sur les pertes en sol sur les plinthosols

L'augmentation des pertes de terre avec les hauteurs de pluie tombées n'a plus été observée à partir du 06 octobre. Au-delà de cette date, les pluies n'ont plus provoqué des pertes de sol subséquentes. Ceci serait une conséquence des faibles ruissellements enregistrés à la suite d'une parfaite couverture du sol par le soja. En effet, la végétation constitue un grand facteur de l'érosion hydrique. La couverture végétale réduit l'effet splash et limite significativement le phénomène hydrique (Wischmeier et Smith, 1978 ; Roose et Bertrand, 1971).

Effet des techniques de travail minimum de sol sur le rendement du soja

Les rendements en soja grain induits par les différents traitements ont été présentés dans le Tableau 5. Les différents traitements ont induit des rendements statistiquement similaires sur chacun des sols. Sur chacun des deux types de sol, les techniques testées induisent les mêmes rendements. Ces résultats confirment ceux de Okoth *et al.* (2014) et de Kurle *et al.* (2001) qui ont rapporté des rendements de soja similaires obtenus avec différentes méthodes de labour du sol. Par contre, nos résultats infirment ceux de Castro Filho *et al.* (2002) et Kosutic *et al.* (2005) qui ont enregistré des effets différents des systèmes de labour sur le rendement de soja.

Indépendamment des traitements, les rendements ont été significativement ($p < 0,05$) différents d'un type de sol à un autre. Ces rendements ont été de 1.927 kg/ha sur les plinthosols et de 1.609 kg/ha sur les cambisols. Ceci indique une meilleure productivité du soja sur les plinthosols par rapport aux cambisols. Cette différence de productivité entre les deux sols peut s'expliquer par la différence entre les statuts de fertilité initiaux de ces sols (Tableau 1). Des résultats similaires ont été obtenus par Okoth *et al.* (2014) et Koenning *et al.* (1988).

Tableau 5. Effet du labour minimum sur le rendement du soja

Traitement	Rendement (kg/ha)	
	Cambisol	Plinthosol
Demi-Billon + Herbicide	1.644	1.989
Demi-Billon + Sarclage	1.452	1.777
Billon Plein + Sarclage	1.733	2.016
Signification	NS	NS
Moyenne	1.609^b	1.927^a
Coefficient de variation (%)	20,81	15,17

Les moyennes globales avec les mêmes lettres (a ou b) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (test de Student-Newman-Keul).

Évaluation économique des techniques testées

L'analyse du budget partiel (Tableau 6) a indiqué un bénéfice net de 164 700 FCFA pour DB+H, de 153 985 FCFA pour BP et de 129 000 FCFA pour DB+S sur les cambisols.

Tableau 6. Budget partiel des techniques testées

Rubrique	Plinthosol			Cambisol		
	DB+H	DB+S	BP	DB+H	DB+S	BP
Rendement moyen soja graine (kg.ha ⁻¹)	1.644	1.452	1.733	1.989	1.777	2.016
Prix moyen soja grain (FCFA.kg ⁻¹)	140	140	140	140	140	140
Revenu Total (FCFA)	230.160	203.280	242.620	278.460	248.780	282.240
Coût lié à la technologie (FCFA)	65.460	73.780	88.635	70.110	78.230	92.225
Bénéfice net (FCFA)	164.700	129.500	153.985	208.350	170.550	190.015

DB : Demi-Billon ; H : Herbicide ; S : Sarclage ; BP : Billon Plein.

Sur les plinthosols, les bénéfices ont été de 208 350 FCFA pour DB+H, de 190 015 FCFA pour BP et 170 000 FCFA pour DB+S. Au plan économique, la technologie de demi-billon avec application d'herbicide est la plus lucrative suivie de la technique de billon plein sur les deux types de sol. La technique de demi-billon avec sarclage s'est révélé la moins avantageuse sur les deux types de sol. Ces différences de bénéfice net peuvent être liées aux différences de rendements observées sur les deux types de sol. L'avantage économique de la pratique de demi-billon sous la culture du maïs a été rapporté par Ablède (2002) dans la même zone d'essais.

CONCLUSION

Les cambisols se prêtent moins à la production du soja grain et sont plus vulnérables à l'érosion hydrique par rapport aux plinthosols. La technique de demi-billon avec le traitement herbicide (DB+H) sous la culture du soja est non seulement moins coûteuse pour les producteurs mais permet aussi d'obtenir des rendements similaires à ceux du billon plein et réduisent considérablement les pertes de sédiments par érosion hydrique. Par conséquent, il convient de l'adopter sous la culture du soja afin de contribuer à la durabilité des systèmes de production du terroir de Sessaro-Laoudè. L'évaluation des performances de cette technique est recommandée pour d'autres cultures majeures et dans d'autres milieux afin de la vulgariser.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ITRA et l'Université Catholique de Leuven pour leurs soutiens financiers et matériels nécessaires à ce travail ainsi que les partenaires producteurs de Sessaro-Laoudè pour leur franche collaboration.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ablède, K. A., 2012 : Effets de techniques de travail minimum de sol sur le ruissellement, les pertes en terre et la production du maïs à Sessaro-Laoudè (région centrale du Togo). *Mémoire de DEA, Université de Lomé*, 63 p.
- Bkhairi, A., 2012 : Suffosion et érosion hydrique en milieux semi-arides, le cas des Hautes Steppes tunisiennes (Tunisie centrale). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, Volume 6, pp. 1-22.
- Boughriet, R., 2008 : La dégradation des sols menace le quart de la population mondiale, Article publié sur http://www.actuenvironnement.com/ae/news/FAO_degradation_sols_mondiale_5397.php4.
- Brabant, P., S. Darracq, K. Egue, V. Simonneaux, 1996 : Etat de dégradation des terres résultant des activités humaines Togo. *Notice explicative de la carte des indices de dégradation*. Edition ORSTOM, Paris 1996. 66p
- Brown, L., 2013 : *Eco-Economy: Building an Economy for the Earth*. W.W. Norton & Co., New York. Livre, 327p
- Camberlin, P., Philippon, N., 2002: The East African March–May rainyseason: Associated atmospheric dynamics and predictability over the 1968–97 period. *Journal of Climate*, 15(9), 1002-1019.
- Castro Filho, C., A. Lourenço, M. D. F. Guimarães, I. C. B. Fonseca, 2000: Aggregate stability under different soil management systems in a redlatosol in the state of Parana, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 65(1), 45–51.
- CIMMYT, 1988 : *From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual*. Completely revised edition. Mexico. D.F. 84 p.
- DGMN (Direction générale de la Météorologie Nationale), 2017 : Données 1986-2015 de pluviométrie. Direction générale de la Météorologie Nationale du Togo, Lomé-Togo.
- Engel, F.L., S.R. Bertol, A. Ritter, J. Paz Gonzalez, E. Paz-Ferreiro, V. Vazque, 2009: Soil erosion under simulated rainfall in relation to phenological stages of soybeans and tillage methods in Lages, SC, Brazil. *Soil & Tillage Research*, 103, 216–221.
- FAO, 2005 : Agriculture sans labour. Fiche technique. <https://sriafriquedelouest.files.wordpress.com/2014/06/y3782f.pdf>
- Fox, D., P. Carrega, J. Morshel, K. Emsellem, 2008 : La dégradation des sols dans le monde. Article publié sur <http://unt.unice.fr/uoh/degsoil/index.php>
- ISRIC, 2012: World Soil Information, Web based soil maps. <http://www.isric.org/main-themes/web-based-soil-maps>
- ITRA (Institut Togolais de Recherche Agronomique), 2007 : Renverser la tendance: opportunités des pratiques améliorées de gestion des sols pour restaurer leur productivité et augmenter les revenus des paysans de la région Centrale du Togo. Rapport annuelle de projet 2007, ITRA, 52 p.

- Kheir, R. B., M. C. Girard, M. Khawle, C. Abdallah, 2001 : Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens. *Études et gestion des sols*, 8(4), 231-245.
- Koenning, S. R., S. C. Anand, J. A. Wrather, 1988: Effect of Within-field Variation in Soil Texture on *Heterodera glycines* and Soybean Yield. *Journal of Nematology*, 20(3), 373–37380.
- Kosutic, S., D. Filipovic, Z. Gospodaric, S. Husnjak, I. Kovacev, K. Copec, 2005: Effects of Dfferent Soil Tillage Systems on Yield of Maize , Winter Wheat and Soybean on Albic Luvisol in North-West Slavonia . *Journal of Central European Agriculture*, 6(3), 241–248.
- Kurle, J. E., C. R. Grau, E. S. Oplinger, A. Mengistu, 2001: Tillage, crop sequence, and cultivar effects on sclerotinia stem rot incidence and yield in soybean. *Agronomy Journal*, 93(5), 973–982.
- Mathé, E., Sodjadan, K., 2006 : Caractérisation des sols de deux terroirs de recherche au Togo (Savane dérivée). ITRA, 10 p.
- Mbagwu, J. S. C., 2004: Aggregate stability and soil degradation in the tropics. Lecture givenat the College of Soil Physics Trieste 3-21, March (2003), 7 p.
- Morgan, R.P.C., 2005: Soil Erosion and Conservation. Blackwell Publishing, book. Oxford, UK. 304p.
- Okoth, J. O., N. W. Mungai, J. P. Ouma, F. P. Baijukya, 2014: Effect of tillage on biological nitrogen fixation and yield of soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties. *Australian Journal of Crop Science*, 8(8), 1140–1146.
- Pesant, A. R., J. L. Dionne, J. Genest, 1987: Soil and Nutrient Losses in Surface Runoff From Conventional and No-Till Corn Systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 67(4), 835–843. <https://doi.org/10.4141/cjss87-080>
- Roose, E. J., Bertrand, R., 1971 : Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest: résultats expérimentaux et observations sur le terrain. *L'agronomie tropicale*, Série 2: Agronomie générale. *Études techniques*, 26(11), 1270-1284.
- Roose, E., 1975: Natural mulch or chemical conditioner for reducing soil erosion in humid tropical areas. In *Soil Conditioners*. SSSA Special publication 7(12): 131-137.
- Roose, E., 1985 : Dégradation des terres et développement en Afrique de l'Ouest. *Bull Rech Agron Gembloux*, 20, 505-537.
- Roose, E., 1994 : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO*, Rome : 70. 438 p. ISBN : 92-5-203451-X
- Roose, E., 1977 : Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales, ORSTOM Paris, série TED N076, 115 p. content. *Soil & Tillage Research* 66: 1- 11.
- Six, J., E.T. Elliott, K. Paustian, 2000 : Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem* 32, 2099–2103.
- Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1978: Predicting rain fall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration. Book, 67 p.
- Zamba, K., 1999: Restaurer et maintenir la fertilité des sols au Togo : un devoir. <http://base.d-p-h.info/en/fiches/premierdph/fiche-premierdph-4731.html>