



REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

UNIVERSITE DE KISANGANI

FACULTE DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES RENOUVELABLES



Version SYNTHÈSE

Propriétés agronomiques et potentiel d'atténuation des changements climatiques d'une agro-forêt de type «culture en assiettes sous tapis vert», en restauration de sols dégradés, à Kisangani (RD Congo)

Par

Ir Dieudonné-Théophile PYAME MWARABU LOLONGA



Thèse présentée en vue de l'obtention du titre de Docteur (Ph. D.) en Sciences Agronomiques

Promoteurs

Prof. Dr. Mate Mweru Jean Pierre

Prof. Dr. Geert Baert

Co-promoteurs

Prof. Dr. Ir. Moango Manga Adrien

Prof. Dr. Ir. Geert Hasaert

Juin 2015





REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

UNIVERSITE DE KISANGANI

FACULTE DE GESTION DES RESSOURCES NATURELLES RENOUVELABLES



Version SYNTHÈSE

Propriétés agronomiques et potentiel d'atténuation des changements climatiques d'une agro-forêt de type «culture en assiettes sous tapis vert», en restauration de sols dégradés, à Kisangani (RD Congo)

Par

Ir Dieudonné-Théophile PYAME MWARABU LOLONGA



Thèse présentée en vue de l'obtention du titre de Docteur (Ph. D.) en Sciences Agronomiques

Promoteurs

Prof. Dr. Mate Mweru Jean Pierre  
Prof. Dr. Geert Baert

Co-promoteurs

Prof. Dr. Ir. Moango Manga Adrien  
Prof. Dr. Ir. Geert Haesaert

Juin 2015

## **EPILOGUE**

*Il est aisé de marcher derrière un autre,  
Sur un chemin dès lors déblayé,  
Que de devoir marcher seul dans la jungle ou le désert,  
Pour faire le sentier avec ses pieds et ses mains,  
Les yeux tournés vers l'horizon lointain qui vous mobilise,  
Vers le but délibérément fixé qui vous tient alors constamment tendu.  
C'est pourtant dans cette laborieuse innovation  
Que nous construirons l'Afrique,  
Mais alors, tout en nous construisant nous-mêmes !*

***Ir. Dieudonné-Théophile PYAME M. Lolonga***

*N.B. Pour une citation d'auteurs plus fournie, un lexique définissant les termes techniques et les références bibliographiques nécessaires, le lecteur est convié à exploiter la thèse elle-même.*

## **REMERCIEMENTS**

*Au terme de cette thèse de doctorat, nous tenons à remercier premièrement le Dieu très haut qui a pourvu aux ressources nécessaires, dont la bonne santé, ensuite au Prof. Dr. Mate Mweru et Prof. Dr. Geert Baert, tous les deux promoteurs de cette thèse et initiateurs du projet VLIR intitulé « gestion de la matière organique du sol pour la promotion de l'éco-agriculture sur terroirs dégradés de l'hinterland de Kisangani », GESMOTD en sigle. C'est dans le cadre de ce projet qu'a été conçu, planifié et exécuté cette recherche doctorale dans son entièreté.*

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent également au Prof. Dr. Moango Manga, co-promoteur et coordinateur local du projet, au Prof. Dr. Geert Haesaert, co-promoteur de cette thèse et co-promoteur du projet dans la partie belge, au Prof. Dr. Ded'ha Djailo, coordonateur actuel du projet agriculture durable. Notre gratitude va également à l'endroit des professeurs Juakaly, Mukandama, Kazadi, Nshimba, Kayisu, Saile, Kahindo et Gambalemoke, pour le rôle inestimable joué dans la facilitation des travaux sur terrain et la correction du manuscrit. Leur sens d'abnégation dans le suivi de proximité et la mise en forme de cette thèse de doctorat nous a été d'un précieux secours. Coup de chapeau à Stéphanie Frere pour le rôle catalytique joué dans la finalisation matérielle de ce travail.*

*Toute entreprise originale a sa petite histoire, il est vrai. Ce doctorat sur la culture en assiettes sous tapis vert, comme substitut au système d'Abattis-brûlis sur terres dégradées, dans une perspective de sécurité alimentaire mondiale et d'atténuation des changements climatiques, tire ses origines d'une mission au Cameroun au nom de notre faculté et de notre chère université. Il s'est agi d'une formation de formateurs sur le REDD+, l'atténuation et l'adaptation aux changements climatiques dans le cadre forestier. Là également, nous rencontrons cet homme à la grandeur d'âme, ménageant de façon habile autorité et collégialité : le Prof. Dr. Mate. Pour que germent des compétences dans nos 2 facultés sœurs, il a dû céder sa place, à nous et au regretté Prof. Dr. Emile Mulotwa, dont nous saluons ici très douloureusement la mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent particulièrement au VLIR – UOS qui a financé la recherche, au projet FCCC pour l'appui logistique reçu, à toute l'équipe du Comité de Gestion de l'UNIKIS, toute l'équipe du Décanat de la Fac.GRN, aux membres du corps académique et scientifique de la FS, la Fac.GRN, l'IFA et l'ISEA ainsi qu'aux différents laborantins et laborieux travailleurs ayant collaboré au projet GESMOTD, pour avoir contribué à la réussite de ce travail. Nos remerciements s'adressent de même aux étudiants de différentes promotions, à la Fac.GRN, ayant participé activement à la réalisation de ce travail à travers l'accomplissement de leur mémoire.*

*Notre reconnaissance, enfin, à notre famille biologique. A notre épouse Mwayuma Amisi Annidas et tous nos enfants, tous les neveux du clan Pyame, les collègues membres d'APILAF et tous les frères et sœurs de la Dynamique pour l'unité des ressortissants du Maniema nous disons merci. A vous Pyame Déogratias représentant notre feu Papa Pyame Mwarabu Alphonse, et Pyame Bienvenue représentant notre mère Sheka Fatuma bien qu'encore en vie, merci. A tous les Pyame: Godé, Mado, Scola, Lumumba, enfin Gertrude partie prématurément, nous disons merci.*

# TABLE DE MATIERES

<i>Epilogue</i> .....	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i> .....	<i>iii</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>vi</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>vii</i>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>01</b>
0.1. <i>Contexte environnemental</i> .....	01.
0.2. <i>Problématique</i> .....	01.
0.3. <i>Objectif global</i> .....	02
0.4. <i>Objectifs spécifiques</i> .....	02
0.5. <i>Hypothèses</i> .....	02
<i>Chapitre premier : Expérimentation</i> .....	<b>03</b>
1.1. <i>Essai sur la restauration du sol (optimisation du profil) dans les 2 systèmes</i> .....	03
1.1.1. <i>Installation-gestion de jachères gramino-légumineuses à couvert fermé</i> .....	03
1.1.2. <i>Les pratiques fertilisantes en deuxième phase d'expérimentation</i> .....	05
1.2. <i>Evaluation de l'enracinement et des propriétés morfo-édaphiques et biologiques</i> .....	06
1.3. <i>Essai sur la riziculture pluviale venant après la jachère-engrais vert fertilisée</i> .....	06
1.4. <i>Affinage de l'évaluation du stock et du puits de C sous jachère-herbage agro-forestière</i> .....	06
1.5. <i>Analyses pédologiques aux laboratoires de l'Université de Gand en Belgique</i> .....	12
<i>Chapitre deuxième : RESULTATS ET DISCUSSION</i> .....	<b>13</b>
2.1. <i>Le rendement cultural</i> .....	13
2.2. <i>La densité racinaire et l'interface sol-racine (RLD) de l'agrosystème</i> .....	13
2.3. <i>Baisse de la température du sol superficiel et répression des adventices culturaux</i> .....	14
2.4. <i>Porosité du sol et densité des lombrics dans le profil cultural des agrosystèmes</i> .....	15
2.5. <i>Potentiel mycorhizogène, potentiel nodulant et densité des germes microbiens du sol</i> .....	15
2.6. <i>Phytomasse totale / phytomasse racinaire jachériale et saturation du sol en bases</i> .....	16
2.7. <i>Production de résidus organiques recyclables sous jachère dont les intrants racinaires</i> .....	17
2.8. <i>Biorémédiation de la fixation symbiotique de l'azote</i> .....	17
2.9. <i>Efficiences globale du système de culture en assiettes sous tapis vert</i> .....	18
2.10. <i>La séquestration nette du carbone dans les agro-écosystèmes</i> .....	19
2.11. <i>Affinage de l'évaluation du C des agro-forêts: l'approche par compartiments</i> .....	19
2.12. <i>Efficiences de la fertilisation organominérale et à la valorisation des eaux pluviales</i> .....	20
2.13. <i>Levée de la toxicité aluminique</i> .....	21
<i>Chapitre troisième : Discussion générale des résultats</i> .....	<b>23</b>
3.1. <i>Des espèces complémentaires, à haute biomasse et adaptées aux contraintes</i> .....	23
3.2. <i>Haute biomasse équilibrée, humification intense et levée toxicité aluminique</i> .....	24
3.3. <i>Le potentiel des jachères gramino-légumineuses et des stratégies de gestion ATV</i> .....	24
3.4. <i>La configuration spatiale alvéolaire d'ATV comme facteur d'efficience à la valorisation</i> .....	25
3.5. <i>L'effet prairial et l'augmentation du potentiel de photosynthèse sous tapis vert</i> .....	25
3.6. <i>Activité bio-mycorhizienne, séquestration de C et fertilité sous couvert permanent"</i> .....	26
3.7. <i>Accumulation de C dans les agro forêts de type "culture en assiettes sous tapis vert"</i> .....	26
3.8. <i>L'effet rhizosphère en lieu et place de l'effet litière de la région tropicale.</i> .....	27
3.9. <i>Principes de la culture en assiettes sous tapis vert</i> .....	28
<i>Conclusion et perspectives</i> .....	<b>28</b>



## **QUESTIONS DE RECHERCHE**

*2 questions de recherche forment le fil conducteur des investigations scientifiques envisagées:*

*(1). Vues l'exploitation non durable et l'occupation contraignante du sol sous Abattis-brûlis, n'est-il pas possible, en guise de conception technologique, de capitaliser et ordonner en structures spatiales alvéolaires, toutes les surfaces arables sans le feu d'une part (assiettes culturales) et toutes les formations radiculaires vivaces, appelées à procurer le couvert et l'humus, de l'autre (tapis vert), formant dès lors un système performant d'éco-agriculture ?*

*(2). Dans le souci de valoriser le potentiel climatique exceptionnel qui est le nôtre, et dès lors concrétiser l'effort de croissance et réduction de la pauvreté en RD Congo, ne devrait-on pas, fort de ce système de "culture en assiettes sous tapis vert", oser exploiter les terres dégradées périurbaines et savaniques si immenses, y établissant des puits de C substantiels, dans une combinaison stratégique de jachères, pâturages et plantations arboricoles multifformes ?*

## **INTÉRÊTS DE LA RECHERCHE**

*Cette thèse s'inscrit dans le plan d'action du projet GESMOTD, financé par VLIR-UOS, visant la réduction de la déforestation nette par la réhabilitation paysagère sur terroirs dégradés (puits C).*

*Elle donne, non des recettes toutes faites, néanmoins un fondement technologique muni de pratiques "site-spécifiques" de renforcement de performances, touchant la production vivrière de routine et l'intégration agro-sylvo-pastorale. Ceci pour la promotion socio-économique et la compétitivité des micro-entreprises agricoles paysannes, face à la concurrence liée à la globalisation des échanges commerciaux.*

*Cette recherche mène également à la sédentarisation agricole, perçue comme un extincteur potentiel des émissions de GES liées à la déforestation et à la dégradation du sol en zones forestières. Elle apparaît de même comme une initiative pionnière restauratrice de la biodiversité et des puits de C en zones fortement dégradées, aussi bien périurbaines que savaniques et prairiales, constituant les deux tiers de terres arables de l'Afrique subsaharienne.*

*Cette étude aide par ailleurs à attirer l'attention et à interpeller les principaux décideurs de la CCNUCC sur la nécessité d'une effective intégration, au marché autorégulé du C, des initiatives paysannes de séquestration du CO<sub>2</sub> dans le sol des systèmes agricoles et agro-forestiers, pour une atténuation plus significative du flux atmosphérique de GES.*

*Les fruits de la présente recherche pourraient également être exploités pour renforcer la formulation du PANA de la RD Congo. En effet celui-ci ne touche que la pure multiplication de semences vivrières et l'on parviendrait à l'élaboration et négociation d'un panel de projets plus large (RAP en reforestation agro-sylvo-pastorale et réhabilitation paysagère sur les terres dégradées périurbaines et savaniques par exemple). Cela dans le cadre des programmes climatiques MDP, REDD+ et PSE.*

## RESUME

*La mise au point de systèmes intégrés et multi fonctionnels d'agro foresterie, à potentiel aussi bien de séquestration de C, de sédentarisation agricole que de dépaupérisation paysanne, est aujourd'hui à l'avant plan des préoccupations de la CCNUCC. Elle permet à l'Afrique, notamment, de concrétiser l'effort de réduction de la déforestation et d'obtenir l'éclosion à domicile des stratégies climatiques mondiales. La culture en assiettes sous tapis vert (ATV), une approche conservatoire qui innove le système traditionnel d'Abattis-brûlis, se lance dans cette perspective.*

*Des essais factoriels ciblant un terroir fortement dégradé ont été organisés de 2008 à 2012, à Kisangani (RD Congo), pour en examiner la faisabilité et en mesurer tant les performances agronomiques que le potentiel d'atténuation face aux changements climatiques. Des dispositifs en blocs randomisés complets confrontant les 2 systèmes (Tapis vert et Abattis-brûlis) ont été adoptés. Des analyses pédologiques comprenant la texture, la structure, DA, pH,  $N_{tot.}$ , CO, Ca, Mg, K, Na, P, sat. bases (%), sat. Al (%), ont alors été effectuées suivant les modalités opératoires présentées par Pauwels et al. (1998).*

*L'évaluation des propriétés biologiques concernait alors les germes microbiens totaux (Lambert, 1987 ; Kazadi, 2012), les lombrics totaux (Lavelle, 1973, 1983 ; Lavelle et al, 1997), le potentiel mycorhizogène du sol (Vierheilig et al., 1998) et le potentiel nodulant du sol (Martin et Lemanceau, 2007). Enfin, des prospections morpho-édaphiques (De Blic, 1990 ; Gballou et Gnahoua, 1990), des analyses dendrologiques (Lokombe, 2013) et l'évaluation du C de divers compartiments du sol (Séguy et al., 2002 ; Jones, 2001, 2007) ont permis d'établir une approche multicritère fiable de mesurage des puits C jugée plus adaptée aux agro forêts complexes.*

*Les résultats obtenus indiquent, pour le nouveau système, une nette amélioration ( $p < 0,001$ ) des rendements cultureux, des majeures propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et du potentiel tant à la séquestration du C qu'à la valorisation des engrais et des eaux pluviales. La contribution aux performances observées (variance) est de 90% pour le facteur "système ATV" contre 1% pour "l'engrais NPK" lui associé.*

*Ceci permet d'affirmer que la "culture en assiettes sous tapis vert" peut, en agriculture urbaine sur sol dégradé, se substituer valablement au système traditionnel d'Abattis-brûlis. Le fondement de ces performances s'observe dans la haute production d'intrants organiques recyclables et la protection antiérosive par la jachère-herbage à *Mucuna pruriens*, *Pennisetum purpureum* et *Albizzia chinensis*. Soit 37 tMS/ha/6mois dont 12 d'intrants racinaires (5 et 1,3 t pour Abattis-brûlis).*

*Enfin, l'évaluation multicritère entreprise a conduit à l'éclatement du réservoir carboné en 5 compartiments spécifiques, en plus de la strate arborée faisant l'exclusivité dans la méthode d'évaluation du carbone forestier, se révélant dès lors plus méticuleuse que celle-ci. Ce qui pousse à la recommander pour les agro forêts complexes, du fait qu'elle tient bien compte de l'intégralité et de la spécificité des compartiments écologiques du système sol-végétation.*

**Mots clés:** Culture en assiettes sous tapis vert, Abattis-brûlis, sol dégradé, changement climatique, agro forêt.

## ABSTRACT

*Designing integrated and multi functional agro forestry technologies, with high potential of both C sequestration, cropping settlement and poverty alleviation, is now at the forefront of the UNFCCC concerns. It allows Africa, in particular, to materialize deforestation reduction efforts and get at home the full accomplishment of global climate strategies. Cropping in plates under green carpet (PGC), a conservative approach that innovates Slash-and-burn traditional system, is outstanding in this way.*

*Factorial trials targeting highly degraded land were organized from 2008 to 2012 at Kisangani (DR Congo) to examine the feasibility and measure both its agronomic performance and its mitigation potential to address climate change. Randomized blocks devices comparing the 2 systems (PGC vs Slash-and-burn) were adopted. Soil analyses including texture, structure, AD, pH, Ntot., OC, Ca, Mg, K, Na, P, bases sat. (%), Al sat. (%), were then carried out according to the operating modalities described by Pauwels et al. (1998).*

*Evaluation of the biological properties concerned total microbial germs (Lambert, 1987; Kazadi, 2012), total earthworms (Lavelle, 1973, 1983; Lavelle et al, 1997), the mycorrhizal potential of soil (Vierheilig et al, 1998) and nodulating potential (Martin and Lemanceau, 2007). Finally, morpho-edaphic surveys (De Blic, 1990; Gballou and Gnahoua, 1990), dendrological analyzes (Lokombe, 2013) and evaluation of various C soil compartments (Seguy et al., 2002; Jones 2001 2007) have established a reliable multi-criteria C quantification approach, that is expected more suitable for complex agro forestry systems.*

*The results show, for the new system, a significant improvement ( $p < 0.001$ ) of crop yields, of physical, chemical and biological properties and C sequestration potential as well as fertilizers and rainwater use efficiency. The contribution to the observed performance (variance) is 90% for factor "ATV system" against 1% for "NPK" associated with it.*

*This shows that "Cropping in plates under green carpet" system can, in urban agriculture on degraded land, validly replace the traditional system of Slash-and-burn. The basis for this performance is observed in the high production of recyclable organic inputs coupled to the better erosion-protection of soil by *Mucuna pruriens*, *Pennisetum purpureum* and *Albizzia chinensis* fallow grassland. The biomass being 37 t DM/ha/6months including 12t of root inputs (5 and 1.3 t for Slash-and-burn).*

*In conclusion: C tank, in the case of agro-forestry fallow grassland, can be split into 6 ecological compartments, namely the organominéral soil layer limited to 30 cm (46.2 %), the tree stratus (18%), the herbaceous stratus (12.8 %), the litter layer (12.2 %), the "New Top Soil" layer (6.2 %) and the compost generated by the agro-ecosystem and held in reserve (5.6 %). This observation allows us to recommend, for C stocks evaluation, the multi-criteria approach used which cheek carefully all ecological compartments of the agro forestry system.*

**Key words:** *Cropping in plates under green carpet; Slash-and-burn; degraded land; climate change; agro forest*



# INTRODUCTION

## 0.1. Contexte environnemental

*L'Afrique tropicale humide affiche ce que les scientifiques qualifient de «croissance démographique vertigineuse», «réponses désastreuses ou changements climatiques apocalyptiques» et «globalisation impondérable des échanges commerciaux». D'où la nécessité d'une réévaluation et redéfinition des systèmes agricoles et des stratégies de gestion en vigueur.*

*La pratique de culture itinérante sur brûlis, évoluant vers la culture-brûlis continue, associée à la carence de fourrages, voire à l'inexistence de pâturages, se solde par une faible productivité globale, une insécurité alimentaire, une pauvreté chronique et une déforestation croissante.*

*Paradoxalement, le contexte agro-technique des terroirs dégradés d'Afrique forestière, marqué par un usage modéré de fertilisants et pesticides chimiques, est largement favorable au développement des mycorhizes. Ces derniers s'avèrent pourtant très prometteurs en éco-agriculture pour un développement tropical durable. Cela implique toutefois qu'il faille quitter les brûlis champêtres pour des pratiques conservatoires de l'agriculture.*

*En effet, le paysan de jadis (paysan écolo) était caractérisé par un génie inventif dévoilant à la fois le souci d'une parfaite adaptation au contexte du milieu et d'une constante sauvegarde du potentiel de production via l'entretien de la matière organique du sol. Aussi, de l'avis des experts en éco-agriculture, la gestion de matières organiques sous les tropiques humides implique-t-elle toujours de promouvoir la production de biomasse et la couverture du sol sur les terroirs cultivés.*

*A y voir de prêt, à la récolte de riz, par exemple, l'on s'aperçoit que le «paysan écolo» aura semé sur des «assiettes culturelles» écarlates bordées de troncs d'arbres jonchant le sol, sous un «tapis vert» de souches en pleine régénération ! Et, par capitalisation, nous avons mis au point le système novateur dénommé «culture en Assiettes sous Tapis vert» ou ATV.*

*ATV reflète donc un souci constant d'adaptation agro-écologique (maintien d'une végétation luxuriante sous culture) et de valorisation maximale du potentiel climatique (entretien d'une rhizo-structure vivace) se traduisant par une constante sauvegarde du potentiel de production.*

## 0.2. Problématique

*Dans les fermes agricoles urbano-rurales, aux sols dégradés, la pratique d'abattis-brûlis, couplée à l'inexistence de pâturages et boisements multi-usage, entraîne une faible productivité globale, une insécurité alimentaire et une pauvreté chronique. Celle-ci vulnérabilise fort le ménage agricole. Elle entretient une déforestation croissante qui, à travers l'érosion et le ruissellement, vulnérabilise les écosystèmes de production et, par ses émissions de GES, perturbe durablement l'environnement local et global (Boudet, 1978 ; Stover et al., 2009 ; Strosnijder, 2012). Cette problématique clé trouve son soubassement sur trois problèmes majeurs, à savoir : (1) inexistence*

*de paquets technologiques d'éco-agriculture, genre système intégré et balancé, comme substitut au système d'Abattis-brûlis (Goedert, 1985 ; Kobayashi, 2004), (2) pas de méthode de mesurage des puits C adaptée aux agro-forêts complexes et fermes paysannes minuscules, (3) pas de résultats d'étude de terroirs dégradés, touchant les modalités de production/gestion d'intrants racinaires en milieu souterrain, pour y rétablir la fécondité et le puits de C. En effet, les racines des graminées vivaces détiennent, sous les tropiques, un potentiel insoupçonné, du reste inexploré, lié à l'humification et restauration de sols dégradés (Whyte, 1959; Morel et Quantin, 1964; Callot et al., 1982).*

*Aussi pour survivre, plutôt que de tirer avantage du potentiel climatique phénoménal lié à la production de biomasse, en établissant des puits de C substantiels sous agro-forêts, le cultivateur africain passe sa vie à couper, brûler et anéantir la riche biodiversité des forêts tropicales, accélérant, par là, le réchauffement planétaire et les changements climatiques qui le frappent.*

### **0.3. Objectif global**

*L'objectif global de l'étude est de contribuer à la mise sur pied d'un paquet technologique d'éco-agriculture type ATV, du genre système intégré et balancé, susceptible d'améliorer les propriétés agronomiques sur sols dégradés, de même qu'à l'accroissement de la résilience (réduction de la vulnérabilité) écologique et sociale en zones forestières dégradées, grâce à la valorisation stratégique des puits de C et à l'affinage de leur mesurage sous agro forêt complexe.*

### **0.4. Objectifs spécifiques**

*Il s'agit de :*

- 1. Etablir, à travers l'expérimentation agronomique, les prospections morpho-édaphiques et des analyses de laboratoire, que la culture en assiettes sous tapis vert induit, sur terroir dégradé, une amélioration tant des rendements cultureux que des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol;*
- 2. Etablir, comparativement au système traditionnel d'Abattis-brûlis, que la culture en assiettes sous tapis vert entraîne, sur sol dégradé, une plus haute efficacité tant à la séquestration du carbone atmosphérique qu'à la valorisation des engrais et des eaux pluviales ;*
- 3. Mettre sur pied, à travers une procédure méticuleuse faite de travaux d'inventaire forestier, de prospections morpho-édaphiques et d'analyses pédologiques et dendrologiques, une approche multicritère fiable d'évaluation de puits de C, spécifique aux agro-forêts complexes.*

### **0.5. Hypothèses**

*Trois hypothèses sont de même alignées, à savoir :*

- 1. Le système de culture «en assiettes sous tapis vert» conduirait, sur terroir dégradé, à une nette amélioration des rendements du riz pluvial et des majeures propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.*

2. Sur terroir dégradé, la séquestration du C dans la jachère-herbage agro-forestière type ATV, plus active qu'en système Abattis-brulis, serait considérable en termes de stock et de puits, manifestant une plus haute efficacité à la valorisation des engrais et des eaux pluviales.
3. Sous agro forêt complexe, cinq pools nouveaux, outre la strate arborée admise dans les inventaires de C forestier, à savoir (1) le sol organominéral, (2) la litière-mulch, (3) la strate de sol organique générée sous litière, (4) la strate herbacée et (5) les composts produits in situ, présenteraient un intérêt comparable comme stock et puits de C, imposant une approche multicritère d'évaluation.

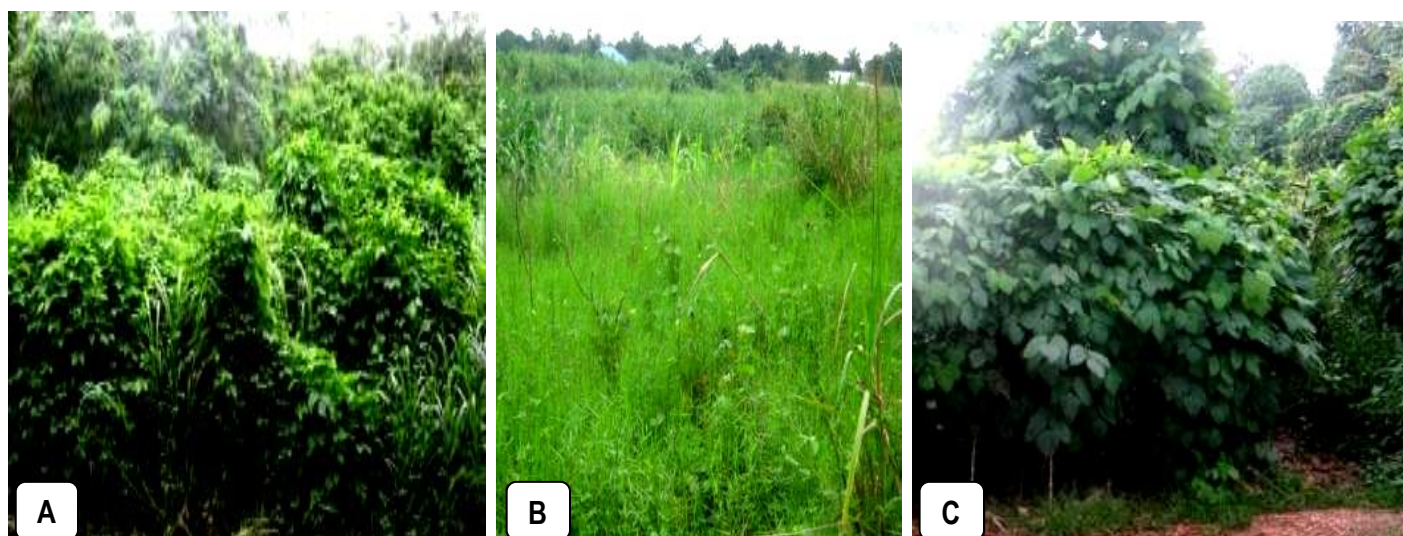
## Chapitre premier : **EXPERIMENTATION**

L'expérimentation comporte cinq points saillants à savoir :

- ✓ Essai sur la restauration du sol (optimisation du profil cultural) sous les 2 systèmes de production;
- ✓ Essai sur l'évaluation de l'enracinement et des propriétés morpho-édaphiques et biologiques ;
- ✓ Essai sur la riziculture pluviale venant après la jachère-engrais vert fertilisée ;
- ✓ Affinage de l'évaluation des puits de C sous jachère-herbage agro-forestière : approche par compartiments ;
- ✓ Analyses pédologiques aux laboratoires de l'Université de Gand en Belgique

### **1.1. Essai sur la restauration du sol (optimisation du profil cultural) sous les 2 systèmes**

#### **1.1.1. Installation-gestion de jachères gramino-légumineuses à couvert fermé**

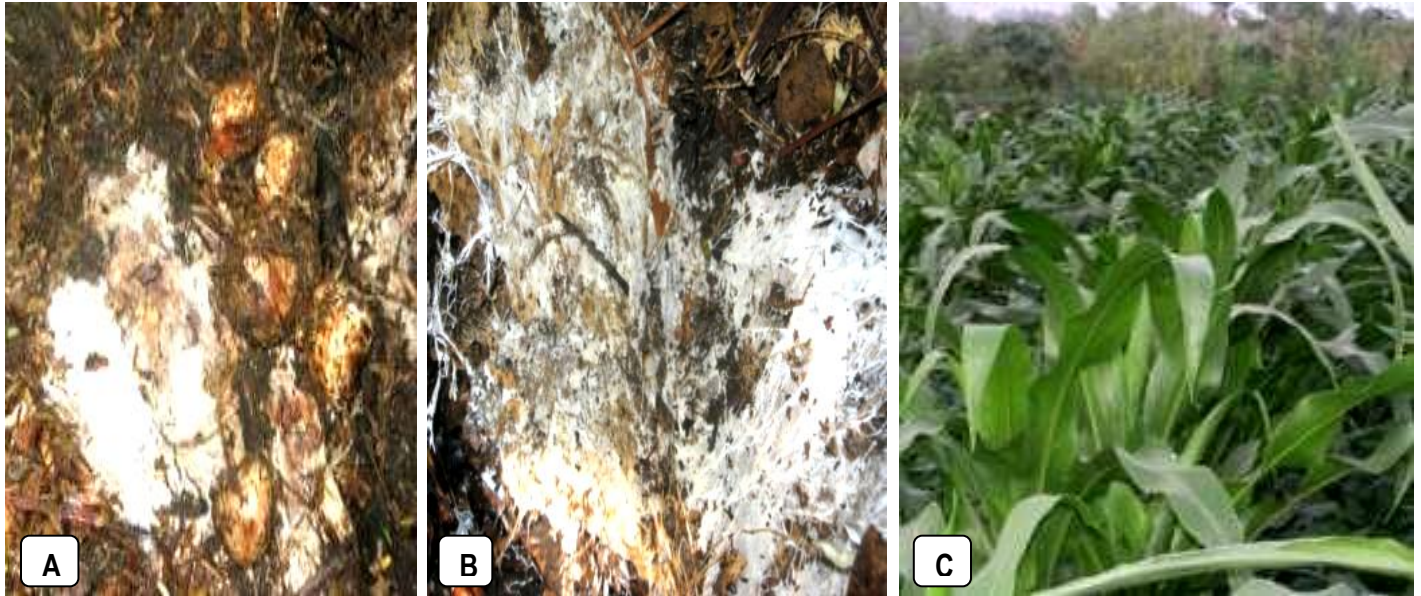


**Fig.1 (A, B, C). La jachère de 6 mois, alternant avec 2 cycles trimestriels d'éco-agriculture, durant l'optimisation du profil cultural. A et C, 2 variantes du système ATV, produisent une riche biomasse 10 fois plus abondante que le système d'Abattis-brûlis (B).**



**3 points développés**

- ✓ Développer, sur terre dégradée, une stratégie de restauration efficace faisant recours aux structures racinaires gramino-légumineuses vivaces ;
- ✓ Promotion d'un dense réseau racinaire chevelu, production d'humus et stimulation de l'activité biologique, pour l'optimisation du sol sous jachère-engrais vert (tapis rhizo-bio-organique) ;
- ✓ La prédigestion de fertilisants par la jachère et l'immobilisation microbienne transitoire de nutriments sous mulch, 2 stratégies de gestion (capitalisation minérale) spécifiques au système ATV.



**Fig.2. (A, B, C). Sous ces jachères-engrais vert gramino-légumineuses luxuriantes et hautement productives, l'on observe le plus souvent, sous l'épaisse couche de litière, une activité biologique florissante se traduisant par une mycorhizosphère très développée**



**Fig.3 (A, B). Au terme de la période de « dressage » du sol par fertilisation organominérale, l'on a eu des résultats très contrastés. A gauche (A), le profil cultural du système d'Abattis-brûlis est resté quasi inaltéré à l'issue des pratiques culturales fertilisantes, la couche humifère se limitant dès lors à 3-4 cm de surface. A droite (B), un profil entièrement transformé (30-40 cm) avec la culture en assiettes sous tapis vert, à la suite d'une haute production d'humus et d'une interface sol-racine extrêmement développée.**



### 1.1.2. Les pratiques fertilisantes en deuxième et dernière phase d'expérimentation



Fig.4 (A, B). Ces images illustrent l'initiation-gestion du système ATV dans le secteur agro-sylvo-pastoral (jachère-herbage agro-forestière à amendements copieux).



Fig.5 (A, B). Ces images illustrent l'initiation-gestion du système ATV dans le secteur agro-pastoral (jachère-engrais vert fertilisée).

Deux variantes de jachère améliorée ont cependant été distinguées et installées sur des dispositifs expérimentaux bien distincts. Il s'agit de la "jachère-engrais vert fertilisée aux microdoses d'engrais pour une phase de riziculture sans engrais" (dispositif A) et la jachère-herbage agro-forestière richement amendée (dispositif B), Une seule application massive de fumier (30 t de MS/ha) et de litière forestière à base de *Milletia laurentii* (30 t de MS/ha) a été effectuée sur le dispositif B. Sur le dispo A, on a appliqué les 3 stratégies de gestion ATV, à savoir (1) la prédigestion minérale de fertilisants par la jachère-engrais vert, (2) l'immobilisation microbienne transitoire de nutriments des plantes sous mulch-compost brut et (3) la mise en circuit biogéochimique à travers une création de tapis rhizo-bio-organique permanent



## 1.2. Evaluation de l'enracinement et des propriétés morpho-édaphiques et biologiques



Fig.6 (A, B, C). Germe-pépinière pour la production de rejets de *P. purpureum* (A), plantation de rejets dans les assiettes culturales et des boutures sur les bourrelets du tapis vert (B) et production impressionnante de biomasse aérienne et de tapis-chevelu racinaire débordant les pots de végétation, qui évoque le "tapis rhizo-bio-organique" de la strate rhizosphérique d'un sol richement amendé (C)

- Evaluation production primaire (biomasse fourragère, intrants organiques issus de jachère);
- Evaluation de la structure spatiale d'enracinement : planche d'enracinement (Young, 1990);
- Propriétés physiques et morpho-édaphiques (planche morpho-édaphique), selon De Blic (1990),
- Potentiel nodulant du sol (Martin et Lemanceau, 2007) et potentiel mycorhizogène (Vierheilig et al., 1998) ;
- Numération des germes microbiens aérobies mésophiles (Lambert, 1987; Kazadi, 2012) ;
- Numération de lombrics par profil (Lavelle, 1973, 1983; Lavelle et al., 1995; Mulotwa, 2001) ;
- Biorémédiation de l'activité symbiotique des légumineuses non nodulantes (Martin et Lemanceau, 2007)

## 1.3. Essai sur la riziculture pluviale venant après la jachère-engrais vert fertilisée

Fig.07-12

1. Etablissement des jachères-engrais verts à *Mucuna-Pennisetum*
2. Soins d'entretien et pratiques fertilisantes sous jachère-engrais vert
3. Façons culturales et semis du riz
4. Soins d'entretien et pratiques fertilisantes en phase culturale (riziculture) ;
5. Récolte, traitement et évaluation des rendements (riz-paddy, pailles, intrants racinaires, riz global)
6. Evaluation de la densité apparente et de la porosité à la récolte du riz
7. Efficience de la fertilisation organominérale et efficience à la valorisation des eaux pluviales

## 1.4. Affinage de l'évaluation de puits de C sous jachère-herbage agro-forestière amendée

Fig.13-17

1. Taux de carbone organique, poids de sol organominéral et masse de C séquestré (ATV et Brûlis);
2. Evaluation du nouveau sol formé en surface (Jones, 2001 ; Séguy et al., 2002) et du C séquestré;
3. Evaluation de masse de racines, des souches et de la phytomasse du tapis herbacé (ATV et Brûlis);
4. Evaluation du tonnage de litières et des composts du peuplement, (concernant la strate arborée : 5-9)
5. Le diamètre quadratique et l'indexage de l'arbre moyen pour différents peuplements ;
6. Evaluation in situ de la biomasse et de l'indice de MS des différents compartiments de l'arbre moyen;
7. Evaluation de la densité et de la partition "écorce/bois" pour les différentes fractions de l'arbre moyen
8. Evaluation de divers indices pondéraux et du niveau de séquestration du C par les arbres
9. Evaluation du stock/puits de C pour les différents compartiments et l'agro-écosystème en entier.





**Fig.7 (A, B, C). Dessouchage-hachage de la jachère-engrais vert à la machette. Toute la biomasse aérienne et souterraine de l'imposante jachère graminéo-légumineuse est ainsi transformée en intrants organiques pour la phase culturale : associée à du fumier avec des microdoses d'engrais, elle produit du mulch-compost brut qui amplifie l'effet fertilisant. A et B sont des jachères de 4 et 2 mois rasées précocement pour s'adapter au calendrier des pluies. Mucuna est en pesée au dehors.**





**Fig. 8.** Guidé par les cordes de semis matérialisant les futures lignes ou lits de semis, à la suite d'un piquetage soigneux, le semeur s'emploie d'abord à confectionner, en écartant précautionneusement le mulch de ses 2 mains, des plages culturales de 20 cm de large intercalant ainsi des bandes de 30 cm de mulch-compost brut. Le riz est ensuite semé au bâton fousseur après râtelage sommaire: des lignes jumelées espacées de 20cm passent tous les 30cm longeant les bandes dénudées et plaçant les poquets tous les 15cm.



**Fig. 9.** Image illustrant la levée du riz sur le secteur agro-pastoral de l'expérimentation (hors boisements : planté à 20x15cm entre bandes recouvertes de mulch-compost brut. Replantation tardive du tapis vert permanent supprimé (à éviter) suite à un développement très luxuriant du *Mucuna pruriens* sous la jachère-engrais vert. Ceci a permis d'occuper pleinement les assiettes culturales.





**Fig.10 (A-D). Dans le système ATV, le sarclage n'est pas un problème de taille comme c'est le cas sous jeunes jachères en culture itinérante sur brûlis. La taille des haies herbacée et/ou arbustive, beaucoup moins laborieuse, exige un régime de gestion propice pour planter le riz très avantageusement sous boisement dense. L'effet résiduel des engrais très manifeste dans la jachère reconstituée (D).**



**Fig. 11. Pendant ce temps, du matériel de propagation était en conditionnement en pots de végétation : plants d'*A. chinensis* (A) et éclats de souche de *P. purpureum* (B) destinés à être transporté jusqu'aux champs de R.M.R., constituant les essais en milieu paysan. Suite logique de nos essais en station de recherche sur le potentiel mycorhizogène et la mycorhization culturale (souches indigènes de champignons mycorhiziens issues de la jachère).**





Fig. 12

**Evaluation du stock et puits de C de jachère-herbage agro-forestière type ATV: terroir AA (18 mois, Haut de pente)**



Fig. 13

**Evaluation du stock et puits de C de la jachère-herbage agro-forestière type ATV : terroir AB (18 mois, Mi-pente)**





FIG. 14.

**Evaluation du stock et puits de C de jachère-herbage agro-forestière type ATV: terroir AC (18 mois, Bas de pente)**



FIG. 15.

**Evaluation du stock et puits de C de la jachère-herbage agro-forestière type ATV : terroir AD (18 mois, Bas fond)**





Fig. 16

Jachère-herbage agro-forestière intégrant caféière, une variante de l'option agro-forestière non considérée ici

### 1.5. Caractérisation chimique du sol, pour les systèmes ATV et Brûlis (Pauwels et al., 1992)



17



18

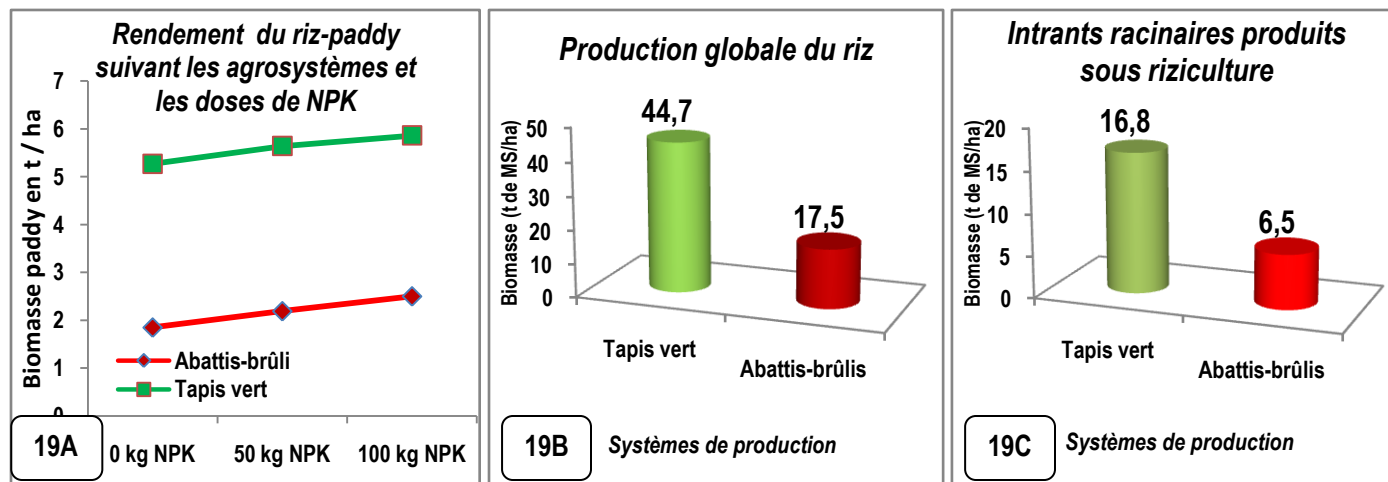
**Analyses pédologiques au laboratoire de l'Université de Gand, en Belgique (janvier à mars 2011)**

(1) pH à l'eau, (2) p<sup>H</sup> au kcl, (3) l'azote total, (4) le carbone organique, (5) la matière organique, (6) la capacité d'échange cationique, (7) l'acidité totale échangeable, (8) l'aluminium échangeable, (9) le phosphore organique, (10) le phosphore assimilable, (11) les bases échangeables à savoir (12) le calcium, (13) le magnésium, (14) le potassium et (15) le sodium.



## Chapitre deuxième **RESULTATS ET DISCUSSION**

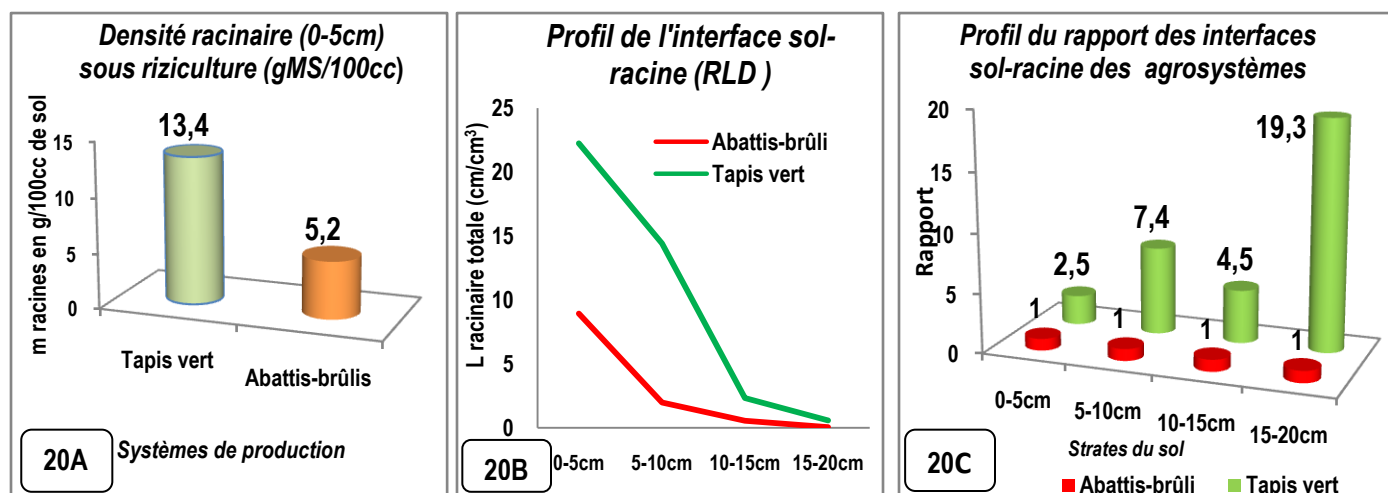
### 2.1. Le rendement cultural du riz pluvial



Il se dégage une supériorité de Tapis vert face à Abattis-brûlis de 2,6 fois. D'emblée, l'effet prairial et l'effet buvard minéral de la jachère graminéo-légumineuse sont doigtés renforcés par les 3 stratégies de capitalisation minérale du système ATV. Séguy et al. (2002) rapportent 6 t et 5 t pour le SCV pratiqué au Brésil et à Madagascar.

Comme facteurs explicatifs de ces hauts rendements : (1) l'effet du zéro labour combiné au mulching et à la fertilisation organominérale (Ishaq et al., 2003 ; Li et al., 2008 ; Mazonchini et al., 2011 ; Melero et al., 2011 ; Smith et al., 2011), (2) la plus haute production de riches intrants organiques par la jachère-engrais vert graminéo-légumineuse combinée au labour minimum (Séguy et al., 2002 ; Tsuji et al., 2006 ; Saito et al., 2010), (3) l'effet isolé du *Mucuna pruriens* comme substitut aux herbicides chimiques, à la fertilisation azotée et à l'irrigation (Kushwaha et al., 2000 ; Roscoe et Buurman, 2003) et (4) l'effet du fumier dans les traitements fertilisants, ce dernier libérant l'ion  $NH_4^+$  qui favorise ainsi une synchronisation « offre-demande minérale » plus étalée (Olsen, 1986 ; Chen et al., 2007).

### 2.2. La densité racinaire et l'interface sol-racine (RLD) de l'agrosystème



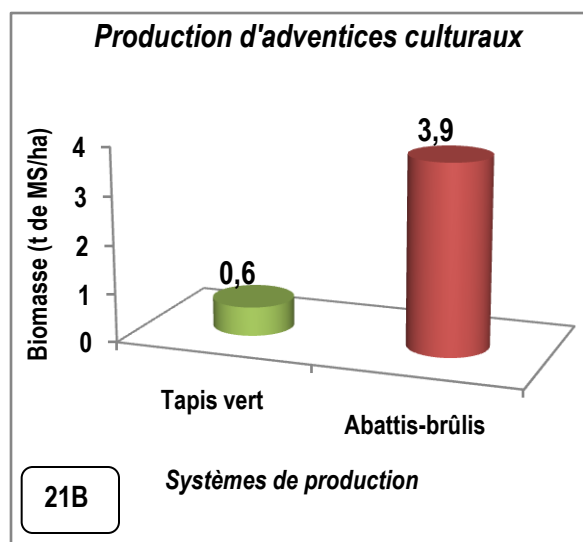
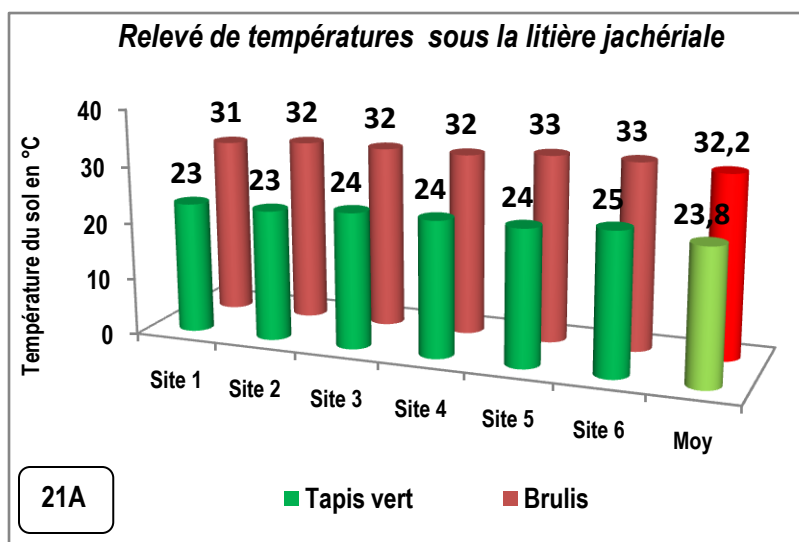
Il se dégage de ces figures que "Tapis vert" présente face à "Abattis-brûlis", pour la tranche de sol de 0-5 cm, une densité racinaire et une interface sol-racine 2.5 fois plus élevées. Divers facteurs de performance sont évoqués.

(1) L'effet prairial : les cultures et prairies gérées sous zéro labour développent une forte densité racinaire et demande hydrominérale, créant souvent de conditions de stress (Yang, 2004, 2005 ; Herold et al., 2014) et se révélant plus exhaustives, plus efficaces à l'exploitation du sol que celles sous labour (Carvalho et al., 2012).

Cela, entre autres, (2) grâce à une colonisation mycorhizienne plus accrue en conditions marginales et, dès lors, à une plus haute activité phosphatasique induite en réponse à des besoins métaboliques croissants (Schreiner et al., 2007 ; Stover et al., 2012).

Enfin, (3) l'élaboration structurale, la porosité et l'intensité de l'activité biologique sont toujours très fortement corrélées à la densité racinaire (Mc Kenzie, 2013 ; Peigné et al., 2013).

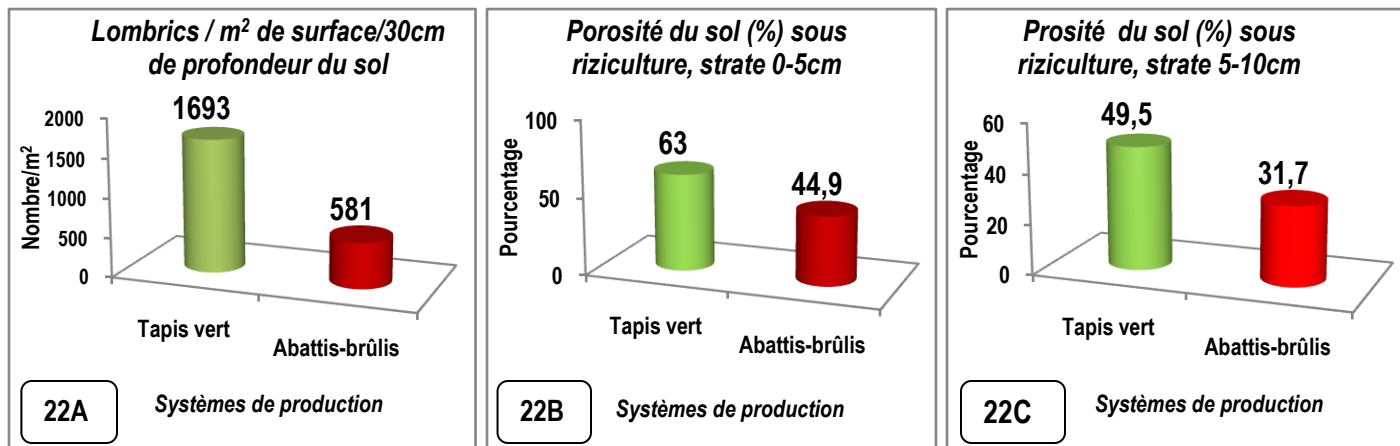
### 2.3. Effets sur la baisse de température du sol et la répression des adventices culturaux



Il apparaît une sensible réduction de la  $t^{\circ}$  du sol superficiel et des adventices culturaux, la moyenne passant de  $32,2^{\circ}\text{C}$  à  $23,8^{\circ}\text{C}$  et de  $3,9\text{ tMS/ha}$  à  $0,6\text{ tMS/ha}$ , respectivement: Cela s'explique par "l'effet écran para soleil" : la dense jachère graminéo-légumineuse qui forme un tapis tri étagé (végétation, litières et systèmes racinaires) faisant écran aux rayons solaires, tempérant l'atmosphère du sol, et puisant la quasi-totalité de ressources hydrominérales au détriment du métabolisme des adventices culturaux au ras du sol.

Les effets répressifs des adventices sont en général attribués soit (1) à l'établissement, dans le cadre d'une agriculture de précision, des assiettes alimentaires, planches culturales ou billons comblés d'intrants organiques (Kurstjens, 2008 ; Usman et al., 2010 ; Flores-Delgadillo et al., 2011) ou (2) à l'effet de denses jachère-engrais verts graminéo-légumineuses (Saito et al., 2010), soit (3) à l'emploi de pratiques conservatoires d'agriculture, surtout celles établissant en permanence un mulch épais de végétaux vivants et résidus culturaux (Gruber et al., 2012 ; Mishra et Singh, 2012), soit enfin (4) à la synthèse, par certaines espèces jachériales, d'isolats bactériens caractérisés de malherbo-suppresseurs (Kremer et Li, 2003 ; Soane et al., 2012).

## 2.4. Porosité du sol et densité des lombrics dans le profil cultural des agrosystèmes



Il se dégage une supériorité de Tapis vert face à Brûlis de 3 fois, en ce qui concerne la densité des lombrics (1693 contre 581 indiv. /m<sup>2</sup>), et une amélioration de la porosité de 40% et 56% pour les strates de 0-5 cm et 5-10 cm.

Une densité variable de lombrics est reportée par plusieurs auteurs confrontant le zéro labour au labour conventionnel: 80 contre 49 (Norgrove et al., 2011), 81 contre 52 (Xu et al., 2013), 319 contre 61 (Errouissi et al., 2011), 572 contre 280 (Schmidt et al., 2003). La plus haute densité enregistrée atteint à peine le tiers de celle sous Tapis vert !

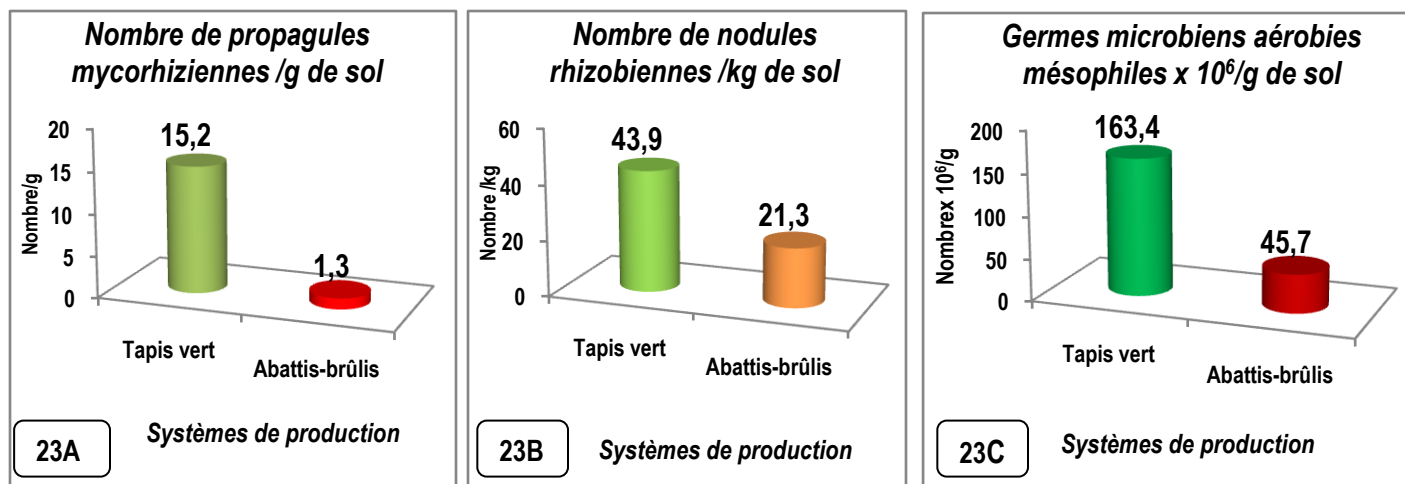
(1) Les hautes densités de lombrics enregistrées dans cette expérimentation sont attribuées aux conditions climatiques favorables, à la texture lourde argilo-limono-sableuse, mais aussi et surtout une production exceptionnelle d'intrants organiques recyclables par la dense jachère-herbage à *Mucuna pruriens* et *Pennisetum purpureum*.

(2) Aussi, l'application équilibrée d'intrants organiques à graminées-légumineuses stimule-t-elle l'activité des vers de terre, influant sur la dynamique des agrégats et la macroporosité (Erikson et al., 2009; Jouquet et al., 2012).

(3) La porosité dans ces strates de surface est subséquente au labour biologique et à l'activité agrégeante aussi bien des racines que des bioagents édaphiques notamment les lombrics (haut potentiel de cisaillement du sol).

(4) Bien que de nombreux facteurs puissent contribuer à l'agrégation (excrétas racinaires, sucs microbiens, mycélium extraradical des CMA), l'action de lombrics reste la plus déterminante, rendant dès lors plus effective la contribution multiforme des substances labiles (BMC, BMN) émanant du métabolisme (Bohlen et al., 2002).

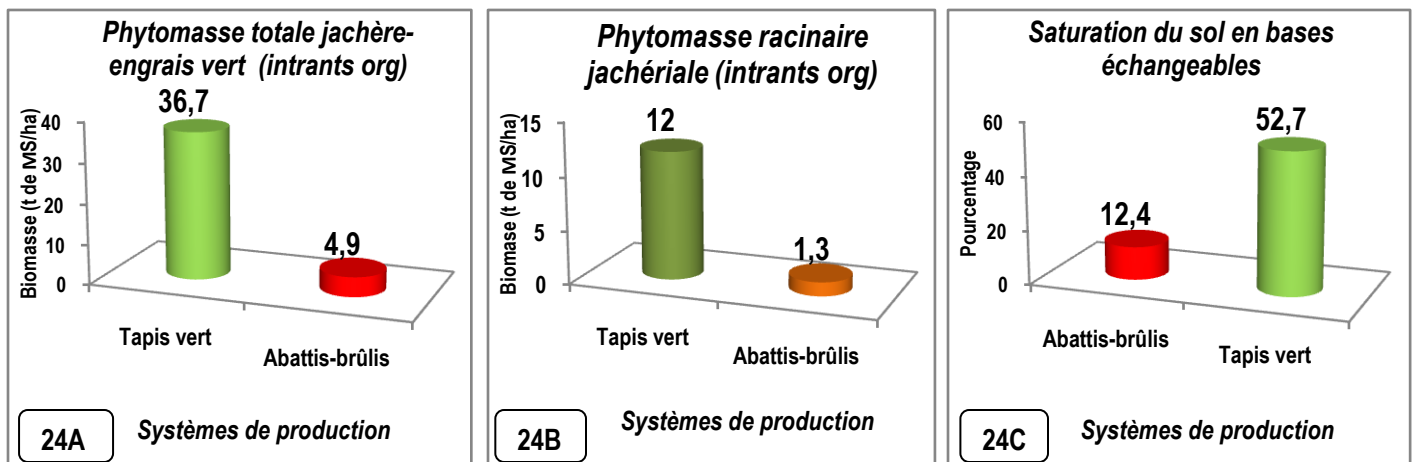
## 2.5. Potentiel mycorhizogène, potentiel nodulant et densité des germes microbiens du sol



Il apparaît une supériorité de Tapis vert de près de 12, 2 et 4 fois en ce qui concerne respectivement la densité de propagules mycorhiziennes, de nodules rhizobiennes et de germes microbiens aérobies mésophiles (15.2 contre 1.3 /g, 43.9 contre 21.3 /kg et  $163,4 \times 10^6$  contre  $45.7 \times 10^6$  /g).

Plusieurs points de performances ont été évoqués par de nombreux auteurs. Il a été souligné (1) l'effet du zéro labour, du taux élevé de CO et du chevelu racinaire vivace dans la prolifération mycorhizienne et l'activité biologique (Carpenter-Boggs et al., 2003 ; Plenchette et al., 2005 ; Panuara et Tarafdar, 2006), (2) le rétablissement de la micromorphologie sur sols dégradés, corrélativement à un enracinement très prospectif (Roldán et al., 2007 ; Wang et al., 2010); (3) le pré-établissement stratégique de cultures hautement mycotrophes qui élève substantiellement le potentiel mycorhizogène du sol (Panja et Chaudhuri, 2004).; (4) les effets du climat tropical sur la prolifération des microbes; d'où leur rôle de réservoir à nutriments (Traoré et al., 2007; CIRAD, 2013) ; (5) l'effet de pratiques d'AC couplées à l'intégration graminées-légumineuses (Plenchette et al., 2005; Wang et al., 2010) et (6) la diversité génétique et la multifonctionnalité légendaire des CMA qui leur confèrent la plus grande habilité à affronter des situations stressantes les plus diversifiées (Miransari et al., 2009)

## 2.6. Phytomasse totale / phytomasse racinaire jachériale et saturation du sol en bases



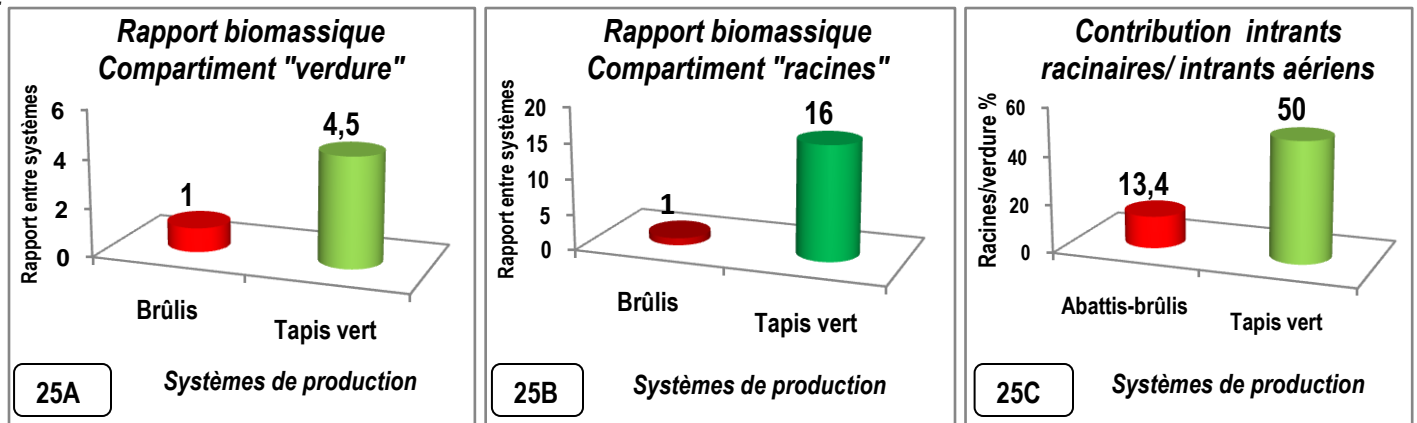
En confrontant Tapis vert à Brûlis, la phytomasse totale, la phytomasse racinaire et la saturation du sol en bases sous la jachère-engrais vert sont de 36.7 contre 4.9 t MS/ha, de 12 contre 1.3 t MS/ha et 52.7 contre 12.4%, respectivement. Soit une supériorité de Tapis vert de 8, 9 et 4 fois.

Pour ces performances, il est évoqué, par de nombreux auteurs, une diversité de facteurs explicatifs.

L'on notera ainsi (1) l'importance d'un couvert vivant, à enracinement vigoureux et prospectif, comme relai de la fertilisation minérale ou buvard des nutriments pour valoriser les apports d'engrais (Vitousek, 1984 ; Jordan, 1985 ; Rosolem et al., 2002 ; Eekeren et al., 2010; Dube et al., 2012), (2) l'inclusion, dans les rotations, des prairies temporaires (jachère-engrais verts) comme alternative à la culture continue et aux amendements calciques, permettant par ailleurs d'augmenter la richesse en humus et en nutriments, l'activité biologique et les rendements culturaux (Gregorich et al., 2005 ; Thomas et al., 2007 ; Wriht et al., 2008 ; Pavinato et al., 2009; Martínez et al., 2013), (3) la stratégie d'intégration des légumineuses aux graminées vivaces, formant ainsi d'importants pools d'enrichissement, conservation et propagation mycorhizienne (Pande et Tarafdar, 2004), (4) l'application d'intrants de qualités diverses (minéralisation différée), régulant la dynamique des ions, pour aboutir à une plus haute synchronisation offre-demande minérale (Swift, 1984, 1985 ; Singh et al., 2007 ; Li et al. 2013) et (5) la pratique SCV.



## 2.7. Production de résidus organiques recyclables sous jachère dont les intrants racinaires



Il ressort des figures ci-dessus, confrontant les systèmes "Tapis vert" à "Abattis-brûlis", que la contribution des intrants racinaires face à ceux aériens est de 50 contre 13,4 %. L'importance de la production d'intrants racinaires sous Tapis vert est telle que 16 tMS sont opposées à chaque tMS générée sous Abattis-brûlis, la synthèse des intrants aériens se limitant à un rapport de 4/1. Un reflet de l'intensification-stratification de la colonisation racinaire.

Les raisons évoquées à cet effet sont multiples: (1) une stratification rhizosphérique du C et de nutriments est caractéristique à l'AC (Tiecher et al., 2012); (2) l'accumulation d'intrants en surface propre à l'AC génère une haute activité microbienne, stimulant dès lors la croissance racinaire (Salinas-Garcia et al., 2001 ; Wright, 2009 ; Dos Santos et al., 2011); (3) une sporulation assymbiotique de champignons mycorhiziens a été mise en évidence après excision de l'hôte (mort de touffes d'herbe), dans les secteurs souterrains (rhizosphère) comblés de CO (Gavito et Olsson, 2008 ; Lal, 2009b; Quilliam et al., 2010); (4) les galeries racinaires aménagées en période humide par le système racinaire jachérial sont une source de prospection racinaire et de mycorhization bien plus étendue pour la culture de rapport (Chen et Weil, 2011); enfin (5) la croissance racinaire est accélérée par les modalités d'une fertilisation balancée exercée au pied de la culture, à proximité immédiate de racines actives (Callot et al, 1982 ; Roose, 2007).

## 2.8. Biorémédiation de la fixation symbiotique de l'azote dans le système ATV

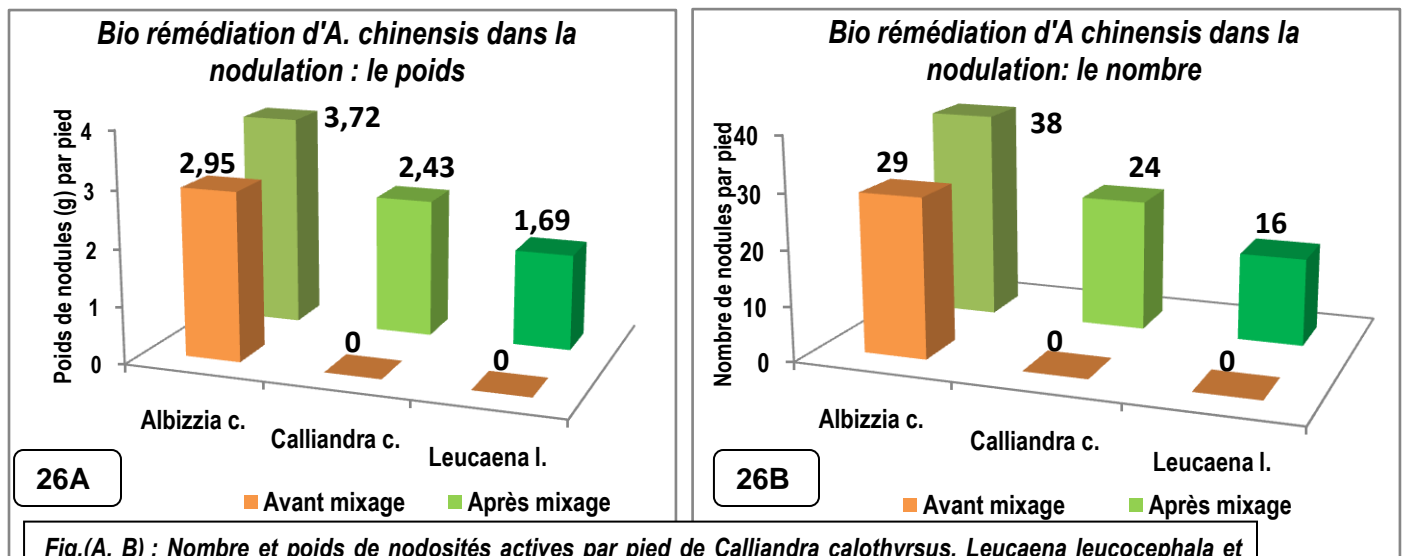
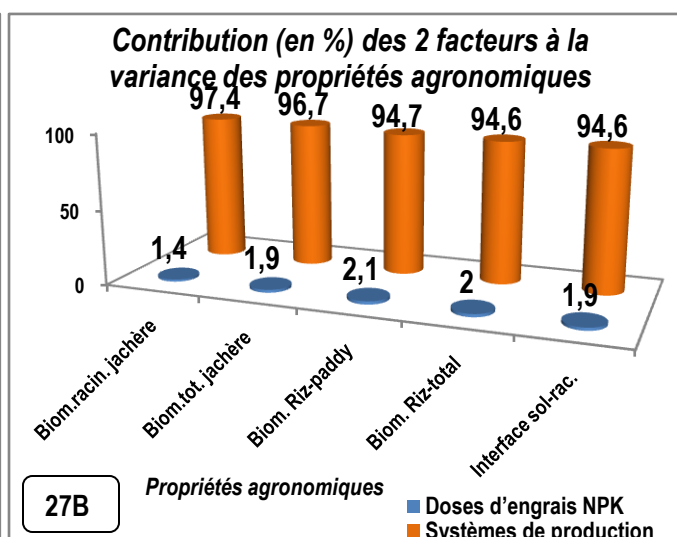
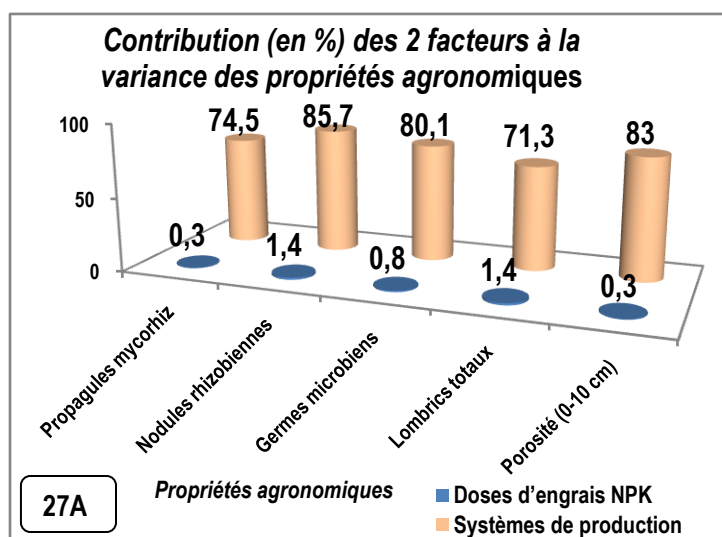


Fig.(A, B) : Nombre et poids de nodosités actives par pied de *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena leucocephala* et *Albizzia chinensis* avant et après mixage sur un substrat de pépinière exploité par ce dernier.

La leçon tirée ici est qu'en condition stressante dictée par la forte acidité, *Albizzia chinensis* évoluant en pépinière développe un potentiel de biorémédiation en induisant la nodulation des plantules congénères de légumineuses symbiotiquement inactives, à savoir *Leucaena leucocephala* et *Calliandra calothyrsus*».

Ce qui est justifié par : (1) l'activité mycorhizienne qui envahit de larges zones autour des pieds, établissant une mycorhizosphère commune à toutes les plantes congénères (Rejon et al, 1998 ; Bonikowsky, 2001 ; Jonson et Gehring, 2007), (2) les plantes d'une même mycorhizosphère exploitent en commun toutes les ressources y compris les souches rhizobiennes nécessaires à la nodulation (Duffy et Cassell, 2003 ; Dighton, 2009 ; Hua et al, 2010), (3) le champignon mycorhizien stimule largement l'émergence et la longévité des nodules chez les légumineuses (Andrade et al., 2000) et, (4) en modifiant la qualité et l'abondance de la microflore, le CMA mène à une nette altération de l'activité de la plupart des microbes de la rhizosphère (Hua et al., 2010) ; (5) il a été révélé aux USA une situation de partage et mise en commun de ressources et de l'infectivité pour des plantes congénères mycorhizosphériques se différenciant grandement dans leur sensibilité à la symbiose ou mycotrophie (Chen et al., 2005).

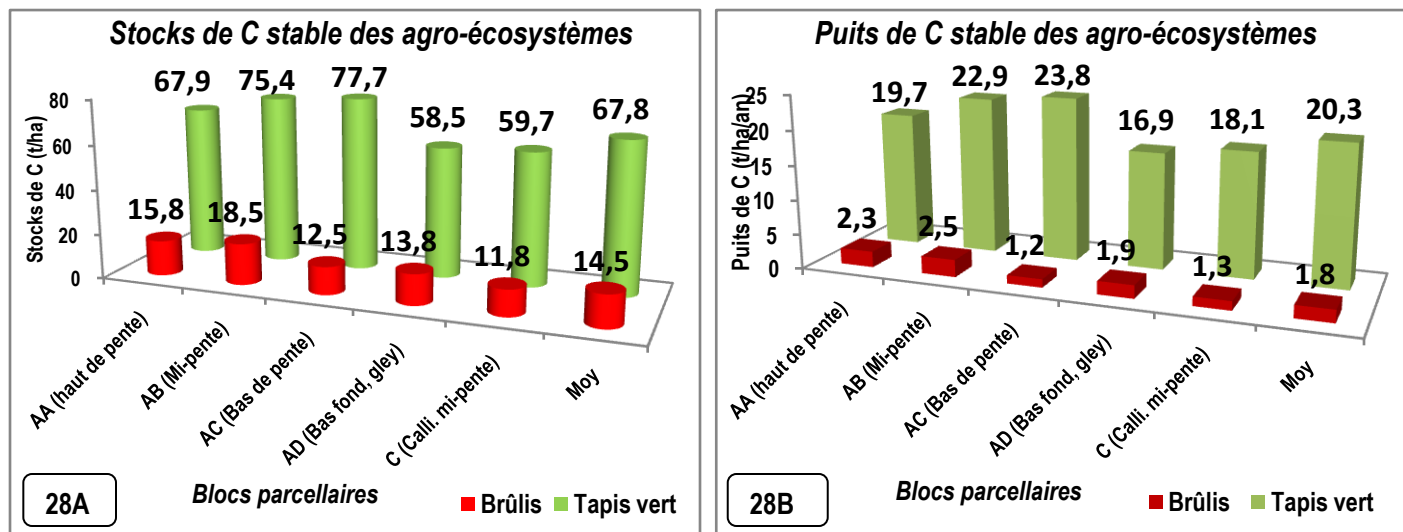
## 2.9. Efficience globale du système de culture en assiettes sous tapis vert



Ainsi, les performances observées dans cette étude se rapportent à environ 90% aux effets du système ATV avec ses pratiques de gestion. Par exemple, la toxicité aluminique généralisée sous couvert naturel doit être levée au préalable quelque soit la qualité et le niveau de l'engrais associé ! Les 3 stratégies de gestion ATV ont un rôle capital.

Comme facteurs de performance : (1) les haies d'herbes vivaces, surtout celles de graminées, tout comme les microbassins jouent un rôle effectif dans la réduction des pertes d'eau, d'ions et de sol sous culture et dans la richesse du sol en humus (Comino et Druetta, 2010 ; Huang et al., 2010 ; Xiao et al., 2012), (2) le mulch de résidus culturaux intégré à la fertilisation minérale et à des légumineuses hissées dans les rotations contribue largement à l'amélioration du statut azoté du sol et de la productivité sur terroirs dégradés (Roldán et al., 2005 ; Shafi et al., 2007 ; Kumar et Goh, 2008), (3) la valorisation des fertilisants assurée par de la rhizo-structure vivace partageant l'occupation du terrain, soit comme engrais vert (Carter, 2005), soit comme tapis vert antiérosif permanent, tel *Pennisetum purpureum* (Owino et al., 2006 ; López-Bellido et al., 2013), (4) un mycélium préalablement établi (tel que dans le tapis vert permanent) possède, face à de simples propagules, un potentiel plus renforcé de colonisation des racines des plantes, fussent-elles des espèces non mycotrophes (Malcova et al., 2002 ; Püschel et Rydlová, 2007).

## 2.10. La séquestration nette du carbone dans les agro-écosystèmes

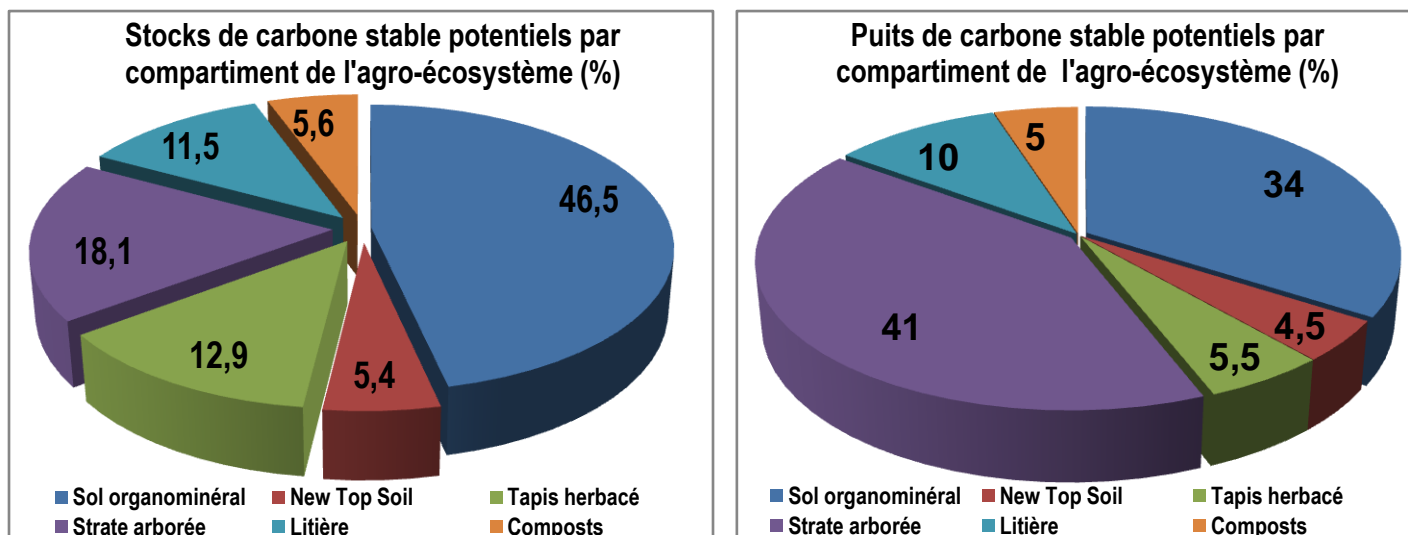


On note, avec l'emploi du système de culture sous tapis vert, une amélioration de la séquestration de C, en moyenne 5.4 fois en termes de stocks (67.8 contre 14.5 t/ha) et 11.3 fois en termes de puits (20.3 contre 1.8 t/ha/an), renforçant ainsi la résilience écologique et sociale. Albrecht et Kandji (2004) ayant travaillé en systèmes agro forestiers paysans dans le Kenya occidental estimèrent, pour l'ensemble du système sol-végétation, une séquestration du C allant de 12 à 228 t/ha. La moyenne de 67, 8 t/ha trouvée ici est bien incluse dans cette fourchette.

Kamara et Maghembe (2003) ont rapporté en 28 mois, en Tanzanie, un stock de C de 8.5 à 29 t pour la strate arborée aérienne. Le résultat trouvé ici est de 11 à 20 t/ha, aussi inclus dans la fourchette, en seulement 18 mois!

Facteurs de performance: (1) L'intégration culture-élevage a toujours l'avantage d'inclure continuellement des graminées fourragères très aptes à la synthèse d'humus (Curaqueo et al., 2012 ; Davinic et al., 2013) ; (2) le type de sol, le climat, la topographie, la position sur le versant, l'historique de la mise en culture et surtout les modalités de gestion en vigueur influent sur le processus de séquestration du C (Olson et al., 2005) ; (3) l'azote des légumineuses et le dense système racinaire des graminées ont l'effet majeur dans la séquestration du C sous SCV (Sisti et al., 2004)

## 2.11. Affinage de l'évaluation des réservoirs de C des agro-forêts: l'approche par compartiments



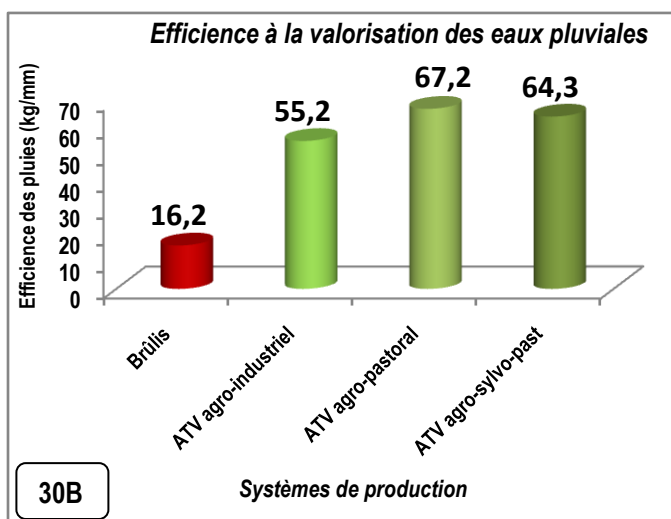
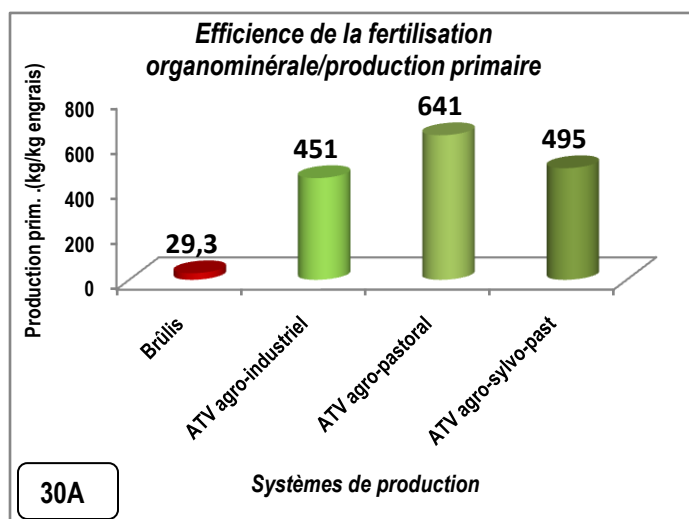


Le réservoir de C est ici éclaté en 6 compartiments écologiques, certains même plus importants que la strate arborée faisant l'exclusivité pour le C forestier, à savoir le sol organominéral limité à 30 cm (46.2%), la strate arborée (18%), la strate herbacée (12.8%), la litière (12.2%), le "New Top Soil" (6.2%) et les composts générés par l'agrosystème et gardés en réserve (5.6%). La même observation est faite concernant le puits de C, cependant que la strate arborée augmente largement sa contribution (40,7%) du fait d'un emploi d'arbres à croissance rapide.

Valentini (2007) ayant étudié, au Costa-Rica, des systèmes agro-forestiers à cacaoyers et bananiers sous boisements naturels, confrontés dès lors au système d'Abattis-brûlis, dressa également 6 compartiments écologiques dans la démarche d'évaluation des puits de C, à savoir: le C des arbres d'ombrage, le C des cacaoyers, le C des herbes et sous bois, le C de la litière et du bois mort, le C racinaire et le C organique du sol.

Aussi le stock de C dans la biomasse aérienne vivante des systèmes agro-forestiers varie de 10 à 60 t/ha (Valentini, 2007), de 13 à 42 t/ha (Schroth et al. en 2002), de 7 à 43 t/ha (Albrecht et Kandji, 2003) et autour de 60 t/ha (Béer et al. 1990) pour des agro-écosystèmes âgés de 3 à 10 ans. Nos résultats vont de 10,6 à 20 t de C/ha, pour la strate arborée aérienne. et se hissent bien dans cette marae pour un timina inférieure à 2 ans !

## 2.12. Efficience de la fertilisation organominérale et à la valorisation des eaux pluviales



On note, avec l'emploi du système de culture sous tapis vert, une amélioration de l'efficience de valorisation des eaux pluviales de 4 fois (62.2 contre 16.2 kgMS / mm pluie) et de l'efficience de valorisation des engrais de 18 fois (529 contre 29.3 kgMS/ kg d'engrais). Les cultures et prairies gérées en zéro labour font état d'une très haute efficience à l'usage des engrais, qui est conférée par leur forte densité d'enracinement. Griffith in Whyte (1959) rapporte une extraction racinaire de nitrates 40 fois plus efficace sous herbage à Pennisetum purpureum que sous jachère traditionnelle (10 ppm dans la solution du sol contre 400 ppm sous celle de la jachère spontanée) !

D'après Strosnijder (2009), le mulching avec la paille de graminées locales établies en permanence a réussi, grâce à la prolifération de la microflore/faune édaphique, à doubler l'efficience de valorisation des pluies au Burkina Faso. Un essai sur le précédent cultural du blé en zone semi-aride, mené par Cayci et al., (2009) a pu établir une efficience de valorisation des pluies de l'ordre de 10 kg /mm. On a enregistré, dans les mêmes conditions, en Chine un maximum de 15 kg/mm (Wang et al., 2007). Avec 62 kg de MS/mm, l'efficience de valorisation des pluies est 4 fois plus importante que dans les meilleurs agrosystèmes du milieu semi-aride, pourtant réputés économes en eaux pluviales. Ce qui est impressionnant en termes de performance pour la culture en assiettes

### 2.13. Levée de toxicité aluminique sur parcelles expérimentales par Tapis vert ou Abattis-brûlis

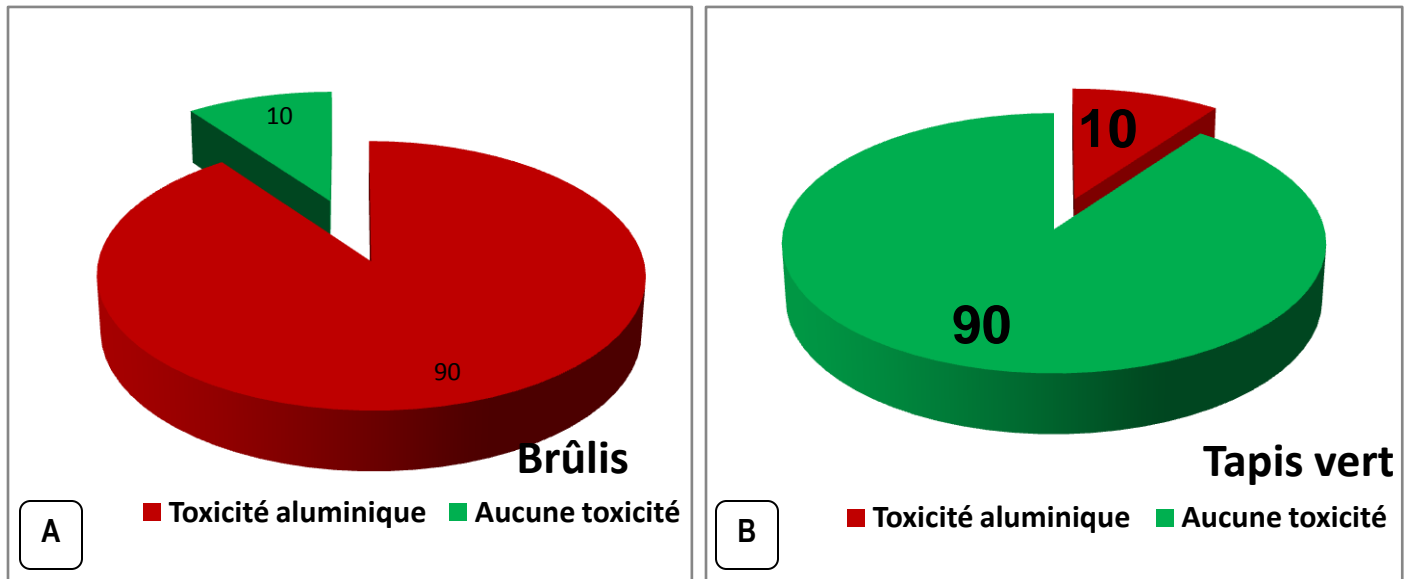


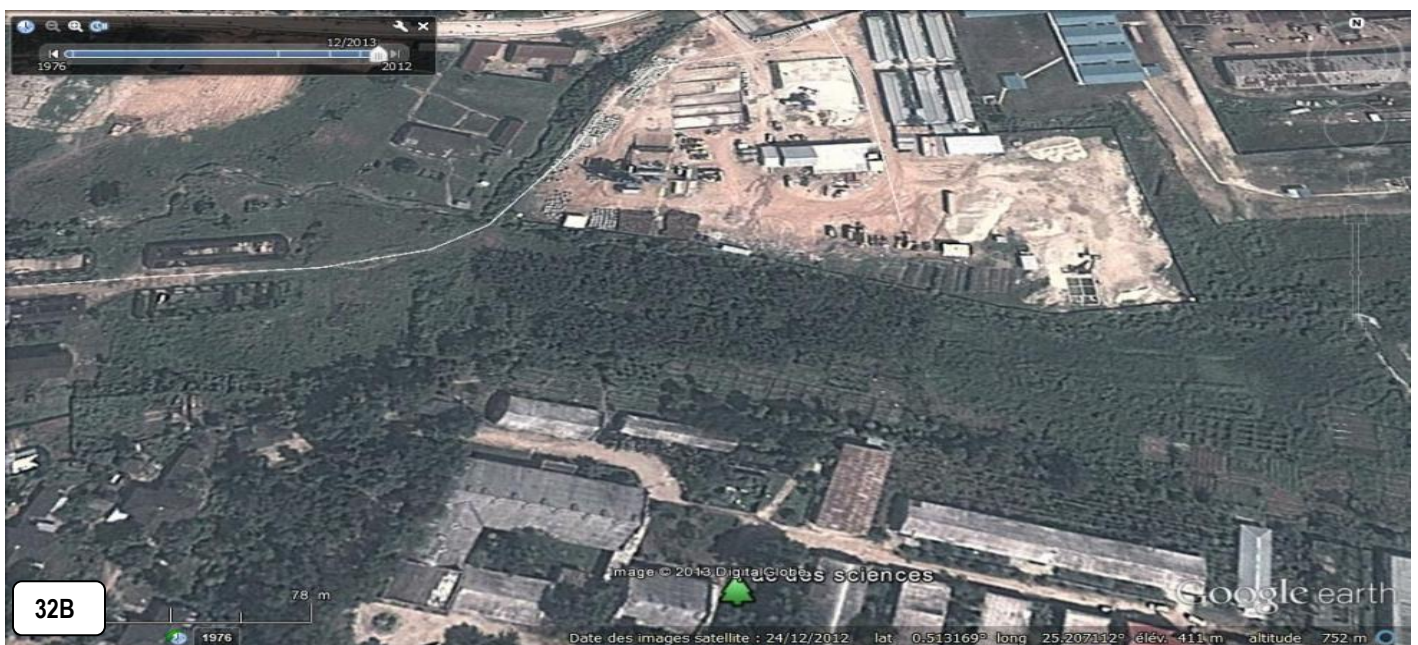
Fig.31 (A, B) : Levée de la toxicité aluminique par le système de culture en assiettes sous tapis vert (Tapis vert) et par le système d'Abattis-brûlis. La probabilité statistique liée à l'interaction facteurs expérimentaux est de  $P = 0,0000$ .

Il se dégage de la figure 12 (A, B) ci-dessus que la levée de la toxicité aluminique, au terme de 2 ans d'éco agriculture (fertilisation intégrée organo minérale), a touché 10% et 90% de terroirs, respectivement pour le système d'Abattis-brûlis et la culture en assiettes sous tapis vert. Elle est donc plus performante ( $p < 0,0001$ ) dans ce dernier cas. Cela s'explique principalement par l'action complexante, sur l'aluminium libre, de la matière organique générée par un haut niveau de production d'intrants organiques sous le système « Tapis vert » face à « Brûlis ».

Comme schéma conceptuel de promotion de la fertilité et d'élaboration des puits C sur sols dégradés avec ATV, l'on a :

Rhizostructure vivace établie en AC, sur sol dégradé <--> Jachère-herbage graminolégumineuse à couvert fermé <--> Haut potentiel de valorisation des intrants / ressources climatiques <--> Emploi 3 stratégies de capitalisation minérale <--> Haute production de biomasse <--> Grande disponibilité d'intrants recyclables (mulch-compost) <--> Haut niveau de production racinaire / PCS <--> Extraction racinaire de P et mycorhization accrue <--> Accumulation CO / complexation  $Al^{3+}$  / désorption P (puits de C) <--> Promotion propriétés physiques et biologiques (bio-agents édaphiques) <--> Tapis rhizo-bio-organique et recyclage minéral puissant <--> stratification minérale rhizosphérique <--> Promotion de propriétés chimiques (saturation en bases) <--> Productivité globale élevée et soutenue.





**Reflet des transformations écologiques et agro-environnementales intervenues en temps record sur le site expérimental (2011-2012)**

*Les transformations agro-écologiques et environnementales à impact durable qui ont élu domicile sur le paysage agricole portant nos expérimentations, de part et d'autre de la rivière Makiso, sur les rives droite (cultures potagères incluant plusieurs nouveaux défrichements) et gauche (secteurs expérimentaux en casiers) démontrent bien à quel point les politiques et stratégies de gestion impactent dramatiquement les écologies des terres disponibles pour l'agriculture. Dans l'espace de 18 mois (de 2011 à 2012), sous une certaine impulsion, la rive gauche est devenue une forêt à part entière (puits pour le piégeage des GES) et la rive droite "un désert" (chantier pour les infrastructures et source d'émission de GES). Seule une perspective agro-socio-économique globale à l'échelle nationale (agriculture intégrée et balancée), favorisant des liens intersectoriels étroits entre différents ministères, permet de stopper nettement la déforestation et les flux anthropogéniques des GES.*

## Chapitre troisième

# **DISCUSSION GENERALE DES RESULTATS**

*Sous les tropiques humides, la productivité agricole est sérieusement limitée par la toxicité aluminique et la carence azotée et phosphatée, comme effets majeurs d'un climat fortement agressif s'exerçant sur un sol nativement très vulnérable. Ceci est aggravé sur les terres dites dégradées, aux propriétés physiques, chimiques et biologiques contraignantes, caractérisées ainsi par une trop faible production de biomasse et une dénudation relative du terrain.*

*L'usage de paquets technologiques d'éco agriculture potentiellement capables d'inverser cette situation passe par l'établissement de denses jachère-engrais verts gramino-légumineuses intégrant les arbres (intensification-stratification de la colonisation racinaire). Leur aptitude particulière à fixer l'N de l'air et à extraire le P inassimilable du sol est sous-tendue par des stratégies biogéochimiques spécifiques de l'écosystème, reposant sur les interactions "sol-racine-microorganismes", où les mycorhizes prennent une part très active.*

*L'élévation de la production d'intrants organiques recyclables (phytomasse totale) apparaît à la fois comme le signe avant coureur de la restauration des sols dégradés et la clé passe-partout de la levée des contraintes des sols ferrallitiques équatoriaux (Jones, 2006) dont la toxicité aluminique est la tête d'affiche. Les lignes qui suivent brossent les facteurs de performance de l'étude touchant les propriétés agronomiques et la séquestration du C, les discutant à la lumière des données de la littérature.*

### **3.1. Des espèces complémentaires, à haute production de biomasse et adaptées aux contraintes des sols dégradés acides**

*Les espèces *Albizzia chinensis*, *Mucuna pruriens* et *Pennisetum purpureum* sont complémentaires à bien d'égards : stratification spatiale des organes tant en secteur aérien que souterrain, structure anatomique des litières, rapport C/N, tuteurage naturel, fourniture d'N par les uns et assimilation régulière des nitrates de trop par l'autre, etc.*

*Le record mondial de production de biomasse, pour les graminées, est de 85 tMS/ha enregistré avec *P. purpureum* (Whyte, 1959) et, pour les légumineuses de couverture, de 30 tMS/ha enregistré avec *M. pruriens* (Buckles et al., 1998). L'utilisation d'espèces complémentaires et à haut potentiel de production de biomasse explique le niveau exceptionnel d'intrants organiques restitués au sol sous jachère ATV, soit 36 tMS/ha/6mois.*



Par ailleurs, la fixation biologique de l'azote de l'air dans les systèmes intégrés apparaît comme un processus clé conférant à *P. purpureum* des aptitudes exceptionnelles, faisant de lui incontestablement l'herbe tropicale la plus productive (Morais et al., 2009). La découverte, dans ses tissus, de bactéries fixatrices libres d'azote du genre *Herbaspirillum* est un indice explicatif de son aptitude exceptionnelle à survivre et à entretenir une haute production sur sols pauvres (Kirchhof et al., 2001). Samson et al. (2005) relevèrent une contribution azotée de la fixation libre diazotrophique de 70% pour *P. purpureum* contre 30–40% pour *Brachiaria* sp et *Panicum maximum*.

Enfin, un apport majeur du système de culture en assiettes sous tapis vert consiste en la suppression des "mauvaises herbes" sous culture. La recrudescence des adventices culturaux explique l'échec des tentatives d'intensification du riz pluvial en Afrique de l'Ouest (Saito et al., 2010) ; elle limite largement le potentiel de l'agriculture conservatoire dans plusieurs contrées (Ozpinar, 2006 ; Pes et al., 2011) et contrecarre l'adoption, par les paysans africains, du système de semis direct sous couvert végétal permanent (Seguy et al., 2009 ; Rockström et al., 2009).

### **3.2. Haute production d'une biomasse équilibrée, humification intense et levée de la toxicité aluminique**

D'après Séguy et al., (2009), la toxicité aluminique et la carence en P, Ca et Mg caractéristique des zones tropicales constituent un handicap majeur à l'exploration du sol agricole: la barrière chimique à la croissance racinaire ! Sur les terres nouvellement défrichées des régions équatoriales, la phytotoxicité s'impose comme facteur limitant pour la production végétale si des intrants organiques frais ne sont pas régulièrement appliqués au sol (Juo, 1990).

Un facteur de performance clé du système ATV, évoqué par de nombreux auteurs, c'est bien l'importance d'un couvert vivant à enracinement vigoureux et prospectif, comme relai de la fertilisation minérale et de l'infection mycorhizienne, susceptible de valoriser divers apports d'intrants (Vitousek, 1984 ; Jordan, 1985 ; Rosolem et al. , 2002 ; Eekeren et al., 2010; Dube et al., 2012).

Ceci est d'autant plus intéressant pour la pérennité du système qu'une sporulation assymbiotique des champignons mycorhiziens s'observe à la mort des touffes d'herbe, dans les secteurs enrichis de matière organique (Gavito et Olsson, 2008 ; Lal, 2009b ; Quilliam et al., 2010).

*Mieux que les apports d'intrants organiques, les cultures sous couvert végétal permanent exercent une influence considérable sur la biomasse et l'activité microbienne tout comme sur le recyclage et l'accumulation du C organique (Wright et al., 2008 ; Laudicina et al., 2013). Ces systèmes conservatoires concourent ainsi à la complexation d'Al<sup>3+</sup> et à la stabilisation de l'humus en des pools de type organo-minéral formant le puits de C (Follet et al., 2005 ; Wang et al., 2011).*

*La haute production de biomasse est l'élément moteur permettant d'entretenir la pédogénèse et une production compétitive, durable. Des phytomasses dépassant 30 tMS/ha/6mois ont été enregistrés sous couvert permanent du système ATV, soit un résultat 5 fois plus élevé que dans les meilleurs SCV de Madagascar basés sur la plantation saisonnière d'engrais verts (AFD, 2006).*

### **3.3. Le potentiel des jachère-engrais verts graminéo-légumineuses et des stratégies de gestion ATV**

*Les stratégies de gestion exploitées dans le système ATV expliquent également ces résultats élogieux. La haute production d'une phytomasse totale équilibrée, couplée à une fertilisation raisonnée, a été soulignée par de nombreux auteurs comme facteur d'obtention de hauts rendements (Saito et al., 2010 ; Melero et al., 2011 ; Smith et al., 2011). D'autre part, la croissance racinaire est accélérée par les modalités d'une fertilisation balancée exercée au pied de la culture, à forte proximité de racines actives (Callot et al., 1982; Roose, 2007), comme pratiqué sous ATV.*

*D'après Sakonnakhon et al. (2008) les jachères mixtes graminées-légumineuses sont très efficaces tant du point de vue de la productivité culturale que de la séquestration du carbone. Elles doivent, cependant, toujours recevoir un minimum d'engrais minéraux pour la pleine expression de leur potentiel productif. L'on se rappellera que sous forêts naturelles tropicales, la productivité durable repose sur une utilisation efficiente et rapide de nutriments en perpétuel renouvellement dans la couche arable superficielle du sol, richement parcourue de racines vivaces (Swift et al., 1979 ; Verville, 2011).*

*D'autre part, les systèmes de jachère semestrielle à graminées-légumineuses se caractérisent par la production, en temps record, d'une haute biomasse anatomiquement bien équilibrée. Aussi une application champêtre d'intrants organiques à fortes doses exhibe un taux de décomposition inversement proportionnel à la masse en jeu, constituant ainsi une source d'immobilisation azotée ; ce qui induit une minéralisation étalée sur le cycle cultural (Bayer et al., 2000). Cela procure, en définitive, une meilleure synchronisation "offre-demande minérale" pour la culture.*



*Enfin, Auffray (2002) ayant testé l'association "maïs-Pueraria javanica" confrontée à "maïs-Chromoleana odorata" fit la même observation pour le système précité, et constata même que les jachères de 6 mois étaient, à terme, plus productives que celles de 18 mois !*

### **3.4. La configuration spatiale alvéolaire d'ATV comme facteur d'efficience à la valorisation des engrais et des eaux pluviales (puits de C)**

*La lutte antiérosive passe pour une condition essentielle à l'établissement d'une agriculture sédentaire performante (Comino et al., 2010) et écologiquement compatible aux conditions tropicales où les terroirs sont accidentés, ondulés et toujours en pente (Rodenburg et al., 2003).*

*Les assiettes culturales (microbassins), couplées aux haies entrecroisées formant le tapis vert permanent et au dense tapis de jachère-engrais vert renforçant la couverture du sol en inter campagne, conduisent à une collecte/stockage des pluies et de leur charge organominérale. Elles donnent aussi l'opportunité d'une fertilisation aisée, en couverture voire au pied de la culture, gonflant ainsi le coefficient d'assimilation minérale et l'efficience de valorisation des engrais.*

*Le microclimat du sol, la disponibilité minérale, la qualité des intrants organiques générés et la dynamique des chaînes trophiques en vigueur subissent ainsi une profonde mutation face à l'approche traditionnelle d'Abattis-brûlis !*

### **3.5. L'effet prairial et l'augmentation du potentiel de photosynthèse sous tapis vert permanent ATV**

*La stratégie la plus économique de restauration des sols dégradés consiste à y intégrer le "Ley farming" ou le "Pasture cropping", pratiques à effet prairial marqué, dans lesquelles les cultures sont intégrées à des graminées vivaces dans le temps ou dans l'espace (Yang, 2004, 2005 ; Herold et al., 2014). L'exsudation racinaire induite par les racines des graminées vivaces est ainsi pleinement investie dans l'agrégation du sol tandis que celle culturale, riche en sucres simples, est propice à stimuler une haute activité biologique dans la rhizosphère (Carvalho et al., 2012).*

*Dans cette ambiance édaphique, le CO<sub>2</sub> issu de la respiration des racines et des bioagents édaphiques (microorganismes, invertébrés) se dégage vers la surface du sol et élève la pression partielle carbonique sous le couvert "prairie-culture", renforçant ainsi le potentiel de photosynthèse (Jones, 2010c). D'après Jones (2009b), les pratiques agricoles augmentant la productivité et la vigueur de la couverture végétale en semis direct stimulent la colonisation mycorhizienne, augmentent la production de glomaline, renforçant dès lors les processus d'humification (puits C).*

### **3.6. Activité bio-mycorhizienne, séquestration de C et fertilité du sol en "culture sous couverture végétale permanente"**

*Les prairies ou peuplement à dominance graminéenne sont des milieux de prédilection pour le développement mycorhizien. C'est bien la capacité photosynthétique et mycorhizienne des végétaux vivants, plutôt que la quantité de matières mortes portée au sol, qui constitue le pivot de la production d'humus dans le sol (Séguy, 2009 ; Lal, 2010).*

*Ce qui différencie largement les CMA de la microflore saprophyte est le fait qu'ils obtiennent leur énergie, non de la dégradation de végétaux morts, mais bien des carbohydrates liquides issus directement de la photosynthèse qu'ils convertissent (40-60%) en humus d'autant plus stable que le réseau racinaire servant de canalisation est profondément encre dans le sol (Jones, 2009b).*

*Un plus haut niveau de propagules mycorhiziennes, de glomaline et d'agrégats stables s'observe avec la couverture permanente gramino-légumineuse (Borie et al., 2006 ; Rabary et al., 2008). Aussi, le développement mycorhizien déclenché en guise d'adaptation aux stress écosystémiques suscite une activité phosphatasique accrue, entraînant la désorption du P, en réponse à des besoins métaboliques croissants (Schreiner et al., 2007 ; Stover et al., 2012).*

*Des techniques innovantes comme la culture sous couverture vivante permanente entretiennent un couvert superficiel verdoyant de même qu'un réseau mycorhizien dynamique. Le C photo synthétisé est directement canalisé dans les puits du sol à travers les racines et les hyphes du mycélium extraradical des CMA. Il est alors important que le sol soit pourvu en permanence de nombreuses racines vivaces fibreuses, y compris en pleine phase culturale des agroécosystèmes. Il s'en suit une abondante exsudation et rhizodéposition qui renforce durablement le processus d'humification (Jones, 2007).*

### **3.7. Accumulation de C dans les agro forêts de type "culture en assiettes sous tapis vert".**

*Une approche d'évaluation simple est donnée par le modèle de Hénin-Dupuis, à 1 compartiment de C et 2 coefficients, l'un correspondant au taux de conversion en humus de la MO apportée au sol ( $k_1$ ), l'autre à la vitesse de minéralisation de cet humus ( $k_2$ ). Le stock de C au fil du temps ( $P_c$ ) s'exprime comme suit :  $P_c (t/ha) = P_0 + (k_1 - k_2) t$  ; où  $P_0$  désigne le stock initial d'humus dans le sol.*

*Ainsi, les activités agricoles susceptibles de stocker du C sont celles qui permettent d'une part d'accroître les "entrées" de matière organique en augmentant la production primaire et les*



*rhizodépositions au sol, en accroissant les restitutions des résidus de culture et d'élevage et en important des MO non agricoles (déchets divers).*

*Ces itinéraires techniques doivent, en outre, restreindre les "sorties" par minéralisation en ralentissant la décomposition des intrants organiques grâce à un choix/mixage conséquent des espèces de jachère-engrais vert. Mais aussi en recourant à des pratiques agricoles recouvrantes qui, par l'activité racinaire, modifient les conditions physico-chimiques et améliorent la protection physique de la MO (Peltre, 2010).*

*L'on s'aperçoit que le système ATV induit l'accroissement de  $k_1$  de par l'apport substantiel d'intrants organiques générés, mais aussi la décroissance de  $k_2$  grâce aux effets antiérosifs prononcés, à la baisse de la température du sol, à la bioturbation et à la stabilisation physico-chimique de l'humus par les bioagents édaphiques qui y abondent. Les systèmes d'agriculture conservatoire actionnent ainsi un ensemble de pratiques agricoles jouant d'office sur plusieurs mécanismes de séquestration et formant des puits C stables intégrés au sol minéral (AFD, 2006).*

*Par ailleurs, le stockage additionnel maximum est obtenu par le passage d'une culture annuelle à une végétation pérenne, qui cumule plusieurs effets. Aussi, une forte teneur en argile est le principal facteur corrélé à des stocks importants; toutefois, des taux élevés d'aluminium échangeable permettent d'atteindre des stocks considérables dans des sols pauvres en argile (Zotarelli et al., 2007). Il y a lieu d'évoquer, dans notre cas, la stabilisation du C organique labile en microagrégats, au sein des conglomérats "argile - sesquioxydes ferro-aluminiques" des Ferralsols, davantage du fait que des engrais verts ont été intégrés dans la rotation (Conceição et al., 2013).*

### **3.8. L'effet rhizosphère en lieu et place de l'effet litière propre aux écosystèmes de la région tropicale.**

*Il a été souligné dans de nombreux systèmes performants d'éco agriculture, le rôle primordial des exsudats racinaires et autres rhizodépôts comme facteur de séquestration des ions  $Al^{3+}$ , d'atténuation de la toxicité, de désorption du phosphore minéral et de stimulation de l'activité biologique globale, en conjugaison symbiotique avec la microflore rhizosphérique (Koo et al., 2005 ; Jones, 2006 ; Ayoubi et al., 2012 ; Castellany et al., 2012).*

*Ces systèmes reflètent ainsi ce que Dormaar et Sauerbeck (1983), puis Samson et al. (2005) ont qualifié d'effet rhizosphère et qui se rapporte souvent aux peuplements à hautes graminées vivaces. A l'opposé, Dommergues (1971) a introduit le terme d'effet-litière pour désigner des interactions plutôt négatives, sans caractère symbiotique entre la végétation et la microflore du sol,*

se soldant par une lenteur du recyclage des éléments biogènes, une évacuation des réserves du sol et une baisse de productivité de l'écosystème.

Une densité de lombrics de l'ordre de 1700 individus au m<sup>2</sup>, trouvée dans les parcelles de culture en assiettes sous tapis vert, est l'indice d'un haut niveau de fertilité, explicable uniquement par la prévalence d'un effet rhizosphère dans l'agrosystème, les lombrics étant quasi absents sous l'effet litière propre aux forêts tropicales ! L'on notera ici que les préférences des lombrics vont aux litières riches en azote assimilable et pauvres en polyphénols (Mangenot, 1980 ; Jones, 2007).

En effet, les agrosystèmes de forêt/cultures tropicales tributaires de l'effet litière, y compris les systèmes agro forestiers les plus courants, sont marqués par une nette asynchronie "offre-demande minérale" subséquente à un régime de recyclages déficient (Swift, 1984 ; Myers et al., 1994). D'une part, les apports massifs d'intrants en début de cycle causent un gaspillage de nutriments, faute d'un prélèvement significatif par des végétaux, et de l'autre, les besoins cultureux excèdent les disponibilités minérales en périodes de croissance active et de maturation de grains !

L'introduction d'un couvert permanent graminéo-légumineuse (ATV), contrôlé en phases culturales grâce à un régime de coupe/ gestion approprié, permet de régulariser l'offre minérale, passant ainsi d'un régime à évolution sinusoïdale marqué par l'asynchronie (effet litière) à une fonction linéaire croissante épousant le rythme des besoins cultureux et sous-tendue par une épaisse couche organique superficielle entremêlée aux racines vivaces (effet rhizosphère).

### **3.9. Principes de la culture en assiettes sous tapis vert**

Eu égard à tout ce qui précède, les principes de la culture en assiettes sous tapis vert ont été structurés en 3 piliers et stipulés comme suit :

1. Produire et restituer au sol une forte biomasse par l'intégration de jachères simultanées et engrais verts à graminées-légumineuses ayant couvert fermé luxuriant,
2. Promouvoir, via l'endigage-alvéolage du terrain par des haies vives, un potentiel de collecte/stockage de ressources hydrominérales et organiques disponibles en surface et
3. Promouvoir, via l'intensification-stratification de la colonisation racinaire, la constitution, sous couvert vivant permanent, d'un tapis rhizo-bio-organique stable, pour un labour biologique et un recyclage organominéral accélérés.



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

*L'objectif global de l'étude est de contribuer à la mise sur pied d'un paquet technologique d'éco-agriculture type ATV, du genre système intégré et balancé, susceptible d'améliorer les propriétés agronomiques sur sols dégradés, de même qu'à l'accroissement de la résilience (réduction de la vulnérabilité) écologique et sociale en zones forestières dégradées, grâce à la valorisation stratégique des puits de C et à l'affinage de leur mesurage sous agro-forêt complexe.*

*Il se dégage de ce travail que le système de culture en assiettes sous tapis vert accuse de très hautes performances face à Abattis-brûlis et peut se substituer avantageusement à celui-ci en agriculture urbaine, sur terre particulièrement dégradée. On note plus spécifiquement :*

- ❖ une supériorité de 2,6 fois touchant la production de paddy, des intrants racinaires et de la phytomasse totale (5,6 contre 2,2, 16,8 contre 6,5 et 44,7 contre 17,5 t MS/ha) ;*
- ❖ une supériorité de 2,5 fois, pour la tranche de sol de 0-5 cm de profondeur, touchant la densité racinaire et l'interface sol-racine (13,4 contre 5,2 g/100cm<sup>3</sup> et 22,2 contre 8,9 cm/cm<sup>3</sup>) ;*
- ❖ une supériorité de 12, 3 et 4 fois touchant respectivement la densité de propagules mycorhiziennes, de nodules rhizobiennes et de germes microbiens aérobies mésophiles (15,2 contre 1,3 /g, 43,9 contre 21,3 /kg et 163,4x10<sup>6</sup> contre 45,7x10<sup>6</sup> /g) ;*
- ❖ une supériorité de 3 et 4 fois touchant la densité des lombrics et la saturation du sol arable (0-15 cm) en bases échangeables totales (1693 contre 581 indiv./m<sup>2</sup> et 52,7 contre 12,4 %) ;*
- ❖ une supériorité de 8 et 9 fois touchant la phytomasse totale et la phytomasse racinaire de la jachère-engrais vert de 6 mois (36,7 contre 4,9 et 12 contre 1,3 t MS) ;*
- ❖ une supériorité de 4 et 16 fois touchant la production annuelle d'intrants recyclables aériens et souterrains par la jachère-herbage agro-forestière (50,5 contre 11,2 et 25,2 contre 1,5 t MS) et une plus haute contribution des intrants racinaires face à ceux aériens (50 contre 13,4 %) ;*
- ❖ une réduction sensible de la température du sol superficiel et des adventices culturaux (de 32,2°C à 23,8°C et de 3,9TMS/ha à 0,6TMS/ha) ;*
- ❖ une porosité du sol améliorée sous riziculture pour les strates de 5 et 10 cm (+40% et +56%) ;*
- ❖ un haut potentiel de biorémediation, en condition stressante dictée par la forte acidité, développé par Albizzia chinensis du système ATV en induisant la nodulation des plantules congénères de légumineuses symbiotiquement inactives, à savoir Leucaena leucocephala et Calliandra calothyrsus.*

*Ces résultats liés aux propriétés agronomiques confirment ainsi l'hypothèse N°1 de cette thèse.*

*Pour ce qui est du potentiel d'atténuation des changements climatiques, il y a lieu de noter :*

- ❖ Une amélioration, avec l'emploi du système de culture sous tapis vert, de l'efficience de valorisation des eaux pluviales de 4 fois (62.2 contre 16.2 kgMS / mm pluie) et de l'efficience à l'usage des engrais de 18 fois (529 contre 29.3 kgMS/ kg d'engrais) ;*
- ❖ Une amélioration, avec l'emploi du système de culture sous tapis vert, de la séquestration de C, en moyenne 5 fois en termes de stocks (67.8 contre 14.5 t/ha) et 11 fois en termes de puits (20.3 contre 1.8 t/ha/an), en renforçant ainsi la résilience écologique et sociale;*
- ❖ En ce qui concerne le mesurage du C, la méthode traditionnelle recourant à l'estimation forestière, puisque limitée à l'inventaire forestier, s'avère totalement inadaptée au contexte des agro-forêts complexes. Elle devrait faire place, dans ce cas, à la méthode d'évaluation multicritère employée ici, laquelle tient bien compte de la contribution/spécificité de chacun des six compartiments écologiques identifiés à savoir (1) les arbres, (2) les herbes, (3) la litière-mulch, (4) les composts issus du peuplement, (5) le sol organique généré sous mulch et (6) le sol organominéral.*

*Ces résultats viennent, de même, confirmer les hypothèses N°2 et N°3 de la présente thèse.*

*En guise de perspectives, les travaux ultérieurs devraient se focaliser sur :*

- ❖ l'analyse de la dynamique d'enracinement sous jachère-engrais vert et sous culture ;*
- ❖ la gestion de jachères ATV (densité plantation, taille haies), contourner les replantations ;*
- ❖ les travaux de génie sur la couche sub-culturale pour étendre la profondeur du sol ;*
- ❖ l'intégration de *Pueraria javanica*, *Psophocarpus scandens*, *Leucaena sp* et *Moringa sp* ;*
- ❖ la caractérisation des champignons mycorhiziens indigènes avec tests en plein champ ;*
- ❖ la manipulation des lombrics dans le système, se basant sur leurs performances ;*
- ❖ l'établissement du rôle des lombrics et autres dans la dissémination mycorhizienne ;*
- ❖ le rôle de diverses composantes ATV sur le C organique et l'optimisation du profil ;*
- ❖ la biorémediation nodulante d'*A. chinensis* sur d'autres légumineuses stressées (acidité);*
- ❖ des projets de recherche-développement type agro-sylvo-pastoral/piscicole ;*
- ❖ des élevages pionniers avec vaches/chèvres laitières et porcs (valoriser le fourrage) ;*
- ❖ des projets d'afforestation et de réhabilitation paysagère sur terres/savanes dégradées ;*
- ❖ l'évaluation des puits de C dans les pistes précitées, tenant compte de la topographie ;*
- ❖ la mécanisation progressive du système ATV en collaboration avec le CIRAD qui est très avancé avec un système analogue, le semis direct sous couverture végétale (SCV).*





*Halte au système d'abattis-brûlis, moteur de la déforestation tropicale !*



33





*Tapis vert*

34



*Tapis vert*

35A



*Tapis vert*

35B



