

Pratiques culturelles et sensibilité des sols à l'érosion dans quelques périmètres maraichers de la banlieue de Lubumbashi

Esoma Okothomas Bienvenu

**Travail de fin D'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Master de spécialisation en Production Intégrée et Préservation des Ressources Naturelles en
milieu urbain et péri-urbain**

Année Académique 2018-2019

Promoteur : Prof. Gilles Colinet

Copyright : "Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech."

Le contenu du présent document n'engage que son auteur.

Remerciements

Il est bien connu que le mémoire est un travail personnel, mais en réalité c'est un travail d'équipe tant du point de vue technique qu'intellectuel. Nous adressons ainsi nos remerciements les plus sincères aux contributeurs et collaborateurs qui ont été essentiel à la réalisation de cette œuvre.

Nos remerciements se dirigent à l'Académie de Recherche et Enseignement Supérieur ARES en sigle, pour avoir financé notre formation et séjours en Belgique. Nous adressons également nos remerciements à l'équipe de gestion de la bourse. Nous citons ici, Madame Maryvonne Aubry, Lindsay Lebau et Voyeux Valérie pour l'attention et le temps accordés durant la formation, afin de rendre paisible notre séjour en Belgique.

Merci à l'équipe de coordination de notre programme de formation (PPRN), pour leur soutien et accompagnement tout au long de ladite formation. Nous citons ici, les Professeurs Haïssam JIJAKLI et Sébastien MASSART.

Nous exprimons notre plus vive gratitude au professeur Gilles colinet pour avoir accepté de diriger cette étude et couvrir toutes les dépenses allouées aux analyses de laboratoires des échantillons de sol. Il a été disponible et compréhensif à notre égard. Qu'il trouve ici, l'expression de notre profonde et sincère gratitude.

Merci au corps professoral et administratif de la faculté de Gembloux Agro biotech et de l'Institut Supérieur Industriel agronomique de Gembloux (ISIA Gembloux), pour les efforts fournis et le soutien apporté durant toute la formation de la maîtrise.

Nos pensées et considérations vont évidemment aux collègues de promotion, pour leurs encouragements et esprit de fraternité. Mais également aux collègues de master en architecture du paysage et en sciences agronomiques, pour leurs encouragements et avoir facilité notre intégration au sein de la faculté et de la communauté estudiantine de Gembloux Agro biotech.

Nous sommes reconnaissant à Mutombo Silas, Kongo soleil, Bwende Aristote, Jonas, Romulus et Michael de m'avoir apporté leur soutien lors de la collecte des données des enquêtes, de prélèvement et de préparation des échantillons de sol.

Merci à Kidinda Laurent, Ntemnyi Cedric, Mwamba Franco et Mayamba Gaillard, pour leurs conseils et soutien scientifique tout au long de la réalisation de cette étude.

Merci aux autorités académiques et administratives de l'université de Lubumbashi, RD Congo pour nous avoir permis de prendre part à cette formation.

Enfin, nous remercions la famille pour son tendre amour et soutien moral qu'elle n'a jamais cessé de nous témoigner, particulièrement à nos parents Owandja Dumi Omadjela Elias et Fono Nonge Francine.

Résumé

Les pertes en terres fertiles constatées depuis de nombreuses années à travers le monde suite à l'érosion, constituent une menace majeure pour la durabilité de l'agriculture et par conséquent, pour la lutte contre la l'insécurité alimentaire et la pauvreté. L'objectif du présent travail était d'évaluer le potentiel d'érodibilité du sol de quelques sites agricoles maraichers de Lubumbashi en rapport avec les pratiques culturales en vigueur. Des enquêtes ont été réalisées dans trois périmètres maraichers de Lubumbashi les plus touchés par l'érosion, afin de comprendre les pratiques culturales mises en œuvre par les maraichers de ces trois périmètres maraichers. Des échantillons de sol des parcelles cultivées et en jachères ont été prélevés et analysés pour déterminer les divers facteurs de l'érodibilité et calculer l'érodibilité (K). Les résultats obtenus ont montré que les sols des parcelles cultivées sont moins érodibles que ceux des parcelles en jachère. Il résulte aussi de ces résultats que les pratiques culturales de manière générale mises en œuvre par les maraichers de Lubumbashi ont atténué l'érodibilité du sol, malgré la persistance et l'application de certaines mauvaises pratiques culturales dénoncées pour leurs effets d'amplification sur l'érodibilité du sol. Trois causes majeures à l'origine de l'effet des pratiques culturales adoptées et mises en vigueur par les maraichers de Lubumbashi sur l'érodibilité de sol, ont été ressorties de ces résultats. De manière générale, les sols des périmètres maraichers de Lubumbashi sont de façon naturelle modérément érodibles, suite à leur composition granulométrique, qui a été considérablement affectée et seulement légèrement améliorée par les pratiques culturales mises en application par les maraichers. Le faible niveau d'étude (62,7%) entraîne les maraichers à adopter et à mettre en application des mauvaises pratiques culturales, qui contribuent à l'amplification de l'érodibilité du sol. La matière organique, malgré sa mauvaise gestion par les maraichers, constitue le facteur le plus important qui a influencé de façon significative et bénéfique les autres facteurs de l'érodibilité et par conséquent l'atténuer (67%).

Mots clés : pratiques culturales, sensibilité à l'érosion, périmètres maraichers et Lubumbashi.

Abstract

The loss of fertile land in recent years worldwide as a result of erosion poses a major threat to the sustainability of agriculture and hence to the fight against food insecurity and poverty.

The objective of the present study was to evaluate potential soil erodibility of some agricultural market gardening in Lubumbashi in relation to the farming practices. Surveys were carried out in three market garden perimeters of Lubumbashi most affected by erosion, in order to understand the farming practices implemented by the market gardeners in the area. Soil samples from cultivated and fallow plots were collected and analyzed to determine various factors of erodibility and calculate erodibility (K). The results showed that soils of the cultivated plots are less erodible (slight erodibility) than those of the fallow plots (slight to moderate erodibility). The results also showed that the cultivation practices generally applied by the market gardeners of Lubumbashi have attenuated soil erodibility, despite the persistence and the application of some bad cultural practices denounced for their amplification effects on the soil erodibility. Three major causes of the effect of the farming practices adopted and implemented by the Lubumbashi market gardeners on soil erodibility were revealed from these results. In general, the soils of the market gardening perimeters of Lubumbashi are naturally moderately erodible, due to their grain size composition, which has been considerably affected and only slightly improved by the cultivation practices implemented by market gardeners. The low level of education (62.7%) leads gardeners to adopt and implement poor farming practices, which contribute to the amplification of soil erodibility. Organic matter, despite its mismanagement by market gardeners, is the single most important factor that has significantly and positively influenced other factors in erodibility and, consequently, reduced it (67%).

Keywords: cultural practices, soil erodibility, market gardening, and Lubumbashi

Liste des abréviations et symboles

BC	Bas-fond cultivé
BJ	Bas-fond en jachère
VC	Versant cultivé
VJ	Versant en jachère
MO	Matière organique
VSA	Visual soil assessment
K	Erodibilité
Ib	Indice de battance
M	Produit de la somme limon-sable fin et l'argile
b	Perméabilité
c	Structure

Liste des figures

Figure 1. Processus d'érosion hydrique de sol (Stitcher, 2010).	5
Figure 2. Mécanismes d'érosion (Leguédois, 2003).	6
Figure 3. Splash ou rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau (Leguédois, 2003).	6
Figure 4. Terrassement d'un versant (PNUD, 2014).	12
Figure 5. Diguettes filtrantes (A) ou non filtrantes (B) (Savadogo et al., 2011 (A), crédit photo Esoma (B)).	12
Figure 6. Fossés en bordure supérieure des champs (crédit photos Esoma).	13
Figure 7. Haies vives (Savadogo et al., 2011; credit photos Esoma).	14
Figure 8. Paillage (crédit photo Esoma).	15
Figure 9. Relation entre la couverture de résidus et la réduction des pertes de sol (CPVQ, 2000c).	16
Figure 10. Agriculture sur brûlis (crédit photo Esoma).	20
Figure 11. Localisation des sites d'étude.	21
Figure 12. Photographies de la structure du sol (Shepherd, 2000).	25
Figure 13. Dispositif expérimental de la méthode Muntz ou double anneaux.	25
Figure 14. Détermination de l'érodibilité des sols des parcelles cultivées et en jachère. BC: bas-fond non cultivé, BJ : bas-fond Jachère, VC : versant cultivé, VJ : versant.	31
Figure 15. Variation de K en fonction de l'humus des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite).	32
Figure 16. Variation de K en fonction de M des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite).	33
Figure 17. Variation de b et c en fonction de K des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite).	33
Figure 18. Variation de b et c en fonction de l'humus dans le sol des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). b : perméabilité (codes) ; c : structure (codes) ; : Bas-fond ; :Versant.	34
Figure 19. Variation de M en fonction de l'humus dans le sol des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite).	34
Figure 20. Variation de b et c en fonction de M des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite).	35
Figure 21. Analyse en composante principale des pratiques culturales (A), facteurs d'érodibilité du sol (B) et du profil sociodémographique des sondés (C).	37

Liste des tableaux

Tableau 1. Quelques espèces de cultures maraichères produites à Lubumbashi (RDC) et leur importance alimentaire. Adapté de Grubben et Denton, 2004 ; Francois et al., 2015. -----	4
Tableau 2. Localisation et description des périmètres maraichers -----	22
Tableau 3. Classes et codes de la structure sols, Wischmeier et Smith (1978). -----	25
Tableau 4. Classes et codes de la perméabilité, Wischmeier et Smith (1978). -----	26
Tableau 5. Classes d'érodibilité, Wischmeier et Smith (1978). -----	26
Tableau 6. Etude des paramètres sociaux démographiques des exploitants des périmètres maraichers.-----	27
Tableau 7. Analyse des pratiques culturelles mises en vigueur par les maraichers. -----	28
Tableau 8. Analyse des pratiques culturelles à la gestion de la couverture du sol et de la matière organique. -----	29
Tableau 9. Analyse des pratiques culturelles en rapport avec le système d'irrigation et de drainage. -----	30
Tableau 10. Correlations de Pearson. -----	32

Table des matières

Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des abréviations et symboles	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Table des matières	viii
Introduction	1
Chapitre 1. Revue de la littérature.....	3
1.1. Cultures maraichères et leur importance en Afrique.....	3
1.2. Erosion hydrique des sols.....	5
1.2.1. Processus et facteurs de l'érosion hydrique	5
1.2.1.1. Processus d'érosion	5
1.2.1.2. Facteurs d'érosion	7
1.2.1.2.1. Erosivité (R)	7
1.2.1.2.2. Erodibilité (K)	7
1.2.1.2.3. Topographie (LS)	9
1.2.1.2.4. Couvert végétal (C)	9
1.2.1.2.5. Pratiques antiérosives (P)	10
1.2.1.2.5.1. Pratiques antiérosives adaptées aux pentes	10
➤ Culture sur billons cloisonnés	10
➤ Culture en bandes alternées.....	10
➤ Culture en contre-pente.....	11
➤ Cordons pierreux.....	11
➤ Terrassement	11
➤ Diguettes filtrantes ou non filtrantes.....	12
➤ Fossés en bordure supérieure des champs	12
➤ Haies vives	13
1.2.1.2.5.2. Pratiques antiérosives adaptées au climat tropical	14
➤ Paillage.....	14
➤ Cultures de couverture	15
1.2.1.5. Pratiques antiérosives adaptées à la qualité des sols	16
➤ Rotation des cultures	16
➤ Travail réduit du sol	17
➤ Semis direct.....	17
1.2.2. Impacts de l'érosion hydrique sur les cultures	18
1.3. Impacts des mauvaises pratiques culturelles sur l'érosion	19
Chapitre 2. Milieu, Matériel et Méthodes	21
2.1. Milieu	21
2.1.1. Localisation et description du milieu d'étude	21
2.1.2. Climat	22
2.1.3. Végétation	22
2.1.4. Sol.....	22
2.1.5. Hydrologie.....	23
2.2. Méthodologie	23
2.2.1. Echantillonnage et étude morphologique des échantillons	23
2.2.2. Analyse des pratiques culturelles	23
2.2.3. Cartographie des sites.....	24

2.2.4. Analyse des paramètres du sol déterminant l'érodibilité du sol (K)	24
2.2.6. Analyses statistiques	26
Chapitre 3. Présentation des résultats	27
3.1. Analyse du profil sociodémographique des sondés	27
3.2. Analyse des pratiques culturelles	27
3.2.1. Analyse des pratiques culturelles liées au travail du sol	27
3.2.2. Analyse des pratiques culturelles	28
3.2.3. Analyse des pratiques culturelles en rapport avec le système d'irrigation et de drainage	29
3.3. Description des profils de sol	30
3.4. Analyse de l'érodibilité du sol	30
3.4.1. Analyse de l'érodibilité et de ses corrélations avec ses différents facteurs	30
3.4.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus, la constitution granulométrique et de la perméabilité et structure	32
3.4.2.1. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus.....	32
3.4.2.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la constitution texturale du sol	32
3.4.2.3. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la perméabilité et la structure	33
3.4.3. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure ainsi que la constitution granulométrique	33
3.4.3.1. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure	33
3.4.4. Influence de la de la constitution granulométrique sur la perméabilité et la structure...	34
3.5. Etude des relations entre les pratiques culturelles, les facteurs d'érodibilité et le profil sociodémographique des sondés	35
Chapitre 4. Discussion.....	38
4.1. Analyse du profil sociodémographique et des pratiques culturelles	38
4.1.1. Analyse du profil sociodémographique des sondés	38
4.1.2. Analyse des pratiques culturelles	38
4.1.2.1. Analyse des pratiques culturelles liées au travail du sol	38
4.1.2.2. Analyse des pratiques culturelles liées à la gestion de la couverture du sol et de la matière organique.....	39
4.1.2.3. Analyse des pratiques culturelles en rapport avec le système d'irrigation et de drainage	40
4.2. Analyse de l'érodibilité du sol	40
4.2.1. Analyse l'érodibilité (K) et de ses corrélations avec ses différents facteurs dans les deux milieux.....	40
4.2.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus, la constitution granulométrique et de la perméabilité et structure	41
4.2.2.1. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus.....	41
4.2.2.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la constitution texturale du sol	42
4.2.2.3. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la perméabilité et la structure	42
4.2.3. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure ainsi que la constitution granulométrique	43
4.2.3.1. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure	43
4.2.3.2. Influence de l'humus sur la constitution granulométrique.....	43
4.2.3.2. Influence de la constitution granulométrique sur la perméabilité et la structure	44
4.3. Etude des relations	44
Conclusion.....	46
Références bibliographiques	47
Annexes.....	62

Introduction

La population mondiale devrait augmenter de plus de 2 milliard pour atteindre 9,6 milliards en 2050 (United Nations, 2016). La majeure partie de cette croissance aura lieu dans les villes de pays à faibles revenus, ayant des sols peu fertiles et de faibles niveaux de productivité agricole. Parallèlement, la demande en denrées alimentaires augmentera également. Afin de répondre à cette demande croissante en aliments, le développement d'une agriculture urbaine et périurbaine est aujourd'hui évoqué. Cette agriculture est dominée par le maraichage, occupant une place importante pour l'alimentation humaine (FAO, 2012; Ntumba et al., 2015 ; Yarou et al., 2017).

Le maraichage, considéré comme l'un des systèmes agricoles les plus productifs d'Afrique (FAO, 2012), joue un rôle primordial dans la plupart des programmes de nutrition, de lutte contre la pauvreté en contribuant significativement aux revenus des familles (James et al., 2010 ; Yolou et al., 2015).

A Lubumbashi en République Démocratique du Congo, où la paralysie du secteur minier a condamné de nombreuses personnes au chômage ces dernières années, le maraichage constitue le secteur refuge pour ces dernières. En effet, le maraichage dans la ville de Lubumbashi constitue une source de revenus pour près de 7800 petits producteurs dont la production moyenne a été estimée à 60.000 t/an de légumes (FAO, 2010). Toutefois, cette production reste insuffisante pour couvrir les besoins alimentaires d'une population estimée actuellement à plus de 5 millions d'habitants (Kalombo, 2016) et évoluant à un taux annuel de croissance de 5% (Useni et al., 2017). Cette situation oblige la population de recourir à des importations en provenance de la Zambie afin de couvrir les besoins locaux (Ntumba et al., 2015). Cette faible production est due à de multiples contraintes abiotiques et biotiques qui affectent les rendements des cultures légumières. Parmi ces contraintes, l'érosion hydrique a été identifiée comme l'une des contraintes majeures qui provoquent la baisse de productivité des sols et le rendement des cultures. Ce constat a été fait par Kanda et al. (2014) ; Mondédji et al. (2015) qui ont souligné que l'érosion inflige aux cultures une pénurie en éléments nutritifs dans le sol, ce qui affecte la productivité du sol (Borrelli et al., 2018) et le rendement des cultures. Par ailleurs, l'érosion emporte les couches superficielles du sol riches en éléments minéraux et matière organique. Récemment, Wijesundara et al. (2018) ont démontré que l'érosion est responsable de 17% de perte de productivité agricole.

Une autre étude axée sur les analyses globales des relations érosion des sols-rendement des cultures indique que, l'érosion entraîne une perte moyenne globale de 0,3 % de rendement des cultures annuelles (FAO, 2015). D'après les projections de la FAO (2015), si le taux d'érosion étant estimé à 75 milliards de t/an (Lema et al., 2016 ; GSO, 2017 ; Moges et Bhat, 2017) demeure constant, les pertes de rendement des cultures atteindront 10% d'ici 2050.

En effet, l'érosion hydrique des sols est un phénomène naturel résultant de la dégradation des couches superficielles de la couverture pédologique et du déplacement des matériaux les constituant sous l'action de l'eau de pluie (Antoni et al., 2006). En outre, l'érosion hydrique désigne le processus de détachement et de transport de particules solides par l'eau (Le Bissonnais et al., 2002).

Elle est générée sous les conditions suivantes : forte érosivité de pluies, érodibilité du sol élevé, fortes pentes et longues, faible couverture végétale du sol et forte pression anthropique. Cependant, plusieurs chercheurs ont montré que l'érosion des sols ces dernières années est accélérée par des facteurs anthropiques telles que les mauvaises pratiques culturales (Botticelli, 2010 ; Wang et al., 2018). Le labour et l'agriculture sur brûlis par exemple, en diminuant la teneur en matière organique du sol, diminue également l'activité biologique du sol, ce qui entraîne la dégradation des biostructures du sol et l'expose par conséquent à l'érosion hydrique. En outre, le labour perturbe l'habitat de beaucoup d'organismes telluriques, c'est le cas de certains champignons qui peuvent participer à la stabilisation de la structure du sol par le réseau d'hyphes qu'ils développent (Beare et al., 1997). Capowiez et al. (2009b) ont mis en évidence les effets bénéfiques de l'augmentation de la teneur en matière organique sur l'activité lombricienne, qui à son tour améliore certaines propriétés physiques et hydriques du sol comme la structure, la porosité et la perméabilité. De plus, Boukong (2000) a démontré que le labour réalisé dans le sens de la pente favorise considérablement l'érosion de sol. Par ailleurs, les cultures annuelles et les monocultures couvrent moins le sol, voire même le laissent nu pendant un certain temps (période avant la levée), ce qui expose le sol au splash et accroît le ruissellement de surface (Thierfelder et al., 2005 ; Thierfelder et Wall, 2009).

S'il est clair que les pratiques culturales peuvent accroître les risques d'érosion par le biais de la modification des propriétés physiques, très peu d'études ont traité de l'érosion en République Démocratique du Congo en général et en particulier à Lubumbashi et aucune étude à notre connaissance n'a jusqu'à ce jour analysé leurs effets sur le comportement physique du sol face à l'érosion. De ce point de vue, il s'avère donc important d'évaluer le potentiel érosif des aménagements agricoles en vue de monter des stratégies pour l'atténuer voire même, l'annuler de sorte à éviter les pertes de production dues à l'érosion.

Nous émettons donc comme question principale : les pratiques culturales qui sont mises en œuvre par les maraichers de Lubumbashi augmentent-elles la sensibilité du sol à l'érosion ?

L'objectif du présent travail est d'évaluer le potentiel d'érodibilité du sol de quelques aménagements agricoles maraichers de Lubumbashi en rapport avec les pratiques culturales en vigueur. Spécifiquement, il s'agit de: (i) délimiter les périmètres maraichers ciblés; (ii) décrire les pratiques agricoles (P) capables d'impacter la sensibilité du sol à l'érosion; (iii) déterminer et analyser l'érodibilité (K) des sols cultivés et les jachères des périmètres maraichers.

Outre l'introduction et la conclusion, cette étude s'articule autour de quatre chapitres : dans le premier chapitre, nous présenterons la revue bibliographique traitant des cultures maraichères et leur importance, de l'érosion et ses impacts ainsi que des pratiques culturales. Le second chapitre portera sur la description du milieu d'étude, des matériels et méthode. Le troisième chapitre sera consacré à l'interprétation des résultats. Le quatrième chapitre tentera à travers une discussion, de croiser les informations et montrer comment les pratiques peuvent impacter les propriétés physiques et hydrauliques du sol.

Chapitre 1. Revue de la littérature

1.1. Cultures maraichères et leur importance en Afrique

Le maraichage occupe une place importante dans le secteur agricole. Il fournit une large gamme de produits horticoles aux populations urbaines, principalement des fruits et légumes mais également des plantes ornementales et des champignons cultivés en ville ou dans les alentours (FAO, 2012). En plus de l'alimentation humaine, il constitue une source de revenus pour de nombreuses familles africaines et contribue à l'assainissement des milieux (Tshomba et al., 2015 ; Yolou et al., 2015). Antérieurement Renard et al. (2004) ont montré que le maraichage contribue pour 30 % au PIB et emploie plus de 50 % de la population active en Afrique. Kanda et al. (2014) soutiennent cette thèse et soulignent que cette forme d'agriculture dominée par le maraichage, emploie une part importante des citoyens africains et contribue considérablement à leur sécurité alimentaire. Le maraichage apparaît donc comme la composante principale de l'horticulture urbaine et périurbaine africaine en général.

A Lubumbashi en République Démocratique, le maraichage s'est développé dans et autour de la ville et produit environ 60.000 tonnes des légumes chaque année (Ntumba et al., 2015). Tollens (2003) stipule que le maraichage urbain et périurbain offre une gamme très variée de produits qui contribuent à l'amélioration des besoins alimentaires de plus de 5 millions de citoyens (Kalombo, 2015), tant en vitamines qu'en calories.

Du point de vue économique, le maraichage concourt à la création d'emploi et assure le revenu de près de 7800 petits producteurs (Ntumba et al., 2015). Kalenga et al. (2012) indiquent que, le maraichage constitue une activité de base pour 23% des pauvres de Lubumbashi et secondaire pour les 75% autres. Le maraichage reste l'activité la plus productive et rentable de l'agriculture urbaine car il est moins exigeant en terme de coûts d'investissements, motivant ainsi les agriculteurs à cultiver les légumes (Moustier et Abdou, 2004). L'activité de jardinage familial à Ferkessédougou génère des revenus importants qui allègent le budget consacré à l'alimentation des ménages. Ils assurent aussi une épargne pour l'achat d'aliments pendant la période de soudure ; période comprise entre les périodes de germination et de maturation des récoltes (Yeo et al., 2018). Dans ces conditions, les jardins familiaux garantissent l'accessibilité économique des ménages aux denrées alimentaires ; ce qui est l'une des préoccupations de la FAO, dans sa lutte pour l'éradication de l'insécurité alimentaire.

Sur le plan social, le maraichage contribue à l'autonomie alimentaire et à la diversité alimentaire des populations. Hamelin et Bolduc (2003), abordant leur étude dans le même sens, ont constaté que les jardins familiaux ont contribué à l'accroissement de l'autonomie alimentaire préexistante des jardiniers du Québec en leur permettant d'acquérir de nouvelles habitudes alimentaires et en leur facilitant l'accès à des aliments de qualité, produits localement. De même, la FAO (2010) a indiqué dans son rapport sur les villes vertes que, les cultures maraichères jouent un rôle primordial dans la plupart des programmes de nutrition et de réduction de la pauvreté dans les pays en voie de développement dans la mesure où elles offrent une gamme très variée des produits agricoles alimentaires de bonne qualité. Récemment, Yeo et al. (2018) ont signalé que le maraichage assure l'autosuffisance et améliore la qualité nutritionnelle des ménages des maraichers en leur offrant une gamme variée de produits alimentaires entrant pour la plupart dans la composition des sauces.

Par exemple, Yarou et al. (2017) ont recensé 27 espèces de cultures maraichères concourant à la sécurité alimentaire en Afrique de l’Ouest. Alors que Ntumba et al. (2015), eux ont identifié 8 espèces de cultures maraichères à Lubumbashi en République Démocratique du Congo (Tableau 1). Ainsi, 80 % des jardinières enquêtées par Yeo et al. (2018) ont inclus les légumes dans la préparation de leurs mets traditionnels grâce aux produits vivriers de leurs jardins. D’après ces mêmes auteurs, les cultures de plein champ fournissent la majeure partie de l’énergie nécessaire aux ménages tandis que les produits maraichers complètent le régime alimentaire avec des légumes riches en vitamines et des végétaux de base énergétiques. Ces aliments peuvent même, selon Marsh (1998) devenir la source principale de nourriture des ménages durant les périodes difficiles.

Du point de vue écologique, le maraichage contribue à l’assainissement des milieux et à la bonne gestion des déchets (Moustier et Abdou, 2004; Tshomba et al., 2015). Cependant, la bonne gestion des déchets passe par le compostage des déchets fermentescibles (déchets de cuisine) et la valorisation des ressources sous utilisées (Moustier et Abdou, 2004 ; Bisimwa et al., 2015). D’après les travaux de recherche de Bisimwa et al. (2015), l’utilisation des déchets ménagers fermentescibles comme engrais après compostage aurait permis une réduction de 92,5% des ordures ménagères de la ville de Bukavu en République Démocratique du Congo.

Tableau 1. Quelques espèces de cultures maraichères produites à Lubumbashi (RDC) et leur importance alimentaire. Adapté de Grubben et Denton (2004).

Famille	Nom Scientifique	Nom vernaculaire	Organe consommé	Importance alimentaire
<i>Exotique</i>				
Apiaceae	<i>Daucus carota L.</i>	Carotte	Racines	++++
Steraceae	<i>Lactuca sativa L.</i>	Laitue	Feuilles	++++
Brassicaceae	<i>Brassica oleracea L.</i>	Chou pommé	Feuilles	++
	<i>Brassica chinensis</i>	Chou de chine	Feuilles	++++++
Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus L.</i>	Concombre	Fruits	++++
	<i>Cucurbita pepo L.</i>	Courgette	Fruits	++++
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris L.</i>	Haricot vert	Fruits	++++
Liliaceae	<i>Allium cepa L.</i>	Oignon	Bulbes	+++++
Solanaceae	<i>Capsicum annum L.</i>	Poivron	Fruits	+++
	<i>Solanum melongena L.</i>	Aubergine	Fruits	+++
<i>Traditionnels</i>				
Amaranthaceae	<i>Amaranthus cruentus L.</i>	Amarante	Feuilles	+++
Malvaceae	<i>Abelmoschus esculentus L.</i>	Gombo	Fruits	++++
	<i>Hibiscus sabdariffa L.</i>	Oseille de Guinée	Feuilles	+++
Solanaceae	<i>Capsicum frutescens L.</i>	Piment	Fruits	+++
	<i>Solanum aethiopicum L.</i>	Aubergine africaine	Fruits	++++
	<i>Lycopersicon esculentum Mill</i>	Tomate	Fruits	+++++

Légende: + : peu élevée; ++ : moyennement élevée; +++ : élevée; ++++ : très élevée.

1.2. Erosion hydrique des sols

1.2.1. Processus et facteurs de l'érosion hydrique

1.2.1.1. Processus d'érosion

De nombreux auteurs décrivent l'érosion hydrique des sols comme étant un phénomène de dégradation selon lequel les particules de sol sont arrachées de leur milieu par l'impact des gouttes de pluie (détachement), transportées par l'eau de ruissellement (transport) et déposées dans le bassin de sédimentation (sédimentation ou déposition) (Le Bissonnais et al., 2002; Zhang et al., 2003; Antoni et al., 2006; Zhang et al., 2019). Ainsi donc trois processus sont dégagés de cette définition. Toutefois, certains autres auteurs comme Ellison (1944) ; Rose (1985) ; Kinnell (2000) semblent négliger le dernier processus qui est la sédimentation. En se référant au premier groupe d'auteurs, les processus d'érosion peuvent être synthétisés comme suit :

Erosion = Arrachement → Transport → Sédimentation

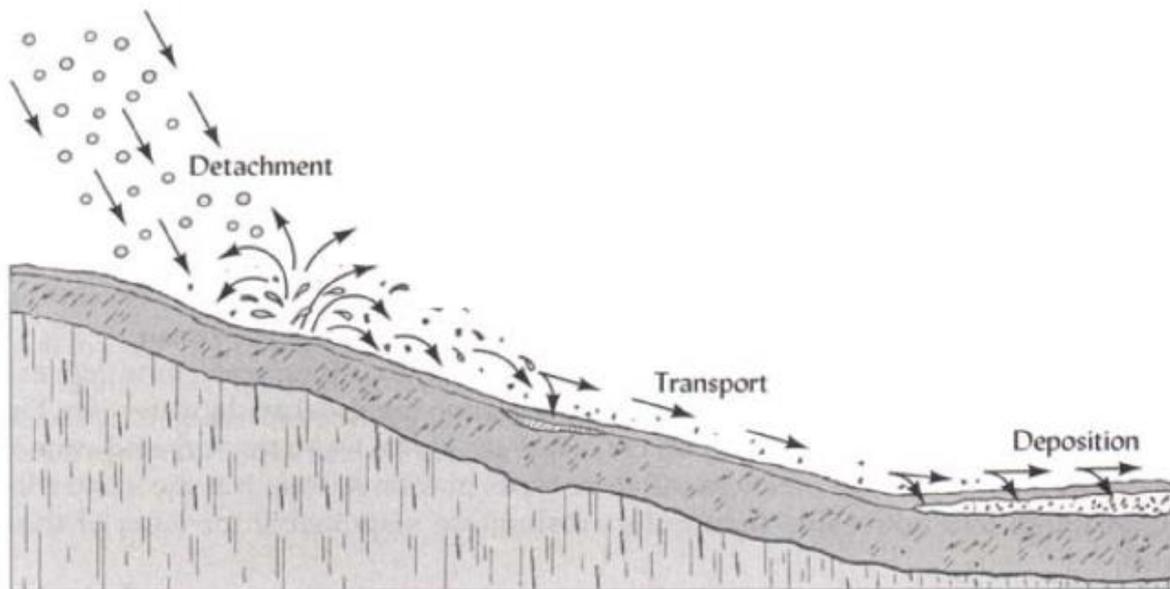


Figure 1. Processus d'érosion hydrique de sol (Stitcher, 2010).

Ellison (1944) définit le détachement comme un processus de perte progressive des particules de sol de tailles facilement transportables d'une masse de sol. Il est important de noter que ce terme est souvent confondu à celui de désagrégation par le fait qu'ils agissent de façon concomitante à la surface des sols. La désagrégation elle par contre, désigne la déstructuration des agrégats présents en surface et la production de fragments de sol plus fins (Leguédois, 2003). Afin d'éviter la confusion entre ces deux termes, le terme de mise en mouvement est utilisé pour désigner le détachement. Cependant, le processus de détachement et/ou de désagrégation se déroule en quatre principales phases qui sont (Boiffin, 1984 ; Le Bissonnais, 1988 ; Emerson et Greenland, 1990 ; Le Bissonnais et Le Souder, 1995 ; Le Bissonnais, 1996) : (1) l'éclatement, correspondant à la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation. (2) Le gonflement différentiel, phénomène qui intervient suite à l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats.

(3) La dispersion physico-chimique, qui correspond à la réduction des forces d'attraction entre particules colloïdales lors de l'humectation. (4) Et la désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie.

Le transport des particules de sol débute lorsque les eaux de pluie ne peuvent plus s'infiltrer dans le sol. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (Le Bissonnais et al., 2002). Ce processus de transport résulte à la fois du rejaillissement d'eau et de sol dû à l'impact des gouttes d'eau de pluie (splash) et des eaux de ruissellement.

Ainsi on parle donc, du transport par splash et par ruissellement. Néanmoins, le transport par ruissellement est plus responsable de l'exportation des particules du sol détaché que celui de l'effet splash qui est négligeable (Moss et al., 1980).

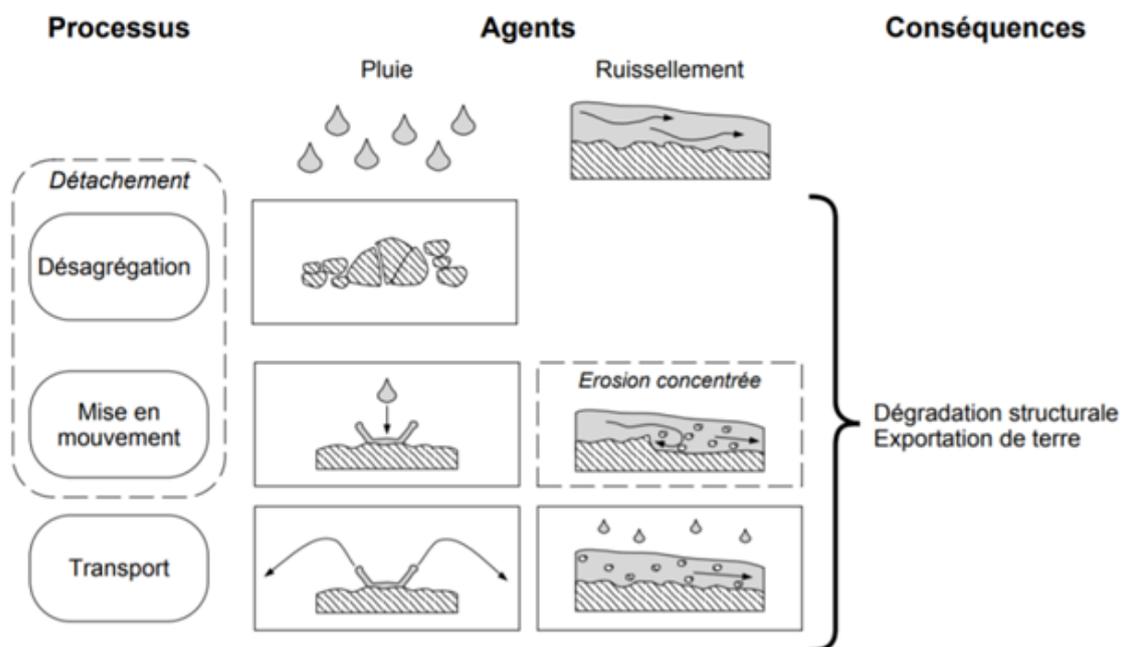


Figure 2. Mécanismes d'érosion (Leguédois, 2003).



Figure 3. Splash ou rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau (Leguédois, 2003).

Et la sédimentation quand elle, se fait lorsque la vitesse de l'écoulement diminue et que le poids des particules devient plus important que les forces de turbulence ou de roulement, ce qui fait que les particules se déposent. Les plus grosses se déposent en premier et les plus petites par la suite.

1.2.1.2. Facteurs d'érosion

Les facteurs qui influencent l'érosion hydrique des sols sont au nombre de 5 tels que décrits par Wischmeier et Smith (1978) dans leur équation universelle des pertes de sol (éq1). Il s'agit de l'érosivité des pluies (R), l'érodibilité des sols (K), du facteur topographique (LS), de la couverture végétale (C) et des pratiques anti-érosives (P), appelées autrement facteurs anthropiques.

$$A=R.K. LS.C. P \text{ (éq1)}$$

Dans le cadre de cette étude, seuls les facteurs d'érodibilité des sols (K) et de pratiques antiérosives ou facteurs anthropiques (P) ont été traités en profondeur car faisant l'objet de cette étude.

1.2.1.2.1. Erosivité (R)

L'érosivité de pluies désigne la capacité d'une pluie à causer l'érosion (Zouagui et al., 2018). Les gouttes de pluie peuvent fragmenter les agrégats et surtout détacher les particules de leur surface (Bissonnais et al., 1995). Ce mécanisme intervient en général conjointement aux autres mécanismes et nécessite une pluie d'une certaine énergie, variable selon les sols (Le Bissonnais et al., 1995).

Il joue un rôle prédominant à partir du moment où les sols sont saturés, du fait de la diminution de la résistance mécanique des agrégats et du changement de nature des chocs lié au ralentissement de l'infiltration. Maamar-Kouadri et al. (2016) rapportent qu'en situation de faible infiltration, l'énergie cinétique n'est plus absorbée mais plutôt transformée en force de cisaillement provoquant alors le détachement et le splash. Antérieurement, Antoni et al. (2006) avaient signalé que l'érosion hydrique caractérise le départ de sol sous l'action du ruissellement des eaux de pluies ne pouvant s'infiltrer dans le sol. Selon Samir (2007), ce problème d'infiltration serait lié aux états de surface du sol, en particulier à la surface couverte, la surface fermée par les croûtes et les zones compactées. Il est également lié à la stabilité des agrégats, à la teneur en matière organique de l'horizon superficiel du sol.

L'érosivité de pluies varie dans le temps et dans l'espace (Helioui et Hajri, 2015). D'après ce même auteur, il est évident que la variation spatio-temporelle de l'érosivité moyenne de pluies soit influencée par plusieurs paramètres dont les types de circulations atmosphériques, l'altitude, l'exposition et le couvert végétal.

1.2.1.2.2. Erodibilité (K)

De nombreux auteurs ont défini l'érodibilité d'un sol comme étant son aptitude intrinsèque à être détaché et transporté sous l'action des pluies et du ruissellement (Le Bissonnais et al., 1995; Zouagui et al., 2018). C'est donc une mesure de la susceptibilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. L'érodibilité dépend de plusieurs propriétés du sol notamment la texture du sol, la teneur en matières organiques, la structure et la perméabilité du sol (Wischmeier et Smith, 1978 ; Bouguerra et Bouanani, 2016).

Et de manière plus particulière, l'érodibilité est fortement liée à la texture et la teneur en matière organique, davantage qu'aux autres paramètres du sol cité ci-haut.

Les résultats des travaux de recherche de Fairbridge (2008) ; Avakoudjo et al. (2015) rapportent qu'un sol à forte teneur en sable ou en limon s'érode plus facilement que celui contenant de faibles teneurs en ces particules. Ceci est dû au fait que ces particules ont des faibles propriétés cohésives (Vidal, 2012). Les sols argileux grâce à leur forte cohésion, résistent mieux à l'érosion que les sols sableux et limoneux. Morschel et al. (2004) avaient démontré que plus la cohésion des particules du sol est forte, plus la résistance contre l'arrachement de ces particules et le transport est élevée. Toutefois, la texture fine du sol comme celle des sols argileux, empêche l'infiltration de l'eau et déclenche le ruissellement. Ce ruissellement résulte de la fermeture rapide des pores sous l'effet des gouttes de pluies. Mais cela ne signifie pas que la texture fine est plus sensible à l'arrachement que la texture grossière (Hassan, 2015). Et donc un sol à texture équilibrée résiste mieux à l'arrachement. D'après Roose (1994) ; Hassan et al. (2015), les sols riches en matières organiques sont moins sensibles à l'érosion que ceux qui ne les sont pas. Bou Kheir (2001) justifie ce propos en expliquant que, la matière organique améliore la structure du sol tout en permettant l'association des agrégats du sol et l'augmentation de la porosité du sol. La matière organique joue en effet le rôle de ciment et de maintien de la stabilité structurale du sol, ce qui rend par conséquent le sol plus perméable à l'eau et plus résistant au choc des gouttes de pluie confirment Duchaufour (2001) et Hassan et al. (2015).

La structure du sol est la propriété physique la plus étudiée dans les expérimentations traitant de l'érosion des sols suite à sa forte influence sur les autres propriétés physiques de sol. Les sols à structure grumeleuse résistent mieux à l'érosion que ceux à structure granulaire et massive. En effet, les sols à structure grumeleuse offrent les meilleures conditions aux racines des cultures de bien se développer et fonctionner, ce qui augmente directement la densité des pores par le biais des chenaux des racines mortes et indirectement en accroissant l'activité biologique de la macrofaune et donc la porosité qui en découle (Capowiez et al., 2009 ; Briones et Schmidt, 2017). Selon Samir et al. (2007), la stabilité structurale du sol est liée à la teneur en matière organique et à la couverture végétale.

La perméabilité du sol influe également sur sa capacité du sol à résister au détachement et au transport par l'eau. Cependant, plus un sol est perméable moins il est sensible à l'érosion et vice versa. Il faut aussi noter que la perméabilité du sol est dictée par plusieurs facteurs notamment la texture, la profondeur, la teneur en matières organiques du sol et la couverture végétale etc. De manière générale, les sols sableux sont plus perméables que les sols limoneux et argileux. Mais leur capacité à résister à l'érosion est cette fois-là plus dictée par d'autres facteurs cités ci-haut mais beaucoup plus par la teneur en matières organiques. De même, un sol profond a une forte résistance à l'érosion, à l'inverse d'un sol superficiel (Hassan, 2015). Quant à l'influence de la teneur en matières organiques du sol sur la perméabilité, elle est liée au fait que la matière organique cimente les particules de sol et améliore ainsi la porosité du sol. En conséquence, l'infiltrabilité du sol est aussi améliorée. La présence d'un couvert végétal, vivant ou mort, améliore la porosité de la surface du sol et donc l'infiltrabilité, soit directement à travers les chenaux des racines mortes et les résidus enchâssés dans le sol, soit indirectement en accroissant l'activité biologique de la macrofaune et donc la porosité qui en résulte (Capowiez et al., 2009 ; Roger-Estrade et al., 2011).

1.2.1.2.3. Topographie (LS)

Partant des résultats de recherches d'Hassan et al. (2015), qui ont souligné que la complexité du relief influence l'érosion, ce qui implique la prise en compte du facteur pente. Cependant, le risque d'érosion varie proportionnellement avec l'inclinaison et la longueur de la pente (Le Bissonnais et al., 2002). Les conclusions de l'étude de Gaddas (2010) ont aussi affirmé que le risque d'érosion dépend de la longueur de pente, qui donne en effet l'énergie à l'eau de ruissellement suffisante pour transporter des particules du sol. Par contre, Roose (1994) et Bou Kheir (2001) avaient constaté que la longueur de la pente ne peut pas être considérée comme un facteur important dans les régions méditerranéennes. Hassan (2015) appuie cette thèse en soulignant que l'influence de la longueur de la pente est probablement nulle en l'absence du ruissellement. Ceci revient à dire que, c'est l'inclinaison de la pente qui constitue le facteur le plus déterminant. Cette assertion avait déjà été justifiée par Savat et al. (1982), qui avait démontré que l'inclinaison de la pente est certes le facteur topographique le plus déterminant dans la formation de l'érosion. L'influence première de la pente est l'augmentation de la vitesse d'écoulement. Sur des pentes plus grandes, l'infiltration est plus faible et le volume de ruissellement augmente. La longueur de la pente joue un rôle similaire mais avec moins d'impact.

Par ailleurs, certains experts en érosion renseignent que le facteur inclinaison de pente peut être influencé par plusieurs autres facteurs tels que les pratiques culturales, le climat et la texture du sol (Savat et al., 1982 ; Roose, 1994 ; Bou Kheir, 2001). Les recherches de Veyret (2003) ont permis de faire valoir cette assertion en indiquant que, l'érosion peut se produire même sur des faibles pentes en cas des pluies violentes et des fortes modifications des pratiques culturales.

1.2.1.2.4. Couvert végétal (C)

D'après Naylor et al. (2002), la végétation a un double effet sur le sol à savoir : un effet de protection et celui de construction. Le couvert végétal protège le sol de l'érosion en ralentissant le ruissellement de l'eau (Rey, 2003 ; Durán et al. 2006 ; 2008) et en accroissant l'infiltration d'eau dans la matrice du sol (Ziegler et Giambelluca, 1998 ; Wainwright et al. 2002). Roger-Estrade et al. (2011), ont signalé que la végétation grâce à son taux d'évapotranspiration élevé comparativement à celui d'un sol nu, contribue à la diminution des réserves en eau du sol, ce qui augmente sa capacité de stockage pour la pluie suivante.

Par ailleurs, les plantes abritent et fixent le sol avec leurs racines (Gyssels et al., 2005 ; de Baets et al., 2007a, b), amortissent le choc des gouttes de pluie avec leur canopée et annule par le conséquent l'effet splash (Bochet et al., 1998 ; Durán et al., 2008). De surcroît, la végétation peut servir de barrière physique, pouvant modifier le flux de sédiments à la surface du sol (Van Dijk et al., 1996 ; Lee et al., 2000 ; Martínez et al., 2006). La distribution spatiale de la végétation le long des pentes est un facteur important de réduction du ruissellement des sédiments (Lavee et al., 1998 ; Calvo et al., 2003 ; Francia et al., 2006).

L'importance de la couverture végétale dans le contrôle de l'érosion hydrique est largement acceptée. Selon Durán et Rodríguez (2009), à court terme la végétation influe sur l'érosion principalement en interceptant les précipitations et en protégeant la surface du sol contre l'impact des chutes de pluie, et en interceptant le ruissellement.

Et à long terme, elle influence les flux d'eau et de sédiments en augmentant la stabilité structurale et la cohésion des sols, ainsi qu'en améliorant l'infiltration d'eau.

1.2.1.2.5. Pratiques antiérosives (P)

Boukong (2000) a montré que la mise en place de certaines pratiques culturales telles que les billons parallèles à la pente ou l'agriculture sur brulis par les paysans affecte de plus en plus fortement les fonctionnements et les propriétés des sols par accentuation de l'érosion des sols (Roger-Estrade et al., 2011). Devant cette situation alarmante, plusieurs chercheurs encouragent le remplacement de ces pratiques culturales par des pratiques antiérosives telles que la rotation des cultures, la culture en contre pente, la culture sur billons, le travail réduit du sol, la culture en bandes alternées, les cultures de couverture du sol et le semis direct (Alvaro-Fuentes et al., 2008; Musa et al., 2017; Ouattara et al., 2018). L'efficacité de ces pratiques antiérosives est fonction du climat, du relief et de la qualité de sol.

1.2.1.2.5.1. Pratiques antiérosives adaptées aux pentes

➤ Culture sur billons cloisonnés

La culture sur billon est une pratique qui consiste à accoler deux à deux les bandes de sol retournées pour former un billon. De manière générale, cette pratique culturale s'applique surtout en grande culture comme celles du maïs et soya (Forest et al., 2004), mais fonctionne également pour le maraîchage en sol lourd.

En effet cette pratique grâce à l'épaisseur du sol qui constitue le billon, permet le réchauffement et surtout un drainage plus rapide du lit de semence, ce qui réduit le ruissellement au profit de l'infiltration de l'eau dans le sol (Weil et Duval, 2009). Brodeur et al. (2008) ont classé la culture sur billon comme étant l'une de pratiques du travail minimum du sol par le fait qu'elle permet de conserver la structure du sol et de favoriser l'activité biologique. En plus le Club Action Billon (2005) rapporte que la pratique sur billon permet la réduction de la compaction du sol à la base des plants. Ainsi, tous ces effets bénéfiques tirés de cette pratique résultent de la limitation des zones de passage de la machinerie ou des travailleurs hors de la zone d'enracinement des plantes étant donné que ces derniers circulent uniquement dans les sillons créés par la surélévation des rangs.

Par ailleurs, Djoukong (2016) a signalé que la pratique du billonnage cloisonné a permis une réduction du ruissellement et des pertes de sol de l'ordre de sept et cinq fois respectivement, dans les hauts plateaux de l'Ouest du Cameroun.

➤ Culture en bandes alternées

Cette pratique culturale qui consiste à ensemer en bandes longues et étroites différents types de cultures de sorte qu'elles s'alternent. Cependant, l'efficacité de cette pratique repose sur deux principales règles à observer. La première ce que la pratique doit être effectuée en contre-pente et la seconde, exige à ce qu'elle soit faite sur base d'une bonne planification des rotations. Les résultats de recherche du CPVQ (1986) avaient déjà confirmé ces deux règles. Car d'après ces résultats, la rotation maïs, céréale, foin, foin réalisée en contre-pente, peut entraîner une diminution de l'érosion de l'ordre de 50% à 75%.

De même Stone et Hilborn (2000 ; 2010) ont observé qu'une culture en bandes, réalisée perpendiculairement à la pente engendre une réduction de l'érosion de 63% contre 38% en cette même culture dans le sens de la pente.

Par ailleurs, en plus de ces deux règles principales d'efficacité, M'seffar (2009) rajoute trois autres secondaires notamment la largeur des bandes, les types de cultures annuelles et la méthode de récolte des différentes espèces végétales. Par exemple selon les observations de Dugué et al. (1994) ; Klaij (1994) ; Dugué et Olina (1997) ; Dugué (2015), la présence de certaines cultures comme les plantes graminées pérennes permet de compenser la vulnérabilité des plantes annuelles face à l'érosion, notamment en réduisant la vitesse de ruissellement de l'eau et la surface de sol exposée et en augmentant la capacité de rétention de l'eau. Une autre étude récente, réalisée par le comité de concertation et de valorisation du bassin de la rivière Richelieu, (2016) a abouti aux mêmes conclusions.

➤ **Culture en contre-pente**

La culture en contre-pente est une pratique qui consiste à orienter les cultures orthogonalement à la pente principale du terrain, ce qui permet d'atténuer de façon significative l'érosion hydrique du sol (CPVQ, 2000b). La disposition orthogonale des rangs et des sillons agit en tant qu'obstacle à l'eau dévalant la pente, ce qui a pour conséquence de limiter le ruissellement et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol (M'seffar, 2009). Stone et Hilborn (2000) ont observé que l'efficacité de cette pratique varie selon les niveaux de pente et qu'elle est plus efficace sur des pentes inférieures à 10% où elle peut diminuer les pertes de sol de 25%. Par contre d'après ces mêmes auteurs, la culture en contre-pente suivant les courbes de niveau, une variante de la culture en contre pente simple, permet la réduction de l'érosion hydrique jusqu'à 50%.

➤ **Cordons pierreux**

Sont des ouvrages mécaniques constitués d'un alignement des pierres placé perpendiculairement à la pente ou suivant les courbes de niveau du champ à protéger. Ces ouvrages permettent de réduire la pente du terrain et de retenir les sédiments transportés par les eaux de ruissellement. Savadago et al. (2011), lors de leur étude axée sur les bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso ont signalé une grande efficacité de cette technique à réduire le ruissellement.

➤ **Terrassement**

Le terrassement consiste à aménager de manière horizontale et à subdiviser un versant accidenté en plusieurs parties étagées appelées terrasses, en vue de diminuer la longueur de la pente d'écoulement. Les terrasses ainsi formées sont soutenues en aval soit des haies vives soit par des diguettes filtrantes. Seignobos et Tchotsoual (2012) ayant évalué les stratégies traditionnelles de lutte contre l'érosion dans les monts Mandara et dans la plaine du Diamaré au Nord-Ouest du Cameroun, ont venté l'efficacité du terrassement à atténuer l'érosion. Thorne et al. (1990) ; Dalton et al. (1996) ont montré l'efficacité des terrasses à réduire le ruissellement et concluent que la combinaison de cette technique avec celle des haies végétales à base vétiver (*Vetiveria sp.*) favorise le piégeage des sédiments et réduit considérablement l'érosion.

Cette forte capacité de la combinaison de ces deux techniques à retenir les sédiments a été également observée par le PNUD (2014), lors de son étude sur la résilience des systèmes de production agricole en République Démocratique du Congo.



Figure 4. Terrassement d'un versant (PNUD, 2014).

➤ **Diguettes filtrantes ou non filtrantes**

Ce sont des ouvrages mécaniques constitués des pierres (filtrantes) ou des terres (non filtrantes), alignés suivant installés dans le sens contraire à la pente ou suivant les courbes de niveau du terrain et en amont du canal de récupération des eaux de ruissellement (figure 5). Ces ouvrages contribuent à la réduction de la pente, la vitesse des eaux de ruissellement et retiennent les sédiments emportés par le ruissellement, ce qui permet de réduire l'érosion hydrique.



Figure 5. Diguettes filtrantes (A) ou non filtrantes (B) (Savadogo et al., 2011 (A), crédit photo Esoma (B)).

➤ **Fossés en bordure supérieure des champs**

Cette technique consiste à creuser un fossé à la bordure supérieure du champ pour capter et évacuer les eaux de ruissellement. Ndayizigiye (2012) signalent que depuis le temps jadis, les agriculteurs terminaient le labour par un fossé d'environ 30 cm et 20 cm de largeur et profondeur respectivement et disposé pas forcément de façon perpendiculaire à la pente. D'après ce même auteur, l'élargissement et la disposition du fossé en fonction des courbes de niveau ou perpendiculairement à la pente permettent une meilleure réduction de ruissellement.

Cette pratique constitue la pratique antiérosive la plus utilisée dans les sites maraichers de Lubumbashi en République Démocratique du Congo (figure 6).



Figure 6. Fossés en bordure supérieure des champs (crédit photos Esoma).

➤ Haies vives

Les haies vives sont des bandes enherbées pouvant être constituées de plusieurs espèces végétales. Elles sont disposées dans le sens contraire à la pente et jouent le rôle de barrière biologique pour retenir les particules de sol emportées par les eaux de ruissellement et atténuer la pente. Des graminées tels *qu'Andropogon gayanus*, *Andropogon ascinodis*, *Cymbopogon ascinodis*, *Vetiveria zizanioides*, sont les plus utilisées du fait de leur enracinement profond permettant une meilleure infiltration de l'eau et de leur résistance à la sécheresse dans beaucoup des pays de la région du Sahel comme au Burkina Faso, Togo et Mali (Roose et al., 2012). Dans d'autres régions ne souffrant pas de problème de pluviométrie, les paysans préfèrent constituer leurs haies avec des espèces comestibles, fourragères et de bois d'énergie comme la canne à sucre à Lubumbashi (RDC) (figure 7C), le *Leucaena leucocephala* et *Calliandra spp.* au Rwanda (Ndayizigiye, 2012). La pratique des haies vives peut être utilisée de manière isolée (figure 7C) ou en association avec des ouvrages antiérosifs comme les cordons pierreux et les fossés disposés en amont (Savadogo et al., 2011) ou en aval de celle-ci (figure 7A, B). D'après Ndayizigiye (2012), cette technique reste efficace sur des pentes inférieures à 15%. Cependant dans certains sites maraichers de Lubumbashi (R D Congo), la pratique des haies vives à base de *Ipomea batatas* et *Manihot esculenta*, est appliquée même autour des plates-bandes (figure 7D).



Figure 7. Haies vives (Savadogo et al., 2011; credit photos Esoma).

1.2.1.2.5.2. Pratiques antiérosives adaptées au climat tropical

➤ Paillage

Le paillage consiste à recouvrir le sol d'une couche mince de débris végétaux (herbes, de résidus culturels) de façon à protéger le sol contre l'impact des gouttes de pluie. En plus de son effet protecteur vis-à-vis des gouttes de pluie, il permet également la réduction des ruissellements, favorise l'infiltration de l'eau, et stimule l'activité des organismes telluriques. Selon Savadogo et al. (2011), l'efficacité de cette pratique à contrôler l'érosion peut être améliorée par combinaison avec d'autres pratiques antiérosives, tels que les cordons pierreux et les haies vives. Sa mise en application nécessite la disponibilité de matériaux végétaux et de la main d'œuvre importante. Adekalu et al. (2006) au Nigéria, Akplo et al. (2017) au Bénin et Fikre et al. (2018) en Ethiopie, ont conclu que la pratique du paillage est très adaptée pour lutter contre l'érosion de sol en zone tropicale d'autant plus que les pluies sont violentes et la minéralisation de la matière est rapide.

A Lubumbashi, cette pratique est très peu appliquée suite à l'indisponibilité des matériaux végétaux. Seuls les maraichers du site Kilobelobe utilisent les résidus des cannes à sucre plantées comme haies vives, pour pailler leur sol (figure 8).



Figure 8. Paillage (crédit photo Esoma).

➤ Cultures de couverture

La culture de couverture désigne toute plante ou mélange des plantes autres que la culture principale semé en vue de couvrir le sol (Action Semis Direct, 2011). Elle comprend deux grandes variantes à savoir : les engrais verts et la culture intercalaire. Les engrais verts font référence à l'implantation d'une plante sur la toute la surface du terrain, avant ou après la culture principale. Par contre, la culture intercalaire est semée entre les rangs de la culture principale (MAPAQ, 2005).

Par ailleurs, plusieurs recherches indiquent que la récolte et les inters-rangs contribuent à la dénudation des grandes superficies des sols surtout dans les champs légumiers, du maïs et du soja (McRae et al., 2000 ; Chunn et al., 2011). En effet, CPVQ (2000c) ; Lefebvre et al. (2005) ; Clearwater et al. (2016) ont constaté que cette absence du couvert végétal accroît la sensibilité du sol à l'érosion (figure 9). Ainsi pour résoudre cette situation critique, les scientifiques proposent la pratique de couverture végétale (Naylor et al., 2002 ; Séguin et al., 2004 ; Durán et al., 2006a ; 2008). D'après Rey (2003) ; Puigdefábregas (2005), Durán et al. (2006a ; 2008), le couvert végétal protège le sol de l'érosion en réduisant les écoulements d'eau et en augmentant l'infiltration de l'eau dans la matrice du sol (Ziegler et Giambelluca, 1998 ; Wainwright et al., 2002). Les plantes abritent et fixent le sol avec leurs racines (Gyssels et al., 2005 ; De Baets et al., 2007a, b), réduisent l'énergie des gouttes de pluie avec leur partie aérienne (Bochet et al. 1998 ; Durán et al. 2008). De plus, la végétation peut servir de barrière physique, modifiant le flux de sédiments à la surface du sol (Van Dijk et al. 1996 ; Lee et al. 2000 ; Martínez et al. 2006). De surcroît, l'amélioration des propriétés physiques et biologiques du sol par les engrais verts réduit également l'érosion et la compaction du sol (MAPAQ, 2005).

L'étude de Mc Rae et al. (2000) a démontré que l'application de cette pratique culturale dans une culture de maïs d'ensilage cultivé dans le sens de la pente pouvait réduire l'érosion de 76 %.

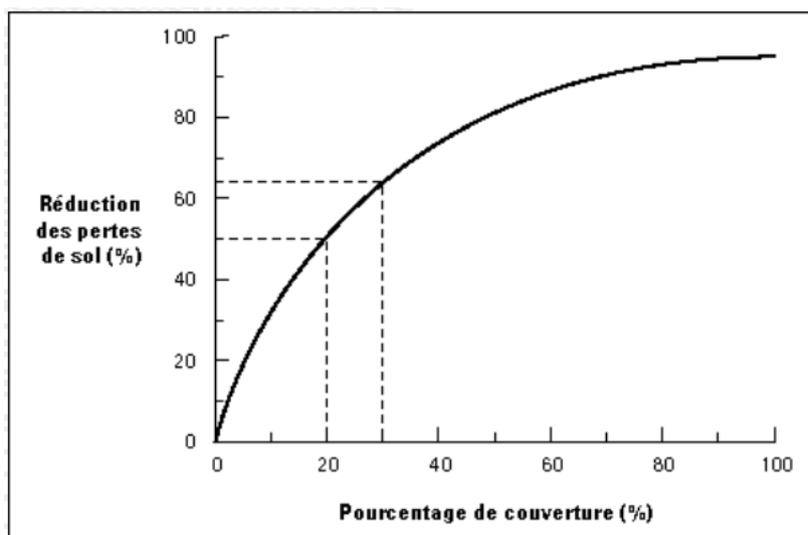


Figure 9. Relation entre la couverture de résidus et la réduction des pertes de sol (CPVQ, 2000c).

1.2.1.6. Pratiques antiérosives adaptées à la qualité des sols

➤ Rotation des cultures

La rotation des cultures désigne la succession de différentes cultures sur une même parcelle de terre. Selon une séquence planifiée, les espèces végétales sont alternées d'année en année afin d'en retirer divers bénéfices. Ceux-ci peuvent provenir directement de l'effet engendré par la succession des différentes cultures à un endroit donné ou encore des caractéristiques spécifiques de certaines espèces végétales qu'on y insère.

La rotation culturale, en plus de ses effets bénéfiques sur les cultures telles que la réduction de la dépendance aux engrais azotés, l'amélioration des rendements et de la structure du sol lors de l'introduction d'une légumineuse dans la rotation par exemple peut également contribuer à l'atténuation l'érosion des sols de deux manières (N'Dayegamiye et al., 2013). D'une part, Séguin et al. (2004) ; CPVQ (2000a) ont observé que l'intégration d'une espèce végétale de couverture de sol dans la rotation accroît l'infiltration de l'eau dans le sol au détriment du ruissellement, ce qui amortit le choc des gouttelettes de pluie au sol.

En plus, d'après les mêmes auteurs, l'insertion de la culture de couverture dans la rotation culturale contribue à la restauration de la teneur en matière organique du sol. D'autre part, le fait que la rotation culturale permet de maintenir le sol en bonne santé, le rend moins vulnérable à l'érosion. Cependant, cette faible vulnérabilité résulte des profils racinaires différents à chacune des saisons, qu'offre la rotation culturale au sol, ce qui concourt au maintien d'une bonne structure de sol et à la stabilisation des agrégats. Des nombreuses recherches ont montré que les diverses familles d'espèces végétales utilisées en rotation culturale, n'améliorent pas les mêmes propriétés physiques du sol (CPVQ, 1986 ; Blanco-Canqui et al., 2004). Par exemple, l'insertion de graminées dans la rotation culturale améliore les propriétés physiques du sol à sa surface alors que les légumineuses favorisent la stabilisation structurale du sol en profondeur grâce à leur système racinaire plus développé (Wouez, 2016).

Les résultats des recherches de l'étude du Conseil des Productions Végétales du Québec (1986) illustrent l'effet de la rotation culturale sur quatre années de maïs, avoine et luzerne sur l'érosion des sols en comparaison avec la culture de maïs en continu. Au cours de cette étude, il a été observé un ruissellement plus de quatre fois plus élevé et des pertes de sol plus importantes de 86 % dans la culture du maïs en continu que dans la situation d'alternance des cultures.

➤ **Travail réduit du sol**

Le travail conventionnel du sol est considéré par un bon nombre des scientifiques comme une pratique qui accentue la vulnérabilité du sol à l'érosion, à cause de sa large série d'opérations. Pour pallier à cette problématique, ces mêmes auteurs pensent que la réduction ou la minimisation de certaines opérations est indispensable (MAPAQ, 2005). En effet, cette pratique consiste en la mise à l'écart partielle du labour, la réduction du nombre de passages de la machinerie et à employer seulement des instruments aratoires moins dommageables pour le sol. D'après Roger-Estrade et al. (2011), la suppression totale du labour peut engendrer une réduction considérable de la porosité du sol alors que s'il y a un travail superficiel, la réduction de la porosité est peu importante. Ceci concourt à l'amélioration des propriétés physiques du sol en réduisant la compaction par exemple (Rezgui et al., 2014). Cependant, plusieurs autres effets bénéfiques du travail minimum du sol sont mis en évidence par d'autres auteurs. Peigné et al. (2007) signalent que le travail minimum du sol favorise aussi la présence de résidus de culture à la surface du sol, ce qui permet de protéger le sol contre l'érosion en diminuant le ruissellement et en augmentant la capacité de rétention en eau.

La revue bibliographique de Kladviko (2001) montre que la diminution de l'intensité du travail du sol favorise en général le développement de la macrofaune du sol, plus particulièrement les vers de terres épigées qui semble plus affectée par le travail du sol que les organismes de plus petite taille. Or selon Pelosi et al. (2013) ; Bouthier et al. (2014) la présence des vers de terres épigées entraîne l'augmentation du nombre des biopores verticaux, ce qui accroît l'infiltration de l'eau et réduit par conséquent le ruissellement.

➤ **Semis direct**

La pratique du semis direct se différencie de celle du travail réduit par l'absence totale du travail du sol. Ainsi donc, cette pratique consiste à ensemercer une culture dans un champ sans aucun travail du sol ou opération effectuée au préalable (MAPAQ, 2005). Toutefois, la pratique du semis direct favorise l'infiltration et la rétention de l'eau du sol et permet de limiter l'évaporation du sol (Mrabet, 2002 ; Findeling et al., 2003 ; Autfray et al., 2007), la réduction de ruissellement et la protection de sol contre l'érosion (Adekalu et al., 2007; Roose et al., 2008 ; Dugué, 2014a). De surcroît, elle contribue à l'amélioration de la fertilité du sol par l'apport de la matière organique et par la stimulation de l'activité biologique (Scopel et al., 2004 ; Oorts et al., 2007 ; Sissoko 2009 ; Dugué, 2014b ; Ouédraogo et al., 2014). Et plusieurs auteurs estiment que cette pratique s'inscrit dans la logique d'intensification écologique de l'agriculture afin de substituer le système conventionnel (Nana et al., 2015). Par ailleurs, les résultats des recherches de l'Organisme du Bassin Versant de la Yamaska, (2001) ont révélé que le semis direct peut contrôler l'érosion de sol jusqu'à 92% de réduction. De manière générale, le semis direct permet un meilleur contrôle d'érosion que le travail réduit, principalement en raison de la présence encore plus restreinte de la machinerie au champ (Mrabet, 2001).

➤ **Jachère améliorée**

La jachère améliorée est une pratique agricole qui soumet le sol d'un champ au repos pendant une période d'au moins quatre ans, tout en y installant des espèces herbacées ou ligneuses à croissance rapide et capables de produire une biomasse abondante. Cette technique est réalisée dans le but de réduire la battance du sol due aux fortes pluies et de contrôler l'érosion hydrique par une bonne couverture du sol (Savadogo et al., 2011). Elle a fait preuve d'une grande efficacité dans le Nord du Cameroun, où elle a permis la réduction du taux de ruissellement et d'érosion jusqu'à 90% (Boli et Roose, 2000).

Pour de nombreux auteurs, la jachère améliorée de courte durée est efficace et mieux adaptée pour l'amélioration des propriétés physiques des sols tropicaux et de leur résistance à l'érosion (Valentin, 1989 ; Boli et Roose, 2000).

➤ **Zai**

La technique du zai consiste à creuser des trous de forme ronde, d'environ 30 cm et 20 cm de diamètre et de profondeur respectivement et à les remplir de la fumure organique. Cette pratique contribue à la réduction du ruissellement et par conséquent à l'érosion. Afin d'améliorer son efficacité dans la lutte contre l'érosion, Savadogo et al. (2011) proposent que les trous soient disposés de façon alternée. Roose et al. (1993) ; Yaméogo et al. (2013) au Burkina Faso, ont montré l'efficacité de cette technique sur le contrôle du ruissellement et de l'érosion. Yaméogo et al. (2013) suggèrent une combinaison du zai avec les cordons pierreux ou les haies vives en vue d'augmenter leur capacité à réduire le ruissellement et à contrôler l'érosion au Burkina Faso, à travers l'augmentation de l'infiltration de l'eau.

1.2.2. Impacts de l'érosion hydrique sur les cultures

L'érosion hydrique des sols est un phénomène mondial de dégradation des sols et une menace sérieuse pour la durabilité de l'agriculture (Zhang et al., 2019). Environ 10 millions d'hectares de terres cultivées sont perdus chaque année dans le monde en raison de l'érosion des sols (Pimentel et Burgess, 2013).

Les impacts de l'érosion hydrique sur les cultures sont à la fois directs et indirects. Les impacts directs désignent la destruction des cultures par les sols érodés. Par contre, les impacts indirects se caractérisent par la réduction de la profondeur du sol et du potentiel d'enracinement, la réduction de la teneur en matière organique du sol et éléments nutritifs du sol, les modifications des propriétés physiques du sol (Den Biggelaar et al., 2001).

La réduction de la profondeur du sol a un effet sur la capacité de stockage de l'eau dans le sol et l'épaisseur du sol susceptible d'être colonisée par les racines. Les sols peu profonds ont une faible capacité de stockage de l'eau, ce qui peut affecter négativement la croissance des cultures. Outre la faible capacité de stockage de l'eau, ces sols ont également une faible épaisseur de surface du sol pouvant être exploitée par les racines.

La diminution de la teneur en matière organique et éléments nutritifs engendrée par l'érosion de sol entraîne la réduction des rendements des cultures. La matière organique joue un rôle très important dans la rétention de l'eau (Chaplain et al., 2011 ; Alletto et al., 2010). De plus, elle sert de source de nourriture pour les plantes et les organismes du sol du fait qu'elle contient de grandes quantités d'azote et de phosphate (Quinton et al., 2010).

Ce constat a été fait par Pimentel et Burgess (2013) ; Borrelli et al. (2018) qui ont souligné que l'érosion inflige aux cultures une pénurie en éléments nutritifs, ce qui affecte la productivité du sol et le rendement des cultures.

Antérieurement, les expérimentations du Ministère d'Agriculture et Agroalimentaire du Canada (2009) avaient déjà démontré que les pertes de matière organique du sol entraînent des baisses de fertilité du sol et peuvent ainsi induire une diminution des rendements des cultures.

Par ailleurs, l'érosion de sol peut entraîner des modifications des propriétés physiques du sol telles que les modifications de la densité apparente, de l'infiltration de l'eau, de la capacité de rétention en eau, de la texture ou de la structure (Lawal et al., 2012 ; Abdullahi, 2018). Or la modification profonde des propriétés physiques du sol peut affecter considérablement de manière négative la productivité des sols et par conséquent les rendements des cultures. Une bonne structure des couches arables du sol est essentielle dans les activités agricoles. Car elle assure un équilibre entre les différentes fractions du sol (solide, liquide et gazeuse) et permet aux cultures d'avoir à leur disposition tous les éléments nutritifs nécessaires pour une croissance optimale (Chenu et al., 2000). La matière organique fait partie des composés qui cimentent les particules de terre en agrégats (Roger-Estrade et al., 2011). D'après ces mêmes auteurs la perte de certaines quantités de matière organique et d'argile causée par l'érosion hydrique diminue donc la stabilité de ces agrégats, détériore la structure du sol, qui dès lors, devient un milieu de moins en moins favorable aux racines des plantes. Le sol en s'appauvrissant en argile et en matière organique diminue également sa capacité de rétention d'eau et d'éléments nutritifs.

1.3. Impacts des mauvaises pratiques culturales sur l'érosion

Certaines pratiques culturales mises en œuvre par les agriculteurs peuvent favoriser l'érosion, notamment l'agriculture sur brûlis, les cultures dans le sens des pentes, les cultures annuelles et monocultures (Afelu et Kokou, 2015).

L'agriculture itinérante sur brûlis désigne une pratique culturelle ancestrale (Leys, 2012) très courante en agriculture dans les pays tropicaux. Elle est principalement réalisée dans le but de convertir la nécromasse d'herbes et d'arbres en lit de cendres riches en sels minéraux (figure 10), dans lequel les cultures seront semées directement ou après incorporation des cendres dans la couche arable par le labour. Cependant, au-delà de son caractère utilitaire, l'agriculture itinérante sur brûlis accélère la diminution de la matière organique du sol, ce qui affecte la structure, la biologie du sol et expose par conséquent le sol à l'érosion (Vieira et al., 2015 ; Stoof et al., 2015 ; Afelu et Kokou, 2015).

Antérieurement Roger-Estrade et al. (2011) avaient également fait la même observation. Or, de nombreux auteurs ont montré que l'augmentation des teneurs en matière organique et l'activité accrue des microorganismes favorisent la stabilisation de la structure du sol, qui à son tour réduit la détachabilité des particules et donc l'érosion (Leonard et Richard, 2004 ; Chenu et al., 2000 ; Six et al., 2002 ; Pagliai et al., 2004). Par ailleurs, la diminution accélérée de la matière organique du sol perturbe considérablement la vie de nombreux représentants de la faune du sol, ce qui affecte certains paramètres physiques du sol comme la porosité. C'est le cas notamment des vers de terre et des champignons qui sont directement détruits par l'agriculture sur brûlis et indirectement par la perte de la matière organique engendrée par cette pratique, alors qu'ils participent à l'amélioration de la stabilité structurale du sol.

Roger-Estrade et al. (2011) rapportent que les vers de terre par le biais de leurs galeries participent à la formation de la porosité du sol et à la cohésion des particules du sol grâce à leurs excréments. Les champignons par contre, contribuent à la stabilisation de la structure du sol par le réseau d'hyphes qu'ils développent.



Figure 10. Agriculture sur brûlis (crédit photo Esoma).

Les cultures annuelles et monocultures exigent un travail intensif du sol et laissent peu de résidus sur le sol, ce qui dégrade la structure, diminue l'apport de la matière organique et accentue par conséquent la vulnérabilité du sol à l'érosion (Stagnari et al., 2009). En plus, l'oxydation rapide et le coefficient de minéralisation élevé dans le sol des cultures annuelles accélère l'appauvrissement à long terme du sol en matière organique. En effet l'appauvrissement d'un sol en matière organique contribue à son tour à la détérioration de sa structure, ce qui expose le sol à l'érosion (Moussadek et al., 2011). Par ailleurs, les cultures annuelles et les monocultures couvrent moins le sol, voire même le laissent nu pendant un certain temps (période avant la levée), ce qui entraîne un accroissement du ruissellement et de l'érosion (Thierfelder et al., 2005 ; Thierfelder et Wall, 2009). Les surfaces du sol qui ont été mises à nu lors des semis sont fragiles et vulnérables à l'érosion, car elles n'ont aucune protection jusqu'à la levée des plantes. Donc, si dans le mois qui suit le semis, on enregistre des précipitations intenses, les sols sans protection sont alors exposés à l'érosion tels que démontré dans les travaux de Thierfelder et Wall, (2009) ; Thierfelder et al., (2013), orientés sur l'effet des techniques de l'agriculture de conservation sur l'infiltration de l'eau dans le sol en Zambie et au Zimbabwe. D'autres expériences menées au sud de la France par l'INERA (2004), ont démontré que les labours et les hersages dans le sens de la pente figurent parmi les principales causes anthropiques de l'érosion hydrique dans les champs agricoles.

Le sens du travail du sol influence l'orientation de l'écoulement de l'eau sur un champ agricole. L'étude de Boukong (2000) orientée vers l'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, a mis en évidence que les billons disposés parallèlement à la pente induisent des pertes importantes de sol que les billons disposés perpendiculairement à la pente.

Chapitre 2. Milieu, Matériel et Méthodes

2.1. Milieu

2.1.1. Localisation et description du milieu d'étude

L'étude a été conduite dans trois périmètres maraichers de la banlieue de Lubumbashi (figure 5). La ville de Lubumbashi, communément appelée la capitale du cuivre, est le chef-lieu de la province du Haut-Katanga et est localisée entre $11^{\circ} 27'-11^{\circ}47'S$, $27^{\circ}19'-27^{\circ}40'E$ et 1200-1300m d'altitude de la République Démocratique du Congo (Nkulu Khondé et Rémon, 2006 ; Bogaert et al., 2018). Actuellement, la ville de Lubumbashi comprend 43 quartiers répartis dans sept communes (Useni et al., 2018). Elle est caractérisée par une coexistence de zones périphériques semi-rurales à vocation agricole et de zones centrales urbaines dotées de quelques infrastructures de base. D'après les travaux de la FAO (2010) et de quelques ONG de la place, la ville comprend 41 périmètres maraichers répartis à travers les sept communes. Cependant, après avoir visité tous les périmètres maraichers, trois d'entre eux ont été retenus pour la réalisation de cette étude. Ces périmètres maraichers ont été choisis en raison de l'importance de l'érosion et il s'agit en effet des périmètres de Kashamata, Katumbwi et Kilobelobe (figure 11). Ces périmètres maraichers sont situés dans deux communes et sont tous traversés par un cours d'eau (tableau 2).

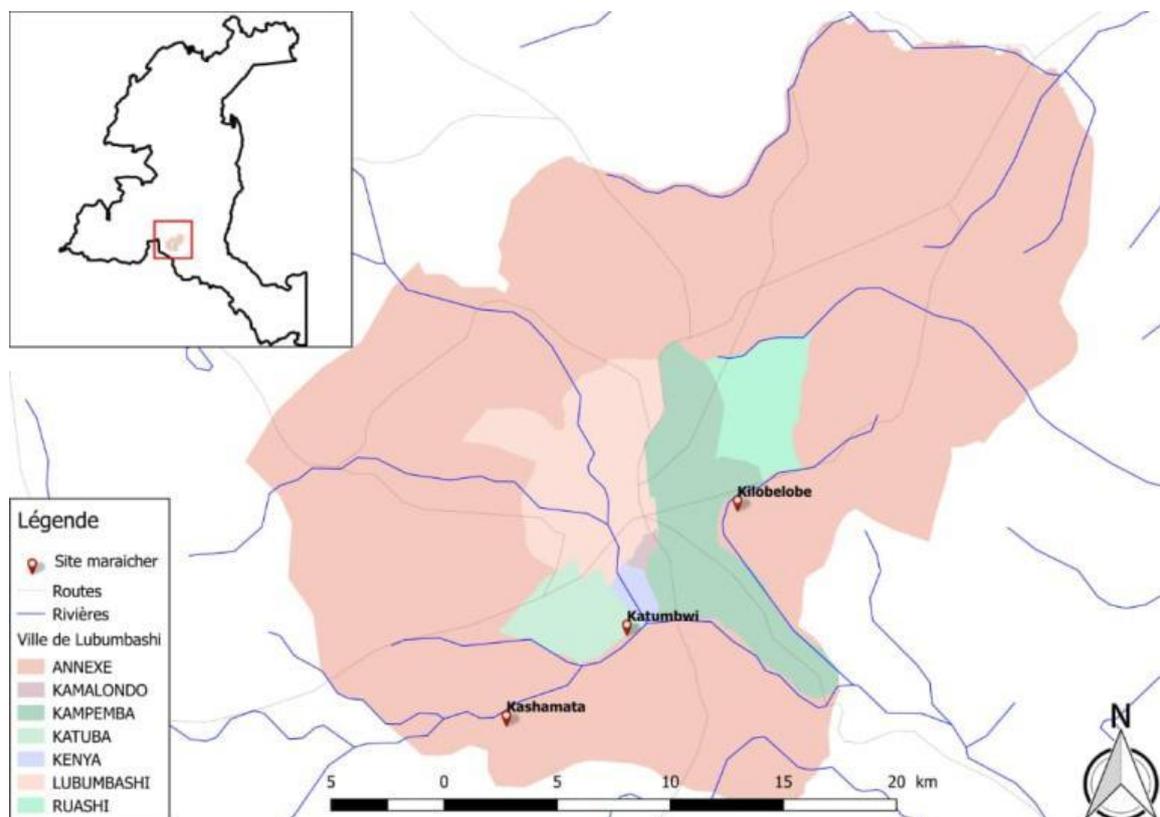


Figure 11. Localisation des sites d'étude.

Tableau 2. Localisation et description des périmètres maraichers

Communes	Sites	Nombre d'enquêtés	Longitude	Latitude	Nom de la rivière	Superficie (ha)
Katuba	Kashamata	25	E 27.42981°	S 11.75032°	Lubumbashi	10
Katuba	Katumbwi	35	E027.47639°	S 11.71420°	Lubumbashi	35
Annexe	Kilobelobe	50	E 027.52352	S 11.66221°	Kilobelobe	55

2.1.2. Climat

La ville de Lubumbashi présente un climat du type Cw6 du système de classification de Köppen (FAO, 2005). De nombreux auteurs admettent l'existence d'une saison de pluies d'environ 185 jours (novembre à mars), une saison sèche de près de 118 jours (mai à septembre) et d'une période de transition d'au moins 62 (octobre et avril) (Kasongo et al., 2013 ; Kalombo et al., 2015).

Les précipitations moyennes annuelles tournent autour de 1199 mm avec un minimum de 700 et un maximum de 1800 (Kalombo, 2016).

La moyenne annuelle de température est de 20°C, Octobre et novembre sont les mois les plus chauds avec une moyenne des maximas journaliers de 32°C et une température moyenne mensuelle de 23°C. Par contre, le mois de juillet est le mois le plus froid avec la moyenne des minimas journaliers de 8°C, la température moyenne mensuelle étant de 17°C (Moulaert, 1992 ; Vranken et al., 2013 ; Useni et al., 2014).

Le taux d'humidité varie considérablement tout au long de l'année, avec un minimum de moins de 50% à la fin de la saison sèche, jusqu'à plus de 85% dans le milieu de la saison des pluies.

2.1.3. Végétation

La forêt claire de type miombo est la formation végétale qui domine autour de Lubumbashi (Malaise, 1997 ; Useni et al., 2019a). Actuellement, elle évolue vers une savane arbustive, voire une savane herbacée à cause de l'expansion continue de la ville (Malaise et al., 2016 ; Useni et al., 2018b ; 2019b), la fabrication du charbon de bois et des passages annuels des feux de brousse (Munyemba et Bogaert, 2014). Le recul récent de la forêt dense au profit de la forêt claire et de la savane est à la base de la grande variabilité des espèces qui s'adaptent aux conditions nouvelles. La flore de recolonisation est dominée par des espèces telles que *Imperata cylindrica*, *Cynodon dactylon* et *Tithonia diversifolia* qui occupent le terrain à des degrés de recouvrement variés (Kasongo et al., 2013). Pour plusieurs auteurs dont, Leblanc et Malaise, (1978) ; Useni et al. (2019b) une nouvelle formation végétale ligneuse constituée des forêts de reforestation d'Eucalyptus et d'Acacia, destinées à compenser les pertes de la végétation naturelle vient de naître dans la ville.

2.1.4. Sol

La couverture pédologique est du type ferrallitique avec un pH à l'eau oscillant autour de 5,2 (Kasongo et al., 2013). Sys et al. (1959) ont considéré que l'unité de base de la classification des sols de Lubumbashi est la série. Ces sols sont aussi caractérisés par une texture grossière argilo-sablonneuse et sont pauvres en matières organiques (Kasongo et al., 2013).

2.1.5. Hydrologie

La ville de Lubumbashi est située sur plusieurs confluent. Le principal, plus proche du centre historique et définissant la position du plateau sur lequel est posée la ville, est celui de la Kafubu avec la Lubumbashi, au Sud du noyau urbain.

Les autres confluent dans l'agglomération ont lieu entre la Lubumbashi et la Karavia au Centre-Ouest de la ville, la Kafubu et la Ruashi à l'Est et entre la Kafubu et la Naviundu, au Sud-Ouest. Des Dembos (savanes saisonnièrement inondées) sont formés dans certains fonds de vallée des petits affluent. Un lac de retenue a été aménagé sur la Lubumbashi, dans la partie Nord de l'agglomération. Ce réseau hydrographique fait partie du bassin versant du fleuve Congo (Vranken, 2010).

2.2. Méthodologie

2.2.1. Echantillonnage et étude morphologique des échantillons

Des campagnes de terrain ont été réalisées dans tous les périmètres maraichers pour le prélèvement des échantillon du sol. Le relief a été considéré comme facteur de différenciation des types de sol. Ainsi donc, deux types de sol ont été observés, sol de versant et de bas-fond. Un total de 12 profils pédologiques a été creusé et décrit suivant la procédure indiquée dans le Word Reference Base (2014), ce qui correspond à 4 profils par périmètre maraicher dont deux sur le versant et les deux autres dans le bas-fond. Dans chacun de profils, trois échantillon de sols ont été pris, ce qui équivaut à 12 échantillon par périmètre et donc un total de 36 échantillon, pour tous les trois périmètres.

L'étude morphologique a été réalisée sur les 12 profils creusés et décrits suivant la description de la base de référence mondiale pour les ressources en sols (IUSS, 2014). Comme paramètres morphologiques à examiner pour chaque horizon et dans chaque profil, il a été considéré : la profondeur, la consistance, le développement du système racinaire, la porosité, la présence des cailloux ou fragments minéraux, la présence d'un élément artificiel.

Sur le terrain, chacun de profils réalisés a été décrit en remplissant une fiche de description adaptée en s'inspirant à la fois, du modèle établi par le laboratoire de Géopédologie de Gembloux Agro Bio Tech de l'Université de Liège (annexe 1), de Delecour et Kindermans (1977) afin de replacer le profil dans son contexte environnemental et de la note descriptive des sols de Lubumbashi de Sys (1959).

La géolocalisation des profils et des sites d'étude a été faite à l'aide de GPS (Garmin map). La profondeur des horizons et de la nappe phréatique a été déterminée à l'aide d'un mètre ruban alors que l'état hydrique du sol, la porosité, la présence des cailloux en surface et affleurement rocheux, celle de l'érosion et de l'influence de l'homme, ont été appréciés par observation macroscopique. La consistance a été évaluée en introduisant le couteau dans l'horizon du sol tout en appréciant la résistance. Les racines par contre, ont été décrites suivant l'allure générale de la colonisation racinaire, en termes d'abondance et de grosseur.

2.2.2. Analyse des pratiques culturelles

Des enquêtes ont été effectuées auprès des exploitants de ces trois périmètres maraichers. Elles ont porté sur les pratiques culturelles mises en application par les exploitants depuis l'ouverture du terrain jusqu'à la récolte.

Un échantillon de 110 exploitants sur 368 a été constitué de manière aléatoire. Ce choix aléatoire a permis d'avoir une représentation plus diversifiée des exploitants, étant donné que les connaissances et outils utilisés sont différents (Ferraton et Touzard, 2009 ; Ntumba et al., 2015).

Les échantillons de sol ont été prélevés dans les parcelles cultivées et en jachères afin de mieux évaluer l'influence des pratiques culturales sur l'érosion des sols par comparaison de l'état des paramètres physiques des sols de ces deux milieux après les analyses de laboratoire.

2.2.3. Cartographie des sites

Une carte de localisation des sites dans la ville a été réalisée à l'aide du logiciel Q GIS.

2.2.4. Analyse des paramètres du sol déterminant l'érodibilité du sol (K)

Étant donné que l'érodibilité du sol (K) est fonction de la texture (pourcentage en sable fin, limon et argile), de la teneur en matières organiques, de la structure et de la perméabilité du sol (Wischmeier et Smith, 1978 ; Hassan et al., 2015), ces différents paramètres du sol ont été déterminés comme suite :

La texture du sol a été mesurée par sédimentation avec la méthode de la pipette dérivée de la norme NF-X 31-107. Différentes fractions seront séparées : les sables fins ($> 50 \mu\text{m}$ et $\leq 200 \mu\text{m}$), les limons ($> 2 \mu\text{m}$ et $\leq 20 \mu\text{m}$) et les argiles ($< 2 \mu\text{m}$). Les fractions sont exprimées en pourcentage de la fraction du sol plus fine que 2 mm (Centre provincial de l'agriculture et de la ruralité, 2007).

La teneur en carbone organique a été déterminée à l'aide de la méthode Walkley et Black (1934), puis multipliée par le coefficient 2 afin d'obtenir la teneur en matière organique.

La méthode d'évaluation visuelle du sol (VSA) de Shepherd (2000) basée sur la fragmentation et la friabilité du sol, examinées après un test de rupture par éclatement a permis de déterminer la structure du sol (Mueller et al., 2009). Cette méthode consiste à larguer un échantillon de sol non confiné, à une hauteur de 1 m et ensuite comparer la distribution des fragments obtenue à celle des photographies du guide de la méthode d'évaluation visuelle du sol de Shepherd (2000) en vue de lui attribuer un score de structure (figure 12). Les scores de structure de Shepherd (2000) vont de 2 à 0, soit 2 pour la meilleure distribution des fragments, 1 pour la distribution moyenne et 0, pour la mauvaise distribution (figure 12). Les quatre classes et codes de la structure donnés par Wischmeier et Smith (1978), ont permis le passage des scores de Shepherd (2000) aux codes (tableau 3). En effet le score 2 de la méthode d'évaluation visuelle de sol de Shepherd (2000) correspond au code 1 Wischmeier et Smith (1978), ce qui traduit une dominance des fragments de sol de taille inférieure à 1mm ; le score 1 correspond par contre au code 2 et le score 0 au code 3 (figure 12, tableau 3).

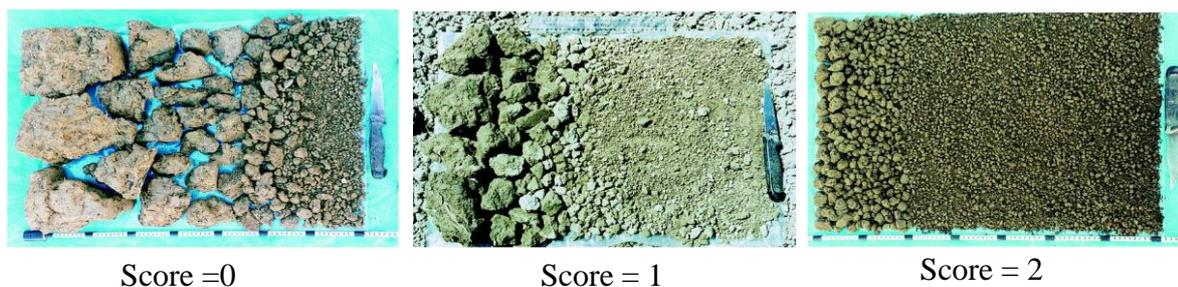


Figure 12. Photographies de la structure du sol (Shepherd, 2000).

Tableau 3. Classes et codes de la structure sols, Wischmeier et Smith (1978).

Codes	Classes	Dimensions des éléments structuraux
1	très finement granulaire (grumeleuse)	< 1 mm
2	finement granulaire (grumeleuse)	1-2 mm
3	moyennement ou grossièrement granulaire	2-10 mm
4	polyédrique, feuilletée ou massive	

La perméabilité du sol a été déterminée à travers la méthode de Muntz ou double anneaux (figure 13). Le dispositif expérimental de la méthode est constitué de deux anneaux cylindriques concentriques enfoncés dans le sol et de manière générale, le diamètre de l'anneau extérieur est le double de celui de l'anneau intérieur. Le principe de la méthode consiste à mesurer le débit d'eau infiltrée sous une charge hydraulique donnée dans l'anneau interne, le flux vertical y étant maintenu grâce à l'anneau externe (anneau de garde) où est imposée la même charge hydraulique (Lafhaj, 2005). Les six classes de perméabilité définies par Wischmeier et Smith (1978) sous forme de codes (tableau 4) ont été utilisées pour attribuer les codes aux valeurs de perméabilité obtenues dans cette étude.



Figure 13. Dispositif expérimental de la méthode Muntz ou double anneaux.

Tableau 4. Classes et codes de la perméabilité, Wischmeier et Smith (1978).

Codes	Classes	Volume en cm/jour
1	Rapide	>12,5
2	Modéré à rapide	6,25-12,5
3	Modérée	2-6,25
4	Lente à modérée	0,5-2
5	Lente	0,125-0,5
6	Très lente	<0,125

2.2.5. Détermination de l'érodibilité du sol (K)

L'érodibilité du sol (K) a été calculée à partir de la formule adaptée de Wischmeier et Smith (1978) illustrée à l'équation 2 (éq2) et déterminée à l'aide des différentes classes d'érodibilité définies par les mêmes auteurs (tableau 5).

$$K = 2,8 \cdot 10^{-7} M^{1,14} (12 - M.O.) + 0,0043 (b - 2) + 0,0033 (c - 3) \quad (\text{éq2})$$

Où, M est facteur granulométrique = (% limon + % sable très fin) (100 - % argile) ; M.O, la matière organique (%) ; b, le code de la structure du sol classé au tableau 4 et c, le code de la classe de perméabilité classé au tableau 3.

Tableau 5. Classes d'érodibilité, Wischmeier et Smith (1978).

Classes	K
Très forte	>0,05
Forte	0,04 - 0,05
Modérée	0,03 - 0,04
Légère	0,007 - 0,03
Très légère	<0,007

2.2.6. Analyses statistiques

Les données ont été analysées sous formes d'effectifs et des fréquences dans les différents périmètres maraichers. Des régressions linéaires ont été effectuées pour comprendre l'influence entre les facteurs d'érodibilité des sols, les uns sur les autres. Les analyses en composantes principales ont permis de mettre en évidence les corrélations entre les variables. Le test de Student (test-T) a permis de comparer deux groupes d'échantillons sur base des variables socioéconomiques et des pratiques culturelles. Tous les tests statistiques ont été faits avec les logiciels SPSS (ver21) et Munitab (ver17) et considérant $P \leq 0,05$ comme seuil de signification.

Chapitre 3. Présentation des résultats

3.1. Analyse du profil sociodémographique des sondés

Le tableau 6 présente le profil sociodémographique des exploitants enquêtés dans les sites d'étude. Ce tableau illustre des différences très significatives entre les variables, à l'exception de celles du genre où la différence est significative. Les résultats des enquêtes montrent par ailleurs une légère domination des hommes par rapport aux femmes dans les sites. Pour ce qui concerne la tranche d'âge, les résultats révèlent que les périmètres maraichers sont constitués à plus de 60% des jeunes maraichers dont la tranche d'âge est inférieure à 45 ans. S'agissant du niveau d'étude des maraichers, il ressort de ce tableau que la majorité des exploitants ont un niveau d'étude faible (primaire) et seulement une poignée des maraichers, soit 8%, a un niveau d'étude universitaire.

Tableau 6. Etude des paramètres sociaux démographiques des exploitants des périmètres maraichers.

Paramètres	Site			Total effectif (%)	test-T
	Kashamata effectif (%)	Katumbwi effectif (%)	Kilobelobe effectif (%)		
Genre					*
F	12 (24)	13 (26)	25 (50)	50 (45,5)	
M	13 (21,7)	22 (36,7)	25 (41,7)	60 (54,5)	
Tranche d'âge					**
19 à 30	2 (9,5)	13 (61,9)	6 (28,6)	21 (19,1)	
31 à 45	10 (20,4)	11 (22,4)	28 (57,1)	49 (44,5)	
>45	13 (32,5)	11 (27,5)	16 (40)	40 (36,4)	
Niveau d'étude					**
Primaire	17 (24,6)	22 (62,9)	30 (43,5)	69 (62,7)	
Secondaire	7 (21,2)	10 (30,3)	16 (48,5)	33 (30)	
Universitaire	1 (12,5)	3 (37,5)	4 (50)	8 (7,3)	

Seuil de signification ($P \leq 0,05$). *différence significative, **différence très significatives, ***différences hautement significative

3.2. Analyse des pratiques culturelles

3.2.1. Analyse des pratiques culturelles liées au travail du sol

Le tableau 7 montre les différentes pratiques culturelles mises en œuvre par les exploitants des sites maraichers de Lubumbashi, les plus touchés par l'érosion hydrique. Il découle de ce tableau qu'il existe des différences hautement significatives au niveau des variables observées, excepté la profondeur de labour, où les différences sont très significatives.

L'analyse des résultats consignés dans ce tableau, signale que la plupart des maraichers ne font pas des études d'évaluation des aptitudes physiques et chimiques de leur sol. Les résultats renseignent aussi que, bien que les maraichers ouvrent leur champ par fauchage, il persiste encore une bonne part de maraichers qui pratiquent le brûlis. Pour ce qui est du travail du sol et de l'outil utilisé à cette fin, tous les maraichers labourent leur sol à l'aide de la houe.

En outre, les maraichers n'ont pas connaissance de pratiques de non labour et des outils utilisés en cette pratique.

En ce qui concerne le type de labour, son orientation et sa profondeur, il résulte de ce tableau que le labour en plates-bandes est le préféré des maraichers qui le font dans le sens de la pente, à des profondeurs comprises entre 10 et 15 cm et entre 15 et 20 cm.

Tableau 7. Analyse des pratiques culturales mises en vigueur par les maraichers.

Paramètres	Site			Total effectif (%)	test-T
	Kashamata effectif (%)	Katumbwi effectif (%)	Kilobelobe effectif (%)		
Evaluation physique et chimique des sols					***
Non	23 (27,4)	15 (17,9)	46 (54,8)	84 (76,4)	
Oui	2 (7,7)	20 (76,9)	4 (15,4)	26 (23,6)	
Ouverture de terrain					***
Fauchage	14 (17,1)	34 (41,5)	34 (41,5)	82 (74,5)	
Incinération	7 (31,8)	1 (4,5)	14 (63,6)	22 (20)	
Incinération et Fauchage	4 (66,7)	0 (0)	2 (33,3)	6 (5,5)	
Travail du sol					
Labour	25 (22,7)	35 (31,8)	50 (45,5)	110 (100)	
Outil de travail de sol					
Houe	25 (22,7)	35 (31,8)	50 (45,5)	110 (100)	
Type de labour					***
A plat	0 (0)	0 (0)	3 (100)	3 (2,7)	
Butte	1 (7,1)	13 (92,9)	0 (0)	14 (12,7)	
Plate-bande	24 (25,8)	22 (23,7)	47 (50,5)	93 (84,5)	
Labour par rapport à la pente					***
Parallèlement	12 (16,2)	17 (23)	45 (60,8)	74 (67,3)	
Perpendiculairement	13 (39,4)	16 (48,5)	4 (12,1)	33 (30)	
Profondeur de travail de sol					**
>20	3 (60)	2 (40)	0 (0)	5 (4,5)	
10 à15	10 (22,7)	15 (34,1)	19 (43,2)	44 (40)	
15 à 20	11 (20)	16 (29,1)	28 (50,9)	55 (50)	
5 à10	1 (16,7)	2 (33,3)	3 (50)	6 (5,5)	

Seuil de signification ($P \leq 0,05$). *différence significative, **différence très significatives, ***différences hautement significatives

3.2.2. Analyse des pratiques culturales liées à la gestion de la couverture du sol et de la matière organique

Il résulte du tableau 8 reprenant les résultats sur la destination des mauvaises herbes après sarclage, l'usage des cultures de couverture et l'apport en matière organique, qu'il existe des différences très significatives (devenir des mauvaises herbes après sarclage) à hautement significatives. L'observation de ce tableau signale que plus de la moitié des maraichers soit près de 60%, mettent les mauvaises herbes sarclées hors champ. En ce qui concerne l'usage des cultures de couverture et de l'état des allées, les résultats montrent que la majorité de maraichers laissent à nu une bonne partie de leurs champs.

Autrement dit, la plupart des maraichers abandonnent leurs champs pendant la période de soudure correspondant à la saison de pluie et ceux qui résistent, ne couvrent pas malheureusement les interlignes de semis et les allées de leurs champs. Quant à l'apport en matière organique et l'avenir des résidus de récolte, il ressort de l'analyse du tableau que presque la quasi-totalité de maraichers entretiennent la fertilité de leur sol avec de la matière organique d'origines diverses et en enfouissant les résidus de récolte dans le sol.

Tableau 8. Analyse des pratiques culturales à la gestion de la couverture du sol et de la matière organique.

Paramètres	Site			Total effectif (%)	test-T
	Kashamata effectif (%)	Katumbwi effectif (%)	Kilobelobe effectif (%)		
Devenir des mauvaises herbes					**
Au champ	7 (15,6)	26 (57,8)	12 (26,7)	45 (40,9)	
Hors champ	18 (27,7)	9 (13,8)	38 (58,5)	65(59,1)	
Usage des cultures de couverture					***
Oui	7 (26,9)	4 (15,4)	15 (57,7)	26 (23,6)	
Non	18 (21,7)	31 (37,3)	34 (41)	83 (75,5)	
Apport de la M.O					***
Oui	22 (22)	35 (35)	43 (43)	100 (90,9)	
Non et autres	3 (30)	0 (0)	7 (70)	10 (9,1)	
Devenir des résidus de la récolte					***
Hors champ	7 (25,9)	4 (14,8)	16 (59,3)	27 (24,5)	
Incorporer dans le sol	18 (21,7)	31 (37,3)	34 (41)	83 (75,5)	
Etat des allées					***
Couvertes	1 (33,3)	0 (0)	2 (66,7)	3 (2,7)	
Nues	24 (22,4)	35 (32,7)	48 (44,9)	107 (97,3)	

Seuil de signification ($P \leq 0,05$). *différence significative, **différence très significatives, ***différences hautement significatives

3.2.3. Analyse des pratiques culturales en rapport avec le système d'irrigation et de drainage

L'application du test de Student (test-T) sur les résultats en rapport avec le système d'irrigation et de drainage des eaux montre des différences hautement significatives au sein des paramètres (tableau 9). L'arrosoir est le matériel d'arrosage le plus utilisé suivi de l'assiette. S'agissant du système de drainage des eaux excédentaires, les résultats soulignent qu'une bonne part de maraichers, soit près de 64% ne dispose pas des dispositifs d'évacuation des eaux excédentaires dans leurs champs.

Tableau 9. Analyse des pratiques culturales en rapport avec le système d'irrigation et de drainage.

Paramètres	Site			Total effectif (%)	test-T
	Kashamata effectif (%)	Katumbwi effectif (%)	Kilobelobe effectif (%)		
Matériels d'arrosage					***
Arrosoir	23 (27,4)	30 (35,7)	31 (36,9)	84 (76,4)	
Arrosoir, Seau et Assiette	0 (0)	2 (100)	0 (0)	2 (1,8)	
Assiette	1 (5,6)	3 (16,7)	14 (77,8)	18 (16,4)	
Assiette et Seau	0 (0)	0 (0)	3 (100)	3 (2,7)	
Sceau	1 (33,3)	0 (0)	2 (66,7)	3 (2,7)	
Présence de système de drainage					***
Non	22 (55)	17 (42,5)	1 (2,5)	40 (36,4)	
Oui	3 (4,3)	18 (25,7)	49 (70)	70 (63,6)	

Seuil de signification ($P \leq 0,05$). *différence significative, **différence très significatives, ***différences hautement significatives

3.3. Description des profils de sol

Les résultats de la description morphologique des profils de sol repris dans les annexes 2, 3 et 4 indiquent que, les sols de versant dans les deux milieux sont plus poreux, profonds et drainants (profondeur de la nappe phréatique $>1\text{m}$) que ceux de bas-fond (profondeur de la nappe phréatique $< 1\text{m}$). Cependant, il faut noter que la porosité diminue avec la profondeur dans les deux milieux. Il a également été dans ces résultats que, les sols des parcelles en jachère ont une consistance plus élevée que celle des sols des parcelles cultivées. Par ailleurs, il ressort des résultats de la description morphologique des profils de sol que, le développement du système racinaire et la cimentation sont forts dans les horizons de surface et diminuent avec la profondeur, que ce soit pour les sols des parcelles cultivées ou en jachère. La nature de transition entre les horizons de sol est de manière générale graduelle dans les parcelles en jachère et brusque pour les parcelles cultivées.

3.4. Analyse de l'érodibilité du sol

3.4.1. Analyse de l'érodibilité et de ses corrélations avec ses différents facteurs dans les deux milieux

Il ressort de l'observation de la figure 14 que les sols des parcelles en jachère sont plus érodibles que ceux des parcelles cultivées. En outre, l'observation de cette figure indique une légère érodibilité seulement, pour les sols des parcelles cultivées que ce soit dans le bas-fond ou sur le versant et une érodibilité légère et modérée pour les sols de bas-fond et de versant des parcelles en jachères respectivement.

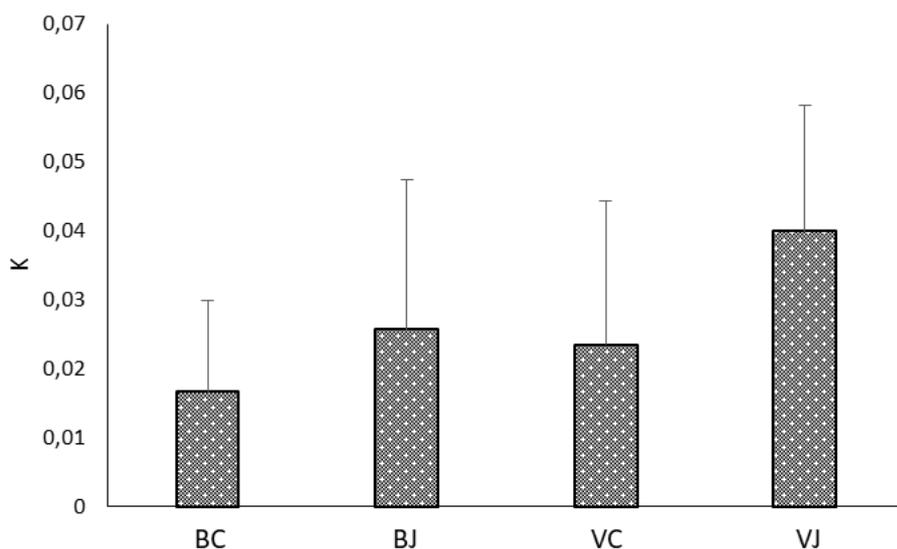


Figure 14. Détermination de l'érodibilité des sols des parcelles cultivées et en jachère. BC: bas-fond non cultivé, BJ : bas-fond Jachère, VC : versant cultivé, VJ : versant.

Les résultats des corrélations de Pearson montrant l'influence que peut avoir chacun des facteurs de l'érodibilité sur les autres facteurs pris un à un et sur l'érodibilité elle-même, sont repris dans le tableau 10. Il découle de l'analyse des résultats des corrélations de Pearson que, l'humus a une influence négative sur tous les autres paramètres de l'érodibilité et même sur l'érodibilité elle-même, à l'exception de la perméabilité du sol. Cette influence est significative seulement pour la structure, l'indice de battance et l'érodibilité. Autrement dit, l'augmentation de l'humus a amélioré la composition texturale du sol, la structure, l'indice de battance et l'érodibilité du sol elle-même, mais pas forcément la perméabilité du sol.

Il en résulte encore de ces corrélations de Pearson que, la composition texturale (M) influence positivement tous les autres facteurs y compris l'érodibilité, excepté l'humus sur qui elle n'a pas d'effet (tableau 10). En outre, l'augmentation de la valeur de la composition texturale (M), se caractérisant la dominance de la proportion limon-sable fin, entraîne la dégradation des paramètres qu'elle influence et accentue par conséquent l'érodibilité et l'indice de battance du sol. Néanmoins, cet effet de la composition texturale (M) est significatif pour la structure du sol, très significatif sur l'indice de battance et hautement significatif pour l'érodibilité du sol (K). S'agissant de l'effet de la structure les autres paramètres de l'érodibilité et sur l'érodibilité elle-même, les résultats du tableau 10 des corrélations de Pearson révèlent qu'elle a un effet positif seulement sur la perméabilité, l'indice de battance et l'érodibilité elle-même et aucun effet sur l'humus et la composition texturale du sol. Cet effet positif de la structure, traduit une dégradation de tous ces éléments cités ci-haut.

Pour ce qui concerne l'effet de la perméabilité du sol sur les autres paramètres, les corrélations renseignent qu'elle a un effet positif et non significatif seulement sur l'indice de battance et l'érodibilité du sol, s'expliquant par une amplification du niveau de ces dernières (tableau 10). L'examen du tableau 10 montre que l'érodibilité du sol influence uniquement l'indice de battance et cela de manière hautement significative.

Tableau 10. Correlations de Pearson.

	Humus	M	c	b	K
M	-0,444				
c	-0,68*	0,608*			
b	0,157	0,029	0,183		
K	-0,674*	0,826***	0,871***	0,217	
Ib	-0,631*	0,705**	0,707**	0,18	0,91***

M : constitution granulométrique ; b : perméabilité ; c : structure ; K : érodibilité ; Ib : indice de battance ; Seuil de signification ($P \leq 0,05$). *différence significative, **différence très significatives, ***différences hautement significatives.

3.4.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus, la constitution granulométrique et de la perméabilité et structure

3.4.2.1. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus

L'analyse de la figure 15 ci-dessous indique que, l'augmentation de la teneur en humus engendre une réduction de la sensibilité à être érodé dans tous les deux milieux. Cependant, cette réduction est d'autant plus importante dans le milieu non cultivé ($R^2=0,5732$) que le milieu cultivé ($R^2=0,4652$). Néanmoins, la figure 15 indique également que, l'érodibilité du sol du milieu cultivé n'est pas différente de celle du milieu non cultivé, voire même plus faible car, elle varie de très légère (-0,002) à forte (0,045) alors que celle du milieu non cultivé, varie de très légère (-0,002) à très forte (0,065).

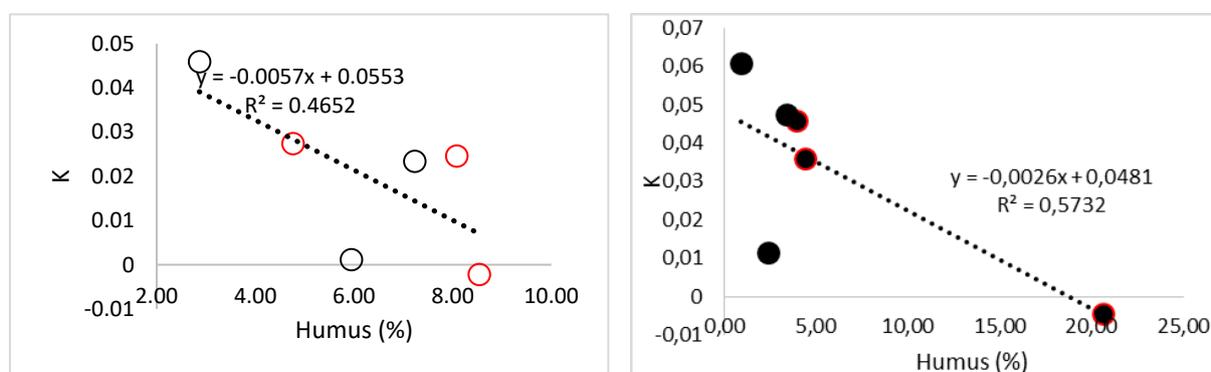


Figure 15. Variation de K en fonction de l'humus des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). K : érodibilité ; Bas fond : ●○; Versant : ●○.

3.4.2.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la constitution texturale du sol

L'observation de la figure 16 montre que l'érodibilité du sol (K) augmente avec l'augmentation dans la composition texturale des particules limoneuses et celles de sable fin au détriment des particules argileuses. Cette figure révèle que, dans la composition texturale du sol du milieu cultivé et non cultivé, la proportion du limon et sable fin est supérieure à celle de l'argile. Toutefois, la proportion de la somme limon-sable fin comparativement à celle de l'argile dans le milieu non cultivée est plus élevée que celle du milieu cultivé.

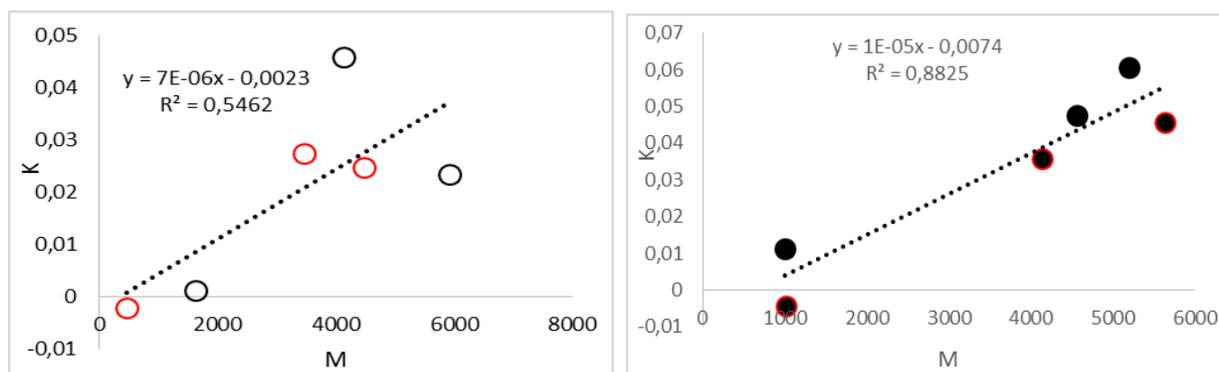


Figure 16. Variation de K en fonction de M des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). K : érodibilité ; M : constitution granulométrique ; ●○ : Bas fond ; ●○ : Versant.

3.4.2.3. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la perméabilité et la structure

L'examen de la figure 17 illustre que, la dégradation de la structure et la perméabilité dans le milieu cultivé accentue la sensibilité du à l'érosion (K). Par contre dans le milieu non cultivé, l'amélioration de la perméabilité du sol et la dégradation de la structure concourent à l'amplification de l'érodibilité du sol. En outre, l'amélioration de la perméabilité du sol seule, sans celle de la de la structure du sol est insuffisante pour atténuer l'érodibilité d'un sol non cultivé. Toutefois, ces résultats illustrent tout de même que les sols cultivés ont une structure et perméabilité que les sols non cultivés, malgré la tendance à la baisse de la courbe de la perméabilité de ces derniers.

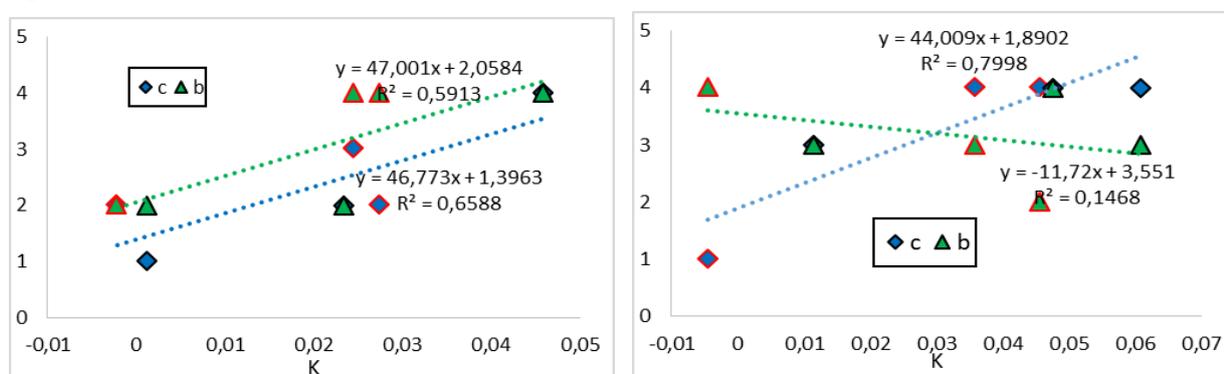


Figure 17. Variation de b et c en fonction de K des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). K : érodibilité ; b : perméabilité (codes) ; c : structure (codes) ; ◆▲ : Bas fond ; ▲▲ : Versant.

3.4.3. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure ainsi que la constitution granulométrique

3.4.3.1. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure

Les résultats d'analyse de la variation de la perméabilité (b) et de la structure (c) des sols en fonction de l'humus sont consignés dans la figure 18.

L'analyse de cette figure renseigne que la perméabilité et la structure du sol s'améliore avec l'augmentation de la teneur de l'humus des sols des parcelles cultivées.

Par contre dans le milieu non cultivé, seule la structure du sol s'améliore avec l'augmentation de la teneur de l'humus et pas la perméabilité. En outre l'augmentation de l'humus dans le sol non cultivé n'influence pas positivement la perméabilité de ce sol.

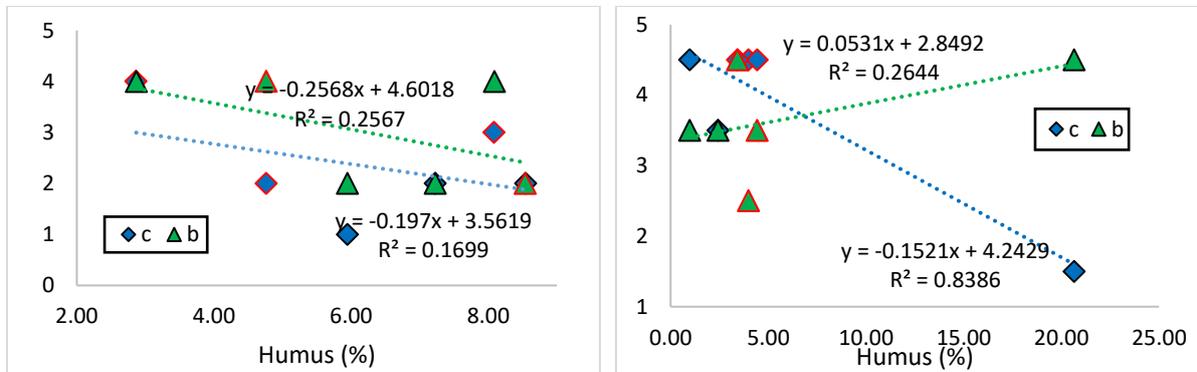


Figure 18. Variation de b et c en fonction de l'humus dans le sol des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). b : perméabilité (codes) ; c : structure (codes) ; $\blacklozenge \blacktriangle$: Bas-fond ; $\color{red}\blacklozenge \color{red}\blacktriangle$: Versant.

3.4.3.2. Influence de l'humus sur la constitution granulométrique.

Les résultats de l'étude granulométrique du sol du milieu cultivé et non cultivé en fonction de la proportion de l'humus dans ce sol, sont rapportés à la figure 19. L'observation de cette figure signale que l'augmentation de l'humus dans le sol que c'est soit dans le milieu cultivé ou non cultivé améliore la composition texturale du sol, tout en permettant une légère domination des particules argileuses. L'augmentation de l'humus d'une unité permet un renforcement de la texture du sol meilleur dans le milieu non cultivé (34%) que dans le milieu cultivé (4%).

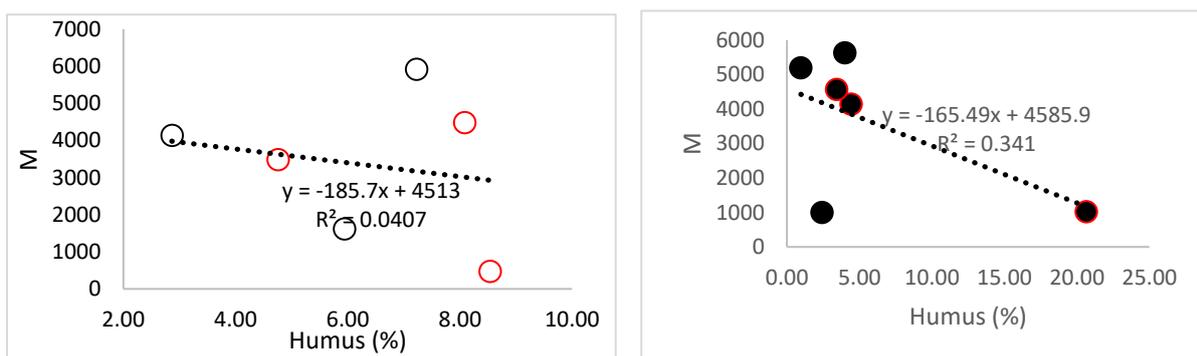


Figure 19. Variation de M en fonction de l'humus dans le sol des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). M : constitution granulométrique ; $\bullet \circ$: Bas fond ; $\bullet \circ$: Versant.

3.4.4. Influence de la constitution granulométrique sur la perméabilité et la structure

La figure 20 présente les résultats sur la variation de la perméabilité et structure du sol en fonction de la composition granulométrique du sol selon qu'il s'agit du milieu cultivé et non cultivé.

Il ressort de l'examen de la figure 20 que l'augmentation de la valeur de la composition texturale du sol symbolisée par M, entraîne à la fois la détérioration de la structure et de la perméabilité du sol dans le milieu cultivé, alors que dans le milieu non cultivé, elle entraîne la détérioration de la structure et l'amélioration de la perméabilité du sol.

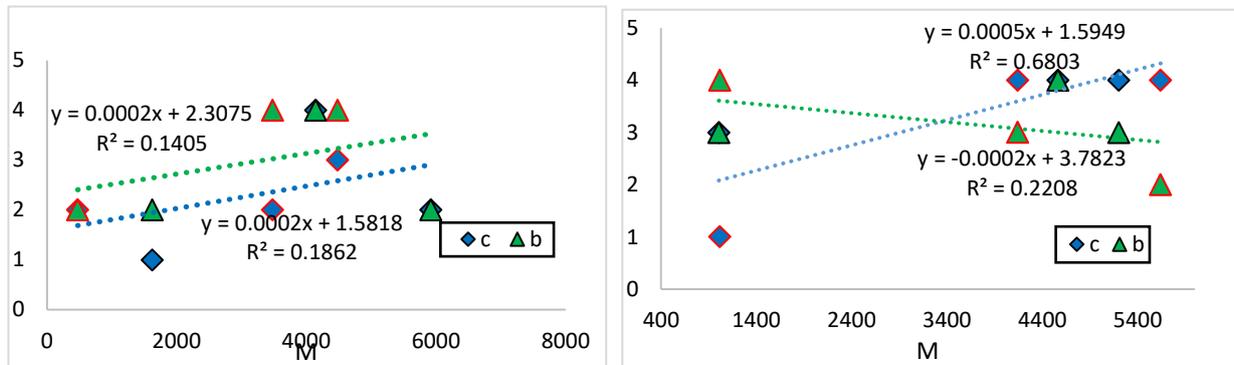
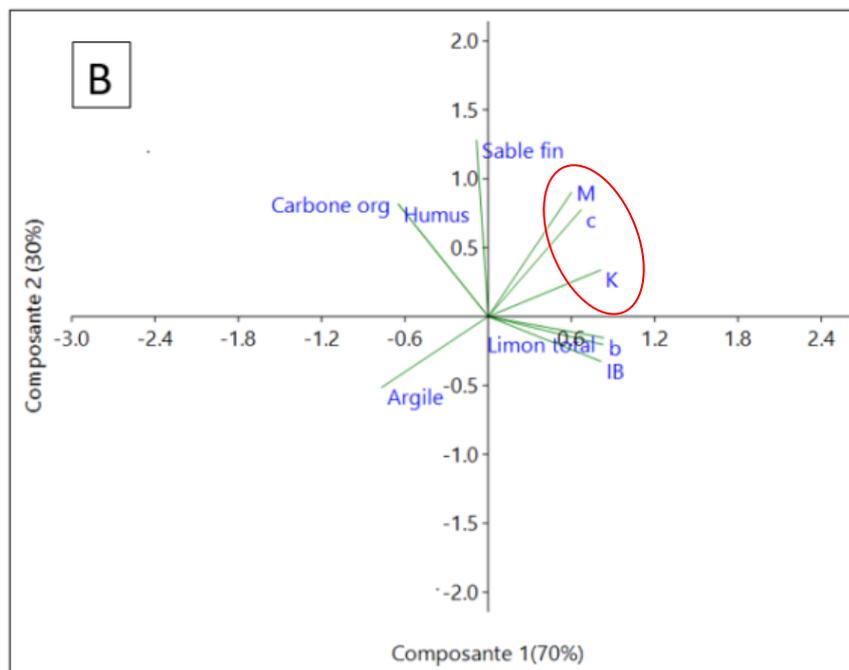
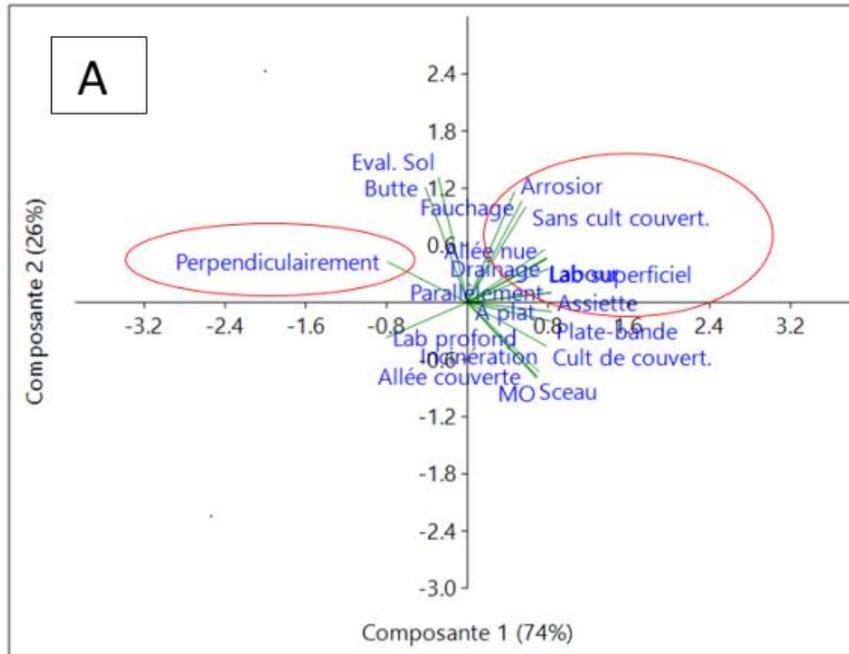


Figure 20. Variation de b et c en fonction de M des parcelles cultivées (à gauche) et en jachère (à droite). M : constitution granulométrique ; b : perméabilité (codes) ; c : structure (codes) ; \blacklozenge \blacktriangle : Bas fond ; $\color{red}\blacklozenge$ $\color{red}\blacktriangle$: Versant.

3.5. Etude des relations entre les pratiques culturelles, les facteurs d'érodibilité et le profil sociodémographique des sondés

La figure 21 présente une projection spatiale (analyse en composante principale) entre les pratiques culturelles d'une part et les facteurs d'érodibilité du sol de l'autre part. La somme des pourcentages des axes de l'ACP donne 100% pour chaque figure, indiquant ainsi une meilleure qualité de la projection. En analysant simultanément les figures A et B, par rapport à la composante 1 fournissant l'essentiel des données de projection ; le labour, l'absence des cultures de couverture et la manière d'arroser affectent considérablement la constitution granulométrique des sols (M) et la structure du sol (c), ce qui accentue l'érodibilité de sol (K). Par contre, le labour perpendiculaire à la pente est négativement lié à K. Il est aussi observable que certaines pratiques agricoles sont pratiquées ensemble par les agriculteurs, il s'agit de l'arrosage avec arrosoir, l'absence de culture de couverture et le labour de manière générale mais plus particulièrement le labour superficiel. Un autre mode de gestion concerne ceux qui utilisent les cultures de couvertures, ils font à la fois l'incinération, couvrent les allées, apportent de la matière organique et arrosent principalement avec le seau. La figure B illustre que, la teneur en carbone organique et humus est négativement corrélée à la constitution granulométrique (M) et la structure (c) et par conséquent à K; indiquant qu'une baisse en carbone organique et humus accentue l'augmentation de la valeur de l'érodibilité du sol. Par ailleurs, la figure C montre une forte similarité entre les maraichers. En outre la majorité des maraichers sont des jeunes hommes avec un niveau d'étude faible (primaire) et mettent en œuvre les mêmes pratiques culturelles malgré la différence des sites (figure A). Ainsi donc, très peu de maraichers ont des caractéristiques particulières comme le niveau d'étude universitaire, ou mettent en vigueur des pratiques culturelles que la majorité ne fait pas, à l'instar de la mise en place des cultures de couverture et de l'étude d'évaluation des aptitudes physiques et chimiques de sol.



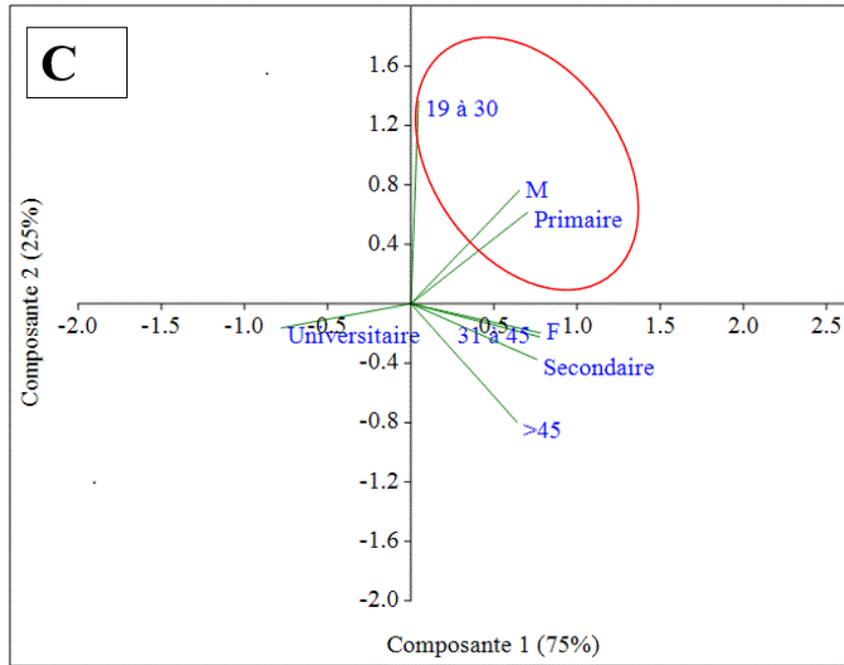


Figure 21. Analyse en composante principale des pratiques culturelles (A), facteurs d'érodibilité du sol (B) et du profil sociodémographique des sondés (C).

Chapitre 4. Discussion

4.1. Analyse du profil sociodémographique et des pratiques culturelles

4.1.1. Analyse du profil sociodémographique des sondés

De nos jours, le maraîchage constitue une source d'emploi non négligeable pour les femmes en général et plus particulièrement les jeunes à Lubumbashi. L'analyse du profil sociodémographique des maraichers a montré des différences hautement significatives au sein de tous les paramètres, à l'exception du genre où la différence est très significative (tableau 6). Ces résultats corroborent avec ceux de Kasanda et al. (2016), qui ont signalé une dominance de l'effectif masculin sur l'effectif féminin dans la même région que celle dans laquelle cette étude a été conduite. Par contre Mushagalusa et al. (2015) ont trouvé des résultats contraires, indiquant un grand écart entre les maraichers et basculé en faveur des femmes. Cette situation serait due aux facteurs socioculturels, telle que la répartition des ressources en terre en fonction du sexe avec des critères de répartition penchés en faveur de l'homme. Néanmoins, il y a une tendance vers l'augmentation du nombre de femmes par rapport à celui des hommes dans l'activité maraîchère à Lubumbashi. D'après l'analyse du profil sociodémographique des maraichers, la plupart d'entre eux sont jeunes avec des faibles niveaux d'études. Ainsi plus de 60% ont un âge inférieur à 45 ans et près de 93% présentent un niveau d'étude jugé faible (primaire et secondaire). Useni et al. (2014) à Lubumbashi et Ouikoun et al. (2019) dans le Sud du Bénin, ont aussi enregistré une grande proportion des jeunes ayant un niveau d'étude faible comme producteurs maraichers.

4.1.2. Analyse des pratiques culturelles

4.1.2.1. Analyse des pratiques culturelles liées au travail du sol

L'analyse des résultats sur les pratiques culturelles liées à l'ouverture du terrain et au travail du sol renseigne que 3/4 de maraichers ne font pas des études d'évaluation d'aptitudes physiques et chimiques de leur sol et ouvrent le terrain par fauchage (tableau 7). Ainsi donc, malgré l'évolution qu'a connu l'agriculture ces dernières années, il existe encore des agriculteurs qui pratiquent le brûlis (tableau 7). Ceci s'expliquerait par le manque des connaissances de l'impact de ces pratiques, qui serait dû au faible niveau d'étude caractérisant la majorité de maraichers (tableau 6). Or la connaissance des propriétés physiques et chimiques de son sol constitue un préalable au choix des spéculations, à l'affectation des parcelles et à la définition d'itinéraires phytotechniques qui permettront de limiter les pertes de matière organique et les risques d'érosion. Par ailleurs, Afelu et Kokou, (2015) rapportent qu'au Togo comme dans d'autres pays tropicaux, l'agriculture itinérante sur brûlis est couramment pratiquée, pour des raisons de facilitation de défrichage. Cependant, d'après Vieira et al. (2015) ; Stoof et al. (2015), l'incendie de la biomasse végétale entraîne une augmentation de l'érodibilité du sol. Selon les mêmes auteurs cette situation est due au fait que l'incinération de la biomasse végétale, va réduire et détruire la qualité de certaines propriétés physiques du sol déterminant son érodibilité, comme la teneur en matière organique et la stabilité structurale.

Pour ce qui est du type de travail du sol et de l'outil utilisé pour cette fin, les résultats révèlent que tous les maraichers labourent leur sol à l'aide de la houe (tableau 7).

Les présents résultats indiquent en outre que les maraichers n'ont pas connaissance des pratiques de non labour et des outils utilisés en cette pratique. Ceci serait s'expliquerait par le faible niveau d'étude que possèdent la majorité de maraichers (tableau 6), se traduisant par des insuffisances d'informations et connaissances en matières agricoles. Au moment où, les techniques culturales sans labour (TCSL) sont vulgarisées et encouragées à travers le monde (Olina, 2010 ; Bottinelli, 2010 ; Roger-estrade et al., 2011 ; Penot et al., 2015), à Lubumbashi les maraichers n'en ont pas connaissance. D'après Bottinelli (2010) et Roger-estrade et al. (2011) les techniques culturales sans labour permettent l'absence de retournement du sol et la modification des conditions de fragmentation de l'ensemble des couches de sol travaillées. Ces deux effets vont entraîner une amélioration significative de l'activité biologique et de certaines propriétés physiques du sol déterminant son érodibilité, comme la perméabilité, la structure du sol et la teneur en matière organique.

En ce qui concerne le type de labour, son orientation et sa profondeur, il résulte des résultats obtenus que la plupart de maraichers font le labour en plate-bande, orienté dans le sens de la pente et à des profondeurs comprises entre 10 et 15 cm mais aussi, entre 15 et 20 cm (tableau 7). Les résultats de Weil et Duval (2009) renseignent en effet que les pratiques de surélévation du sol comme le billon et plate-bande, ont un effet de réduction du ruissellement au profit de l'infiltration de l'eau dans le sol, ce qui améliore l'érodibilité du sol. Cet effet est fonction de l'épaisseur du sol qui constitue la plate-bande, qui permet le réchauffement et surtout un drainage plus rapidement du lit de semence. Et en se référant aux résultats obtenus par Boukong (2000) lors de son étude axée sur l'influence des pratiques culturales sur la perte en terre, qui ont montré une perte importante des terres sur les billons disposés parallèlement à la pente, la disposition des plates-bandes adoptée par les maraichers de Lubumbashi expose le sol à l'érosion. De même Stone et Hilborn (2000 ; 2010) ont observé qu'une culture en bandes réalisée perpendiculairement à la pente engendre une réduction de l'érosion de 63% contre 38% en cette même culture dans le sens de la pente.

4.1.2.2. Analyse des pratiques culturales liées à la gestion de la couverture du sol et de la matière organique

Il résulte des résultats qui portent sur la destination des mauvaises herbes après sarclage, l'usage des cultures de couverture et l'apport en matière organique que plus de la moitié des maraichers soit près de 60% et plus du 3/4 respectivement, mettent les mauvaises herbes sarclées hors champ et laissent nu une bonne partie de leurs champs (tableau 8). Ce constat serait lié au faible niveau des connaissances et d'informations des maraichers en matière de bonnes techniques culturales (tableau 7 et 8), dû à leur faible niveau d'étude (tableau 6). Ces résultats appuient ceux du projet de PNUD (2015) au Bénin, qui ont démontré que le renforcement des capacités des maraichers est indispensable pour l'adoption et la mise en œuvre des bonnes pratiques culturales protectrices des ressources en sol. En outre, ces résultats ont révélé que le faible niveau des connaissances des maraichers est l'une des causes majeures faisant que ces derniers ne mettent pas en œuvre les bonnes pratiques culturales de conservation du sol.

Quant à l'apport en matière organique et l'avenir des résidus de récolte, il ressort de l'analyse des résultats que, presque la quasi-totalité de maraichers entretiennent la fertilité de leur sol avec de la matière organique d'origines diverses et en enfouissant les résidus de récolte dans le sol (tableau 8).

Ces résultats concordent avec ceux de la FAO (2015), signalant que les agriculteurs de l'Afrique Subsaharienne de manière générale utilisent une quantité d'engrais chimique de synthèse 10 fois inférieures à celle qui est recommandée au niveau mondial et faisant plus recours aux excréments animaux et autres types d'engrais organiques pour fertiliser leurs champs. Cette observation serait liée à l'accès limité des paysans aux engrais chimiques de synthèse, tant du point de vue physique qu'économique. Ces résultats sont venus confirmer l'hypothèse de Kasongo et al. (2013), qui stipule que le nouveau élevé des prix des engrais minéraux de synthèse dans la région de Lubumbashi, favoriserait l'utilisation importante des engrais organiques. Antérieurement, Randrianarisoa et Minten (2003) avaient souligné dans leur étude orientée vers l'accessibilité et utilisation des engrais chimiques au Madagascar, que la faible disponibilité physique et l'accessibilité économique difficile, constituent les principaux freins de l'utilisation des engrais chimiques de synthèse par les agriculteurs.

4.1.2.3. Analyse des pratiques culturelles en rapport avec le système d'irrigation et de drainage

L'examen des résultats en rapport avec le système d'irrigation et drainage des eaux illustre que, l'arrosoir est le matériel d'arrosage le plus utilisé par les maraichers suivis de l'assiette (tableau 9). Cet état de choses s'expliquerait par la faible disponibilité physique et l'accessibilité économique difficile des maraichers aux intrants agricoles. Ces résultats concordent avec ceux de Ntumba et al. (2015), qui ont souligné que les travaux maraichers à Lubumbashi, sont exécutés à la main avec du matériel rudimentaire comme l'arrosoir et le seau. D'après ces mêmes auteurs, la réalisation des travaux maraichers à la main de manière générale et en particulier l'irrigation des cultures est due aux causes financières.

Il ressort également des résultats obtenus qu'une bonne part de maraichers, soit près de 64% ne dispose pas des dispositifs d'évacuation des eaux excédentaires dans leurs champs (tableau 8). Le manque de ces dispositifs exposerait d'avantage le sol aux risques d'érosion et pourrait être la cause majeure de l'abandon des terrains maraichers au cours de la saison de pluie. Ces résultats coïncident avec ceux de Tshomba et al. (2015), confirmant la saison sèche comme étant la saison culturelle maraichère la plus active de Lubumbashi. L'étude antérieure de l'ACF (2009) sur l'agriculture périurbaine à Kinshasa, a révélé que le renforcement des dispositifs de drainage sont nécessaires afin d'épargner les maraichers exerçant leurs activités en saison de pluie du nettoyage des légumes après une pluie pour les débarrasser des couches de sable soulevées par le splash.

4.2. Analyse de l'érodibilité du sol

4.2.1. Analyse l'érodibilité (K) et de ses corrélations avec ses différents facteurs dans les deux milieux

Les résultats obtenus sur l'érodibilité de sol indiquent que, les sols des parcelles en jachère sont plus érodibles que ceux des parcelles cultivés (figure 14). Cette situation s'expliquerait par l'apport fréquent de la matière organique dans les parcelles cultivées, tel que signalé dans le tableau 8. Il découle cependant des résultats de l'analyse des corrélations de Pearson que seule l'augmentation l'humus a de l'influence négative sur tous les autres paramètres de l'érodibilité et même sur l'érodibilité, à l'exception de la perméabilité (tableau 10).

En outre, l'humus constitue le facteur par excellence après la constitution granulométrique difficile à modifier, qui pourrait être visé par les maraichers, à travers les pratiques culturales afin d'atténuer l'érodibilité de façon significative (figure 21B). Des résultats similaires ont été trouvés plusieurs chercheurs (Bottinelli, 2010 ; Tya et al., 2015 ; Aranyos et al., 2016 ; Sun et al., 2018). La matière organique aide à réduire l'érodibilité du sol en augmentant sa perméabilité, sa capacité de rétention en eau et en améliorant sa structure. En conséquence, la structure améliorée par l'humus va réduire la sensibilité inhérente des particules de sol à être détaché par les gouttes de pluie, puis emporté par les eaux en mouvement.

4.2.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus, la constitution granulométrique et de la perméabilité et structure

4.2.2.1. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de l'humus

Les résultats obtenus sur la variation de l'érodibilité en fonction de l'humus ont souligné une réduction de celle-ci avec l'augmentation de la teneur en humus dans les sols de deux milieux (figure 15 ; tableau 10). Cependant, cette réduction de l'érodibilité est d'autant plus importante dans le milieu en jachère ($R^2=0,5732$) que le milieu cultivé ($R^2=0,4652$). Cette différence de réduction de l'érodibilité serait liée à l'impact de pratiques culturales liées au travail du sol et à la gestion de la couverture végétale observés dans le milieu cultivé (tableau 6) qui contribuent à la perte de la matière organique du sol et la modification profonde des conditions de vie des microorganismes telluriques. En effet, Bottinelli (2010) a également montré que certaines pratiques culturales comme l'incinération et le labour fréquent, concourent à la perte de la matière organique et par conséquent à la réduction de la stabilité structurale des agrégats du sol, ce qui augmente la sensibilité du sol à l'érosion. L'étude récente d'Ebel et Moody (2017) orienté sur l'évaluation des propriétés hydriques des sols de forêt après passage des feux, a révélé que ces sols ont une faible perméabilité. Sun et al. (2018), rajoute que la perméabilité est fortement corrélée à la teneur en humus et la diminution de l'humus entraînerait une diminution considérable de la perméabilité, ce qui accroît par conséquent la sensibilité du sol à être érodé (K). Nos résultats sont en accord avec ceux de Tya et Oluwaseye (2015) qui ont aussi indiqué que l'augmentation de l'humus améliore l'érodibilité du sol. En revanche, ils contredisent ceux de Yusuf et al. (2017) qui ont montré une augmentation de la valeur de l'érodibilité du sol cultivé, malgré l'augmentation de la teneur en humus dans le sol. Par ailleurs, de nombreux auteurs s'accordent à dire que la réduction de la valeur de l'érodibilité du sol suite à l'augmentation de l'humus est attribuée à l'effet de l'humus sur la structure (Aranyos et al., 2016 ; Tya et Oluwaseye, 2015). En outre, la stabilité structure des agrégats améliorée par l'humus réduit la sensibilité inhérente des particules du sol à être détachées par les gouttes de pluie puis emporté par les eaux en mouvement. Néanmoins, il résulte également des présents résultats que l'érodibilité des sols du milieu cultivé n'est pas différente de celle des sols du milieu en jachère, car elle varie de légère à modérée dans les deux milieux selon la classification de Wischmeier et Smith (1978) (figure 14, tableau 5).

4.2.2.2. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la constitution texturale du sol

L'interrogation des résultats sur la variation de l'érodibilité en fonction de la constitution granulométrique renseigne que l'érodibilité du sol (K) dans les deux milieux, augmente avec l'augmentation des particules limoneuses et sableuses fines dans la composition texturale du sol au détriment des particules argileuses (figure 16 ; tableau 10). En outre, la proportion du limon et sable fin dans composition granulométrique des sols de ces deux milieux, est supérieure à celle de l'argile. Toutefois, il en découle également que la proportion de la somme limon-sable fin des sols en jachère est plus élevée que celle des sols du milieu cultivé. Cet accroissement de la valeur de l'érodibilité (K) avec l'augmentation de la proportion de la somme des particules limoneuses et de sable fin dans la constitution granulométrique serait à la fois tributaire, de la faible force cohésive intrinsèque de chacune des catégories des particules et de la faible force adhésive entre les deux catégories des particules. Ces résultats corroborent avec ceux Oluyori et Mgbanyi (2014), Avouakoujo et al. (2015) ayant illustré que les sols contenant des pourcentages élevés de sable et de limon sont les plus sensibles au détachement parce qu'ils n'ont pas les caractéristiques de cohésion inhérentes. Récemment, Taleshian Jeloudar et al. (2018) ayant conduit leur étude dans des conditions similaires à celles de cette étude ont aussi trouvés des fortes érodibilités de sol avec les sols dont la constitution granulométrique était dominée par la proportion de limon et de sable fin.

4.2.2.3. Variation de l'érodibilité (K) en fonction de la perméabilité et la structure

A l'issu de l'analyse des résultats obtenus sur la variation de l'érodibilité en fonction de la perméabilité et la structure dans les deux milieux, il en résulte que la valeur de l'érodibilité (K) augmente avec la dégradation de la structure et la perméabilité dans les sols de deux milieux, malgré la tendance à la baisse de la courbe de perméabilité des sols du milieu cultivé (figure 17). En outre, l'amélioration de la perméabilité du sol seule, sans celle de la structure est insuffisante pour atténuer l'érodibilité des sols en jachère (figure 17 ; tableau 10). Ces résultats illustrent tout de même que, les sols cultivés ont une meilleure structure et perméabilité que les sols en jachère, malgré la tendance à la baisse de la courbe de la perméabilité de ces derniers. Cette situation se justifierait par l'absence complète de travail du sol dans les milieux en jachère. De nombreuses études ont également conclu que l'absence de travail du sol conduit généralement à une compaction de l'horizon de surface (Adekalu et al.2006 ; Bottinelli, 2010 ; Roger-Estrade et al. 2011). En conséquence les agrégats se forment en bloc et la structure devient massive. D'autres part, la meilleure structure et perméabilité observée des sols cultivés comparativement aux sols en jachère, s'expliquerait par l'incorporation manuelle des résidus de récolte et autres types de matière organique lors du travail du sol (tableau 8). La revue de littérature de Bottinelli, (2010) indique une amélioration de la perméabilité du sol suite à l'augmentation de la porosité, engendrée par le phénomène de dilution de la matière organique (ayant une faible densité) ou encore par l'augmentation de l'agrégation par les micro-organismes. Par ailleurs, la tendance à la dégradation de la structure et perméabilité observée sur les sols de milieux cultivés serait liée d'une part, à la faible couverture végétale de ces sols au début de la saison pluvieuse, d'autant plus les maraichers ne font pas le recourt aux cultures de couverture du sol et abandonnent leurs champs au cours de cette saison. En conséquence la structure et perméabilité du sol améliorées l'année précédente par incorporation des résidus de récolte et autres types de matière organique (tableau 8), sont ainsi dégradées.

Et d'autre part, à la semelle de labour, la réduction de l'activité biologique du sol suite au labour intensif pratiqué dans ce milieu (tableau 7). De plus, les matériels d'arrosage utilisés dans le milieu cultivé (tableau 9), pourraient aussi conduire à une dégradation de la structure et ainsi accroître la sensibilité du sol à être érodé (K).

4.2.3. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure ainsi que la constitution granulométrique

4.2.3.1. Influence de l'humus sur la perméabilité et structure

L'analyse de la variation de la perméabilité et la structure du sol en fonction de l'humus dans le milieu cultivé et en jachère renseigne que l'augmentation de celui-ci dans le sol cultivé, améliore les deux paramètres alors que dans le sol en jachère, seule la structure est améliorée (figure 18 ; tableau 10). En outre l'augmentation de l'humus dans le sol en jachère n'influence pas positivement la perméabilité de ce sol. Ces résultats corroborent tout d'abord avec ceux de Grosbellet et al. (2011) et Sun et al. (2018), qui ont prouvé que la matière organique à travers sa capacité à améliorer la stabilité structurale des agrégats du sol, améliore conjointement la macroporosité du sol et par conséquent la perméabilité du sol. D'après ces mêmes auteurs, cette amélioration de la porosité du sol résulte de deux phénomènes, d'une part de l'agrégation de particules de sol autour de la matière organique ajoutée et d'autre part, du revêtement des agrégats par la matière organique. Par contre selon Tuzzin de Moraes et al. (2016), cette formation de la macroporosité engendrant une forte perméabilité dans le sol cultivé, serait une conséquence positive du travail du sol permanent (labour). Par ailleurs, l'inefficacité de la matière organique sur la perméabilité des sols en jachère serait liée au manque du travail du sol. Car d'après Sari (2018), la matière organique influence très peu la perméabilité du sol. De même, l'étude antérieure de Bottinelli (2010), a rapporté que l'apport de fumier de volaille n'influait pas la macroporosité totale du sol, ni la forme des pores et avait peu d'effets sur la taille des pores. Et par conséquent, la perméabilité n'était pas aussi influencée. Récemment Yusuf et al. (2018), ont également trouvé de perméabilité plus faible sur des sols forestiers et pâturés que sur les cultivés. Néanmoins, il ressort des présents résultats que l'augmentation d'une unité d'humus, entraîne une amélioration de la structure du sol meilleure dans le milieu en jachère ($R^2 = 0,8386$) que dans le milieu cultivé ($R^2 = 0,1699$).

4.2.3.2. Influence de l'humus sur la constitution granulométrique

L'examen des résultats de l'influence de l'humus sur la constitution texturale a indiqué que l'augmentation de l'humus dans le sol améliore la composition texturale de celui-ci, que ce soit dans le milieu cultivé ou en jachère (tableau 10), tout en permettant une légère domination de des particules argileuses (figure 19). Il en résulte aussi que l'augmentation de l'humus d'une unité permet un renforcement de la texture du sol, plus meilleur dans le milieu en jachère ($R^2 = 0,341$) que dans le milieu cultivé ($R^2 = 0,0407$). Ces résultats sont similaires à ceux de Paradelo et Barral (2013) ; Ouyang et al. (2013) ; Yusuf et al. (2017) ; Li et al. (2019), qui ont démontré à travers leurs études que l'augmentation de l'humus dans le sol améliore la composition texturale du sol. D'après ces auteurs, cette amélioration résulte de la formation et la stabilisation des macroagrégats du sol en générale, plus particulièrement des particules limoneuses et sablonneuses engendrées par l'augmentation de l'humus.

En outre, l'humus renforce l'argile dans son rôle de liant et améliore ainsi l'adhésion des particules du sol, ce qui réduit la densité apparente et la sensibilité des particules au splash. De plus, Yusuf et al. (2017) ; Sun et al. (2018) en évaluant l'effet de l'humus sur la granulométrie du sol au cours de leurs études, ont trouvé que l'augmentation de l'humus dans le sol réduit d'une part la densité apparente et d'autre part améliore la perméabilité du sol.

4.2.3.2. Influence de la constitution granulométrique sur la perméabilité et la structure

Il ressort de l'examen des résultats illustrés à la figure 20 que l'augmentation de la valeur de la composition texturale du sol symbolisée par M, entraîne à la fois la détérioration de la structure et de la perméabilité du sol dans le milieu cultivé, alors que dans le milieu en jachère, elle entraîne la détérioration de la structure et l'amélioration de la perméabilité du sol (tableau 15). Cette situation se justifierait par le fait que la domination des particules limoneuses et sablonneuses dans la composition granulométrique du sol, conduit à une diminution de la stabilité structurale des agrégats, à un mauvais agencement et à la dispersion des particules du sol. Ce constat est plus remarqué dans le sol cultivé qu'en jachère, à cause du travail du sol fréquent qui contribue à la désagrégation du sol et expose ainsi les particules argileuses au lessivage. En contrepartie, cette détérioration de la structure du sol affecterait la perméabilité. Des résultats similaires ont été obtenus par Sari (2017) et Aoubouazza (2017), ayant signalé une augmentation de la perméabilité du sol lorsque la teneur en argiles diminue au profit de celle de sable.

4.3. Etude des relations entre les pratiques culturelles, les facteurs d'érodibilité et le profil sociodémographique des sondés

Les résultats de l'analyse des relations entre les pratiques culturelles, les facteurs d'érodibilité et le profil sociodémographique des sondés révèlent que le labour, l'absence des cultures de couverture et la manière d'arroser affectent considérablement la constitution granulométrique des sols (M) et la structure du sol (c), ce qui accentue l'érodibilité de sol (K) (figure 21A et B). Par contre, la teneur en carbone organique et humus ainsi que le labour perpendiculaire à la pente sont négativement corrélés à la constitution granulométrique (M) et la structure (c) et par conséquent à K; indiquant ainsi qu'une baisse en carbone organique et humus accentue l'augmentation de la valeur de l'érodibilité du sol (K) (figure 21A et B). Ces résultats corroborent avec ceux de plusieurs auteurs ayant également signalé l'existence d'une corrélation négative entre la teneur en humus et l'érodibilité du sol (Tya et al., 2015 ; Stanchi et al., 2015 ; Taleshian Jeloudar et al., 2018).

Toutefois, il a été aussi observé que certaines pratiques culturelles pratiquées par l'ensemble de maraichers sont liées positivement à la constitution granulométrique (M) et la structure (c) et par conséquent à K; indiquant ainsi qu'une baisse en carbone organique et humus accentue l'augmentation de la valeur de l'érodibilité du sol (K). Il s'agit en effet de l'arrosage avec arrosoir et assiette, l'absence de culture de couverture et le labour de manière générale mais plus particulièrement le labour superficiel (figure 21A). Des résultats similaires ont été trouvés par Zheng et al. (2018), qui ont montré que le labour contribue à la dégradation de la structure du sol et à la réduction du carbone organique et par conséquent de l'humus. S'agissant de l'impact des pratiques culturelles sur la constitution granulométrique, se traduisant par une domination de la proportion limon-sable fin sur celle de l'argile.

Ceci serait dû à la forte intensité avec laquelle l'eau apportée aux cultures arrive au sol, par l'usage des matériels d'arrosage inadéquats comme l'assiette et le seau, provoquant ainsi le départ des particules fines du sol sous l'effet du splash. Leguédois (2010) a trouvé des résultats contraires aux nôtres et a indiqué que les limons sont plus sensibles au splash que les argiles. Par ailleurs il ressort de ces résultats un autre mode de gestion qui concerne la faible proportion de maraichers qui utilise les cultures de couverture, couvre les allées de leurs champs, apporte de la matière organique mais malheureusement pratique également le brûlis et arrose principalement avec le seau (figure 21A). Ces maraichers voient leurs efforts d'application des bonnes pratiques culturales être réduits par la mise en œuvre à la fois de certaines mauvaises pratiques tels que le brûlis et l'arrosage avec le seau ou l'assiette, qui contribuent à la destruction de la structure du sol et au départ des particules fines du sol. Ces résultats concordent avec ceux de Vieira et al. (2015) ; Stoof et al. (2015), ayant montré une amplification de l'érodibilité des sols forestiers, suite l'incendie de la biomasse végétale. Selon ces auteurs, cette situation serait due au fait que l'incinération de la biomasse végétale entraîne la réduction et la destruction de certaines propriétés physiques du sol, comme la teneur en matière organique et la structure du sol.

Conclusion

Les pertes en terres fertiles constatées ces dernières années à travers le monde suite à l'érosion, constitue une menace majeure pour la durabilité de l'agriculture et par conséquent, pour la lutte contre la l'insécurité alimentaire et la pauvreté.

L'objectif du présent travail était celui d'évaluer le potentiel d'érodibilité du sol de quelques aménagements agricoles maraichers de Lubumbashi en rapport avec les pratiques culturales en vigueur. Des enquêtes ont été réalisées dans trois périmètres maraichers de Lubumbashi les plus touchés par l'érosion, afin de comprendre les pratiques culturales mises en application par les maraichers de ces trois périmètres maraichers. Des échantillons de sol des parcelles cultivées et en jachère ont été prélevés et analysés pour déterminer les divers facteurs de l'érodibilité et calculé l'érodibilité (K).

Les résultats obtenus ont montré que les sols des parcelles cultivées sont moins érodibles (légère érodibilité) que ceux des parcelles en jachère (légère à érodibilité modérée). Il résulte aussi de ces résultats que les pratiques culturales de manière générale mises en vigueur par les maraichers de Lubumbashi ont atténué l'érodibilité de sol, malgré la persistance et l'application de certaines mauvaises pratiques culturales dénoncées pour leurs effets d'amplification sur l'érodibilité du sol. Trois causes majeures à l'origine de l'effet des pratiques culturales adoptées et mises en œuvre par les maraichers de Lubumbashi sur l'érodibilité de sol, ont été ressorties de ces résultats.

De manière générale, les sols des périmètres maraichers de Lubumbashi sont de façon naturelle modérément érodibles, suite à leur composition granulométrique, qui a été considérablement affectée et seulement légèrement améliorée par les pratiques culturales mises en application par les maraichers.

Le faible niveau d'instruction (62,7%) entraîne les maraichers à adopter et à mettre en vigueur des mauvaises pratiques culturales, qui contribuent à l'amplification de l'érodibilité du sol.

La matière organique, malgré sa mauvaise gestion par les maraichers, constitue le facteur le plus important qui a influencé de façon significative et bénéfique sur les autres facteurs de l'érodibilité et par conséquent l'atténuer (67%).

Les priorités pour les recherches ultérieures seraient donc, d'évaluer les autres facteurs d'érosion qui n'ont été abordés dans cette étude et de quantifier les pertes en sol dans la région sachant déjà qu'il court un risque d'érosion modéré.

Références bibliographiques

- Abdullahi, A., 2018.** Erosion Effect on Soil Physical Properties in Selected Farmlands in Gidan Kwano, Niger State. *Journal of Horticulture and Plant Research* 2, 10–22. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/JHPR.2.10>.
- ACF., 2009.** Rapport d'étude sur l'agriculture périurbaine (maraichage) de Kinshasa, R D. Congo. Action Contre la Faim / Étude de l'agriculture périurbaine de Kinshasa. 87p.
- Action Semis Direct., (2011).** Cultures de couverture : habiter le sol par les racines. Agri-Réseau, section Agriculture biologique. Repéré à <https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Cultures%20de%20couverture>.
- Adekalu, K.O., Okunade, D.A., Osunbitan, J.A., 2006.** Compaction and mulching effects on soil loss and runoff from two southwestern Nigeria agricultural soils. *Geoderma* 137, 226–230. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.012>.
- Adekalu, K.O., Olorunfemi, L.A., Osunbitan, J.A., 2007.** Grass mulching effect on infiltration surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology*, 98: 912917. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.044>.
- Afelu, B., Kokou, K., 2015.** Paramètres physiques d'évaluation du comportement des feux de végétation au Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9, 2091. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.31>.
- Akplo, M.T., Kouelo, A.F., Houngnandan, P., Benmansour, M., Rabesiranana, N., Mabit, L., ahogle Agassin, M.A., Alohoutade, F.M., 2017.** Effect of Tillage and mulching on soil water erosion in Linsinlin watershed, Centre of Benin. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences* 5, 515–524. [https://doi.org/10.18006/2017.5\(4\).515.524](https://doi.org/10.18006/2017.5(4).515.524).
- Alletto, L., Coquet, Y., Roger-Estrade, J., 2010.** Two-dimensional spatial variation of soil physical properties in two tillage systems: Variation of soil physical properties in two tillage systems. *Soil Use and Management* 26, 432–444. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2010.00295.x>
- Alvaro-Fuentes, J., Arrue, J.L., Canteromartinez, C., Lopez, M.V., 2008.** Aggregate breakdown during tillage in a Mediterranean loamy soil. *Soil and Tillage Research* 101, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.06.004>
- Antoni, V., Bissonnais, Y.L., Thorette, J., Zaidi, N., Laroche, B., Barthès, S., Daroussin, J., 2006.** Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 et confrontation aux enjeux locaux. *Etude et Gestion des Sols* 22.
- Aoubouazza, M., 2017.** Influence des propriétés hydrodynamiques du sol sur la sensibilité au dépérissement du cèdre dans le causse moyen-atlasique central marocain. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 5 (3): 293-303.
- Aranyos, J.T., Tomócsik, A., Makádi, M., Mészáros, J., Blaskó, L., 2016.** Changes in physical properties of sandy soil after long-term compost treatment. *International Agrophysics* 30, 269–274. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0003>.
- Autfray, P., Sissoko, F., Keita, A., Konaté, C.M., 2007.** SCV et agronomie dans les systèmes cotonniers. Présentation du projet SCV Mali. In : *Agro écologie et Techniques Innovantes dans les Systèmes de Production Cotonniers*. Actes du séminaire, septembre 2007, SODECOTON,

Projet ESA, Maroua, Cameroun, p.16.

Avakoudjo, J., Kouelo, A.F., Kindomihou, V., Ambouta, K., Sinsin, B., 2015. Effet de l'érosion hydrique sur les caractéristiques physico- chimiques du sol des zones d'érosion (dongas) dans la Commune de Karimama au Bénin. *Agronomie Africaine* 17.

Bisimwa, D.K., Jung, C.G., Ndikumana, T., Kabale, C., 2012. Contribution à la gestion et à l'exploration des voies de valorisation des déchets ménagers dans la ville de Bukavu, Sud-Kivu/RD Congo, CEB Working Paper N° 12/005.

Blanco-Canqui, H., Gantzer, C.J., Anderson, S.H., Alberts, E.E., Thompson, A.L., 2004. Grass Barrier and Vegetative Filter Strip Effectiveness in Reducing Runoff, Sediment, Nitrogen, and Phosphorus Loss. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1670. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1670>.

Bochet, E., Rubio, J.L., Poesen, J., 1998. Relative efficiency of three representative matorral species in reducing water erosion at the microscale in a semi-arid climate of Valencia, Spain/ 12.

Bogaert, J., Colinet, G., Mahy, G., 2018. Anthropisation des paysages katangais. Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux.

Boiffin, J., 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de docteur-ingénieur, Institut National Agronomique de Paris-Grignon.

Boli, Z et Roose, E., 2000. Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanienne humide du Nord-Cameroun 9. John Libbey Eurotext, Paris, pp.149-154.

Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Panagos, P., 2018. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. *Environmental Research* 161, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.009>.

Bottinelli, N., 2010. Evolution de la structure et de la perméabilité d'un sol en contexte de non labour associé à l'apport d'effluent d'élevage: rôle de l'activité lombricienne. Thèse doctorale. 165 p.

Bouguerra et Bouanani., 2016. Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique : Cas du bassin versant oued Boukiou (Nord-Ouest de l'Algérie). *Etude et Gestion des sols*, volume 23, 91-100p.

Boukheir, R.B., Girard, M.-C., Shaban, A., Khawlie, M., Faour, G., Darwich, T., 2001. Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban, *Télédétection*, vol. 2, n° 2, 79-90.

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. p :388-398.

Bouthier, A., Pelosi, C., Villenave, C., Peres, G., Hedde, M., Ranjard, L., Vian, J.F., Peigne, J., Cortet, J., Bispo, A., Piron, D., 2014. Impact du travail du sol sur son fonctionnement biologique: <https://www.researchgate.net/publication/270895717>

Briones, M.J.I., Schmidt, O., 2017. Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology* 23, 4396–4419. <https://doi.org/10.1111/gcb.13744>

- Brodeur, C., Crowley, D., Desmeules, X. et Durox, C. (2008).** Audit énergétique sommaire en grandes cultures. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, section Catalogue – Énergie. Repéré à <https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/audit-energetique-sommaireen-grandes-cultures/p/PAUT0004>.
- Calvo-Cases, A., Boix-Fayos, C., Imeson, A., 2003.** Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain. *Geomorphology* 50, 269–291. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00218-0)
- Capowicz, Y., Cadoux, S., Bouchant, P., Ruy, S., Roger-Estrade, J., Richard, G., Boizard, H., 2009.** The effect of tillage type and cropping system on earthworm communities, macroporosity and water infiltration. *Soil and Tillage Research* 105, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.09.002>.
- Chaplain, V., Défossez, P., Richard, G., Tessier, D., Roger-Estrade, J., 2011.** Contrasted effects of no-till on bulk density of soil and mechanical resistance. *Soil and Tillage Research* 111, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.015>.
- Chenu, C., Le Bissonais, Y., Arrouays, D., 2000.** Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. *Soil Sci Soc Am J* 64 : 1479-86.
- Chunn, B., Ellers, W., Lefebvre, A., Canada, Agriculture et Agri-Food Canada, 2011.** L’agriculture écologiquement durable au Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa, Ont.
- Clearwater, R.L., Canada, Agriculture et agroalimentaire Canada., 2016.** L’agriculture écologiquement durable au Canada.
- Club Action Billon., (2005).** La culture sur billons : une solution pour faire du développement durable en grande culture. Commission sur l’avenir de l’agriculture et de l’agroalimentaire québécois. Repéré à <http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/UnionBio.PDF>
- Comité de concertation et de valorisation du bassin de la rivière Richelieu., 2016.** Plan directeur de l’eau : Portrait. Comité de concertation et de valorisation du bassin de la rivière Richelieu, section PDE - Le PDE de l’obv Richelieu / Saint-Laurent Repéré à <http://www.covabar.qc.ca/documents/PDE/Portrait/Portrait2016.pdf>
- Conseil des productions végétales du Québec (CPVQ)., 1986.** La dégradation des sols agricoles au Québec : Causes, effets, prévention et correction. Québec, Québec : CPVQ
- Conseil des productions végétales du Québec., 2000a.** Guide des pratiques de conservation en grandes cultures : Aménagements et techniques pour le contrôle de l’érosion du sol. Agri-Réseau, section Agroenvironnement. Repéré à <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Amenagements.pdf>
- Conseil des productions végétales du Québec., 2000b.** Guide des pratiques de conservation en grandes cultures : Gestion de la matière organique. Agri-Réseau, section Agroenvironnement. Repéré à <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/Feuillet3.pdf>
- Dalton, P.A., Smith, R.J., Truong, P.N.V., 1996.** Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: hedge hydraulics, *Agric. Water Manage.* Pp. 91–104.
- De Baets, S., Poesen, J., Knapen, A., Barberá, G.G., Navarro, J.A., 2007a.** Root characteristics of representative Mediterranean plant species and their erosion-reducing potential during concentrated runoff. *Plant and Soil* 294, 169–183.

<https://doi.org/10.1007/s11104-007-9244-2>

De Baets, S., Poesen, J., Knapen, A., Galindo, P., 2007b. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow. *Earth Surface Processes and Landforms* 32, 1323–1345. <https://doi.org/10.1002/esp.1470>

Den Biggelaar, C., Lal, R., Wiebe, K., Breneman, V., 2001. Impact of soil erosion on crop yields in North America, in: *Advances in Agronomy*. Elsevier, pp. 1–52. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)72010-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)72010-X).

Diédhiou, A., Lo, M.L., Thioune, P.B.D., Diouf, M., Diallo, M.S., Diaw, E.H.B., 2018. Modélisation de l'érosion hydrique des sols cultivés ou non du plateau de Thiès (Sénégal) [Water erosion modelling of cropped and uncropped soils on the Thies tray (Senegal)] 25, 13.

Driessen, P.M., 2001. Lecture notes on the major soils of the world, *World soil resources reports*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 307p.

Duchaufour, P., 2001. Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement. DUNOD, Paris, 331 p.

Dugué, P., 2014a. Semis direct, Système de culture sous couverture végétale et agro- écologie, vers où va-t-on ? Quelques enseignements de l'atelier de capitalisation sur les impacts et effets des systèmes de culture sous couvert végétal. Programme d'appui multi-pays à l'agro- écologie. Montpellier, Agropolis, du 6 au 8 novembre 2013. *Alternatives Rurales* (1) ; p.5.

Dugué, P., 2014b. Les graminées pérennes : des plantes utiles pour l'amélioration des aménagements antiérosifs en zone de savane 10.

Dugué, P., Olina, J.P., 1997. Amélioration des aménagements anti-érosifs par l'utilisation des graminées pérennes et du poids d'angole. Doc. multigr., IRAD et DPGT, Garoua, Cameroun, 15 p.

Dugué, P., Rodriguez, L., Ouobab., Sawadogo, I., 1994. Techniques d'amélioration de la production agricole en zone soudano-sahélienne. Manuel à l'usage des techniciens du développement rural, élaboré au Yatenga, Burkina Faso. CIRAD, Montpellier, France.

Durán Zuazo, V.H., Martínez, J.R.F., Pleguezuelo, C.R.R., Martínez Raya, A., Rodríguez, B.C., 2006. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (se Spain): Implications for sustainable agriculture. *The Environmentalist* 26, 309–319. <https://doi.org/10.1007/s10669-006-0160-4>.

Durán Zuazo, V.H., Rodríguez Pleguezuelo, C.R., Francia Martínez, J.R., Cárceles Rodríguez, B., Martínez Raya, A., Pérez Galindo, P., 2008. Harvest intensity of aromatic shrubs vs. soil erosion: An equilibrium for sustainable agriculture (SE Spain). *CATENA* 73, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.09.006>.

Ebel, B.A., Moody, J.A., 2017. Synthesis of soil-hydraulic properties and infiltration timescales in wildfire-affected soils: Synthesis of soil-hydraulic properties in wildfire-affected soils. *Hydrological Processes* 31, 324–340. <https://doi.org/10.1002/hyp.10998>.

Ellison, W.D., 1944. Studies of raindrop erosion. *Agricultural Engineering*, 25:131–136, 181–182.

Emerson, W.W. and Greenland, D. J., 1990. Soil aggregates - Formation and stability. Dans de Boodt, M. F., éditeur, *Soil colloids and their association in aggregates*, pages 485–511. Plenum Press, New York.

Fairbridge, R.W., 2008. Erosion. In : W. Chesworth (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. pp. 216 - 221. Springer, Dordrecht, Netherlands.

- FAO., 2006a.** World reference base for soil resources, 2006: a framework for international classification, correlation, and communication, 2006 ed. ed, World soil resources reports. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 130p.
- FAO., 2006b.** Guidelines for soil description, 4th ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO., 2010.** Développer des villes plus vertes en République Démocratique du Congo, rapport du projet d'appui au développement de l'horticulture urbaine et périurbaine au Congo, 32 <http://www.fao.org/docrep/013/i1901f/i1901f00.pdf>.
- FAO., 2012.** Growing greener cities in Africa: first status report on urban and peri-urban horticulture in Africa. FAO, Rome.
- FAO., 2014.** World reference base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, Rome 106p.
- FAO., 2015.** Stimuler les sols africains. 7De la Déclaration d'Abuja sur les engrais au cadre de gestion durable des sols pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Afrique à l'horizon 2030. 16p.
- Fikre, A., Ayana, M., Alaro, A., Mamo, G., 2018.** Evaluating effects of conventional practice and straw mulch applications on moisture conservation in semi arid Ethiopia. Environmental Risk Assessment and Remediation 02. <https://doi.org/10.4066/2529-8046.100043>.
- Findeling, A., Ruy, S., Scopel, E., 2003.** Modeling the effects of a partial residue mulch on runoff using a physically based approach. J. Hydrol., 275: 49-66. DOI: 10.1016/S0022-1694(03)00021-0.
- Forest, L., Jobin, P., Petit, J., 2004.** Étude au terrain pour mieux comprendre le syndrome du no-till dans la culture du maïs cultivé sur billons et en semis direct. Rapport final déposé au Conseil pour le développement de l'agriculture au Québec (CDAQ), Longueuil.
- Francia Martínez, J.R., Durán Zuazo, V.H., Martínez Raya, A., 2006.** Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). Science of The Total Environment 358, 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.036>.
- Genot, G., Renneson, M., Colinet, G., Goffaux, M-J., Cugnon, T., Toussaint, B., Buffet, D., et Oger, R., 2012.** Base de données sols de REQUASUD – 3ème synthèse. 36 p.
- Grosbellet, C., Vidal-Beaudet, L., Caubel, V., Charpentier, S., 2011.** Improvement of soil structure formation by degradation of coarse organic matter. Geoderma 162, 27–38. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.01.003>.
- GSP., 2017.** Global Soil Partnership Endorses Guidelines on Sustainable Soil Management <http://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/en/c/416516>.
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., Li, Y., 2005.** Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. Progress in Physical Geography: Earth and Environment 29, 189–217. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp443ra>.
- Hamelin, A.M., Bolduc, N., 2003.** La sécurité alimentaire à l'agenda politique québécois. Service social 50, 57. <https://doi.org/10.7202/006919ar>.
- Hassan, H.E.H., Touchart, L., Faour, G., 2015.** La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban. M@ppmonde 109 <http://mappemonde.mgm.fr/num37/articles/art13104>.
- Helioui, Y., Hajri, J., 2015.** Erosivité des pluies dans la région du cap bon (Tunisie). XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège.

- Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)., 2004.** Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux. Versailles, INRA Éditions 358 p.
- James, B., Atcha-Ahowé, C., Godonou, I., Baimey, H., Goergen, G., 2012.** Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest 125.
- Kalenga, H., Mouka, N., Kashala, J.C., VandenPut, S., 2012.** Activités agricoles familiales dans la ville de Lubumbashi (R.D. Congo), communication Université de Lubumbashi et Université de Liège, 19 novembre. P1.
- Kalombo, K.D., 2016.** Evaluation des éléments du climat en R.D.C. Editions Universitaires Européennes, Saarbrücken (Allemagne), pp. 220.
- Kanda, M., Akpavi, S., Wala, K., Djaneye-Boundjou, G., Akpagana, K., 2014.** Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo. International Journal of Biological and Chemical Sciences 8, 115. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i1.11>
- Kasanda, M.K., Mushagalusa, B.A., Kitsali, J.H., Nkulu, M.F.J, 2016.** Maraichage périurbain à Lubumbashi : modes d'accès à la terre et gestion des superficies agricoles. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 14 No. 1 Jan. 2016, pp. 27-3614, 10.
- Kasongo, L., Mwamba, M., Tshipoya, M., Mukalay, M., Useni, S., Mazinga, K., Nyembo, K., 2013.** Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. (Merril) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsley) A. Gray comme fumure organique sur un Ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo. Journal of Applied Biosciences 63, 4727. <https://doi.org/10.4314/jab.v63i1.87247>.
- Kinnell, P.I.A., 2000.** The effect of slope length on sediment concentrations associated with side-slope erosion. Soil Science Society of America Journal, 64:1004–1008.
- Kladivko, E.J., 2001.** Tillage systems and soil ecology. Soil and Tillage Research 61, 61–76. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00179-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00179-9).
- Klaij, M., (1994).** Chapitre 10 : La conservation des sols et de l'eau. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, section Publications - Le travail du sol pour une agriculture durable. Repéré à [http://www.fao.org/docrep/w7304f/w7304f0a.htm#chapitre 10 conservation des sols et de l'eau](http://www.fao.org/docrep/w7304f/w7304f0a.htm#chapitre%20conservation%20des%20sols%20et%20de%20l'eau).
- Lafhaj Z., Samara M., Mania J., Sam R. et Hajnajib B., 2005.** Mesures expérimentales de la perméabilité in situ des limons en zone urbaine au moyen de l'Infiltromètre à Double Anneau et du perméamètre de Guelph. Conference: Colloque GeocityNet ,At Lille, France. Research Gate.
- Lavee, H., Imeson, A.C., Sarah, P., 1998.** The impact of climate change on geomorphology and desertification along a mediterranean-arid transect. Land Degradation & Development 9, 407–422. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199809/10\)9:5<407::AID-LDR302>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199809/10)9:5<407::AID-LDR302>3.0.CO;2-6).
- Lawal, B.A., Adeboye, M.K.A., Tsado, P.A., Elebiyo, M.G., Nwajoku, C.R., 2012.** Properties, classification and agricultural potentials of lateritic soils of Minna in sub-humid agroecological zone, Nigeria 9.
- Le Bissonnais, Y., 1988.** Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse de doctorat, Université d'Orléans, France.

- Le Bissonnais, Y., 1996.** Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47:425–437.
- Le Bissonnais, Y., et Le Souder, C., 1995.** Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Étude et Gestion des Sols*, 2(1):43–56.
- Le Bissonnais, Y.L., Thorette, J., Bardet, C., Daroussin, J., 2002.** L'érosion hydrique des sols en France 107.
- Leblanc, M. et Malaisse, F., 1978.** Lubumbashi, un écosystème urbain tropical. Lubumbashi, RDC : Centre International de Sémiologie, Université Nationale du Zaïre.
- Lee, K.H., Isenhardt, M.C, Schultz, C., Mickelson, S.K., 2000.** Des tampons riverains multispécifiques piègent les sédiments et les nutriments lors de simulations de précipitations, *J. Environ. Qual.* 29, 1200-1205.
- Lefebvre, A., Eilers, W. et Chunn, B. (2005).** L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux - Rapport No 2. Agri-Réseau, section Agroenvironnement. Repéré à <https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/a22-201-2005f.pdf>
- Leguëdois, S and Le Bissonnais, Y., 2003.** Size fractions resulting from an aggregate stability test, interrill detachment and transport. *Earth Surface Processes and Landform*. Accepté pour publication.
- Leguëdois, S., 2010.** Mécanismes de l'érosion diffuse des sols. Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse, 179p.
- Leonard, J., Richard, G., 2004.** Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. *Catena* 57 : 233-49.
- Li, R., Wu, Q., Zhang, J., Wen, Y., Li, Q., 2019.** Effects of Land Use Change of Sloping Farmland on Characteristic of Soil Erosion Resistance in Typical Karst Mountainous Areas of Southwestern China. *Polish Journal of Environmental Studies* 28, 2707–2716. <https://doi.org/10.15244/pjoes/94288>.
- M'saffar, J., 2009.** L'érosion des sols agricoles en Estrie, causes et conséquences. Mémoire de master, Centre Universitaire de Formation en Environnement Université De Sherbrooke pdf.
- Maamar-Kouadri, K., Kouri, L et Chebouti, Y et al., 2016.** Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie). *Geo-Eco-Trop.*, 2016, 40, 4: 287-296.
- McRae, T., Smith, C.A.S et Gregoric, L.J., 2000.** L'agriculture écologiquement durable au Canada : rapport sur le Projet des indicateurs agroenvironnementaux. Agri-Réseau, section Agroenvironnement. Repéré à https://www.agrireseau.net/agroenvironnement/documents/61638/1_agriculture-ecologiquementdurable-au-canada-rapport-sur-le-projet-des-indicateurs-agroenvironnementaux.
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), 2005.** Bonnes pratiques agroenvironnementales pour votre entreprise agricole. MAPAQ, section Documents–Agroenvironnement. Repéré à <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Agroenvironnement/BonnesPratiques2005.pdf>.

- Moges, D. M., and Bhat, H. G., 2017.** Integration of geospatial technologies with RUSLE for analysis of land use/cover change impact on soil erosion: Case study in Rib watershed, north-western highland Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, 76(22), 765.
- Monededji, A., Nyamador, W., Amevoin, K., Adéoti, R., Abbey, G., Ketoh, G., Glitho, I., 2015.** Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9, 98. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.10>.
- Morschel, J et D. Fox., 2004.** Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort Lauragais, M@ppemonde, n° .76, 11 p, [En ligne] URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.pdf>.
- Moss, A.J., Walker, P.H et Hutka, J., 1980.** Movement of loose, sandy detritus by shallow water flows: An experimental study. *Sedimentary Geology*, 25 (1–2):43–66.
- Moulaert, N., 1992.** Emissions de l'industrie métallurgique à Lubumbashi (Shaba - Zaïre) et conséquences sur l'environnement. Travail de fin d'étude : Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).
- Moussadek, R., Mrabet, R., Zante, P., Marie Lamachère, J., Pépin, Y., Le Bissonnais, Y., Ye, L., Verdoodt, A., Van Ranst, E., 2011.** Effets du travail du sol et de la gestion des résidus sur les propriétés du sol et sur l'érosion hydrique d'un Vertisol Méditerranéen. *Canadian Journal of Soil Science* 91, 627–635. <https://doi.org/10.4141/cjss10096>.
- Moustier, P et Abdou, S., 2004.** Les dynamiques de l'agriculture urbaine : caractérisation et évaluation. In. Olanrewaju B. Smith, Paule Moustier, Luc J.A. Mougeot et Abdou Fall, éd., *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone : Enjeux, concepts et méthodes*, Cirad et Crdi, Ottawa (Ontario), Canada K1G 3H9, Pp. 23-44.
- Mpundu, M.M., 2010.** Contamination des sols en éléments Traces Métalliques à Lubumbashi (Katanga, R.D. Congo) : évaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de remédiation. Thèse de doctorat : Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi (RDC).
- Mrabet, R., 2002.** Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil Tillage Res.*, 66: 119-128. DOI: 10.1016/S0167-1987(02)00020-X.
- Mrabet, R., Saber, R., El-Brahli, N., Lahlou, S., Bessam, F., 2001.** Total organic matter and structural stability of a calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage system in semiarid area of morocco. In *Soil and Tillage Research*, 57: 225-235.
- Mueller, L., Kay, B.D., Hu, C., Li, Y., Schindler, U., Behrendt, A., Shepherd, T.G., Ball, B.C., 2009.** Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany. *Soil and Tillage Research* 103, 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.12.015>.
- Mujinya, B.B., Adam, M., Mees, F., Bogaert, J., Vranken, I., Erens, H., Baert, G., Ngongo, M., Van Ranst, E., 2014.** Spatial patterns and morphology of termite (*Macrotermes falciger*) mounds in the Upper Katanga, D.R. Congo. *CATENA* 114, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.10.015>.
- Munyemba, K.F., Bogaert, J., 2014.** Anthropisation et dynamique de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi de 1956 à 2009. *E-revue UNILU* 1 (1), 3–23.

- Musa, J.J., Anijofor, S.C., Obasa, P., Avwevuruvwe, J.J., 2017.** Effects of soil physical properties on erodibility and infiltration parameters of selected areas in Gidan Kwano. Nigerian Journal of Technological Research 12, 46. <https://doi.org/10.4314/njtr.v12i1.8>
- Mushagalusa, B.A., Birindwa, V.P., Muyambo, M.E., Kasanda M.N et Nkulu, M.F.J., 2015.** Production des cultures maraichères à Lubumbashi : analyse comparative de la rentabilité de chou pommé et chou de chine. International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 14 No. 1 Mar. 2015, pp. 55-61. <http://www.ijisr.issr-journals.org/>.
- N'Dayegamiye, A., Tremblay, G., Deschènes, P. et Drapeau, A., 2013.** Plus de légumineuses dans les rotations et leurs bénéfiques sur les rendements du maïs et du blé planifiable. Agri-Réseau, section Grandes cultures. Repéré https://www.agrireseau.net/grandescultures/documents/NDayegamiye_A.pdf
- Nana, P.D., Andrieu, N., Zerbo, I., Ouédraogo, Y., Gal, P.-Y.L., 2015.** Conservation agriculture and performance of farms in West Africa. Cahiers Agricultures 113–122. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0743>.
- Naylor, L.A., Viles, H.A., Carter, N.E.A., 2002.** Biogeomorphology revisited: looking towards the future, Geomorphology 47, 3–14.
- Ndayizigiye, F., 2012.** Les techniques traditionnelles de GCES et de restauration de la productivité des sols au Rwanda, in: Roose, É., Duchaufour, H., De Noni, G. (Eds.), Lutte antiérosive. IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.12476>.
- Nkuku, K.C., Rémon, M., 2006.** Stratégies de survie à Lubumbashi (R.D. Congo). Enquête sur 14000 ménages urbains. Mémoires lieux de savoir: Archive congolaise, l'Harmattan, Paris.
- Ntumba, N.F., Tshomba, K.J., Muyasa, E.M., Kirika, A.B., Nkulu, M.N.J., 2015.** Le maraîchage et l'accès aux facteurs de production dans le contexte socio-économique de Lubumbashi. International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 13 No. 3, pp. 527-537.
- Nyesheja, E.M., Chen, X., El-Tantawi, A.M., Karamage, F., Mupenzi, C., Nsengiyumva, J.B., 2019.** Soil erosion assessment using RUSLE model in the Congo Nile Ridge region of Rwanda. Physical Geography 40, 339–360. <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1541706>.
- Oluyori, R., Mgbanyi, L., 2014.** Soil aggregate stability and erodibility in different gully sites in parts of Kaduna State, Nigeria. Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management 7, 188. <https://doi.org/10.4314/ejesm.v7i2.10>.
- Oorts, K., Bossuyt, H., Labreuche, J., Merckx, R., Nicolardot, B., 2007.** Carbon and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. European Journal of Soil Science 58, 248–259. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00832.x>
- Ouattara, B., Coulibaly, K., Kohio, E., Doumbia, S., Ouédraogo, S., Nacro, H.B., 2018.** Effets du Système de Culture sous couverture Végétale (SCV) sur les flux hydriques d'un sol ferrugineux à l'Ouest du Burkina Faso. International Journal of Biological and Chemical Sciences 12, 1770. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.20>.
- Ouikoun, G.C., Bouka, C.E., Lawson-Evi, P., Dossou, J., Eklou-Gadégbeku, K., 2019.** Caractérisation des Systèmes de Cultures des Sites Maraîchers de Houéyiho, de Sèmè-Kpodji et de Grand-Popo au Sud-Bénin. European Scientific Journal ESJ 15. <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n18p113>.

- Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., Zhang, R., 2013.** Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of soil science and plant nutrition* 0–0. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000078>.
- Pagliai, M., Vignozzi, N., Pellegrini, S., 2004.** Soil structure and the effect of the management practices. *Soil Till Res* 79 : 131-43.
- Paradelo, R., Barral, M.T., 2013.** Influence of organic matter and texture on the compactability of Technosols. *CATENA* 110, 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.012>.
- Peigné, J., Ball, B.C., Roger-Estrade, J., David, C., 2007.** Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* 23, 129–144. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2006.00082.x>.
- Pelosi, C., Toutous, L., Chiron, F., Dubs, F., Hedde, M., Muratet, A., Ponge, J.-F., Salmon, S., Makowski, D., 2013.** Reduction of pesticide use can increase earthworm populations in wheat crops in a European temperate region. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 181, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.003>.
- Penot, É., Domas, R., Fabre, J., Poletti, S., Macdowall, C., Dugué, P., Le Gal, P.Y., 2015.** The technician proposes, the farmer disposes. The adoption of Conservation Agriculture (CA) in the lake Alaotra region, Madagascar. *Cahiers Agricultures* 24, 84–92. <https://doi.org/10.1684/agr.2015.0745>.
- Pimentel, D., Burgess, M., 2013.** Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture* 3, 443–463. <https://doi.org/10.3390/agriculture3030443>.
- PNUD, 2014.** Renforcement des capacités du secteur agricole en République Démocratique du Congo pour une planification et réponse aux menaces additionnelles que représentent les changements climatiques sur la production et sécurité alimentaires. Outils d'apprentissage à l'adaptation du secteur agricole au changement climatique. Tome 1 : la résilience des systèmes de production agricole. 90p.
- PNUD., 2015.** Renforcement des capacités des maraîchers des Communes de Adjohoun, Bopa, Aplahoué, Ouaké, Malanville, Sô-Ava sur la production et l'utilisation de biopesticides et la gestion intégrée de la fertilité des sols aux fins de l'adaptation aux changements climatiques. Dépôt légal n° 7751 du 03/02/2015 1er trimestre Bibliothèque Nationale ISBN : 978-99919-0-360-6. 68p.
- Puigdefábregas, J., 2005.** Le rôle des structures de végétation dans la structuration des écoulements et des flux de sédiments dans les terres arides, *Earth Surf. Processus. Landf.* 30, 133–147. [CrossRefGoogle Scholar](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.05.003).
- Quinton, J.N., Govers, G., Van Oost, K., Bardgett, R.D., 2010.** The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience* 3, 311–314. <https://doi.org/10.1038/ngeo838>.
- Randrianarisoa, J-C et Minten, B., 2003.** Accessibilité et utilisation des engrais chimiques à Madagascar. Centre National de la Recherche Appliquée au Développement Rural. 6p.
- Raya, A.M., Zuazo, V.H.D., Martínez, J.R.F., 2006.** Soil erosion and runoff response to plant-cover strips on semiarid slopes (SE Spain). *Land Degradation & Development* 17, 1–11. <https://doi.org/10.1002/ldr.674>
- Renard, J. F., Cheik, L et Knips, V., 2004.** L'élevage et l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest. Ministère des Affaires étrangères - FAO-CIRAD, 37 p.

- Rey, F., 2003.** Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. *CATENA* 50, 549–562. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00121-2)
- Rezgui, M., Mechri, M., Gharbi, A., 2014.** Effet du travail du sol sur les propriétés physiques du sol et sur le rendement de la fève et du blé dur cultivés sous les conditions semi-arides du Kef. *Annales de l'INRAT*, Volume 87, 12p.
- Rhoton, F.E., Shipilato, M.J., Lindbo, D.L., 2002.** Runoff and soil loss from midwestern and southeastern US silt loam soils as affected by tillage practice and soil organic matter content. *Soil Till Res* 66: 1-11.
- Roger-Estrade, J., Labreuche, J., Richard, G., 2011.** Effects of no-ploughing methods on soil physical properties: Consequences on soil erosion in a temperate climate. *Cahiers Agricultures* 186–193. <https://doi.org/10.1684/agr.2011.0490>.
- Roose, E., Blavet, D., Sabir, M., Ouagga, T., Cheggour, A., Simonneaux, V., Olivier, R., Ferrer, H., Louri, J., Chotte, J.L., 2008.** Influence de l'utilisation d'un sol brun vertique sur les stocks de carbone du sol, les risques de ruissellement et d'érosion et le devenir du carbone érodé au Maroc. P.317-324 dans E. Roose and J. Albergel, éd. *Efficacité de la GCES en milieu semi arides*. AUF, EAC et IRD éditeurs Paris, France.
- Roose, É., Duchaufour, H., De Noni, G., 2012.** Lutte antiérosive: Réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.12419>.
- Roose, E., Kaboré, V., Guenat, C., 1993.** Le zaï : fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso) 17.
- Rose, C.W., 1985.** Developments in soil erosion and deposition models. *Advances in Soil Science*, 2:2–63.
- Samir, T., 2013.** Application des techniques nucléaires et de la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued mina. Thèse de doctorat es-sciences de l'école nationale supérieure d'hydraulique 189p.
- Sari, H., 2017.** The Effect of Some Soil Characteristics on The Hydraulic Conductivity of Soil in Tekirdağ Province. *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi* 32, 95–103. <https://doi.org/10.28955/alinterizbd.347179>.
- Savado, M., Somda, J., Seynou, O., Zabré, S., et Nianogo, A.J., 2011.** Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso : UICN Burkina Faso. 52 pp.
- Savat, J., De Ploey, J., 1982.** Sheetwash and rilldevelopment by surface flow, 113-126. In R. Bryan, A. Yair. *Badland Geomorphology and Piping*. Geo Books, Cambridge, 218p.
- Scopel, E., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Affholder, F., Maraux, F., 2004.** Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie* 24, 383–395. <https://doi.org/10.1051/agro:2004029>.
- Séguin, B., Lardon, S. et Monestiez, P., 2004.** Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux. Versailles, France : INRA Éditions.
- Seignobos, C., Tchotsoua, M., 2012.** Des stratégies traditionnelles pour la lutte contre l'érosion dans les monts Mandara et dans la plaine du Diamaré NO du Cameroun, in: Roose, É., Duchaufour, H., De Noni, G. (Eds.), *Lutte antiérosive*. IRD Éditions.

<https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.12476>.

Shepherd, T.G., Manawatu-Wanganui, N.Z., Horizons, M.W., Manaaki, W-L., Research New Zealand Ltd., Hawke's Bay., Regional Council, Wellington New Zealand Ministry for the Environment, 2000. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw : Landcare Research, Palmerston North, N.Z.

Sissoko, F., 2009. Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone soudano sahélienne: cas du coton semé après une culture de sorgho/*Brachiaria* au sud du Mali. Thèse de doctorat de Sup Agro, Montpellier, p.169 .

Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., de Moraes, J.C., Albrecht, A., 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie* 22, 755–775. <https://doi.org/10.1051/agro:2002043>.

Staff, S.S.D., 2017. Soil Survey Manual. In United States Department of Agriculture Handbook; No. 18; United States Department of Agriculture: Washington, DC, USA.

Stagnari, F., Ramazzotti, S., Pisante, M., 2009. Conservation Agriculture: A Different Approach for Crop Production Through Sustainable Soil and Water Management: A Review, in: Lichtfouse, E. (Ed.), *Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 55–83. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9654-9_5.

Stanchi, S., Falsone, G., Bonifacio, E., 2015. Soil aggregation, erodibility, and erosion rates in mountain soils (NW Alps, Italy). *Solid Earth* 6, 403–414. <https://doi.org/10.5194/se-6-403-2015>.

Stitcher, P. (2010). <http://restoringutopia.blogspot.com/2010/07/like-hollow-pointbullets-from-sky.html>. Accessed on 11 August 2019.

Stone, R.P., et Hilborn, D., 2000. Equation universelle des pertes en terre (USLE). *Soil Erosion.Water Resources Management* 16: 447–467, 2002.

Stoof, C.R., Ferreira, A.J.D., Mol, W., Van den Berg, J., De Kort, A., Drooger, S., Slingerland, E.C., Mansholt, A.U., Ferreira, C.S.S., Ritsema, C.J., 2015. Soil surface changes increase runoff and erosion risk after a low–moderate severity fire. *Geoderma* 239–240, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.020>

Sun, D., Yang, H., Guan, D., Yang, M., Wu, J., Yuan, F., Jin, C., Wang, A., Zhang, Y., 2018. The effects of land use change on soil infiltration capacity in China: A meta-analysis. *Science of The Total Environment* 626, 1394–1401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.104>.

Sys, C., et Schmitz, A., 1959. Notice Explicative de la carte des sols et de la végétation. INEAC, 1- 69 p.

Taleshian Jeloudar, F., Ghajar Sepanlou, M., Emadi, M., 2018. Impact of land use change on soil erodibility. *GJESM* 4. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.01.006>.

Thierfelder, C., Amézquita C., E., Stahr, K., 2005. Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. *Soil and Tillage Research* 82, 211–226. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.07.018>

Thierfelder, C., Mombeyarara, T., Mango, N., Rusinamhodzi, L., 2013. Integration of conservation agriculture in smallholder farming systems of southern Africa: identification of key entry points. *International Journal of Agricultural Sustainability* 11, 317–330. <https://doi.org/10.1080/14735903.2013.764222>.

Thierfelder, C., Wall, P.C., 2009. Effects of conservation agriculture techniques on infiltration

and soil water content in Zambia and Zimbabwe. *Soil and Tillage Research* 105, 217–227. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.07.007>.

Thorne, C.R., 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability, in: J.B. Thornes 1990, *Vegetation and Erosion: Processes and Environments*, Wiley, Chichester, pp. 125–143.

Tollens, E., 2003. Etat de la sécurité alimentaire en RDC : diagnostic et perspectives. Working paper, n°27 département d'économie agricole et de l'environnement, Katholiek Universiteit, leuven, 45 p.

Tshomba, K.J., Leopold, N.M., Ntumba, N.F., Mushagalusha, M.A., Muyambo, E., Nkulu, M.F.J., 2015. Le maraîchage et ses fonctions dans le contexte socioéconomique de Lubumbashi en RD Congo [The functions of Market gardening in the socio-economic context of Lubumbashi in DR Congo] 11, 12.

Tuzzin de Moraes, M., Debiassi, H., Carlesso, R., Cezar Franchini, J., Rodrigues da Silva, V., Bonini da Luz, F., 2016. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. *Soil and Tillage Research* 155, 351–362. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015>.

Tya, T.S.K et Oluwaseye, A.E., 2015. Evaluation of Soil Erodibility on the Agricultural Soil of the Central Zone of Adamawa State, Nigeria. *Swift Journal of Research in Environmental Studies* Vol 1(3) pp. 014-017.

Useni Sikuzani, Y., Malaisse, F., Cabala Kaleba, S., Kalumba Mwanke, A., Yamba, A.M., Nkuku Khonde, C., Bogaert, J., Munyemba Kankumbi, F., 2019b. Tree diversity and structure on green space of urban and peri-urban zones: The case of Lubumbashi City in the Democratic Republic of Congo. *Urban Forestry & Urban Greening* 41, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.03.008>.

Useni, S.Y., André, M., Mahy, G., Cabala, K.S., Malaisse, F., Munyemba, K.F., Bogaert, J., 2018a. Interprétation paysagère du processus d'urbanisation à Lubumbashi (RD Congo) : dynamique de la structure spatiale et suivi des indicateurs écologiques entre 2002 et 2008. In: Bogaert, J., Colinet, G., Mahy, G. (Eds.), *Anthropisation des paysages katangais*. Les presses universitaires de Liège (Belgique), pp. 281–296.

Useni, S.Y., Cabala, K.S., Malaisse, F., Nkuku, K.C., Amisi, M.Y., Bogaert, J., Munyemba, K.F., 2017. Vingt-cinq ans de monitoring de la dynamique spatiale des espaces verts en réponse à l'urbanisation dans les communes de la ville de Lubumbashi (HautKatanga, R.D. Congo). *Tropicultura* 35 (4), 300–311.

Useni, S.Y., Ilunga, G.M., Mulembo, T.M., Katombe, B.N., Wa Lwalaba, J.L., Lukangila, M.A., Lubobo, A.K., Longanza, L.B., 2014. Amélioration de la qualité des sols acides de Lubumbashi (Katanga, RD Congo) par l'application de différents niveaux de compost de fumiers de poules. *Journal of Applied Biosciences* 77, 6523. <https://doi.org/10.4314/jab.v77i1.3>.

Useni, S.Y., Muteya, H.K., Langunu, S., Gerardy, A., Bogaert, J., 2019a. Amplification of Anthropogenic Pressure Heavily Hampers Natural Ecosystems Regeneration within the Savanization Halo Around Lubumbashi City (Democratic Republic of Congo). *International Journal of Environmental Sciences* 9.

Useni, S.Y., Sambiéni, K.R., Maréchal, J., Ilunga wa Ilunga, E., Malaisse, F., Bogaert, J., Munyemba, K.F., 2018b. Changes in the Spatial Pattern and Ecological Functionalities of Green Spaces in Lubumbashi (the Democratic Republic of Congo) in Relation With the Degree

of Urbanization. *Tropical Conservation Science* 11, 194008291877132. <https://doi.org/10.1177/1940082918771325>.

Valentin C., 1989. État de dégradation de 2 terroirs Sénoufo-Nord Côte-d'Ivoire, Abidjan, Iirsda, 9 p., multigr.

Van Dijk, P.M., Kwaad, F.J.P.M., Klapwijk, M., 1996. RETENTION OF WATER AND SEDIMENT BY GRASS STRIPS. *Hydrological Processes* 10, 1069–1080. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199608\)10:8<1069::AID-HYP412>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199608)10:8<1069::AID-HYP412>3.0.CO;2-4)

Van Lynden, G.W.J., 1995. Ressources en sols de l'Europe, *Nature et environnement*, n ° 71. Conseil de l'Europe, Strasbourg.

Veyret, Y., 2003. La France. Milieux physiques et environnement. Paris : Armand Colin, Coll. « Cours. Série Géographie », 192p. ISBN : 2-200-26584-0.

Vidal H. 2012. Soutènement et renforcement des sols. Comment apporter une stabilité à un massif, devenu instable du fait de facteurs naturels ou artificiels défavorables ? Manuel, p. 39. http://pedagogie.lyceesaviodouala.org/tpe/20112012/1s_2012/complet.pdf. Consulté le 12 décembre 2014.

Wainwright, J., Parsons, A.J., Schlesinger, W.H., Abrahams, A.D., 2002. Hydrology–vegetation interactions in areas of discontinuous flow on a semi-arid bajada, Southern New Mexico. *Journal of Arid Environments* 51, 319–338. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.0970>

Weil, A., et Duval, J., 2009. Planches, buttes et billons. Agri-Réseau, section Agriculture biologique. Repéré à https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_15Planchesbi ns. Pdf.

Wijesundara, N., Abeysingha, N., and Dissanayake, D., 2018. GIS-based soil loss estimation using RUSLE model: A case of Kirindi Oya river basin, Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 251–262.

Wischmeier, W.H., et D.D. Smith., 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Handbook No. 537*. 58 pp.

Wouez, 2016. Les légumineuses : un peu, beaucoup, partout. Edito 2016, année internationale des légumineuses. *Nitrat' Info N°16* Juillet '16.

Yaméogo, J.T., Somé1, A.N., Mette Lykke, A., Hien, M et Nacro, H.B., 2013. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso.

Yarou, B.B., Silvie, P., Komlan, F.A., Mensah, A., Alabi, T., Verheggen, F., Francis, F., 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 17.

Yolou, F.I., Yabi, I., Kombieni, F., Tovihoudji, P.G., Yabi, J.A., Paraiso, A.A., Afouda, F., 2015. Market gardening in urban area of municipality of Parakou (north Benin) and its profitability.

Yusuf, H.A., Oguntunde, P.G., Lawal, A.K., 2018. Land use effects on soil erodibility and hydraulic conductivity in Akure, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research* 13, 329–337. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12947>.

Zhang, G.H., Liu, B.Y., Liu, G.B., He, X.W., Nearing, M.A., 2003. Detachment of undisturbed soil by shallow flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, 713–719.

Zhang, K., Yu, Y., Dong, J., Yang, Q., Xu, X., 2019. Adapting & testing use of USLE K

factor for agricultural soils in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 269, 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.033>.

Zhang, X., Zhao, W., Wang, L., Liu, Yuanxin, Feng, Q., Fang, X., Liu, Yue, 2018. Distribution of Shrubland and Grassland Soil Erodibility on the Loess Plateau. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15, 1193. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061193>

Zheng, H., Liu, W., Zheng, J., Luo, Y., Li, R., Wang, H., Qi, H., 2018. Effect of long-term tillage on soil aggregates and aggregate-associated carbon in black soil of Northeast China. *PLOS ONE* 13, e0199523. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199523>.

Ziegler, A.D., Giambelluca, T.W., 1998. Influence of revegetation efforts on hydrologic response and erosion, Kaho'olawe Island, Hawai'i. *Land Degradation & Development* 9, 189–206. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199805/06\)9:3<189::AID-LDR272>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199805/06)9:3<189::AID-LDR272>3.0.CO;2-R)

Zouagui, A., Sabir, M., Naimi, M., Chikhaoui, M., Benmansour, M., 2018. Modelisation du risque d'érosion hydrique par l'équation universelle des pertes en terre dans le Rif Occidental: Cas du Bassin Versant de Moulay Bouchta (Maroc). *European Scientific Journal, ESJ* 14, 524. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n3p524>.

Annexes

Annexe 1. Fiche de description pédologique, modèle Gembloux (Delecour et Kindermans, 1977).

Fiche de sondage Partie 1

N° horizon	Symbole Horizon	Profon- deur cm	Résistance	Comportement	Humidité	Texture	Couleur (Munsell)			Taches			Charge	pH (Kt)
							Hue	V	C	A	Ni	Na		
0														
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														

Résistance
1= facile
2= normale
3= difficile

Comportement
1= mouluré
2= structuré
3= meuble

Humidité
1= humide
2= frais
3= sec

Texture
ALO= Argile lourde
A= Argile
AL= Argile limoneuse
AS= Argile sableuse
LA= Limon argileux
L= Limon
LS= Limon sableux
SL= Sable limoneux
S= Sable
NID= Non identifié

Abondance
1= Absentes
2= peu
3= nombreuses
4= Très nombr.

Netteté
1= Très nettes
2= nettes
3= diffuses

Abondance
1= Absente
2= <15%
3= 15 - 53%
4= >50%

Nature
1= oxido-réd.
2= altération
3= indéterminée

DIMENSIONS ELEM. GROSSIERS
G Graviers 10,0-3 mm
C Cailloux 2-10 mm
P Pièceses 1,0-2 mm
M Mises 1 > 38 mm

ROCHES ET ELEM. GROSSIERS

MS	Mun identifié	MS	Muscovite
AV	Alumine	PH	Phylite
AL	Argile d'altération	PO	Poudingue
AM	Amphibole	PC	Poudingue calcique
AN	Andalite	PP	Porphyre
AR	Argile	PS	Psammite
AO	Argile	PT	Pseudotachite
AT	Amphibole	QU	Quartzite
AS	Asbeste	QD	Quartzite dolémitique
BA	Basalte	RA	Roche sédimentaire
BE	Bérite	RI	Roche métamorphique
BO	Biotite	SA	Roche volcanique
BR	Biotite	SB	Sable
BU	Biotite	SC	Schiste
BU	Biotite	SC	Schiste calcareux
BU	Biotite	SD	Schiste argileux
BU	Biotite	SE	Schiste phyllonitique
BU	Biotite	SI	Silice
BU	Biotite	SP	Sphérotite
BU	Biotite	ST	Stéatite
BU	Biotite	TH	Talque
BU	Biotite	TR	Talque
BU	Biotite	TC	Talcite
BU	Biotite	UC	Uraninite
BU	Biotite	UD	Uraninite
BU	Biotite	UE	Uraninite
BU	Biotite	UF	Uraninite
BU	Biotite	UG	Uraninite
BU	Biotite	UH	Uraninite
BU	Biotite	UI	Uraninite
BU	Biotite	UJ	Uraninite
BU	Biotite	UK	Uraninite
BU	Biotite	UL	Uraninite
BU	Biotite	UM	Uraninite
BU	Biotite	UN	Uraninite
BU	Biotite	UO	Uraninite
BU	Biotite	UP	Uraninite
BU	Biotite	UQ	Uraninite
BU	Biotite	UR	Uraninite
BU	Biotite	US	Uraninite
BU	Biotite	UT	Uraninite
BU	Biotite	UU	Uraninite
BU	Biotite	UV	Uraninite
BU	Biotite	UW	Uraninite
BU	Biotite	UX	Uraninite
BU	Biotite	UY	Uraninite
BU	Biotite	UZ	Uraninite

Fiche de sondage Partie 2

N° sondage:	Auteur:	Date:	
Localisation			
Commune	Lieu-dit	Station/Parcelle	Exploitant
Latitude: (N/S) Longitude: (W/E) Altitude:	Carte des sols: Carte topographique: Autre:	Forme: Formation: Pente: Lithologie:	Occupation: Végétation: Aménagement:
<p>GÉOMORPHOLOGIE</p> <p>Echelle d'observation: (M) 1 SM 2 AN 3</p> <p>Type de surface</p> <p>Surface plane 01 Profil en sautoir 02 Profil en V 03 Profil à fond plat 04 Profil en U 05 Coudonnées 06 Bandeau 07 Profil en sautoir 08 Profil en sautoir 09 Profil en sautoir 10 Vallon 11</p> <p>Profil situé sur la berge dans un sillon 2 dans une autre parcelle 3 au bord de la forme 4 au bord de la forme 5 au bord de la forme 6 au bord de la forme 7 au bord de la forme 8 au bord de la forme 9</p> <p>Pente locale Exposition: N 1, S 2, NE 3, SE 4, E 5, SE 6, S 7, SW 8, W 9, NW 10</p>		<p>VEGETATION</p> <p>Formations</p> <p>Ligneuse haute dense (for. A + B) 01 Ligneuse haute (saur. A 20-75 N) 02 Ligneuse haute claire (for. A + B) 03 Ligneuse haute et basse 04 Ligneuse basse 05 Ligneuse haute et herbacée 06 Herbécée et ligneuse haute 07 Herbécée et ligne. haute et basse 08 Herbécée et ligneuse basse 09 Herbécée 10 Végét. très claire (sem. lit. +20 N) 11 Mél. 12</p> <p>Non couverte</p> <p>Couverture du profil</p> <p>Tapis végétal et ouvert 1 Tapis végétal sans ouvert 2 Couvert sans tapis végétal 3 Couvert et tapis absent 4</p> <p>Recouvrement</p> <p>Étate subordonnée A Étate subordonnée B Étate subordonnée C Étate subordonnée D Étate subordonnée E Étate subordonnée F Étate subordonnée G Étate subordonnée H Étate subordonnée I Étate subordonnée J Étate subordonnée K Étate subordonnée L Étate subordonnée M Étate subordonnée N Étate subordonnée O Étate subordonnée P Étate subordonnée Q Étate subordonnée R Étate subordonnée S Étate subordonnée T Étate subordonnée U Étate subordonnée V Étate subordonnée W Étate subordonnée X Étate subordonnée Y Étate subordonnée Z</p>	
<p>OCCUPATION DES TERRES</p> <p>Type</p> <p>Mun identifié 01 Site urbain 02 Carrée en exploitation 03 Carrée abandonnée 04 Agriculture 05 Agriculture 06 Végét. mixte 07 Végét. mixte 08 Agricult. avec cult. en sautoir 09 Agriculture 10 Agriculture 11 Cultures en rotation 12 Cult. et jachères pérennes 13 Pratière 14 Prairie 15 Prairie 16 Prairie 17 Prairie 18 Prairie 19 Prairie 20 Prairie 21 Prairie 22 Prairie 23 Prairie 24 Prairie 25 Prairie 26 Prairie 27 Prairie 28 Prairie 29 Prairie 30 Prairie 31 Prairie 32 Prairie 33 Prairie 34 Prairie 35 Prairie 36 Prairie 37</p>			

Annexe 2. Description des profils du périmètre maraîcher de Kilobelobe

I. Nom du profil : Prof Bf Mp (Kilobelobe Bas-fond Milieu Perturbé)								
Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteur	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat	
	07/05/2019	Esoma, Kisangani	S 11.66171° E 027.52346°	1239	Position topographique : Bas-fond	Cyperus spp, Ageratum conyzoides, Amanranthus hybridus, Mimosa pudica, Sacharum officinarum, Cynodon dactylon, Curcubita moschata	CW ₆	
II. Information générale concernant le sol								
Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme		
Alluvions	Faible	Humide sur tout le profil à l'exception du premier horizon	<1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Oui		
III. Description des horizons								
Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A _p	0-9,25	Très forte	Faible	Oui	Aucune	Oui (plastique)	Fort	Graduelle
A ₁	9,25-24,5	moyenne	Moyenne	Non	Aucune	Non	Moyen	Brusque
B	24,5-47,5	moyenne	Forte	Non	Aucune	non	Faible	
Nom du profil : Prof Bf Mnp (Kilobelobe Bas-fond Milieu non Perturbé)								
Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteur	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat	
	07/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.66221° E 027.52352	1243	Position topographique : Bas-fond	Tapis graminé avec Ageratum conyzoides, Cynodon dactylon, Imperata cylindrica, Euphorbia heterophylla, Hyparrhenia rufa, Bidens pilosa	CW ₆	
II. Information générale concernant le sol								
Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme		
Alluvions	Faible	Humide sur tout le profil à l'exception du premier horizon	<1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Non		

III. Description des horizons								
Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A1	0-17	Forte	Faible	Oui	Aucune	Non	Fort	Graduelle
A2	17-35	Moyenne	Moyenne	Non	Aucune	Non	Moyen	Graduelle
B	35-52,5	Moyenne	Forte	Non	Aucune	Non	Moyen	

Nom du profil : Prof V Mp (Kilobelobe Versant Milieu Perturbé)

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteurs	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	07/05/2019	Esoma, Kisangani	S 11.65975° E 027.52506°	1245	- Position topographique : Versant	Psidium gojava, Mahihot esculenta, Saccharum officinarum, Ageratum conyzoides, Amaranthus hybridus, Cymbopogon citratus ; Persea americana, Manguifera indica	CW ₆

II. Information générale concernant le sol

Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme
	Fort	Humide seulement dans le dernier horizon	<1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Oui (présence des cultures)

Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
Ap	0-13	Forte	Faible	Oui	Aucune	Oui (plastique)	Fort	Graduelle
A1	13-35	Moyenne	Moyenne	Oui	Aucune	Non	Moyen	Brusque
B	35-59	Très faible	Forte	Non	Aucune	Non	Faible	

Nom du profil : Prof V Mnp (Kilobelobe Versant Milieu non Perturbé)

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteur	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	07/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.66139° E 027.52898°	1251	Position topographique : Versant	Tapis graminé Imperata cylindrica, Ageratum conyzoides, Cynodon dactylon, Galisoga parviflora, Bidens pilosa, Setaria pallide-fusca , Setaria polystachion, Eleusina indica, Eragrostis spp.	CW ₆

II. Information générale concernant le sol

Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme

	Fort	Humide seulement dans le dernier horizon	>1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Non		
III. Description des horizons								
Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A1	0-18,5	Très forte	Faible	Oui	Aucune	Non	Fort	Graduelle
A2	18,5-40	Forte	Moyenne	OUI	Aucune	Non	Fort	Graduelle
B	40-69	Faible	moyenne	Oui	Aucune	Non	Moyenne	

Annexe 3. Description des profils du périmètre maraîcher Katumbwi

Nom du profil : Prof Bf Mp (Katumbwi Bas-fond Milieu Perturbé)								
Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteurs	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat	
	05/05/2019	Esoma, Kisangani	S 11.74643° E 027.43274°	1203	Position topographique : Bas-fond	Brasica chinensis, Oryza sativa, Cyperus spp, Saccharum officinarum, Cynodon dactylon, Amaranthus hybridus, Senna occidentalis	CW ₆	
II. Information générale concernant le sol								
Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme		
Alluvions	Faible	Humide sur tout le profil à l'exception du premier horizon	<1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Oui		
IV. Description des horizons								
Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A _p	0-20	Fort	Faible	Oui	Aucune	Oui (plastiques)	Faible	Graduelle
A ₁	20-36	moyenne	Moyenne	Non	Aucune	Non	Très faible	Brusque
B	36-49	moyenne	Forte	Non	Aucune	non	Très faible	
Nom du profil : Prof Bf Mnp (Katumbwi Bas-fond Milieu non Perturbé)								

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteurs	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	05/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.71318° E 027.47868°	1201	Position topographique : Bas-fond	Tapis graminé avec <i>Cyperus</i> spp, <i>Comelina</i> spp, <i>Phragmites australis</i> , <i>Ageratum conyzoides</i>	CW ₆

II. Information générale concernant le sol

Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme
Alluvions	Faible	Humide sur tout le profil à l'exception du premier horizon	<1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Non

IV. Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Éléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
Ao	0-19	Faible	Faible	Oui	Aucune	Non	Fort	Graduelle
A1	19-38	Moyenne	Moyenne	Non	Aucune	Non	Moyen	Brusque
B	38-65,5	Faible	Forte	Non	Aucune	Non	Faible	

Nom du profil : Prof V Mp (Katumbwi Versant Milieu Perturbé)

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteur	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	05/05/2019	Esoma, Kisangani	S 11.71431° E 027.47639°	1203	- Position topographique : Versant	<i>Ipomea batatas</i> , <i>Brassica chinensis</i> , <i>Amarantus hybridus</i> , <i>Ageratum conyzoides</i> , <i>Galinsoga parviflora</i> , <i>Setaria megaphylla</i> , <i>Elaeis guinensis</i>	CW ₆

II. Information générale concernant le sol

Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme
	Fort	Humide seulement dans le dernier horizon	>1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Oui (présence des cultures)

Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Éléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
---------------------	---	-------------	-------------	----------	--------------------------------	----------------------	------------------------------------	----------------------

Ap	0 - 10	Forte	Faible	Oui	Aucune	Oui (plastique)	Fort	Graduelle
A1	10 - 25.5	Moyenne	Moyenne	Oui	Aucune	Non	Moyen	Brusque
B	25.5 - 57.5	Faible	Forte	Oui	Aucune	Non	Faible	
Nom du profil : Prof V Mnp (Katumbwi Versant Milieu non Perturbé)								
Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteurs	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol		Climat
	05/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.71420° E 027.47639°	1203	Position topographique : Versant	Tapis graminé avec Cynodon dactylon, Ageratum conyzoides, Amarantus spinosus, Amarantus viridus, Eleusina indica.		CW ₆
II. Information générale concernant le sol								
Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux		Traces d'érosion		Influence de l'homme
	Fort	Humide seulement dans le dernier horizon	<1m	Aucune		Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)		Non
IV. Description des horizons								
Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Éléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A1	0 - 13.5	Très forte	Faible	Oui	Aucune	Non	Moyenne	Graduelle
A2	13.5 - 34.25	Moyenne	Moyenne	OUI	Aucune	Non	Faible	Graduelle
Bw	34.25 - 53.75	Faible	Forte	Oui	Oui	Non	Très faible	

Annexe 4. Description des profils du périmètre maraicher Kashamata

Nom du profil : Prof Bf Mp (Kashamata Bas-fond Milieu Perturbé)								
Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteurs	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol		Climat
	03/05/2019	Esoma, Kisangani	S 11.74643° E 027.43274°	1203	Position topographique : Bas-fond	Allium, Ageratum conyzoides, Setaria palidifusca, Cynodon dactylon, Mimosa pudica, Eleusina indica		CW ₆
II. Information générale concernant le sol								
Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux		Traces d'érosion		Influence de l'homme
Alluvions	Faible	Humide sur tout le profil à	<1m	Aucune		Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)		Oui

		l'exception du premier horizon				
--	--	--------------------------------	--	--	--	--

V. Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A _p	0-24	Forte	Faible	Oui	Aucune	Oui (plastique)	Très Fort	Graduelle
A ₁	24-41	Moyenne	Moyenne	Non	Aucune	Non	Fort	Brusque
B	41-57,5	Faible	Forte	Non	Aucune	non	Moyenne	

Nom du profil : Prof Bf Mnp (Kashamata Bas-fond Milieu non Perturbé)

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteurs	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	03/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.74356° E 027.43647°	1206	Position topographique : Bas-fond	Tapis de : Eleusina indica, Mimosa pudica, Cynodon dactylon, Cyperus spp	CW ₆

II. Information générale concernant le sol

Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme
Alluvions	Faible	Humide sur tout le profil à l'exception du premier horizon	<1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Non

V. Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommet et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A ₁	0-12,75	Forte	Faible	Oui	Aucune	Non	Fort	Graduelle
A ₂	12,75-27,81	Moyenne	Moyenne	Non	Aucune	Non	Moyen	Graduelle
B	27,81-42,06	Moyenne	Forte	Non	Aucune	Non	Moyen	

Nom du profil : Prof V Mp (Kashamata Versant Milieu Perturbé)

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteur	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	03/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.75032° E 027.42981°	1210	- Position topographique : Versant	Capsicum, Solanum melonga, Brassica, Brassica, Imperata cylindrica, Cynodon dactylon, Bidens pilosa, Ageratum conyzoides, Hyparrhenia rufa, Mimosa spp, Tithonia diversifolia.	CW ₆

II. Information générale concernant le sol						
Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme
	Fort	Humide seulement dans le dernier horizon	>1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Oui (présence des cultures)

Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommets et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
Ap	0-13	Forte	Faible	Oui	Aucune	Oui (plastique)	Fort	Graduelle
A1	13-24	Moyenne	Moyenne	Oui	Aucune	Non	Moyen	Brusque
B	24-79,5	Faible	Forte	Oui	Aucune	Non	Faible	

Nom du profil : Prof V Mnp (Katumbwi Versant Milieu non Perturbé)

Unité supérieure de la classification	Date de la description	Auteur	Localisation	Altitude (m)	Géomorphologie	Végétation et utilisation du sol	Climat
	03/05/2019	Esoma, Kisangani,	S 11.74716° E 027.43340°	1209	Position topographique : Versant	Tapis de : Cynodon dactylon, Tithonia diversifolia, Sida acuta, Ageratum conyzoides, Setaria polystachion, Eleusina indica, Bidens pilosa, Panicum maximum	CW ₆

II. Information générale concernant le sol

Roche mère	Drainage	Etat hydrique du sol	Profondeur de la nappe phréatique	Présence des cailloux en surface et affleurement rocheux	Traces d'érosion	Influence de l'homme
	Fort	Humide seulement dans le dernier horizon	>1m	Aucune	Oui (Présence des rigoles + Témoignage des exploitants lors de la visite)	Non

V. Description des horizons

Horizons (symboles)	Profondeur (sommets et base de l'horizon) (cm)	Consistance	Cimentation	Porosité	Cailloux et fragments minéraux	Eléments artificiels	Développement du système racinaire	Nature de transition
A1	0 – 6	Très forte	Faible	Oui	Aucune	Non	Fort	Graduelle
A2	6 - 26.5	Forte	Faible	OUI	Aucune	Non	Fort	Graduelle
B	26.5 - 50.5	Faible	Moyenne	Oui	Oui	Non	Moyen	