

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/authorsrights>



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

## Comptes Rendus Biologies

www.sciencedirect.com



Colloque panafricain/Panafrican colloquium (Dakar 2012)

## L'agriculture africaine face aux changements globaux : recherches et innovations basées sur les sciences de l'écologie

*African agriculture faced with global changes: Researches and innovations based on ecological sciences*Dominique Masse<sup>a,\*</sup>, Yacine Ndour Badiane<sup>b</sup>, Edmond Hien<sup>c</sup>, Léonard-Élie Akpo<sup>d</sup>, Komi Assigbetsé<sup>a</sup>, Ablassé Bilgo<sup>e</sup>, Ibrahima Diédhiou<sup>f</sup>, Victor Hien<sup>e</sup>, Lydie Lardy<sup>a</sup><sup>a</sup> LMI IESOL, UMR Eco&Sols, centre ISRA IRD Bel-Air, BP 1386, Dakar, Sénégal<sup>b</sup> LMI IESOL, LNRPV, centre ISRA IRD Bel-Air, Dakar, Sénégal<sup>c</sup> LMI IESOL, UFR SVT, université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso<sup>d</sup> LMI IESOL, département de biologie végétale, université Cheikh-Anta-Diop, Dakar, Sénégal<sup>e</sup> LMI IESOL, INERA, département GRN/SP, Ouagadougou, Burkina Faso<sup>f</sup> LMI IESOL ENSA, université de Thiès, Thiès, Sénégal

## INFO ARTICLE

## Historique de l'article :

Disponible sur Internet le 21 juin 2013

## Mots clés :

Agro-écologie

Zaï

Agroforesterie

Compost

Sols

Afrique de l'Ouest

## Keywords:

Agro-ecology

Zai

Agroforestry

Compost

Soils

West Africa

## R É S U M É

Dans le contexte de changements environnementaux et socio-économiques, l'agriculture en Afrique sub-saharienne devra assurer la sécurité alimentaire des populations, tout en limitant son empreinte écologique. Les contraintes biophysiques et sociales des systèmes de production agricole sont complexes. Les pratiques agricoles innovantes seront basées sur une intensification des processus écologiques qui déterminent le fonctionnement du système sol-plante, des parcelles cultivées ou des agroécosystèmes. Au travers d'exemples de recherches menées par le laboratoire mixte international intensification des sols cultivés en Afrique de l'Ouest « IESOL » (ISRA, Ucad, UT, UO, Inera, IRD) sera démontré l'intérêt de cette démarche d'ingénierie écologique pour que l'agriculture sub-saharienne puisse relever le défi qui lui est lancé.

© 2013 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

## A B S T R A C T

In the context of environmental and socio-economic changes, the agriculture of Sub-Saharan African countries will have to ensure food security of the population, while reducing its environmental footprint. The biophysical and social systems of agricultural production are complex. Innovative agricultural practices will be based on an intensification of ecological processes that determine the functioning of the soil-plant system, farmers' fields and agro-ecosystems. This ecological engineering approach is useful to take up the challenge of Sub-Saharan agricultures in the future, as shown in researches conducted by IESOL International Joint Lab "Intensification of agricultural soils in West Africa" (ISRA, UCAD, TU, OU, INERA, IRD).

© 2013 Académie des sciences. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : dominique.masse@ird.fr (D. Masse).

## 1. Introduction

L'agriculture est la principale activité des habitants des pays d'Afrique sub-saharienne. Les activités agricoles demeurent, dans les pays en voie de développement, le principal moyen à court et moyen termes de diminution de la pauvreté, que ce soit en milieu rural ou en milieu urbain [1,2].

Les régions sub-sahariennes sont confrontées à une augmentation de leur population sans précédent, avec une prévision de doublement de la population d'ici 2050. La FAO considère alors que la production agricole devra augmenter de 70 % pour nourrir cette population. Cette croissance démographique se double d'un processus d'urbanisation extrêmement rapide en Afrique, qui modifie le contexte socio-économique de ces pays [1]. Ainsi, au Sénégal, en 2010, 42 % de la population était-elle concentrée dans les agglomérations urbaines.

Les changements climatiques, tels qu'ils se dessinent, auront pour impact essentiel dans la région une accentuation des événements extrêmes (sécheresse, inondation) [3]. Bien que les pratiques agricoles traditionnelles intègrent le risque climatique propre aux zones arides et semi-arides [4], il sera nécessaire de prendre en compte ces évolutions et d'accompagner les agriculteurs vers des voies d'adaptation.

Les politiques agricoles actuelles s'inspirent de la « révolution verte » asiatique basée sur des progrès technologiques tels que l'amélioration des plantes et une intensification des outils de production tels que l'eau ou les intrants minéraux. Cependant, si, à court terme, pour répondre aux importants besoins alimentaires, cette voie

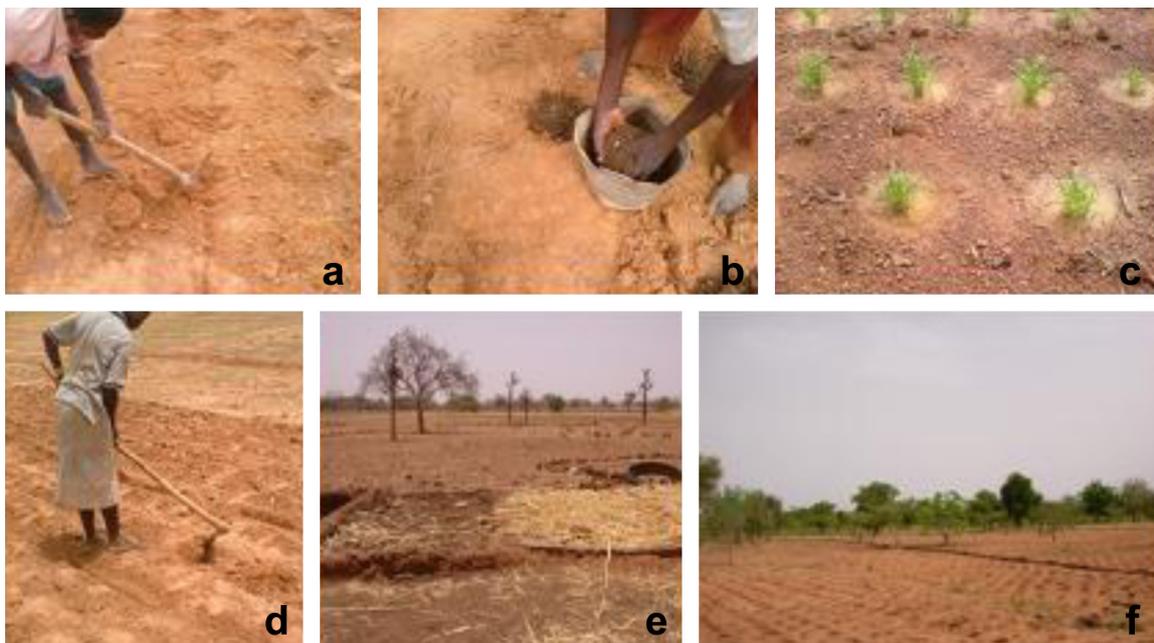
apparaît difficilement contournable, il n'en reste pas moins que cette option ne répond pas à des critères de durabilité, notamment en ce qui concerne la gestion de ressources naturelles telles que les sols, les ressources en eau, en minerais (par exemple les phosphates) ou en énergie fossile, les formations naturelles (perte de biodiversité), etc.

L'agriculture se doit de répondre à l'ensemble de ces enjeux, à savoir produire plus tout en limitant son empreinte environnementale [5,6]. Pour y répondre, il est proposé une intensification écologique des agroécosystèmes comme nouveau paradigme pour le développement agricole [7].

Les sciences de l'écologie ou de la complexité peuvent répondre à cet enjeu, en déterminant les clés pour de futures innovations technologiques et de concevoir ainsi des agroécosystèmes productifs, plus économes en intrants chimiques et en énergie fossile, et moins nocifs pour l'environnement. À partir d'exemples d'études menées au Burkina Faso ou au Sénégal, il est proposé d'illustrer et de préciser cette démarche, qui suppose un changement de paradigme pour la recherche agricole.

## 2. Le « zaï » : une pratique d'adaptation des systèmes de culture sud-sahéliens

Les zones sahéliennes ont subi au cours des dernières décennies de profonds changements, qu'ont accentués les grandes sécheresses des années 1970–1980. En 2005, une enquête a été menée sur le terroir de Ziga (Yatenga, Burkina Faso). L'objectif était de dégager les voies d'adaptation empruntées par les agriculteurs depuis deux



**Fig. 1.** a : réalisation des micro-cuvettes ; b : apport de matières organiques dans les micro-cuvettes ; c : poquets de sorgho dans les micro-cuvettes après la pluie ; d : la pratique du « djengo » ; e : fosses fumières remplies de fumier, résidus de récoltes et autres déchets domestiques ; f : aménagement d'un petit bassin versant avec des pratiques de zaï et des cordons pierreux.

Photos : T. Kaboré & D. Masse.

décennies. Un programme de développement agricole mené sur le même terroir entre 1980 et 1990 nous donnait un point de référence pour dégager les changements effectifs dans les systèmes de culture. Ce projet préconisait et menait des actions pour un meilleur contrôle de l'eau et de l'érosion à travers des aménagements à l'échelle des bassins versants de cordons pierreux. L'intensification de la production agricole passait par le développement de la traction animale pour le travail du sol et l'utilisation de fertilisants minéraux associés aux intrants organiques. Des pratiques traditionnelles de récupération de terres dégradées ou difficilement cultivables, appelées localement « zaï », avaient été notées. Ces pratiques consistaient à creuser un trou dans lequel était semée la céréale cultivée après un apport de matières organiques (Fig. 1).

En 2005, nos observations ont montré un changement relatif dans le type de plantes cultivées, avec une augmentation relative des surfaces cultivées en sorgho et une diminution de celles en mil. Simultanément, une généralisation des surfaces cultivées selon les principes du « zaï » était observée, non seulement sur des sols gravillonnaires ou fortement encroûtés (« zipellé »), mais également sur des sols sableux ne présentant aucune caractéristique de dégradation. Sur ces derniers, le terme employé pour désigner cette pratique était « djengo », du nom de l'outil à long manche utilisé par les agriculteurs. Il apparaissait clairement que les agriculteurs privilégiaient des pratiques basées sur une concentration de la ressource en eau et en nutriments au niveau de la plante cultivée. Ces pratiques leur ont permis, non seulement de maîtriser les risques de perte de rendement vis-à-vis de la variabilité accrue des pluies (Fig. 2), mais également d'augmenter des surfaces cultivées en exploitant des terres a priori inappropriées à l'agriculture. Le contrôle de l'eau et de l'érosion par les cordons pierreux à l'échelle des petits bassins

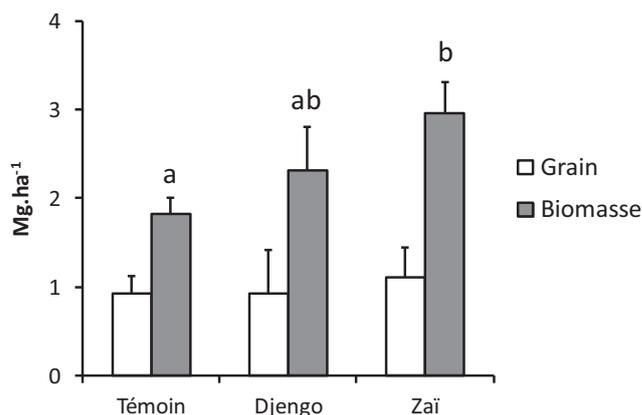


Fig. 2. Rendement en grain et biomasse (moyenne  $\pm$  SE) sur des parcelles d'agriculteurs cultivées conventionnellement (témoin) et comparés à des parcelles cultivées par les techniques de « zaï » ou de « djengo » en 2005 (Ziga, Burkina Faso).

versants était, selon les agriculteurs, essentiel à la réussite de ces pratiques. De même, le développement de fosses fumières où sont stockés les résidus d'un élevage d'embouche et les déchets domestiques a permis de maîtriser les ressources organiques de l'exploitation. Les évolutions concernaient donc un ensemble de pratiques à différentes échelles. De plus, dans des petits bassins versants aménagés, il a été observé une régénération de la strate arborée, notamment le long des cordons pierreux. L'ensemble de ces pratiques avait donc entraîné des modifications allant au-delà de simples effets sur la production de céréales [8].

On observe ainsi que les flux de matières et d'énergie ont été redistribués à l'échelle des terroirs, des exploitations agricoles, des champs cultivés ou des plantes, cette



Fig. 3. D'une gestion non durable à une exploitation responsable des déchets municipaux. À gauche, des déchets bruts sans prétraitement éparpillés sur un champ de céréales à proximité de Ouagadougou. À droite, une activité de compostage des déchets urbains sur le centre d'enfouissement technique de la ville de Ouagadougou.

Photos : D. Masse.

redistribution allant dans le sens d'une concentration de la ressource au niveau de la plante cultivée.

### 3. Agriculture périurbaine et recyclage des déchets municipaux

En réponse à l'urbanisation, les agricultures urbaines ou périurbaines ont une place prépondérante dans le développement économique des pays sub-sahariens. Elles répondent ainsi non seulement à la demande alimentaire, mais participent également à la création de richesse et d'emplois. Ces villes produisent également d'importantes quantités de déchets domestiques ou issus des industries. La gestion de ces déchets devient une charge importante pour les sociétés. Ces déchets, relativement riches en matières organiques et en nutriments, peuvent être exploités par l'agriculture. Ils sont cependant potentiellement vecteurs de polluants organiques, d'éléments traces métalliques ou de pathogènes, et leur utilisation excédentaire peut entraîner des risques de dégradation environnementale (eutrophisation, pollution des eaux souterraines, etc.). Plus récemment, des voies énergétiques de valorisation des déchets ont été également mises en avant (Fig. 3).

À Ouagadougou, des essais de compostage de déchets urbains solides ont été réalisés [9]. La réponse d'une plante cultivée à l'apport de composts de différents mélanges de matières organiques est très variable en fonction de l'année de culture et des modes d'apport (Fig. 4). Ces travaux, qui ont révélé, entre autres, la faiblesse des teneurs en azote des composts de déchets urbains, démontraient également qu'il ne suffisait pas de produire un compost pour que celui-ci donne des effets positifs sur la production agricole. Les situations sont complexes et demandent des outils permettant d'évaluer les facteurs et de lever les verrous pour une gestion gagnant-gagnant des déchets municipaux. C'est ce que le projet ANR Systerra ISARD tente de résoudre en considérant des approches à différentes échelles, qui vont de la qualité du produit résiduaire organique à son interaction dans le sol avec la plante, mais également jusqu'à la gestion des résidus à l'échelle des exploitations agricoles et des zones de production agricole.

### 4. L'agroforesterie : un modèle d'agriculture durable

En zone tropicale, les systèmes agroforestiers sont des systèmes de culture où l'arbre joue un rôle prépondérant. On les retrouve à travers les parcs agroforestiers ou, dans une acception plus large, à travers les systèmes de rotation culture-jachère. Les systèmes agroforestiers (SAF) apparaissent comme un modèle d'agriculture durable au sud. Cependant, l'exploitation optimale des SAF ne peut se faire que sous réserve de mieux comprendre et de mieux maîtriser les facteurs de production de ces systèmes. Des travaux menés sur deux espèces d'arbustes natifs du Sahel (*Guiera senegalensis* et *Piliostigma reticulatum*) ont permis de mettre en valeur leur capacité à redistribuer l'eau dans le sol au profit des horizons de surface ou à orienter les réseaux trophiques. La densité des nématodes du sol augmente

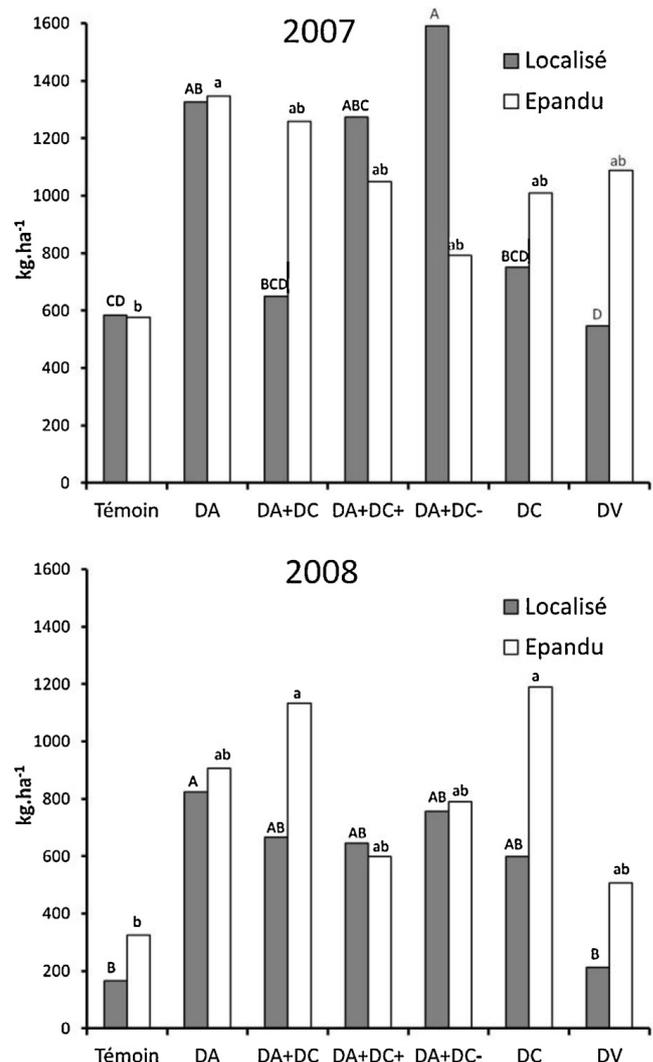


Fig. 4. Rendement moyen ( $n=3$ ) en grain (culture de sorgho) sur des parcelles expérimentales avec apport de composts selon deux modes d'apport localisé au niveau de la plante, et épandu sur l'ensemble de la parcelle, en 2007 et 2008 à Gampela, Burkina Faso. DA : déchets d'abattoirs (contenus des panses d'animaux) ; DC : déchets de cuisine (résidus de légumes) ; DV : déchets verts (feuilles des arbres d'espaces verts de la ville) ; P : déchets de papier (bureaux, emballage, etc.). Les moyennes ayant la même lettre indiquée sur chaque histogramme appartiennent à un groupe de valeur non significativement différentes (LSD,  $\alpha=0,05$ ). Les lettres minuscules concernent les comparaisons pour le traitement « épandu » et les lettres majuscules pour le traitement localisé.

avec la complexité du milieu (association des arbustes et du mil), mais la présence de l'arbuste a pour effet de diminuer les nématodes phytoparasites (Fig. 5). Actuellement, des recherches se poursuivent pour comprendre les interactions entre les rhizosphères des arbustes et des plantes cultivées. Il est fait l'hypothèse que des micro-organismes symbiotiques ou libres dans le sol pourraient jouer un rôle fondamental dans les cycles biogéochimiques, voire favoriser la croissance des plantes associées à ces arbustes présents dans les champs. Mieux comprendre ces processus complexes permettrait de les intensifier, au bénéfice de la production végétale.

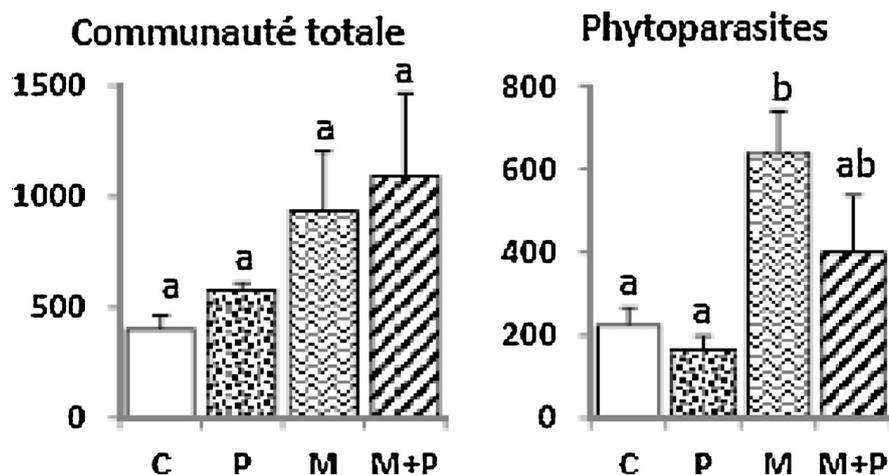


Fig. 5. Densité de nématodes, communauté totale et phytoparasites, dans un sol nu (C), un sol sous *Piliostigma reticulatum* (P), sous culture de mil (M) et sous culture de mil associé à *Piliostigma reticulatum* (M+P), dans la zone soudano-sahélienne au Sénégal.

## 5. Discussion et conclusion

L'intensification écologique correspond à une conception d'une agriculture productive et durable, plus économe en intrants et moins nocive pour l'environnement. Une telle stratégie se réfère à l'ingénierie écologique [10,11] qui, en agronomie, se décline comme étant l'application des concepts et principes écologiques à la conception et à la gestion durable des agroécosystèmes [12]. Cette démarche s'appuie sur des recherches en écologie appliquée aux systèmes cultivés, intégrant leur complexité dans toutes les dimensions spatio-temporelles.

Ainsi, les observations faites sur les voies d'adaptation prises par les agriculteurs de Ziga au Burkina Faso posent la question de la relation entre, d'une part, la productivité et la viabilité d'un agrosystème et, d'autre part, l'organisation spatiale et temporelle des cycles de matières (organique et nutritive) et d'énergie. D'autres études pourraient se référer à cette question. Par exemple, le fonctionnement des savanes, dans lesquelles les arbres [13] ou les graminées pérennes [14] créent des îlots de diversité profitant à d'autres organismes, à l'image des arbustes natifs dans les champs cultivés. Les brousses tigrées au Niger sont également un système de concentration de la ressource en eau et en nutriments [15]. Certains auteurs ont émis l'hypothèse d'une dynamique *patchy* de la végétation des savanes pour expliquer leur persistance et leur équilibre millénaire dans les zones arides et semi-arides [16]. De même, l'organisation en auréoles dans les terroirs villageois où les flux organiques convergent vers les champs de case participerait à la viabilité de ces systèmes de production en zone de savanes sèches [17,18].

Définir l'organisation optimale des flux d'énergie et de nutriments à travers les systèmes sol-plante, les agroécosystèmes, les paysages ou les régions pourrait donner les déterminants d'une intensification de la production, tout en préservant la viabilité de ces systèmes. Dans ce cadre, les études seront concentrer sur les vecteurs de ces flux que sont les matières organiques, notamment sur la diversité des qualités, des vitesses de transformation, mais également sur

les transformateurs et consommateurs de ces matières organiques.

À travers cet exemple, la démarche qui s'efforce de relier les sciences de l'écologie ou de la complexité à la recherche en agronomie ouvrira la voie à de futures innovations dans les pratiques agricoles durables dans les pays du Sud.

## Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

## Références

- [1] J.M. Cour, The Sahel in West Africa: countries in transition to a full market economy, *Global Environmental Change* 11 (2001) 31–47.
- [2] J. Dixon, A. Gulliver, D. Gibbon, *Farming Systems and Poverty. Improving Farmer's Livelihoods in a Changing World*, FAO, Rome, Italy, 2001.
- [3] IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- [4] M. Eldin, P. Milleville, *Le risque en agriculture*, Orstom, Paris, 1989.
- [5] D. Tilman, K.G. Cassman, P.A. Matson, N.R.S. Polasky, Agricultural sustainability and intensive production practices, *Nature* 418 (2002) 671–677.
- [6] O. De Schutter, *Agroecology and Right to Food*, United Nations, New York, 2010.
- [7] M. Griffon, *Nourrir la planète*, Odile Jacob Sciences, Paris, France, 2006.
- [8] D. Masse, E. Hien, T. Kaboré, A. Bilgo, V. Hien, J.L. Chotte, Evolution of farming practices in sub-Saharan region confronted by demographic and climatic changes: runoff control and organic matter resources management, *Procedia Environ. Sci.* 9 (2011) 124–129.
- [9] T. Kabore, S. Houot, E. Hien, P. Zombre, V. Hien, D. Masse, Effect of the raw materials and mixing ratio of composted wastes on the dynamic of organic matter stabilization and nitrogen availability in composts of Sub-Saharan Africa, *Bioresource Technol.* 101 (2010) 1002–1013.
- [10] W.J. Mitsch, S.E. Jørgensen, Ecological engineering: a field whose time has come, *Ecol. Eng.* 20 (2003) 363–377.
- [11] H.T. Odum, B. Odum, Concepts and methods of ecological engineering, *Ecol. Eng.* 20 (2003) 339–361.
- [12] M.A. Altieri, *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*, Westview press, Boulder, CO, 1995.
- [13] L.E. Akpo, M. Grouzis, Interactions arbre/herbe en bioclimat semi-aride : influence de la pâture, *Secheresse* 15 (2004) 253–261.

- [14] L. Abbadie, A. Mariotti, J.C. Menaut, Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply, *Ecology* 73 (1992) 608–613.
- [15] K. Guillaume, M. Huard, J. Gignoux, A. Mariotti, L. Abbadie, Does the timing of litter inputs determine natural abundance of C in soil organic matter? Insights from an African tiger bush ecosystem, *Oecologia* 127 (2001) 295–304.
- [16] K.M. Meyer, K. Wiegand, D. Ward, A. Moustakas, The rhythm of savanna patch dynamics, *J. Ecol.* 95 (2007) 1306–1315.
- [17] R. Manlay, A. Ickowicz, D. Masse, C. Floret, D. Richard, C. Feller, Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in the West African savanna – I. Element pools and structure of a mixed-farming system, *Agr. Syst.* 79 (2004) 55–81.
- [18] P. Titttonell, B. Vanlauwe, P.A. Leffelaar, E.C. Rowe, K.E. Giller, Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya: I. Heterogeneity at region and farm scale, *Agr. Ecosyst. Environ.* 110 (2005) 149–165.