

# Outils d'aide à la décision pour l'agriculture en Afrique sub-saharienne



**T.E. Struif Bontkes et  
M.C.S. Wopereis (éditeurs)**

# **Outils d'aide à la décision pour l'agriculture en Afrique sub-saharienne Un guide pratique**

**T.E. Struif Bontkes et M.C.S. Wopereis (Éditeurs)**



**Un Centre international pour la fertilité des sols  
et le développement agricole**

**B.P. 2040**

**Muscle Shoals, Alabama 35662, États-Unis**



**ACP-UE Centre technique de coopération  
agricole et rurale (CTA)**

**B.P. 380**

**6700 AJ Wageningen**

**Pays-Bas**

IFDC—Un Centre international pour la fertilité des sols et le  
développement agricole

B.P. 2040

Muscle Shoals, AL 35662 (États-Unis)

Téléphone : +1 (256) 381-6600

Télécopie : +1 (256) 381-7408

E-mail : [general@ifdc.org](mailto:general@ifdc.org)

Site Internet : [www.ifdc.org](http://www.ifdc.org)

ACP-UE Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA)

B.P. 380

6700 AJ Wageningen

Pays-Bas

Site Internet : [www.cta.int](http://www.cta.int)

**La traduction de la version anglaise a été réalisée par Marijke LOOSVELT.  
MarieJo DUGUÉ a fait la première révision et la révision et l'édition finales de  
la copie ont été réalisées par Marijke LOOSVELT.**

© IFDC et CTA, 2003

**Tous droits réservés**

Nous encourageons une utilisation non-commerciale de ce matériel. Une  
citation appropriée est requise.

## AVANT-PROPOS

*L'agriculture demeure la clé de l'avenir économique de l'Afrique. Pour ce continent où quelque 200 millions d'habitants sont en situation de sous-alimentation chronique, il est vital de réaliser des progrès dans la recherche-développement agricole. Cela demande des investissements considérables ainsi qu'une efficacité et une productivité accrues de la recherche-développement. L'accès aux technologies de communication et d'information s'améliore rapidement dans de nombreux pays africains, offrant à ceux-ci de formidables possibilités d'accélérer leur croissance économique et leur développement.*

*Cette tendance ouvre en effet des perspectives pour l'utilisation d'outils d'aide à la décision (OAD) qui peuvent améliorer l'efficacité et la productivité de la recherche-développement en Afrique. En principe, ces outils peuvent aider à diagnostiquer les problèmes et les opportunités des systèmes agricoles, à identifier des options de gestion, à analyser les expérimentations et à diffuser les techniques et méthodes prometteuses. Cependant, leur utilisation pour faire progresser l'agriculture dans ces pays se heurte à des contraintes spécifiques, notamment le manque de pratique des chercheurs et des agents de développement, la complexité des systèmes de production africains et le manque de données fiables.*

*Le projet COSTBOX, financé par l'Ecoregional Fund to Support Methodological Initiatives (Fonds éco-régional d'appui aux initiatives méthodologiques) et mis en œuvre par l'IFDC et des institutions partenaires d'Afrique de l'Ouest, étudie l'intérêt des OAD en agriculture d'Afrique sub-saharienne, en particulier pour la gestion des sols. L'expérience de COSTBOX montre que les chercheurs et agents de développement du continent s'intéressent grandement aux applications de ces outils, mais aussi qu'il est*

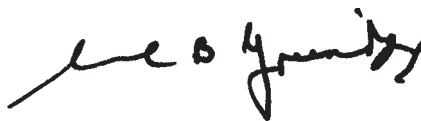
*indispensable d'assurer l'accès à des OAD adaptés, à des données fiables et à la formation.*

*Ce guide présente plusieurs études de cas qui montrent comment on peut combiner divers outils pour s'adapter à une situation spécifique. Certaines études montrent aussi comment l'utilisation d'OAD peut être associée à une démarche d'apprentissage participatif et recherche-action. Ces études de cas ont permis de dresser un tableau d'ensemble pour guider l'utilisateur dans son choix d'un ou plusieurs outils adéquats à un stade donné de la démarche de recherche-développement en agriculture.*

*Nous espérons que ce guide aidera à mieux faire connaître les OAD et à en accroître l'utilisation en Afrique sub-saharienne, contribuant ainsi à améliorer l'efficacité et la productivité de la recherche-développement agricole dans la région en général.*



Amit H. Roy  
Directeur, IFDC



Carl B. Greenidge  
Directeur, CTA

## MESSAGE DU FONDS ÉCO-RÉGIONAL

*Les petits exploitants agricoles africains travaillent dans un environnement à la fois complexe et très variable : le niveau de fertilité des sols peut varier considérablement sur de faibles distances, et la pluviométrie est irrégulière. Des recommandations globales concernant les applications d'engrais, les variétés et les dates de semis ont donc peu de chances d'être efficaces pour des régions étendues. Cependant, le développement de recommandations spécifiques par site coûte cher et nécessite beaucoup de temps. Dans ce type de situation, l'utilisation d'outils d'aide à la décision (OAD) peut permettre d'économiser du temps et de l'argent et conduire à de meilleures décisions.*

*Néanmoins, les outils d'aide à la décision pour la recherche et la vulgarisation ne sont guère utilisés dans l'agriculture subsaharienne ; entre autres parce que beaucoup de projets de recherche mettent trop souvent l'accent sur un outil en particulier alors que seule une approche système peut répondre aux attentes diverses et parfois contradictoires des paysans. Un autre problème est que la disponibilité et l'accès aux données nécessaires à la mise en œuvre des OAD sont limités.*

*En 1999, la Division Afrique du Centre international pour la fertilité des sols et le développement agricole (IFDC-Afrique) a commencé à développer, évaluer et promouvoir une série d'OAD pour la gestion de la fertilité des sols dans les petites exploitations agricoles en Afrique sub-saharienne. Ces efforts ont été réalisés dans le cadre du projet « A Client Oriented Systems Toolbox for Technology Transfer Related to Soil Fertility Improvement and Sustainable Agriculture in West Africa » (COSTBOX), financé par le Fonds éco-régional et mis en œuvre en collaboration avec des instituts nationaux de recherche agricole et des universités d'Afrique de l'Ouest. Dans l'idée de promouvoir l'utilisation des OAD, le projet a organisé des cours*

*de formation et des ateliers dans divers instituts nationaux de recherche et universités agricoles du Ghana, du Bénin, du Togo et du Nigeria. Les chercheurs ont appliqué les OAD à des problèmes et des sujets intéressants spécifiquement les agriculteurs de ces pays. Le nombre d'OAD utilisés s'est graduellement accru, puisque certains problèmes ne pouvaient pas être résolus à l'aide d'un seul OAD. Pour cette raison, des contacts ont été pris avec d'autres groupes qui développent et introduisent des OAD en Afrique sub-saharienne, contribuant ainsi à des expériences d'apprentissage en réseau.*

*Ce guide a été conçu pour fournir aux utilisateurs potentiels une vue d'ensemble concrète des OAD existants et de leurs applications. Le guide inclut des études de cas qui se rapportent à la gestion de la fertilité des sols. On trouve, en outre, une présentation générale des différents stades de la prise de décision en agriculture, et pour chacun des stades des outils particuliers sont décrits en détail. Dans les annexes correspondantes, on trouvera les informations nécessaires à l'acquisition de ces outils.*

*Je considère que ce livre est un guide accessible et intéressant pour la promotion des outils d'aide à la décision, et j'espère sincèrement qu'il élargira leur utilisation, apportant sa contribution à un développement plus rapide et durable du secteur agricole en Afrique sub-saharienne pour améliorer le niveau de vie des familles paysannes de la région.*

Prof. Dr. Johan Bouma  
Président  
Comité international de conseil scientifique  
du Fonds éco-régional d'appui aux  
initiatives méthodologiques  
*International Scientific Advisory  
Committee of the Ecoregional Fund  
to Support Methodological Initiatives*

## Matières

<b>Avant-propos .....</b>	<b>iii</b>
<b>Message du Fonds éco-régional .....</b>	<b>v</b>
<b>Chapitre 1 .....</b>	<b>1</b>
Des opportunités pour l'utilisation des outils d'aide à la décision pour les petites exploitations agricoles en Afrique sub-saharienne <i>T.E. Struif Bontkes et M.C.S. Wopereis</i>	
<b>Chapitre 2 .....</b>	<b>27</b>
Évaluer les changements dans la gestion de la fertilité des sols dans le sud du Mali par l'utilisation de la cartographie des flux de ressources et le ResourceKIT <i>T. Defoer</i>	
<b>Chapitre 3 .....</b>	<b>44</b>
Utiliser NUTMON pour évaluer les pratiques culturales conventionnelles et à faible niveau d'intrants externes au Kenya et en Ouganda <i>A. De Jager, D. Onduru, C. Walaga</i>	
<b>Chapitre 4 .....</b>	<b>58</b>
Test du NuMaSS dans les exploitations agricoles aux Philippines <i>T. Corton, T. George, R. Escabarte, J. Lasquite, J. Quiton, M. Casimero</i>	
<b>Chapitre 5 .....</b>	<b>73</b>
L'utilisation de QUEFTS en vue de recommandations de fertilisation équilibrée du maïs au Togo <i>T.E. Struif Bontkes, M.C.S. Wopereis, A. Tamelokpo, K.A. Ankou, D. Lamboni</i>	



**Chapitre 6 ..... 91**

Application d'APSIM dans les systèmes des petites exploitations agricoles en zones tropicales semi-arides

*J. Dimes, S. Twomlow, P. Carberry*

**Chapitre 7 ..... 108**

Utilisation de DSSAT pour une combinaison optimale de cultivars de maïs et de date de semis dans le sud Togo

*K. Dzotsi, A. Agboh-Noaméshie, T.E. Struif Bontkes, U. Singh, P. Dejean*

**Chapitre 8 ..... 123**

Des outils d'aide à la décision pour les systèmes de riz irrigué au Sahel

*M.C.S. Wopereis, S.M. Häfele, M. Dingkuhn, A. Sow*

**Chapitre 9 ..... 137**

Des outils d'aide à la décision pour les cultures pluviales au Sahel au niveau de la parcelle et au niveau régional

*M. Dingkuhn, C. Baron, V. Bonnal, F. Maraux, B. Sarr, B. Sultan, A. Clopes, F. Forest*

**Chapitre 10 ..... 151**

Évaluer les options pour le maintien du taux de carbone organique dans le sol en agriculture intensive en savane d'Afrique de l'Ouest à l'aide du modèle Rothamsted Carbone

*J. Diels, K. Aihou, E.N.O. Iwuafor, R. Merckx, B. Vanlauwe*

## **Chapitre 11 ..... 162**

Perspectives pour l'utilisation des outils d'aide à la  
décision en recherche-développement pour l'agriculture  
en Afrique sub-saharienne

*T.E. Struif Bontkes et M.C.S. Wopereis*

## **Annexes ..... 172**

1. QUEFTS .....	172
2. DSSAT .....	175
3. APSIM .....	178
4. Rothamsted Carbone (RothC) .....	181
5. RFM <i>Resource Flow Mapping</i> .....	184
6. ResourceKIT .....	188
7. NUTMON .....	192
8. COTONS .....	195
9. NuMaSS .....	197
10. RIDEV .....	200
11. PRDSS .....	202
12. ORD .....	203
13. SOILPAR .....	204
14. Soil Water Characteristics .....	205
15. DST Légumineuses .....	206
16. SARRA-H .....	207



## CHAPITRE 1

### **Des opportunités pour l'utilisation des outils d'aide à la décision pour les petites exploitations agricoles en Afrique sub-saharienne**

*T.E. Struif Bontkes\*<sup>1</sup> et M.C.S. Wopereis\*<sup>1</sup>*

---

#### **Introduction**

En Afrique, l'agriculture est le secteur économique principal : elle fournit environ 35 % du produit national brut (PNB), 40 % des exportations et 70 % du travail. Vu son importance, l'agriculture devrait être le moteur de la croissance économique, et pourtant, les conditions de vie des petits exploitants agricoles restent très mauvaises. Parmi les 240 millions d'Africains qui doivent vivre avec moins de 1 € par jour, la plupart sont de petits exploitants des zones rurales. Cette situation tend à s'aggraver encore du fait de la croissance démographique d'à peu près 3 % par an, qui dépasse la croissance de la production alimentaire.<sup>2</sup>

Les petits exploitants agricoles d'Afrique sub-saharienne se trouvent dans des situations précaires, d'où résultent des niveaux de production souvent très inférieurs à ce qu'ils obtiendraient dans des conditions plus favorables. Les agriculteurs sont très tributaires de la fertilité de leurs sols, qui constitue souvent une de leurs ressources essentielles. La fertilité du sol, définie comme

---

<sup>1</sup>Un Centre international pour la fertilité des sols et le développement agricole (An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development, IFDC) – Division Afrique, BP 4483, Lomé, Togo

<sup>2</sup><http://www.worldbank.organization/afr/overview.htm>

\*auteurs correspondants : [struifbontkes@tiscali.nl](mailto:struifbontkes@tiscali.nl); [mwopereis@ifdc.org](mailto:mwopereis@ifdc.org)

un ensemble de facteurs chimiques, physiques et biologiques qui détermine le potentiel des terres, est en général faible en Afrique. Combinée à un climat souvent défavorable, il en résulte une pression intense sur la terre, même quand la densité de la population est relativement faible (Bremner, 1995) ce qui mène à une dégradation rapide des sols dans de nombreuses zones d'Afrique sub-saharienne. Sanchez *et al.*, 1997 affirment que « l'épuisement des sols dans les petites exploitations agricoles est la cause biophysique fondamentale du déclin de la production alimentaire par tête en Afrique sub-saharienne ».

C'est pourquoi la gestion de la fertilité des sols doit jouer un rôle central dans toute intervention visant à améliorer la productivité agricole. Les options d'amélioration de la gestion de la fertilité des sols doivent reposer sur la capacité du sol à fournir des éléments nutritifs, la disponibilité des amendements et l'utilisation judicieuse d'engrais minéraux, pour obtenir des systèmes équilibrés de gestion des éléments nutritifs. Cette approche, appelée gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), doit être intégrée dans un système incluant les aspects suivants : le climat, les mauvaises herbes, les maladies et les déprédateurs, la conduite des cultures, ainsi que les aspects socio-économiques tels que les prix des intrants et de la production, et la disponibilité de la main-d'œuvre.

Il est également important de tenir compte de la diversité et de la dynamique des réalités paysannes (Scoones, 2001). La diversité de la réalité paysanne implique que les solutions doivent tenir compte de la spécificité du site, ce qui nécessite de porter une attention particulière sur l'expérimentation paysanne et l'apprentissage participatif, ainsi que sur la création de partenariats entre ceux qui jouent un rôle dans la gestion de la fertilité des sols (exploitants agricoles, fournisseurs de crédit, détaillants d'intrants, agences de vulgarisation et de recherche, services publics) aux niveaux villageois, régional et national. Puisque le paysan opère dans un environnement dynamique, il est possible

que des solutions, efficaces dans le passé, ne le soient plus dans la situation actuelle.

Dans ces conditions, l'approche prescriptive ne fonctionne plus et doit être remplacée par une approche qui permet d'analyser et de comprendre la situation et de trouver des solutions appropriées ou d'exploiter des opportunités de façon durable (Bouma et Jones, 2001).

Ces évolutions et la complexité de la réalité paysanne nécessitent des outils qui aident les petits exploitants agricoles d'Afrique sub-saharienne dans leur prise de décision. Ces outils d'aide à la décision (OAD) faciliteront le diagnostic et l'analyse des problèmes et des opportunités liés à la fertilité des sols ainsi que l'identification d'options pour une meilleure gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS). Un grand nombre d'OAD ont été mis au point ces 10 dernières années, allant de modèles informatiques sophistiqués à de simples tableaux qui permettent de répondre à des questions telles que : « Quelles sont les meilleures options pour le choix du cultivar et l'utilisation d'engrais minéral dans le cas d'un semis tardif de maïs de grande saison des pluies sur un sol sableux dégradé ? ». Les OAD sont très utiles dans l'élaboration de recommandations de GIFS adaptées aux situations locales et suffisamment flexibles, donc répondant à la diversité et aux dynamiques de la réalité paysanne. Ils conviennent donc tout à fait à une utilisation dans le cadre du développement participatif et de la diffusion des options GIFS. Cependant, malgré leur potentiel, les OAD ne sont actuellement pas utilisés à grande échelle en Afrique sub-saharienne.

Struif Bontkes *et al.*, (2001), Matthews et Stephens, (2002) et Walker (2000) ont résumé les raisons qui empêchent l'utilisation à grande échelle des OAD dans la recherche et le développement agricoles :

- (1) les OAD n'arrivent souvent pas à saisir suffisamment la complexité des petites exploitations agricoles africaines ;

- (2) certains OAD demandent beaucoup de données qui, souvent, ne sont pas disponibles ou de mauvaise qualité ;
- (3) le manque de savoir-faire a empêché l'utilisation des OAD à grande échelle ;
- (4) les institutions qui font la promotion de l'utilisation des OAD en Afrique, mettent trop souvent l'accent sur un seul outil, alors que la complexité et la diversité des petites exploitations demandent une approche plus flexible, orientée sur les problèmes nécessitant une série d'outils d'aide à la décision parmi lesquels choisir celui ou ceux qui peuvent contribuer à résoudre le problème en question ;
- (5) le goulot d'étranglement pour l'utilisation de ces outils n'est pas forcément leur manipulation, mais plutôt le processus complet : identification du problème, identification des outils appropriés, collecte de données, application de l'outil et élaboration des conclusions basées sur les résultats afférents à la solution du problème.

L'objectif de ce guide est de contribuer à surmonter certaines de ces contraintes, surtout les contraintes 3 et 4 et, dans une certaine mesure, la contrainte 5, en offrant une vue d'ensemble d'une gamme d'outils, illustrés par quelques études de cas.

Ce chapitre présente une vue d'ensemble d'un certain nombre d'OAD qui peuvent être utilisés dans le contexte d'une approche participative de développement de technologies pour la GIFS c'est-à-dire d'un cycle d'apprentissage itératif allant du diagnostic/analyse de l'environnement de la production, à l'identification d'options GIFS, puis à l'expérimentation et l'évaluation et finalement à la diffusion à grande échelle des technologies. Les besoins en données et les groupes cibles sont brièvement discutés et une description plus détaillée des outils est fournie dans les annexes. Bien que le guide tente de présenter une large gamme d'OAD, soulignons que la liste d'outils référencés est loin d'être exhaustive. Les OAD dont on traite ici sont centrés sur une meilleure compréhension des processus bio-physiques et des

interactions entre le sol, le climat et les systèmes de productions végétales et animales. Certains permettent également d'évaluer les rendements économiques et les risques liés aux options proposées. Cependant, ils prennent en compte essentiellement les éléments minéraux dans la fertilité des sols, et ignorent généralement les aspects physiques et biologiques de la GIFS. Ces effets non-nutritionnels sont particulièrement importants quand des amendements organiques sont utilisés en combinaison avec l'application d'engrais minéral, ce qui peut aboutir à des gains importants dans l'efficacité de l'utilisation d'engrais. Cependant, de telles synergies ne sont pas encore suffisamment prises en compte dans les OAD disponibles aujourd'hui, et c'est une lacune importante dans notre connaissance du potentiel des options GIFS en Afrique sub-saharienne.

Dans les chapitres suivants, les études de cas montrent comment ces outils peuvent être utilisés dans la pratique et ceci, à différentes échelles spatiales (exploitation agricole, village, région) et temporelles (jours, saison culturale, années). Dans le chapitre final nous réfléchissons sur les liens entre les différentes études de cas et sur les moyens de promouvoir l'utilisation des outils.

### **Utiliser les outils d'aide à la décision (OAD) dans le processus de recherche-développement**

Les outils d'aide à la décision peuvent être différenciés selon leur nature ou le type de décision à prendre. Certains sont très simples à utiliser et ne demandent qu'un nombre limité de données, d'autres sont plus complexes et sont principalement destinés aux chercheurs formés. Les OAD présentés dans ce guide couvrent les catégories suivantes :

- des arbres de décisions utilisant des règles empiriques ou des informations quantitatives que l'on peut trouver dans des bases de données ;



- des bases de données qui fournissent de l'information importante pour la prise de décision. Les bases de données de ce type peuvent être indépendantes, telles que l'ORD (*Organic Resource Database*) pour les ressources organiques et le PRDSS (*Phosphate Rock Decision Support System*) pour de différents types de phosphate naturel, ou intégrées dans un autre outil (beaucoup d'outils comprennent une base de données). Dans certains cas, ces données – telles que les données sur les sols – sont géo-référencées ;
- des calendriers culturaux avec des conseils sur les dates de semis, l'application d'engrais, etc. ;
- des diagrammes qui visualisent les flux des différents éléments nutritifs, de la biomasse, des produits mais aussi les flux monétaires entre différentes unités de production et les éléments entrant ou sortant de l'exploitation (NUTMON, *Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems* ; RFM, *Resource Flow Mapping*) ;
- des outils aidant à quantifier, à calculer et à visualiser ces flux (NUTMON, ResourceKIT, voir annexe 6) ;
- des outils pour calculer les doses/ratios optimaux d'engrais (NuMaSS, *Nutrient Management Support System* ; QUEFTS, *Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils*) ;
- des modèles dynamiques qui simulent certains aspects importants d'un système agricole (p.ex. une modélisation du cycle du carbone du sol sur plusieurs années : le modèle Rothamsted Carbon) ;
- des modèles dynamiques qui simulent les processus essentiels liés au développement des cultures (p.ex. modélisation des effets du climat, des sols, des caractéristiques des cultures et de la conduite des cultures sur les rendements, tels que DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*), CO-TONS, APSIM (*Agricultural Production Systems Simulator*) et RIDEV, (*Rice Development*) ;
- des outils qui mettent en relation les caractéristiques du climat et les propriétés hydrauliques du sol avec le bilan hydrique au niveau de la parcelle, et le bilan hydrique avec le résultat de la

- culture, comme le modèle SARRA (Système d'analyse régional des risques agro-climatiques) ;
- des outils qui permettent d'estimer, à partir de paramètres facilement mesurables les données nécessaires à l'utilisation d'outils plus sophistiqués. Cela inclut par exemple les fonctions qui utilisent l'information concernant la texture du sol (facile à mesurer) pour estimer les caractéristiques hydrauliques du sol (p.ex. SOILPAR, *Soil Parameters estimate*). On appelle ces fonctions « des fonctions de pédotransfert ».

Le tableau 1 présente un résumé des OAD et de leur nature.

**Tableau 1. OAD utilisés dans ce guide et leur niveau de complexité**

Outil d'aide à la décision	Type / Complexité	Chapitre d'étude de cas	Annexe
Cartes des sols	Base de données / Simple	2,6	
Calendrier cultural	Calendrier / Simple	7,8	
RFM	Diagramme des flux d'éléments nutritifs / Simple	2	5
ResourceKIT	Quantification des flux d'éléments nutritifs / Moyen	2	6
DSS Légumineuses	Arbre de décision / Simple		15
ORD	Base de données / Simple		12
QUEFTS	Doses optimales d'engrais / Moyen	5	1
NUTMON	Quantification des flux d'éléments nutritifs / Moyen	3	7
NuMaSS	Doses optimales d'engrais, base de données / Moyen	4	9
PRDSS	Base de données / Simple		11
RIDEV	Modèle dynamique du riz / Moyen	8	10
DSSAT	Modèle dynamique de culture / Complexe	7	2
APSIM	Modèle dynamique de culture / Complexe	6	3
COTONS	Modèle dynamique de culture / Complexe		8
ROTHC	Modèle dynamique du carbone / Moyen	10	4
SOILPAR	Fonctions de pédotransfert / Complexe		13
Paramètres SOL-EAU	Fonctions de pédotransfert / Simple		14
SARRA	Modèle dynamique du bilan hydrique / Moyen	9	16

Il est possible de classer les prises de décision en agriculture de différentes façons, par exemple, en relation avec la dimension temporelle de la décision : des décisions à court terme (p.ex. quand appliquer l'engrais), à moyen terme (p.ex. choix de la variété) ou à long terme (p.ex. décision de commencer l'agro-foresterie).

Ce chapitre donne une vue globale de plusieurs OAD par rapport à la position du processus de prise de décision dans le continuum recherche-développement. On distingue cinq stades différents :

- **Phase de sélection des sites stratégiques** — en vue d'identifier des zones convenant à une activité particulière, p.ex. une zone qui convient à la culture du coton. Ces zones doivent satisfaire à un certain nombre de critères, tels que l'accessibilité, le climat, les sols ;
- **Phase de diagnostic/analyse** — Lors de cette phase, des problèmes sont identifiés et analysés. Par exemple, les niveaux de production réels sont très inférieurs à ce qu'on pourrait attendre compte tenu des conditions de sol et de climat (diagnostic), et cela est dû à une perte en éléments nutritifs par le système (analyse) ;
- **Phase d'identification des options** — Durant cette phase, les options d'amélioration sont identifiées et comparées, et des évaluations *ex-ante* sont menées, parmi lesquelles l'analyse des conséquences financières et des risques. Par exemple : « Quelle sera la réponse en rendement du maïs à des options alternatives de gestion de fertilité du sol ? », ou « quel est le risque lié au choix d'une combinaison donnée : variété de maïs x dose d'engrais x période de semis ? » ;
- **Phase d'évaluation** — À ce stade, les résultats obtenus sur le terrain sont évalués et interprétés. Cette phase peut également servir à évaluer et à améliorer l'outil lui-même ;
- **Phase de diffusion des technologies** — À partir du moment où des technologies viables ont été mises au point sous certaines conditions, il faut vérifier les chances de succès d'une technologie dans d'autres conditions en adaptant le « profil de la

technologie » aux caractéristiques environnementales correspondantes.

L'utilisation des OAD pour chaque phase est traitée plus en détail ci-dessous.

### **Phase de sélection de sites stratégiques**

Sélectionner soigneusement les zones d'intervention et les sites clés est une condition préalable au développement fructueux d'une technologie et à sa diffusion. Les OAD peuvent jouer un rôle dans cette phase comme outils exploratoires, surtout en combinaison avec un système d'information géographique (SIG). Selon les objectifs, les zones d'intervention devraient pouvoir répondre à des critères portant p.ex. sur la densité de population, la fertilité des sols, le climat, les distances aux marchés et les écarts de rendements (différences entre les rendements obtenus et les rendements potentiels compte tenu des conditions de sol et de climat). Un SIG permet dans ce cas de combiner les différents types de données et de sélectionner des zones qui satisfont à tous les critères de sélection ou la plupart d'entre eux, p.ex. toutes les zones avec une pluviométrie totale comprise entre 900 et 1 100 mm, ayant une profondeur de sol d'au moins 0,6 m et dont la distance à la ville de 25 000 habitants la plus proche n'excède pas 15 km. Pour calculer les écarts de rendements, le SIG doit être combiné avec un modèle de simulation de culture. Ceci permet l'estimation des rendements potentiels d'une culture irriguée ou pluviale pour toutes les combinaisons possibles : site x date de semis x cultivar, pour un certain nombre de séries de données climatiques, et de comparer ces rendements potentiels simulés avec les rendements paysans afin d'indiquer la marge de progrès possible. On trouve un exemple de l'utilisation combinée d'un SIG et d'un modèle de simulation de culture (DSSAT) dans le chapitre 7.

Cependant, il faut souligner, qu'au-delà des résultats produits par les OAD, beaucoup d'autres facteurs influencent la sélection

des sites clés, comme la présence de réseaux d'information et de communication, les possibilités de création de partenariats entre acteurs du développement agricole, etc.

### **Phase de diagnostic/analyse**

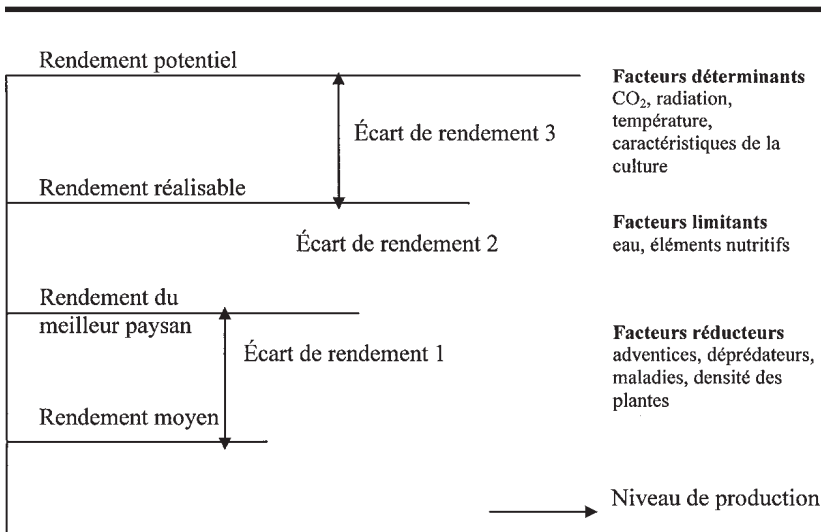
**Identification du problème et sensibilisation** — Après identification des sites clés, la première étape au niveau de la communauté est d'élaborer une interprétation commune du paysage local, c'est-à-dire comment il s'est transformé au fil du temps et comment ce changement a affecté la fertilité du sol. À cet effet on peut demander aux exploitants agricoles quels ont été les changements au cours des 10 à 20 dernières années, et si, à leur connaissance, il y a des différences entre exploitations, entre différentes parties du territoire villageois, ou avec d'autres villages qu'ils connaissent.

Ce guide se concentre sur la gestion intégrée de la fertilité du sol, mais beaucoup d'autres questions sont liées à ce sujet. Cela veut dire qu'il faut engager les discussions avec les agriculteurs avec un esprit ouvert. Pour susciter leur intérêt, il faut les encourager à parler de tous les problèmes liés à la production agricole. La discussion devrait aller au-delà des causes directes de la faible productivité des sols, car il peut y avoir d'autres contraintes qui les empêchent de prendre les mesures appropriées pour résoudre ces problèmes. À ce stade, il est utile de demander aux agriculteurs de dessiner une carte du territoire villageois où ils indiqueront les différents types de sols, les points d'eau, les cultures pratiquées et l'infrastructure routière. Parcourir ensemble des transects permet de faciliter cette démarche et de la combiner avec le diagnostic des problèmes.

La carte du territoire peut devenir un important outil d'information et de communication dans les discussions avec les agriculteurs. Cette approche est incluse dans plusieurs OAD qui sont présentés dans ce guide, tels que NUTMON et RFM. Il faudrait inciter les agriculteurs à estimer les aptitudes de chaque type de

sol pour différentes cultures. Il est également important de connaître les indicateurs que les agriculteurs utilisent pour évaluer la fertilité des sols. Il peut s'agir de la couleur ou de la texture du sol, de symptômes de déficience en nutriments ou de la présence de certaines espèces de mauvaises herbes dans les jachères. NuMaSS est un outil utile pour diagnostiquer les symptômes d'insuffisance en nutriments pour de nombreuses cultures.

**Analyse d'écart de rendement** — Les rendements obtenus par les agriculteurs sont très souvent bien inférieurs à 50 % du rendement potentiel, dans des conditions de milieu et de culture données. La figure 1 illustre les facteurs qui définissent les écarts de rendement à différents niveaux. Le rendement potentiel ou rendement maximal ( $Y_{max}$ ) est le rendement obtenu si seuls le climat et le cultivar sont limitants tous les autres facteurs étant optimaux. En conditions irriguées, l'eau est supposée ne pas être un facteur limitant, mais en conditions pluviales, cette supposition n'est souvent pas vraie. Le  $Y_{max}$  n'est pas une constante, il



**Figure 1. Effet de la gestion des cultures sur le rendement potentiel ou maximal, le rendement réalisable, le rendement du meilleur agriculteur et le rendement moyen des agriculteurs**

fluctue d'une année à l'autre et selon la date de semis du fait de la variabilité climatique. Le rendement réalisable ( $Y_r$ ) est le rendement « limité par les éléments nutritifs » que les agriculteurs peuvent obtenir avec les pratiques habituelles de gestion de la fertilité des sols, mais avec une gestion optimale de l'eau et des cultures. Le  $Y_r$  maximal est en général d'environ 80 % du  $Y_{\max}$  et on le désigne souvent comme rendement rentable cible ( $Y_{\text{cible}}$ ) parce que, très souvent, il n'est pas rentable de combler le reste de l'écart, soit 20 % du  $Y_{\max}$  (Fairhurst et Witt, 2002). En réalité, les rendements paysans ( $Y_p$ ) sont souvent très inférieurs, du fait d'une série de contraintes au développement des cultures, telles que la pression des mauvaises herbes, des déprédateurs et des maladies ainsi que des pratiques sub-optimales de gestion de la fertilité des sols et de l'eau.

Une première approche utilisée pour essayer de comprendre les causes des faibles rendements est la comparaison entre les rendements moyens obtenus au niveau du village et les rendements atteints par les meilleurs agriculteurs. Les discussions avec les agriculteurs peuvent donner des pistes sur les différences de pratiques entre « les meilleurs agriculteurs » et les autres. Cela peut aider à identifier les causes des différences de rendements, p.ex. les mauvaises herbes, les déprédateurs ou les maladies (facteurs réducteurs) et à indiquer des voies d'amélioration à court terme (écart de rendement 1 = rendement du meilleur paysan - rendement moyen).

Les modèles de simulation (DSSAT, APSIM, COTONS, SARRA) peuvent être appliqués pour déterminer le plafond de rendement réalisable dans des conditions de croissance données (écart de rendement 2 = plafond du rendement réalisable - rendement meilleur paysan). Ce plafond est limité par les éléments nutritifs et/ou l'eau (facteurs limitatifs). Enfin, ces modèles peuvent également être utilisés pour déterminer le rendement potentiel, c'est-à-dire lorsqu'il y a suffisamment d'eau et d'éléments nutritifs disponibles. Il faut bien noter que ces écarts de rende-

ments donnent des indications sur ce qui est possible du point de vue agronomique, et non sur ce qui serait économiquement optimal.

Les modèles de simulation de culture peuvent également faciliter l'analyse des pratiques paysannes, et l'identification des domaines où l'amélioration est possible.

Parmi les facteurs limitant ou réduisant le développement d'une culture, on trouve souvent en tête la fertilité du sol. Cependant, il ne faut pas oublier que la croissance dans les champs paysans peut également souffrir de la sécheresse ou de l'excès d'eau, de maladies, de déprédateurs ou de mauvaises herbes. Les pratiques habituelles de culture, telles que la variété utilisée, la densité, la date de semis et le type d'engrais appliqué peuvent empêcher le paysan d'obtenir de meilleurs rendements. Dans ce dernier cas, la réponse de la culture à l'application d'engrais peut être décevante, parce que le type d'engrais employé ne répond pas aux besoins du sol, p.ex. des sols qui manquent de K ne vont pas répondre à l'application de doses importantes de N ou de P.

Il existe plusieurs outils qui permettent de mieux comprendre les limitations dues aux éléments nutritifs. QUEFTS est un outil simple qui permet d'analyser l'efficacité des doses de N, P et K utilisées et ne nécessite que peu de paramètres relatifs à la fertilité du sol. L'outil NuMaSS aide à diagnostiquer les problèmes de fertilité du sol liés à N et P et à l'acidité du sol. Bien que NuMaSS nécessite plus de données que QUEFTS, il comprend une base de données élaborée, où l'on trouve les teneurs en éléments nutritifs des cultures, des données pédologiques et des photos de cultures présentant des symptômes de carences nutritionnelles.

La réponse des cultures au phosphate naturel (PN) peut être analysée pour différents types de sols et de cultures avec PRDSS (*Phosphate Rock Decision Support System*). Couvrant une gamme



étendue de types de phosphates naturels d'Afrique sub-saharienne, cette base de données permet de choisir le PN qui convient au sol, au climat et à la culture pour un endroit donné. Il évalue les prélèvements de P à partir du phosphate naturel pour la première année, et compare le résultat avec l'absorption de P d'un engrais minéral comme le superphosphate triple (TSP).

Une mauvaise réponse à l'engrais peut également être due à d'autres facteurs comme la faible profondeur de sol, le potentiel de production limité de la culture/variété, la concurrence des adventices ou une mauvaise combinaison de la date de semis et de la variété. Pour ce type d'analyse, on peut utiliser des outils de simulation comme DSSAT, APSIM, COTONS, SARRA ou RIDEV.

Le manque de main-d'œuvre peut également réduire les rendements, car il peut retarder le semis, le désherbage ou la récolte. Afin de comprendre dans quelle mesure la période de réalisation des travaux peut être la cause d'une faible productivité, le *calendrier cultural* du paysan peut être comparé avec le calendrier optimal, obtenu à l'aide d'outils de simulation de culture.

Pour mieux comprendre le rôle de la gestion de la fertilité des sols, il est intéressant de cartographier les *flux de ressources et d'analyser les flux d'éléments nutritifs*. La gestion de la fertilité des sols implique le transfert et la transformation d'éléments nutritifs. Les agriculteurs transportent des matériaux qui contiennent ces éléments minéraux, que ce soit des produits récoltés, du fumier, des engrais ou de la paille pour construire les toits. Certains processus aboutissent à des pertes en éléments nutritifs, p.ex. tout le carbone et l'azote de la paille sont perdus lorsque celle-ci est brûlée. Il faut réaliser que ces analyses tentent de modéliser une réalité complexe et doivent par conséquent être utilisées avec précaution. Il est important de définir clairement les limites du système de production analysé, et les limites de ses sous-systèmes (p.ex. le système de production rizicole ou des cultures maraî-

chères, le système de production animale, le système de ménage). La cartographie des flux de ressources (*RFM: Resource Flow Mapping*) peut constituer un premier OAD qualitatif : on demande aux agriculteurs de figurer les flux de matières qui entrent et sortent de leurs champs ou de leur exploitation. Ce type d'approche peut donner une première indication sur des pratiques de gestion de la fertilité des sols déséquilibrées, c'est-à-dire que la quantité d'éléments nutritifs qui sort la parcelle est plus élevée que la quantité qui y rentre.

Pour comparer les flux, il faut les exprimer dans une même unité, p.ex. des kg d'azote, de phosphore ou de potassium. Il faut donc connaître la concentration, en azote p.ex., dans le fumier, la paille et les grains de mil, etc., ainsi que la quantité totale de matière sèche (à 0 % d'humidité) produite, transformée ou transportée. À l'aide de NUTMON et de ResourceKIT, on peut quantifier les flux de ressources aussi bien au niveau de la parcelle que de l'exploitation agricole. Une des difficultés pour quantifier ces flux vient du manque de données sur les teneurs en éléments nutritifs. NUTMON ne comprend pas seulement des bases de données sur la teneur en éléments nutritifs des cultures, fumiers, etc., mais également des estimations de la production de fumier, d'ordures ménagères, d'excréments humains et des quantités ingérées par les animaux. L'outil NUTMON permet aussi de quantifier les flux qui sont « invisibles » pour les agriculteurs, tels que la volatilisation et le lessivage d'azote.

Le tableau 2 donne un aperçu des OAD qui peuvent être utilisés durant la phase de diagnostic du cycle de développement participatif de technologies. Ces outils sont généralement ré-utilisés durant l'identification des options de solution et/ou des opportunités identifiées durant cette phase.

### **Phase d'identification des options**

À la fin de la phase de diagnostic, des problèmes ou des domaines d'opportunité auront été identifiés. Le défi suivant est

**Tableau 2. OAD pour la phase diagnostique du développement participatif de technologies**

But	Outils	Données nécessaires	Utilisateurs potentiels
Compréhension commune du paysage	Discussion avec agriculteurs (utilisation actuelle du sol et histoire) Parcours de transects	Très peu	Agriculteurs, vulgarisation, recherche
Variabilité spatiale de la fertilité des sols	Parcours de transects Cartes (sols, aptitudes des sols) Photos (des symptômes des carences nutritives)	Très peu	Agriculteurs, vulgarisation, recherche
Identification des écarts de rendements	Comparaison des rendements entre agriculteurs et entre parcelles	Très peu	Agriculteurs, vulgarisation, recherche
	DSSAT, APSIM, COTONS, SARRA	Beaucoup	Recherche
Identification des facteurs limitant ou réduisant la croissance des cultures	Calendriers culturaux, observations aux champs, rendements enregistrés	Peu	Agriculteurs, vulgarisation, recherche
	QUEFTS, NuMaSS, PRDSS	Moyen	Recherche
	DSSAT, APSIM, COTONS, RIDEV, SARRA	Beaucoup	Recherche
Identification des fuites, des pertes et des ressources inexploitées	Cartes des flux de ressources (RFM)	Peu	Agriculteurs, vulgarisation, recherche
	NUTMON, ResourceKIT	Moyen	Recherche

d'identifier les solutions potentielles qui pourraient résoudre les problèmes ou tirer parti des opportunités. Sans doute les premières options apparaîtront-elles déjà durant les visites de terrain avec les agriculteurs, que ce soit dans leurs propres champs ou dans d'autres, et durant les discussions des résultats des études diagnostiques. Les chercheurs et agents de vulgarisation peuvent contribuer à ces discussions à l'aide de quelques OAD qualitatifs et quantitatifs. Ceci peut aider à examiner les options générées et à retenir les plus prometteuses pour des tests supplémentaires. Il pourrait s'avérer utile de dresser une liste de tous les critères à

satisfaisant pour résoudre le problème ; ceci afin d'éviter que seuls les aspects pouvant être abordés par l'OAD soient inclus, puisque d'autres aspects peuvent constituer des blocages plus sérieux.

Les choix liés à la GIFS peuvent être groupés comme suit :

- ajouter une fumure minérale ou organique ;
- mieux gérer les ressources disponibles ;
- améliorer l'efficacité de l'utilisation des intrants.

**Ajouter une fumure minérale ou organique** — Une des options est de chercher l'augmentation du capital nutritif du sol à long terme par la jachère, par l'application de fumure organique ou par l'application unique d'une dose élevée d'engrais phosphaté ou de phosphate naturel.

La gestion des ressources organiques visant à augmenter le taux de matière organique dans le sol demande une vision à long terme. Le modèle *Rothamsted Carbon* (RothC) a été développé pour permettre d'estimer l'effet de divers amendements organiques sur les différentes catégories de carbone organique du sol sur une longue période. Pour évaluer les rythmes probables de décomposition de différents amendements organiques, l'outil ORD (*Organic Resource Decision-support tool*) peut être utile. L'ORD fournit des données sur les teneurs en N, lignine et polyphénol par type de fertilisant organique. Avec des matériaux de haute qualité (beaucoup de N, peu de lignine, peu de polyphénol), la libération de N est importante et rapide, précédant la période principale d'absorption de N par la culture, mais la contribution à l'enrichissement organique du sol est faible. En principe, ces matériaux sont de bons substituts aux engrais minéraux, mais de grandes quantités seront nécessaires à cause de leur faible teneur en N (rarement supérieure à 4 %). Les matériaux de moindre qualité (lignine ou polyphénol élevés) libèrent leur N en proportions plus faibles et à un rythme lent mais continu, et contribuent plus à l'accumulation de matière organique dans le sol. Ces matériaux peuvent être utilisés comme mulch pour lutter

contre l'érosion et pour conserver l'eau ou être mélangés avec un engrais ou ajoutés au compost. La base de données associée à l'outil ORD fournit des valeurs moyennes pour une large gamme de ressources organiques en termes de pourcentages de N, P, lignine et polyphénol.

APSIM et la dernière version de DSSAT (Gijsman *et al.*, 2002) permettent de simuler l'accumulation de la matière organique sur une longue période en fonction de la gestion des ressources organiques. Cependant, l'accumulation de phosphore (P) dans le sol reste difficile à simuler, bien que les développeurs des modèles APSIM et DSSAT essaient actuellement d'incorporer ce processus dans leurs modèles. Bien que le phosphate naturel (PN) soit couramment appliqué pour enrichir les sols en P, la version actuelle de PRDSS ne calcule pas l'effet résiduel de l'application de PN sur les réserves en P du sol.

À part la constitution d'un capital en éléments nutritifs du sol, l'engrais est surtout utilisé pour son intérêt à court terme, c'est-à-dire l'augmentation des rendements. Des stratégies de gestion équilibrée des éléments nutritifs exigent que les nutriments provenant d'applications d'engrais minéraux et les éléments nutritifs fournis par le sol, correspondent aux besoins des cultures. QUEFTS et NuMaSS sont des OAD adaptés pour élaborer des stratégies équilibrées d'application d'engrais ; QUEFTS pour N, P et K et NuMaSS pour N, P et chaux. QUEFTS tient compte des interactions entre N, P et K et permet de déterminer les rapports optimaux entre les doses de ces éléments. Les modèles dynamiques de simulation de cultures présentés dans ce guide prennent seulement en compte des conditions de croissance limitées en N, en supposant que P et K sont présents en quantités suffisantes.

L'application combinée d'engrais minéral et de fertilisants organiques peut induire des effets de synergie et accroître l'efficacité de l'utilisation des engrais. Par exemple, les engrais verts ou les résidus de cultures peuvent servir de mulch pour supprimer les

mauvaises herbes et peuvent amplement améliorer les conditions hydriques dans la zone racinaire. L'augmentation de la teneur en matière organique des sols peut améliorer la structure du sol, la CEC, le pH et la capacité de rétention. Cependant, ce type d'interaction n'est pas encore bien pris en compte par les OAD actuels.

La rotation des cultures peut également améliorer la fertilité du sol, p.ex. la rotation de céréales avec des légumineuses. Un outil d'appui à la décision pour l'utilisation de légumineuses a été développé pour estimer la faisabilité de leur utilisation.

**Meilleure gestion des ressources disponibles** — Des diagrammes de flux de ressources sont utiles pour identifier les ressources qui sont peu ou mal utilisées, sans être pour autant perdues pour le système. Un exemple serait la possibilité d'utiliser les excréments humains des fosses des latrines, ou le compostage des résidus organiques disponibles dans l'exploitation. L'ORD permet d'identifier les ressources organiques les mieux adaptées au compostage, ou au contraire à l'épandage direct comme mulch ou pour fournir des éléments nutritifs. Certaines ressources organiques ayant des taux de décomposition élevés devraient principalement être considérées comme des fournisseurs d'éléments nutritifs, tandis que celles qui se décomposent lentement peuvent être utilisées pour accroître la matière organique du sol. L'ORD fournit de l'information concernant différents types de ressources organiques et leur usage optimal en termes de GIFS.

**Augmenter l'efficacité de l'utilisation des intrants externes** — L'azote et le phosphore sont les éléments qui sont le plus souvent limitatifs pour le développement des cultures en Afrique subsaharienne. L'azote est hautement dynamique et est facilement perdu par le système. Même si la plante n'absorbe pas immédiatement le P, il est rarement perdu par la zone racinaire. Cependant, certains sols fixent de grandes quantités de P, rendant alors les stocks de P largement indisponibles.

Augmenter l'efficacité des intrants utilisés en termes d'éléments nutritifs est par conséquent surtout important pour l'azote. Deux facteurs sont très importants : l'absorption effective par la plante de l'azote appliqué, et l'utilisation de l'azote de la plante pour produire de la matière sèche récoltable, c'est-à-dire l'efficacité de l'azote physiologique. Le produit du taux de récupération de N ( $\Delta N$  absorbé par la plante / kg N appliqué) par l'efficacité de l'utilisation d'azote physiologique ( $\Delta$  rendement /  $\Delta N$  absorbé par la plante) est l'efficacité agronomique (augmentation en kg de grains par kg de N appliqué).

La récupération de N peut être améliorée par une meilleure conduite des cultures et par le choix des espèces cultivées. La synchronisation des besoins en éléments nutritifs de la plante et de l'application des engrais peut renforcer considérablement la récupération et des OAD comme DSSAT, APSIM, COTONS et RIDEV peuvent aider à identifier les intervalles optimaux de l'application d'engrais en fonction du choix du cultivar et de la date de semis.

Les variétés locales peuvent produire mieux sans intrants que les variétés améliorées, tandis que les variétés améliorées se développent mieux dans un environnement favorable avec intrants. Le potentiel de rendement et donc les besoins en engrais sont également affectés par la date et la densité de semis. Les modèles de simulation de culture aident à déterminer le potentiel de rendement du cultivar et les besoins correspondants en éléments nutritifs.

Les mauvaises herbes, les déprédateurs et les maladies de la culture sont parfois de vrais goulots d'étranglement, et il peut s'avérer plus rentable de dépenser de l'argent pour le sarclage ou la prévention des attaques de déprédateurs et de maladies que pour l'engrais. Certains OAD tels qu'APSIM incluent l'effet de la compétition des mauvaises herbes sur la croissance dans leur modèle, et cet OAD peut alors être utilisé pour établir des dates

seuils pour le sarclage. De fréquentes observations de terrain, des discussions avec les agriculteurs et le positionnement des dates des interventions des agriculteurs sur le calendrier cultural, sont cependant en général le meilleur moyen d'identifier les principaux facteurs réducteurs du développement et les stratégies alternatives.

**Analyses de rentabilité et de risque** — Le facteur risque est très important pour les agriculteurs. Les agriculteurs soumis aux risques ne seront pas prêts à investir dans des intrants qui ne réduisent pas ces risques. APSIM, DSSAT, RIDEV, SARRA et COTONS facilitent l'évaluation des risques dus à la variabilité de la date de semis liée au climat, à l'application d'engrais, la densité de peuplement, l'introduction de nouvelles cultures et variétés, etc.

Cependant, la rentabilité des cultures est également dépendante d'autres facteurs comme les prix des intrants et des produits, les possibilités de commercialisation et de stockage des productions, la valeur des produits secondaires et le besoin, la disponibilité et les coûts de la main-d'œuvre. L'environnement socio-économique et institutionnel peut également être important : impôts, accès au marché des intrants (et écoulement des produits), statut foncier (les agriculteurs qui ne sont pas propriétaires des terrains qu'ils cultivent peuvent hésiter à investir dans la fertilité du sol), ou degré de pauvreté du paysan (logiquement les agriculteurs pauvres cherchent plus à éviter les risques que les agriculteurs plus riches). Ces facteurs ne sont cependant pas pris en compte par les OAD présentés dans ce guide.

Le tableau 3 présente un résumé des OAD qui peuvent être utilisés pour identifier les options GIFS esquissées ci-dessus.

### **Phase d'évaluation**

Après l'identification des options GIFS, les OAD aident à limiter le nombre de solutions à tester en expérimentation, que ce



**Tableau 3. OAD utiles durant la phase d'identification d'options adaptées**

Identification des options GIFS			Laps de temps
Application de fumure minérale ou organique	Meilleure gestion des ressources disponibles	Amélioration de l'efficacité de l'utilisation des intrants externes	
QUEFTS NuMaSS		QUEFTS NuMaSS	Moyen terme
	RFM NUTMON		Moyen terme
PRDSS			Moyen à long terme
ORD	ORD		Moyen à long terme
RIDEV, DSSAT, APSIM, COTONS		RIDEV, DSSAT, APSIM, COTONS	Variable
RothC			Long terme
OAD Légumineuses			Moyen terme

soit en milieu paysan ou en station. À ce stade, le rôle des modèles diminue, parce qu'ils ne sont que rarement suffisamment fiables pour remplacer les tests pratiques. Les OAD peuvent quand même être utilisés pour évaluer et interpréter les résultats des expérimentations, p.ex. pour estimer l'effet de l'irrégularité des pluies durant la période de végétation sur le développement et la mise en place de la culture (p.ex. avec DSSAT, COTONS, SARRA ou APSIM). Les résultats des expérimentations peuvent également être utilisés pour améliorer les OAD, si des observations clés, permettant la validation et l'amélioration des outils, ont été faites au cours de la période de végétation.

### **Phase de diffusion des technologies**

La diffusion à grande échelle peut être envisagée pour les technologies les plus prometteuses. Durant cette phase, les OAD en combinaison avec le SIG peuvent de nouveau être utilisés comme outils exploratoires. En combinant les conditions optimales d'application d'une technologie avec les caractéristiques environnementales des zones cibles, on peut obtenir une première

indication concernant les chances de succès de la technologie. Par exemple, l'analyse des conditions à satisfaire pour une technologie pourrait indiquer qu'elle marche bien dans des sols pauvres, avec un climat à distribution bimodale des pluies, une pression démographique relativement faible, et une utilisation minimale d'intrants du fait de l'éloignement des marchés. En combinant l'OAD approprié aux données géo-référencées dans un SIG telles que : climat, sols, densité démographique, infrastructure routière et marchés, il est possible d'identifier des régions où la technologie aurait des chances d'être adoptée.

### **Utiliser les outils**

Qui utilise ces outils ? Les outils ont pour but d'améliorer la vie des petits agriculteurs et de leurs familles en Afrique subsaharienne. Cependant, les utilisateurs directs sont normalement les chercheurs, et pour certains outils plus simples, également les agents de planification et de vulgarisation. Pour vérifier la pertinence des OAD, ceux-ci doivent être utilisés en étroite interaction avec la population cible. Il est important de vérifier les points suivants quand on sélectionne des OAD pour traiter une contrainte ou une opportunité donnée :

- est-ce que l'outil est approprié pour répondre à la question ? Puisque tous les outils sont des outils spécialisés, il est important de sélectionner l'outil (ou la combinaison d'outils) qui convient le mieux. Cela suppose une définition correcte de la question et de connaître le futur utilisateur ;
- est-ce que l'outil (et l'équipement nécessaire pour l'utiliser) est disponible ? Certains outils sont gratuits ou sont faciles à télécharger directement à partir d'Internet, d'autres doivent être achetés ;
- quelles compétences faut-il avoir pour utiliser l'outil ? Certains outils sont très simples mais d'autres sont difficiles à utiliser sans formation ou sans accès à un service d'assistance ;
- quelle est l'exigence (minimale) en données pour cet outil et quelles sont les données disponibles ? La disponibilité des don-

nées est souvent un goulot d'étranglement pour l'application des outils, même dans le cas des outils les plus simples.

Si l'utilisation de modèles par les chercheurs est encore loin d'être une pratique commune en Afrique, c'est entre autres parce que peu de chercheurs africains ont eu l'occasion de les pratiquer ; mais il y a aussi des outils qui ne sont pas adaptés aux problèmes qui se présentent, ou pour lesquels les données fiables manquent (ce dernier point constitue une limitation importante à l'application des outils les plus sophistiqués). Il faut donc poursuivre les efforts afin que (i) les agronomes aient l'occasion de connaître ces outils, (ii) l'analyse des systèmes et la modélisation soient intégrés dans les programmes des universités, (iii) des bases de données géo-référencées pour les climats et les sols soient développées, (iv) les modèles soient validés et adaptés aux principales zones agro-écologiques. Ces efforts sont déjà engagés dans différents pays et un nombre croissant de chercheurs s'enthousiasme pour l'utilisation de ces outils.

Néanmoins, du fait des limites qui demeurent, les OAD doivent être utilisés avec précaution, et il faut garder à l'esprit que les outils d'aide à la décision doivent contribuer mais pas se substituer à des prises de décision raisonnables. Les OAD sont par exemple un bon outil pour classer des options, mais ils ne le sont pas pour en prédire la performance exacte.

Comme on l'a vu, les OAD peuvent jouer un rôle important tout au long du continuum recherche-développement en agriculture en Afrique sub-saharienne. Si les OAD sont plus largement utilisés, la collecte et l'analyse des données sera sans doute mieux ciblée ce qui contribuera à réduire les coûts de recherche. Les OAD sont également utiles pour mettre en évidence des incohérences dans les jeux de données. Et finalement, plus les OAD seront utilisés, plus fréquentes seront les opportunités pour les évaluer et les améliorer.

## Références

- Bouma J., Jones J.W., 2001. An international collaborative network for agricultural systems applications (ICASA). *Agricultural Systems*, 70 : 355-368.
- Breman H., 1995. Sustainable agriculture in the Sahel? (Integrated farming, perennials and fertilizers). In *Eco-regional approaches for sustainable land use and food production*, J. Bouma *et al.* (Eds.). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 213-235.
- Fairhurst T., Witt C., 2002. *Rice: a practical guide to nutrient management*. Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash and Phosphate Institute of Canada (PPIC), International Rice Research Institute (IRRI), 89 p. + annexes.
- Gijsman A.J., Hoogenboom G., Parton W.J., Kerridge P.C., 2002. Modifying DSSAT Crop Models for Low-Input Agricultural Systems Using a Soil Organic Matter-residue Module from Century. *Agronomy Journal*, 94 : 462-474.
- Matthews R.B., Stephens W. (Eds.), 2002. *Crop-Soil Simulation Models: Applications in Developing Countries*. Cranfield University, United Kingdom, 304 p.
- Sanchez P.A., Shepherd K.D., Soule M.J., Place F.M., Buresh R.J., Izac A.N., Mokwunye A.U., Kwesiga F.R., Ndiritu C.G., Woomer P.L., 1997. Soil fertility replenishment in Africa : an investment in natural resource capital. In *Replenishing soil fertility in Africa*, Buresh R. *et al.* (Eds.). Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin.
- Scoones I., 2001. *Dynamics and diversity. Soil fertility and farming livelihoods in Africa*. Earthscan Publications Ltd., London, United Kingdom, 244 p.
- Struif Bontkes T.E., Singh U., Chude V., 2001. *Problems and opportunities in adopting system tools for decision-making related to soil fertility improvement in Africa*. Paper presented

at the 2001 Integrated Natural Resource Management (INRM) Workshop, Cali, Colombia.

Walker D.H., 2000. Decision support, learning and rural resource management. *Agricultural Systems*, 73 : 113-127.

## CHAPITRE 2

### Évaluer les changements dans la gestion de la fertilité des sols dans le sud du Mali par l'utilisation de la cartographie des flux de ressources et le ResourceKIT<sup>1</sup>

*T. Defoer<sup>2</sup>*

*Pour plus d'informations sur les outils utilisés (Cartographie des flux de ressources et ResourceKIT) voir annexes 5 et 6*

---

### Introduction

Dans le sud du Mali, les systèmes de production agricole sont traditionnellement basés sur les céréales, sorgho, mil et maïs, qui constituent la base de l'alimentation. Plus récemment, le coton, cultivé en rotation avec les céréales, est devenu la culture de rente la plus importante. Le niébé et l'arachide sont également cultivés dans la région, mais de façon plus marginale. Du fait de la pression démographique croissante, les terres sont de plus en plus souvent cultivées de façon continue. L'utilisation des engrais minéraux et organiques est pratique courante pour le coton, mais moins pour les céréales qui souffrent d'un circuit de commercialisation peu développé et de rendements économiques relativement faibles.

---

<sup>1</sup>Ce cas est une version révisée d'une étude de cas réalisée par Defoer T., Kanté S. & Sanogo J.L. (2000). "Cotton Farming in Southern Mali." In *PLAR and Resource Flow Analysis in practice: Case Studies from Benin, Ethiopia, Kenya, Mali and Tanzania*, A. Budelman & Defoer T. (Eds.); In *Managing Soil Fertility in the Tropics: A Resource Guide for participatory learning and action research*. T. Defoer et Budelman A. (Eds.). Institut royal des tropiques (KIT), Amsterdam, les Pays-Bas.

<sup>2</sup>ADRAO, le centre du riz pour l'Afrique, BP 320, Bamako, Mali.

Une grande partie des revenus du coton est investie dans l'élevage, principalement des bovins, qui sont au cœur du système de production animale du Mali-Sud. Le bétail pâture dans la journée et rentre le soir au parc à bétail (« kraal ») près de la maison. Lors de la saison culturale, le bétail pâture surtout sur les jachères. Peu après la récolte, les animaux peuvent consommer les résidus de récolte restés dans les champs. En saison sèche, le bétail se nourrit principalement sur les pâturages communs. Le fumier bovin produit dans le parc représente une source de plus en plus importante de fumure organique.

Plusieurs études ont signalé que la fertilité des sols dans le sud du Mali est compromise et des études diagnostiques indiquent que la productivité médiocre remet en cause la durabilité du développement agricole de la région. Un des facteurs principaux qui contribue à cette baisse de fertilité est l'épuisement des réserves en éléments nutritifs des sols, processus connu comme « l'utilisation minière des nutriments ». Le bilan nutritif pour l'ensemble du Mali-Sud est négatif, surtout pour l'azote et le potassium (Pieri, 1989 ; Stoorvogel et Smaling, 1990 ; Van der Pol, 1992).

Sans remettre en cause l'exploitation abusive des sols dans le sud du Mali, l'histoire est beaucoup moins simple. Dans la région, la large gamme de conditions socio-économiques et les différences dans l'accès aux ressources aboutissent à des systèmes de production et des pratiques de gestion de la fertilité des sols très hétérogènes et complexes. L'environnement est également très variable, puisque la qualité des sols varie d'un endroit à l'autre. Le paysan doit donc se débrouiller avec de multiples stocks, ressources et flux d'éléments nutritifs de nature et d'origine différentes. Par conséquent, le niveau de fertilité des sols peut varier considérablement dans l'espace et le bilan nutritif des sols sera donc différent entre exploitations et entre parcelles (Scoones et Toulmin, 1999 ; Scoones, 2001).

Tant de variabilité et de complexité ont d'importantes conséquences pour la recherche agricole et les services de développement. Les paysans ne peuvent pas être seulement considérés comme les utilisateurs finaux de nouvelles technologies, développées par les chercheurs et promues par les agents de vulgarisation. Les paysans doivent jouer un rôle actif dans le processus de mise au point et d'adaptation des pratiques et des méthodes à leurs conditions spécifiques de production afin d'assurer leur subsistance. En outre, puisque les paysans travaillent dans des situations très diverses, il leur faut un grand choix d'options alternatives. Les chercheurs et les agents de développement devraient agir comme des catalyseurs ou des facilitateurs des processus d'auto-apprentissage et de découverte par les paysans et des échanges d'information entre paysans. L'apprentissage participatif et l'expérimentation par les paysans eux-mêmes sont des éléments essentiels d'un processus de recherche-action (Defoer, 2002).

C'est dans ce contexte que l'Équipe systèmes de production et gestion des ressources naturelles (ESPGRN) de l'Institut d'économie rurale (IER) malien, basée dans le sud du Mali a développé un processus d'apprentissage participatif et de recherche-action (APRA). L'étude de cas se rapporte au village de Noyaradougou (situé à 35 km au nord-est de Sikasso, capitale régionale du Mali-Sud) où le processus APRA pour la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) a été conduit durant cinq années consécutives, de 1994 à 1999. Cette étude de cas ne traite pas de l'ensemble de la démarche mais porte spécifiquement sur les flux et les bilans des éléments nutritifs. Les évolutions des flux et bilans sont utilisées comme indicateurs de l'impact des actions engagées par les paysans impliqués dans le processus APRA. Pour plus de détails sur l'analyse du processus APRA dans son ensemble, on peut se référer à Defoer et Budelman (2000).



## La cartographie des flux de ressources dans le contexte APRA-GIFS

L'approche APRA mise en œuvre à Noyaradougou a débuté par une phase de diagnostic, suivi d'un cycle annuel de programmation – mise en œuvre – évaluation des améliorations. La cartographie des flux de ressources (*Resource Flow Mapping: RFM*) a été l'outil le plus important utilisé lors de la phase de diagnostic.

Avant l'exercice de cartographie, les paysans ont classé les exploitations du village en trois classes. La classe 1 regroupe les bons gestionnaires de la fertilité des sols, la classe 2, les gestionnaires moyens et la classe 3, les mauvais gestionnaires de la fertilité des sols. Cette distinction a été effectuée sur la base de critères de bonne gestion de la fertilité des sols, identifiés par les paysans eux-mêmes : le recyclage des résidus de cultures, la gestion intégrée des cultures et de l'élevage, l'utilisation d'engrais organique et minéral et l'application de mesures anti-érosives. Les paysans ont également noté les facteurs sous-jacents aux différences de gestion. L'accès aux moyens de production, comme la main-d'œuvre, le bétail et les charrettes, joue un rôle déterminant dans la gestion de la fertilité des sols.

À l'intérieur de chaque classe d'exploitation, des « paysans tests » ont été sélectionnés. Avec eux, les stratégies de gestion de la fertilité des sols ont été analysées en profondeur, en utilisant la technique *RFM-diagnostic*. Après la phase de diagnostic, les paysans tests ont développé des *RFM-de-planification* avant le début de la saison de culture. À la fin de la saison les paysans tests ont évalué leurs résultats et, pour ce faire, ils ont « transformé » leur *RFM-de-planification* en *RFM-de-réalisations*. Les paysans tests ont continué à préparer des *RFM-de-planification* et des *RFM-de-réalisations* durant toute la période de cinq ans, de 1994 à 1999. Les paysans tests ont adopté des pratiques de gestion améliorée de la fertilité des sols, résultat de leur implication dans le processus APRA-GIFS (Tableau 1).

**Tableau 1. Résumé des types d'activités planifiées en fonction de l'année et de la classe d'exploitations sur une période de cinq ans**

Activité/expérimentation (test)	Année de planification	Classe d'exploitation		
		1	2	3
<b>Augmenter la production de fumure organique</b>				
▪ Utiliser de la litière dans le parc	An1; An2; An3; An4; An5		✓	✓
▪ Composter les résidus des cultures	An1; An2; An3; An4; An5		✓	✓
<b>Améliorer la qualité de fumure organique</b>				
▪ Appliquer du phosphate naturel	An1; An2; An3; An4; An5	✓	✓	
▪ Stocker en fosse	An1; An2; An3; An4; An5	✓	✓	
<b>Limiter le transport</b>				
▪ Acheter une charrette	An1; An2			✓
▪ Composter près du champ	An1; An2; An3; An4; An5		✓	✓
▪ Installer un enclos à bétail près des champs	An1	✓	✓	
<b>Améliorer l'alimentation du bétail dans le parc</b>				
▪ Augmenter le stockage avant pâturage	An1; An2; An3; An4; An5	✓	✓	
▪ Améliorer le stockage du fourrage	An1; An2	✓	✓	
▪ Utiliser le hache-paille et des blocs à lécher	An1; An2	✓	✓	
▪ Cultiver des cultures fourragères : maïs /dolique	An1; An2; An3; An4	✓	✓	
<b>Améliorer la lutte anti-érosive</b>				
▪ Cultiver en courbes de niveau	An1; An2; An3; An4	✓	✓	✓
<b>Améliorer l'efficacité de l'engrais sur coton</b>				
▪ Tester différentes doses d'engrais	An3; An4; An5	✓	✓	✓
<b>Augmenter la fixation biologique de l'azote</b>				
▪ Planter des acacias sur les diguettes en courbes de niveau	An4, An5	✓	✓	✓

## Flux d'éléments minéraux et bilans nutritifs

L'information contenue dans chacune des RFM faites par les paysans tests (les RFM-diagnostic et les RFM-de-réalisations entre 1994-1999) a été reportée sur des formulaires d'enregistrement (disponibles dans ResourceKIT) et ensuite saisie dans des bases de données informatiques. Les données ont été enregistrées dans différents fichiers : (i) données à l'échelle de l'exploit-

tation, (ii) données sur les cultures à l'échelle de la parcelle, (iii) flux des ressources qui quittent les parcelles : produits et résidus de cultures, (iv) ressources entrant dans les parcelles : fertilisants, (v) ressources quittant le système de production animale et le système de ménage, (vi) ressources entrant dans le système de production animale et le système du ménage. Les bases de données sur les flux de ressources contiennent des variables comme le type de flux, son origine et sa destination, la quantité concernée chaque année. Les quantités de fumure organique et de résidus de récoltes transportées au sein de l'exploitation sont exprimées en unités locales (comme indiqué sur les cartes de l'exploitation) et ensuite converties en kg en utilisant des facteurs de conversion. Ces données ont ensuite été utilisées pour calculer les flux de nutriments et les bilans en utilisant le ResourceKIT. Afin de faciliter cette analyse, on a établi un schéma du système et des flux enregistrés (Figure 1). On a utilisé comme unité d'analyse le système d'exploitation agricole. C'est une partie du système agricole villageois, qui contient non seulement les exploitations mais également les ressources utilisées en commun. Trois sous-systèmes sont distingués dans le système d'exploitation : le système de production végétale (spv), le système de production animale (spa) et le système de ménage (sdm) (Fig. 1).

Pour chaque sous-système, les flux entrant dans l'exploitation depuis l'extérieur sont présentés comme IN et ceux qui quittent l'exploitation comme OUT. Les liens entre les sous-systèmes de l'exploitation sont présentés comme INT (interne). La liste ci-dessous récapitule tous les types de flux possibles. Pour les flux internes, les liens entre les deux sous-systèmes de l'exploitation sont indiqués.

- INspv            flux entrant dans le système de production végétale depuis l'extérieur du système d'exploitation
- OUTspv        flux sortant du système de production végétale et du système d'exploitation agricole

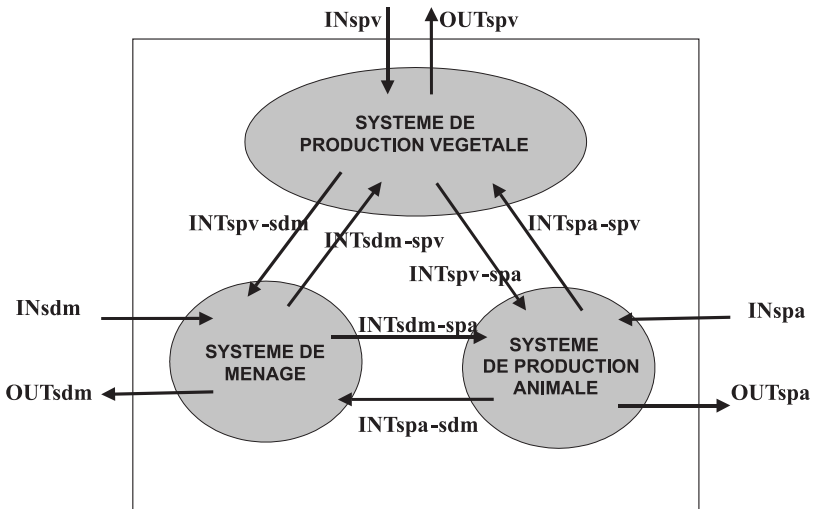


Figure 1. Flux de nutriments dans le système d'exploitation agricole

---

INspa	flux entrant dans le système de production animale depuis l'extérieur du système d'exploitation
OUTspa	flux sortant du système de production animale et du système d'exploitation agricole
INsdm	flux entrant dans le système de ménage depuis l'extérieur du système d'exploitation
OUTsdm	flux sortant du système de ménage et du système d'exploitation
INTspv-spa	flux allant du système de production végétale vers le système de production animale
INTspa-spv	flux allant du système de production animale vers le système de production végétale
INTspv-sdm	flux allant du système de production végétale vers le système de ménage
INTsdm-spv	flux allant du système de ménage vers le système de production végétale
INTspa-sdm	flux allant du système de production animale vers le système de ménage

## INTsdm-spa flux allant du système de ménage vers le système de production animale

On trouvera ci-dessous un exemple des flux et bilans nutritifs annuels durant une période de quatre ans pour des exploitations typiques de la classe 1 et de la classe 3. Les bilans de potassium sont présentés comme exemple. Bien que les tendances soient similaires pour l'azote et le phosphore, le cas du potassium a été choisi pour souligner l'effet des changements dans la conduite de l'élevage et dans l'utilisation des résidus des récoltes.<sup>3</sup>

### Exemple d'un paysan de la classe 1

Le tableau 2 présente les bilans de potassium d'une exploitation de la classe 1, conduite par un paysan qui est considéré comme un bon gestionnaire de la fertilité des sols. Ce paysan cultive du coton sur environ la moitié de la surface cultivée, qui s'est accrue de 13 à 17 ha au cours des quatre ans du processus APRA. Le paysan cultive normalement du maïs en rotation avec le coton, mais il cultive également sorgho, arachide et patates douces sur de petites parcelles. Il vend tout son coton et environ 20 % des céréales, arachides et patates douces. Durant les deux premières années du processus APRA, le paysan possédait 15 têtes de bétail, mais 7 sont morts d'une maladie qui a touché le village dans les années 3 et 4. Le bétail du paysan se nourrit environ trois mois avec les résidus des récoltes laissés sur les champs, en même temps que 210 têtes de bétail appartenant à d'autres paysans du village (bétail hors-exploitation). Donc, son propre troupeau à ingéré environ 7 % des résidus de récoltes de ses propres champs (15 bêtes /210 du village). Le bétail de ce paysan broute également des résidus de cultures sur des champs qui ne lui appartiennent pas (champs hors-exploitation). Le bétail pâture durant neuf mois sur des parcours collectifs et des jachères. Pendant qu'il broute, le bétail dépose des excréments donc des éléments nutri-

---

<sup>3</sup>Les résidus des récoltes et les herbes ont une teneur relativement élevée en potassium.

**Tableau 2. Flux et bilan partiel des éléments nutritifs d'une exploitation typique de la classe 1 (« bon » gestionnaire de la fertilité des sols)**

Niveau	Type de flux	Type de produit	Mouvements de potassium (kg.an <sup>-1</sup> )			
			An1	An2	An3	An4
SPV	<i>IN<sub>spv</sub></i>	Achat d'engrais minéraux	144	170	194	166
		Bouse/urine du bétail hors-exploitation	17	9	10	12
	<i>OUT<sub>spv</sub></i>	Coton vendu	138	134	171	198
		Autres produits vendus	3	4	2	0
		Résidus de cultures brûlés	3	0	0	0
		Résidus de récolte pâturés par bétail hors-exploitation	148	59	74	98
SPA	<i>IN<sub>spa</sub></i>	Aliments pour bétail achetés	28	29	16	6
		Pâturage dans les parcours	387	255	136	136
		Broutage des résidus de récolte d'autres champs	122	122	85	56
	<i>OUT<sub>spa</sub></i>	Bouse/urine laissées dans les parcours	57	38	20	20
		Bouse/urine laissées sur autres champs	18	18	13	8
SDM	<i>IN<sub>sdm</sub></i>	Herbes des zones communes pour compost	4	8	46	26
	<i>OUT<sub>sdm</sub></i>	Produits vendus	9	12	16	18
SPV-SPA	<i>INT<sub>spv-spa</sub></i>	Résidus de récolte broutés par bétail de l'exploitation	13	5	6	7
		Résidus de récolte pour litière de parc	56	53	47	90
		Résidus de cultures pour aliment bétail	0	200	107	39
	<i>INT<sub>spa-spv</sub></i>	Bouse/urine laissées sur champs par bétail de l'exploitation	2	1	1	1
		Fumier appliqué sur les champs	41	69	57	143
SPV-SDM	<i>INT<sub>spv-sdm</sub></i>	Résidus de récolte pour compost/cendres	228	300	129	114
		Produits stockés	45	34	65	33
	<i>INT<sub>sdm-spv</sub></i>	Déchets ménagers appliqués sur les champs	17	51	50	69
		Compost appliqué sur les champs	0	29	0	130
Bilan partiel de l'exploitation :			<b>326</b>	<b>328</b>	<b>191</b>	<b>60</b>
<i>IN<sub>spv</sub>+IN<sub>spa</sub>+IN<sub>sdm</sub>-OUT<sub>spv</sub>-OUT<sub>spa</sub>-OUT<sub>sdm</sub></i>						
Bilan partiel SPV :			<b>-413</b>	<b>-460</b>	<b>-289</b>	<b>-58</b>
<i>IN<sub>spv</sub>+INT<sub>spa-spv</sub>+INT<sub>sdm-spv</sub>-OUT<sub>spv</sub>-INT<sub>spv-spa</sub>-INT<sub>spv-sdm</sub></i>						
Bilan partiel SPV par hectare de champ			<b>-32</b>	<b>-33</b>	<b>-18</b>	<b>-3</b>
Superficie cultivée (hectares)			13	14	16	17
Nombre de têtes de bétail			15	15	10	7

tifs sur les champs et pâturages. En supposant qu'il en digère environ 50 % et broute 12 heures par jour, à peu près 25 % de la nourriture consommée reste dans les champs et pâturages sous forme de bouse et d'urine.

Si on considère les flux de K, le tableau 2 montre que le bétail qui broute sur les pâturages communs (INspa) représente la plus grande source d'entrée en K dans le système d'exploitation. À partir de la deuxième année cependant, cette source de K baisse considérablement : de 387 à 255 kg. Pour compenser cette baisse, le paysan a recyclé des résidus de récolte comme aliment du bétail, pour un équivalent de 200 kg de K (INTspv-spa), il a donc laissé moins de résidus pour le bétail « hors-exploitation », d'où une baisse de 148 à 59 kg K de (OUTspv). Comme il y avait moins d'animaux les années 3 et 4, il y a eu moins de K importé depuis les parcours collectifs grâce au broutage du bétail. De même pour le K importé par le pâturage sur les champs hors-exploitation. Dans le même temps, on enregistre une baisse du K recyclé par le biais des résidus de récolte distribués comme aliment et une hausse du K exporté dans les résidus de récolte pâturés par du bétail hors-exploitation. Malgré la mortalité élevée du bétail, la quantité de K recyclé *via* les résidus utilisés comme litière d'enclos (INTspv-spa) a considérablement augmenté et on a recyclé plus de K dans les résidus de récoltes utilisés pour le compost (INTspv-sdm).

Les engrais minéraux sont une autre source importante d'entrée de K (INspv) dans le système de production. Malgré l'accroissement de la surface cultivée (de 13 à 17 ha), l'entrée de K par engrais minéral n'a que légèrement augmenté. Par ailleurs, la fumure organique est devenue une source très importante de K pour le système de production végétale. Il s'agit de fumier venant du système de production animale (INTspa-spv) et des déchets ménagers et du compost du système d'exploitation (INTsdm-spv).

Le tableau 2 montre que les bilans partiels de K au niveau de l'exploitation sont positifs. Ce qui veut dire que les importations de K, principalement à partir des engrais minéraux et du pâturage du bétail dans les parcours et dans d'autres champs (hors-exploitation) (INspa) compensent les exportations de K sous forme

de coton vendu et de résidus de récolte broutés par le bétail hors-exploitation. Pendant la période du projet, le bilan partiel au niveau de l'exploitation tend vers un équilibre. L'entrée de K provenant du bétail broutant dans les zones pastorales communes a diminué, passant d'environ 400 kg à moins de 150 kg, ce qui explique le changement global du bilan au niveau de l'exploitation entre les années 1 et 4.

En analysant le système de production végétale, on voit apparaître une image différente. Les bilans en K sont négatifs, ce qui veut dire que les importations de K [surtout par engrais minéraux (INspv) et fumures organiques (INTspa-spv, INTsdm-spv)] ne compensent pas les exportations de K (surtout du coton vendu (OUTspv) et des résidus de récolte recyclés (OUTspv, INTspv-spa, INTspv-sdm) et produits stockés (INTspv-sdm)). Cependant, après quatre ans, le bilan partiel en K du système de production végétale est devenu huit fois moins négatif qu'au début du processus. Le bilan partiel en K par hectare a même été presque nul en année 4. Cette tendance positive est largement liée au fait qu'il y a eu moins de résidus de récolte broutés par du bétail hors-exploitation (OUTspv), et à une meilleure gestion de la fumure organique, se traduisant par une utilisation accrue du fumier (INTspa-spv) et des déchets ménagers (INTsdm-spv).

### **Exemple d'un paysan de la classe 3**

Le tableau 3 présente le même type d'information que le tableau 2, mais pour un paysan représentatif de la classe 3, caractérisé comme mauvais gestionnaire de la fertilité des sols. La superficie de son exploitation est d'environ la moitié de celle de son homologue de la classe 1. Il cultive également du coton, du maïs, du sorgho et de l'arachide. Comme dans le cas du paysan de la classe 1, la superficie cultivée a augmenté au cours des quatre années. Les rotations et les pratiques culturales ressemblent beaucoup à celles de son homologue. Cependant, ce paysan ne vend pratiquement pas de produits agricoles à part le coton. Au début du processus APRA, il possédait cinq têtes de bétail, mais



**Tableau 3. Flux et bilan partiel des éléments nutritifs d'une exploitation typique de la classe 3 (« mauvais » gestionnaire de la fertilité des sols)**

Niveau	Type de flux	Type de produit	Mouvements de potassium (kg.an <sup>-1</sup> )			
			An1	An2	An3	An4
SPV	<i>In<sub>spv</sub></i>	Achat d'engrais minéraux	42	69	46	58
		Bouse/urine du bétail hors-exploitation	10	10	7	11
	<i>OUT<sub>spv</sub></i>	Coton vendu	44	56	65	62
		Autres produits vendus	0	2	1	0
		Résidus de récolte brûlés	6	4	0	9
	Résidus de récolte broutés par bétail hors-exploitation	79	79	47	78	
SPA	<i>IN<sub>spa</sub></i>	Aliment bétail acheté	6	8	3	2
		Pâturage sur parcours	128	128	55	112
		Broutage des résidus de récolte d'autres champs	44	44	17	34
	<i>OUT<sub>spa</sub></i>	Bouse/urine laissées sur parcours	19	19	8	16
		Bouse/urine laissées sur autres champs	7	7	3	5
SDM	<i>IN<sub>sdm</sub></i>	Herbes des espaces communs pour compost	3	0	17	14
	<i>OUT<sub>sdm</sub></i>	Produits vendus	1	0	2	3
SPV-SPA	<i>INT<sub>spv-spa</sub></i>	Résidus de récolte broutés par bétail de l'exploitation	2	2	1	2
		Résidus de récolte utilisés pour litière d'enclos	37	38	0	28
		Résidus de récolte pour aliment bétail	16	0	0	0
	<i>INT<sub>spa-spv</sub></i>	Bouse/urine laissées sur champs par bétail de l'exploitation	0	0	0	0
		Fumier épandu sur les champs	8	10	65	65
SPV-SDM	<i>INT<sub>spv-sdm</sub></i>	Résidus de récolte pour compost/cendres	17	14	124	46
		Produits stockés	24	19	12	21
	<i>INT<sub>sdm-spv</sub></i>	Déchets ménagers appliqués sur les champs	40	40	22	33
		Compost appliqué sur les champs	0	0	11	63
Bilan partiel de l'exploitation :			77	93	19	59
<i>IN<sub>spv</sub>+IN<sub>spa</sub>+IN<sub>sdm</sub>-OUT<sub>spv</sub>-OUT<sub>spa</sub>-OUT<sub>sdm</sub></i>						
Bilan partiel SPV :			-125	-84	-99	-16
<i>IN<sub>spv</sub>+INT<sub>spa-spv</sub>+INT<sub>sdm-spv</sub>-OUT<sub>spv</sub>-INT<sub>spv-spa</sub>-INT<sub>spv-sdm</sub></i>						
Bilan partiel SPV par hectare de champ			-17	-11	-12	-2
Superficie cultivée (hectare)			7,5	8	8,5	9
Nombre de têtes de bétail			5	5	2	4

il ne lui en restait que deux en année 3. Le tableau 3 montre, qu'un an plus tard (année 4), le paysan s'est remis de cet accident, puisqu'il a de nouveau quatre têtes. La conduite de l'élevage dans cette exploitation est la même que celle de la classe 1 : le bétail reste 9 mois dans les jachères et parcours, et 3 mois à pâturer les résidus des récoltes laissés dans les champs. Puisque les champs sont ouverts à tous les animaux, le bétail de ce paysan ne consomme en théorie que 2 % des résidus de récolte restés sur son champ (5 têtes de bétail propre /210 têtes de bétail villageois).

Comme dans une exploitation de la classe 1, les entrées de K dans le système de production (IN<sub>spa</sub>) proviennent essentiellement du bétail qui broute les parcours et les résidus de récolte. L'engrais minéral est un autre flux important de K qui entre dans le système de production (IN<sub>spa</sub>).

Il y a deux postes principaux de sortie de K hors du système de production : la vente de coton et les résidus de récolte broutés par le bétail hors-exploitation (OUT<sub>spv</sub>). Puisque le paysan a un troupeau relativement petit, le broutage des résidus de récolte sur les champs villageois (IN<sub>spa</sub>) n'apporte que 50 % de la quantité de K perdue par le broutage du bétail villageois sur les champs du paysan (OUT<sub>spv</sub>). Afin de réduire ces pertes, le paysan a recyclé des quantités importantes de résidus de récolte comme litière pour le parc (INT<sub>spv-spa</sub>). En année 3 cependant, à cause du bétail perdu, il n'a pas recyclé les résidus de récolte pour la litière. Le tableau 3 montre que le paysan a compensé en recyclant plus de résidus de récolte pour le compostage (INT<sub>spv-sdm</sub>). Comme pour la classe 1, l'entrée de K dans le système de production végétale a considérablement augmenté au cours des quatre années de l'APRA. C'est le cas à la fois pour le fumier (INT<sub>spa-spv</sub>) et le compost (INT<sub>sdm-spv</sub>).

Les bilans en K au niveau de l'exploitation sont positifs pour les quatre années (Tableau 3). Cependant, en année 1, le bilan en K de l'exploitation de la classe 3 était environ quatre fois plus

bas que le bilan en K de l'exploitation de la classe 1. Contrairement à ce qui s'est passé pour l'exploitation de la classe 1, les valeurs des bilans de K de l'exploitation de la classe 3 n'ont pas changé considérablement au cours de la période. Ce n'est qu'en année 3 que le bilan de K a été substantiellement plus bas parce qu'il y avait moins de bétail broutant sur les pâturages communs (villageois). En année 4, les bilans partiels de K au niveau de l'exploitation étaient à peu près les mêmes pour les deux paysans.

La situation est toute à fait différente quand on regarde le bilan en K au niveau du système de production végétale. Comme pour la classe 1, tous les bilans sont négatifs, bien qu'on évolue nettement vers un équilibre. Cette tendance positive vient principalement de l'augmentation substantielle de l'utilisation de fumier et de compost. Une autre similitude entre les deux exploitations est que le bilan K/ha est devenu pratiquement nul en année 4.

L'analyse des flux de K indique que l'exploitation de la classe 1 fonctionnait mieux que l'exploitation de la classe 3 au démarrage de l'APRA, en prenant en considération tout le système d'exploitation. Ce qui explique le bilan K substantiellement plus élevé de la classe 1 est le fait que le paysan de cette classe possédait plus de bétail qui « récoltait » plus de K en broutant sur les parcours. Quatre ans plus tard, la distinction entre classe 1 (« bon gestionnaire de la fertilité ») et classe 3 (« mauvais gestionnaire de la fertilité ») ne semble plus valable puisque le bétail est devenu une composante moins importante dans le bilan en K de l'exploitation.

En analysant les bilans partiels du système de production végétale, la distinction entre la classe 1 et la classe 3 a également disparu au cours du processus APRA. En année 1, aucune des exploitations ne semblait durable, en particulier l'exploitation de la classe 1, mais la situation s'est clairement améliorée après quatre

ans de processus APRA. En année 1, l'entrée de beaucoup de K dans le système de production animale (INspa + INTspv-spa) produisait de faibles retours sous forme de fumier appliqué sur les champs. Quatre années plus tard, le rapport entre le K du fumier (INTspa-spv) et les entrées de K dans le système de production animale (INspa + INTspv-spa) est passé de 3 à 37 % pour la classe 3 et de 7 à 43 % pour la classe 1. Quatre années d'APRA ont aidé les paysans à améliorer substantiellement la production et la gestion des fumures organiques et à redresser leurs bilans négatifs en K. Les bilans partiels en K suggèrent que la distinction entre les deux classes n'est plus valable.

## Conclusions

La carte des flux de ressources (RFM), élaborée et évaluée par les paysans en visualisant des activités effectivement mises en œuvre, a été le principal outil utilisé lors du continuum programmation – mise en œuvre – évaluation du processus APRA. Durant les quatre années d'activité, les paysans ont petit à petit adopté l'outil de cartographie des flux de ressources et l'ont légèrement adapté à leurs besoins. Les paysans ont apprécié cet outil parce qu'il les aide à choisir des techniques et des solutions en prenant en compte les ressources disponibles. Ils ont dit également que les RFM les aidaient à mieux déterminer les objectifs, basés sur leurs propres expériences qu'ils évaluent systématiquement en utilisant les RFM-de-réalisations. Les paysans utilisent la carte comme un instrument de gestion qui les guide durant la saison culturale. La carte n'est pas utilisée seulement individuellement au sein des exploitations. Durant les réunions de début et de fin de saison culturale, auxquelles tous les paysans du village sont invités, les cartes facilitent l'échange d'informations entre paysans et les incitent à prendre des mesures concrètes.

Cette étude de cas confirme l'hypothèse que les cartes dessinées par les paysans peuvent être utilisées pour collecter et interpréter des données de flux de ressources au sein de l'exploitation

agricole. Si ces données sont stockées, transformées et analysées systématiquement, on peut en tirer de l'information utile pour aider les paysans à progresser vers une gestion de la fertilité des sols plus productive et plus durable. Les flux et bilans d'éléments nutritifs sont un apport utile dans le processus interactif d'apprentissage et de recherche-action. Ce type d'information quantitative fournit une base commune pour des échanges novateurs entre paysans et animateurs des services de recherche et/ou de vulgarisation.

---

### Références

- Defoer T., 2002. Learning about methodology development for integrated soil fertility management. *Agricultural Systems*, 73 : 57-81.
- Defoer T. , Budelman A. (Eds.), 2000. *Managing Soil Fertility in the tropics: A Resource Guide for participatory learning and action research*. Royal Tropical Institute (KIT), Amsterdam, The Netherlands.
- Pieri C., 1989. *Fertilité des terres de savanne : Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la coopération, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement/Institut de recherche agronomique tropicale (CIRAD/IRAT), Paris, France.
- Pol van der F., 1992. *Soil mining: An unseen contributor to farm income in southern Mali*. KIT Bulletin No 325, The Netherlands : Royal Tropical Institute (KIT), Amsterdam.
- Scoones I. (Ed.), 2001. *Dynamics and Diversity: Soil fertility management and farming livelihoods in Africa*. Earthscan, London, United Kingdom.
- Scoones I., Toulmin C., 1999. *Policies for soil fertility management in Africa*. Issues document. Department for In-

ternational Development (DFID). Russel Press, Nottingham, United Kingdom.

Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A., 1990. *Assessment of soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa, 1983-2000*. Volumes I-IV. The Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands.

## CHAPITRE 3

### Utiliser NUTMON pour évaluer les pratiques culturelles conventionnelles et à faible niveau d'intrants externes au Kenya et en Ouganda

A. De Jager<sup>1\*</sup>, D. Onduru<sup>2</sup>, C. Walaga<sup>3</sup>

*Pour plus d'informations sur NUTMON voir annexe 7*

### Introduction

La dégradation du sol menace sérieusement la sécurité alimentaire en Afrique sub-saharienne. Elle est liée entre autres à la très faible utilisation d'engrais minéraux (moyenne de 8 kg/ha selon Henao et Baanante, 1999). Cet état de fait est attribué au faible pouvoir d'achat des producteurs, aux rentabilités faibles ou incertaines de l'application d'engrais et aux réseaux de distribution peu développés. Il en résulte une demande pour une agriculture à faible niveau d'intrants externes (*low external input agriculture* LEIA) par opposition à une agriculture à niveau d'intrants externes élevé (*high external input agriculture* HEIA).

L'efficacité et l'impact des technologies LEIA par rapport aux technologies HEIA ont fait l'objet de beaucoup de discussions. Certains chercheurs préconisent la combinaison d'éléments des

<sup>1</sup>Agricultural Economics Research Institute (LEI), B.P. 29703, 2402 LS, La Haye, Pays-Bas

\*auteur correspondant

<sup>2</sup>ETC-Afrique de l'Est, AACC Building, Waiyaki Way, Westlands, Nairobi, Kenya (ETC: *Research and development group promoting sustainable use of natural resources for secure livelihoods of rural people in developing areas*)

<sup>3</sup>Environmental Alert, P.O. Box 11259, Kampala, Ouganda

deux approches en utilisant aussi bien des fertilisants organiques que minéraux. Ceci diminuerait les coûts d'investissement et augmenterait l'efficacité des engrais minéraux (Smaling *et al.*, 1996 ; Pretty, 1995). Cette approche combinée avec des pratiques agricoles améliorées et un meilleur accès aux marchés d'intrants et de produits agricoles (gestion intégrée de la fertilité des sols), permettrait de s'attaquer efficacement au problème de l'épuisement des sols africains. L'équilibre approprié entre l'utilisation de fertilisants organiques et minéraux dépend de nombreux facteurs entre autres les caractéristiques des sols, l'accès aux marchés d'intrants et de produits agricoles et le potentiel agricole des zones concernées.

Pour éclaircir cette question, on a comparé deux méthodes de gestion de la fertilité des sols dans des zones à faible potentiel (faible fertilité des sols, pluviométrie faible et aléatoire) et à haut potentiel (bonne fertilité du sol et pluviométrie abondante et fiable) au Kenya et en Ouganda (Tableau 1).

Dans chacune des zones agro-écologiques, deux groupes d'exploitations ont été distingués et comparés selon leur mode de gestion :

- le groupe à gestion LEIA : des ménages agricoles formés par le *Kenyan Institute of Organic Farming* (KIOF) en technologies à faible niveau d'intrants externes (compost, application de lisier, etc.) et ayant appliqué au moins trois de ces techniques sur plus de la moitié de leur superficie cultivée, durant au moins trois années consécutives ;
- le groupe à gestion conventionnelle : des ménages agricoles disposant de moyens de production similaires au groupe LEIA, mais ne pratiquant aucune des techniques LEIA et représentatifs des systèmes de production pratiqués en général dans la zone concernée.

Un total de 14 à 18 ménages ont été sélectionnés et divisés en deux groupes selon les critères retenus pour le LEIA et la gestion



**Tableau 1. Caractéristiques des quatre sites**

	Kenya		Ouganda	
	Nyeri	Machakos	Kabarole	Palissa
<i>Potentiel agricole</i>	Élevé	Moyen-faible	Élevé	Moyen-faible
<i>Altitude (m)</i>	1 100 – 2 400	500 – 1300	1 500 – 1 800	1 000 – 1 100
<i>Pluviométrie (mm)</i>	1 200 – 2 000	500 – 900	1 300 – 1 500	800 – 1 200
<i>Type de sol selon la classification FAO (FAO, 1990)</i>	Andosols, Nitisols (argile)	Luvisols (limono-sableux)	Andosols	Ferralsols
<i>Pente moyenne (%)</i>	21	17	20	1
<i>Densité de population (hab/km<sup>2</sup>)</i>	250	100	400	220
<i>Superficie moyenne des exploitations (ha)</i>	0,9	2,5	1,6	2,6
<i>Cultures principales</i>	Thé, café, maïs	Maïs, haricot, sorgho	Banane, thé, maïs, café	Maïs, coton, haricot
<i>Élevage</i>	Bovin laitier (zéro- pâturage)	Bovin (parqué la nuit)	Bovin (zéro- pâturage)	Bovin (en pâturage libre)

conventionnelle. Les performances de ces exploitations ont été évaluées selon la méthode de suivi des éléments nutritifs NUTMON décrite par De Jager *et al.*, 1998, 2001 et par Vlaming *et al.*, 2001. La méthode distingue deux phases : une *phase de diagnostic* et une *phase de développement*. Dans la *phase de diagnostic*, la gestion des ressources naturelles au niveau de l'exploitation et son impact sur les flux de ressources sont évalués, ainsi que la performance économique et l'environnement socio-économique.

Lors de la *phase de développement* les producteurs et les chercheurs identifient et évaluent des technologies prometteuses en milieu paysan. À la suite de quoi des politiques et des mesures sont formulées au niveau du district pour permettre aux producteurs d'appliquer ces technologies.

La *phase de diagnostic* comprend les activités suivantes : (i) évaluation des ressources naturelles et de leur gestion au niveau

de l'exploitation familiale, (ii) prélèvements de sol, (iii) suivi mensuel des activités de production, et (iv) analyse des données. Ces activités sont expliquées en détail ci-dessous.

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols ont été identifiées à partir d'interviews, de parcours de transects, et de cartes des sols et des flux d'éléments nutritifs, élaborées avec les producteurs (Figure 1). Les teneurs en N total, en P assimilable, en

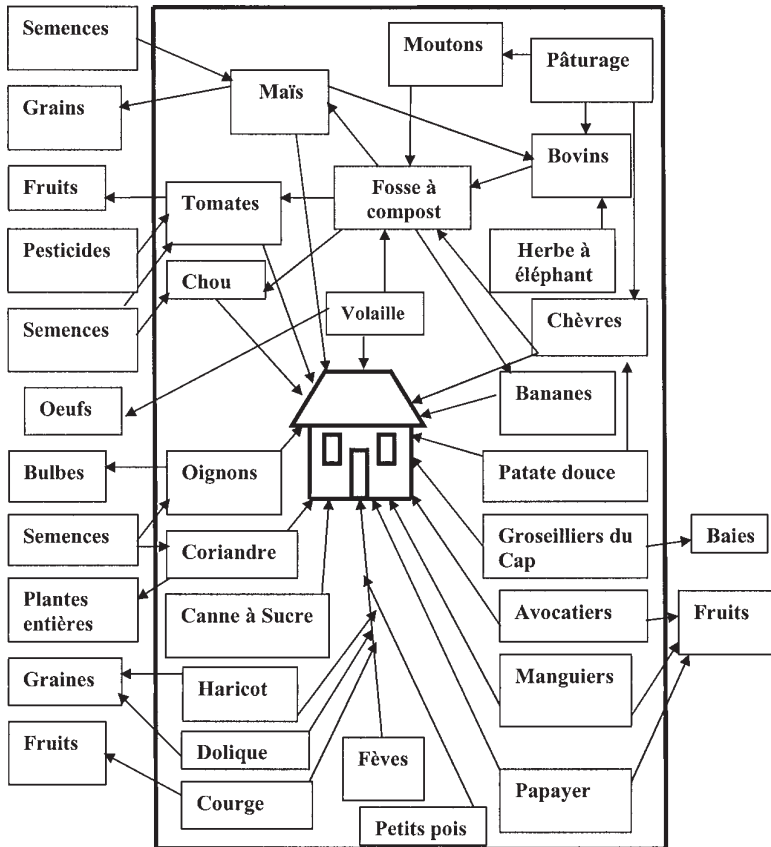


Figure 1. Exemple d'un diagramme de flux qualitatifs de produits dessiné par les producteurs durant la phase de diagnostic

K échangeable et en matières organiques des principaux types de sols recensés sur les cartes, ont été analysées suivant des méthodes standards de laboratoire.

Les pratiques de gestion de l'exploitation ont été suivies à l'aide de questionnaires structurés. Les flux d'entrées et de sorties au niveau de l'exploitation ont été quantifiés et les teneurs en éléments nutritifs (N, P et K) des flux principaux (Tableau 2) ont été déterminées. Les fonctions de transfert ont été utilisées pour calculer les flux « cachés » d'éléments nutritifs, tels que les dépôts atmosphériques, la fixation biologique de N, les pertes par lessivage et les pertes gazeuses. Pour renseigner ces fonctions, des données additionnelles ont dû être collectées, notamment les précipitations annuelles et la teneur en argile du sol. Enfin, on a

**Tableau 2. Flux moyens de N au niveau de l'exploitation, par site et type de gestion des ressources naturelles**

Pays Site Potentiel agricole Type de gestion	Kenya				Ouganda			
	Machakos		Nyeri		Palissa		Kabarole	
	Moyen-faible	Élevé	Moyen-faible	Élevé	Moyen-faible	Élevé	Moyen-faible	Élevé
	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA
Engrais minéral (kg/ha)	5	2	64	68	0	1	0	0
Fumure organique (kg/ha)	3	1	28	70	1	2	1	2
Pâturage (kg/ha)	2	8	4	4	4	5	19	15
Dépôt atmosphérique (kg/ha)	4	4	6	6	4	4	5	5
Fixation biologique de N (kg/ha)	8	10	7	7	1	1	15	12
N dans les cultures/produits animaux (kg/ha)	-2	-2	-38	-30	-1	-2	-3	-3
Résidus de récolte (kg/ha)	0	0	-6	-2	0	0	0	0
Fumier (kg/ha)	-2	-5	-2	-4	-2	-2	-9	-7
Lessivage (kg/ha)	-20	-27	-56	-58	-7	-7	-85	-78
Pertes gazeuses (kg/ha)	-7	-10	-44	-48	0	-1	-18	-21
Érosion (kg/ha)	-8	-5	-55	-94	0	0	-67	-19
Excréments humains (kg/ha)	-4	-2	-8	-9	-2	-4	-5	-4
<b>BILAN NET</b>	<b>-21</b>	<b>-26</b>	<b>-100</b>	<b>-90</b>	<b>-2</b>	<b>-3</b>	<b>-147</b>	<b>-98</b>

recueilli des données sur les prix, les indices de récolte, la production de fumier par les animaux, etc. pour alimenter la base de données associée au logiciel NUTMON (Vlaming *et al.*, 2001).

Trois types d'analyses des données ont été effectuées : (i) l'analyse de l'évaluation qualitative par les producteurs de la gestion des ressources naturelles, (ii) l'analyse quantitative des flux d'éléments nutritifs avec la méthode NUTMON et les analyses de sols, (iii) l'intégration des deux étapes précédentes et des résultats des discussions avec les producteurs participants.

Lors de la *phase de développement*, les chercheurs et les producteurs ont identifié et sélectionné les techniques LEIA qui devaient être testées davantage en utilisant le processus de développement participatif de technologies (Reijntjes *et al.*, 1992). Il y a quatre étapes dans ce processus : (i) l'identification des problèmes, (ii) l'identification des options alternatives à évaluer, (iii) la détermination de critères et d'indicateurs par les producteurs pour l'évaluation des technologies LEIA, (iv) la mise en œuvre et l'évaluation des expérimentations en milieu paysan. Des feuilles d'enregistrement simples de données à collecter par les producteurs ont été conçues pour compléter les données quantitatives, recueillies par le personnel de recherche.

Les résultats ont été évalués à trois niveaux : l'évaluation individuelle, l'évaluation collective par les producteurs lors des journées de terrain et l'évaluation conjointe lors des réunions des producteurs avec les équipes de vulgarisation et de recherche. Les résultats des indicateurs d'évaluation qu'ils soient qualitatifs (ceux des producteurs) ou quantitatifs (ceux des chercheurs) ont été analysés avec des méthodes statistiques paramétriques et non-paramétriques pour toutes les saisons étudiées.

Sur la base (i) du diagnostic participatif, (ii) des résultats du programme d'expérimentation en milieu paysan, (iii) du relevé de l'histoire du développement du district et (iv) de l'inventaire des politiques existantes et pertinentes dans les sites de recher-

che, on a élaboré des propositions de scénarios de développement pour l'avenir de ces zones, centrés sur la gestion de la fertilité des sols au niveau des exploitations. Ces scénarios ont été discutés par tous les acteurs concernés lors d'ateliers de districts dans chacune des zones de recherche, ce qui a abouti à une version finale des scénarios de développement et à un plan d'action hiérarchisé.

## Résultats

### **Diagnostic du niveau de fertilité des sols et des pratiques de gestion**

Les producteurs et les membres de l'équipe du projet ont dessiné des cartes des sols et des flux d'éléments nutritifs de toutes les exploitations. Ces cartes ont permis aux producteurs de visualiser les flux d'éléments nutritifs dans leurs exploitations, tout en donnant un aperçu de la manière dont ils perçoivent les réserves et les flux d'éléments nutritifs du sol et ont ainsi contribué – avec l'analyse quantitative – à l'analyse globale du problème de l'épuisement des sols. Les cartes des flux d'éléments nutritifs ont montré par exemple, que les exploitations conventionnelles avaient légèrement plus de flux entrants que les exploitations LEIA. Par ailleurs, le nombre de flux internes et de flux sortants était considérablement plus élevé dans les exploitations LEIA, du fait d'une plus grande diversification des cultures et d'un emploi plus fréquent du fumier dans ces exploitations. L'application du modèle NUTMON a abouti à une évaluation quantitative de la fertilité des sols et des flux d'éléments nutritifs, ainsi que des indicateurs de performance économique des systèmes de production actuels. Seules des différences marginales ont été observées entre les deux systèmes de gestion.

Les différences entre les districts étaient beaucoup plus importantes. Dans les sols des zones à haut potentiel, bien que les systèmes de production diffèrent, non seulement les sols avaient une teneur relativement élevée en éléments nutritifs N, P et K (Ta-

bleau 3), mais leur bilan nutritif était plus négatif au niveau de l'exploitation, surtout pour N (90 à 147 kg/ha/an, représentant une perte de 0,7 à 1,8 % du stock). Cette perte est principalement due à l'érosion, au lessivage et à la volatilisation, que l'usage intensif d'engrais minéral et organique ne compense pas suffisamment (Tableau 2).

Dans les zones à faible potentiel, les différences entre systèmes de production se reflétaient clairement dans les flux de nutriments des sols. Dans le district de Machakos (Kenya), la culture intensive sur des sols relativement pauvres a entraîné des bilans nutritifs négatifs et une baisse annuelle du stock en N de 0,5 % au niveau de l'exploitation, du fait surtout des très faibles niveaux d'intrants externes utilisés. La zone à faible potentiel du district de Pallissa (Ouganda) est caractérisée par un système de production beaucoup plus extensif avec un assez grand nombre de têtes de bétail en pâturage libre. L'importance du bétail en pâturage libre dans le système de production de subsistance a permis une accumulation d'éléments nutritifs dans les champs cultivés grâce au fumier du bétail (les animaux pâturant les champs communs le jour mais passant la nuit dans les champs cultivés, après la récolte). Ceci a abouti à des flux des éléments nutritifs presque en équilibre au niveau de l'exploitation. Cependant, cette

**Tableau 3. Stocks et bilans nets de N, P et K**

	Machakos		Nyeri		Palissa		Kabarole	
	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA
Stock de N (kg/ha)	3 900	6 400	12 200	12 300	3 100	3 000	6 800	3 800
Bilan N (kg/ha/an)	-21	-26	-100	-90	-2	-3	-147	-98
Stock de P (kg/ha)	2 000	1 700	7 900	8 000	1 000	2 500	10 300	9 000
Bilan P (kg/ha/an)	2	1	-23	-27	0	0	-70	-57
Stock de K (kg/ha)	7 800	10 200	10 400	15 300	6 100	6 300	7 800	8 400
Bilan K (kg/ha/an)	-9	2	-23	18	2	1	-55	-7

situation ne peut rester stable que dans la mesure où il reste suffisamment de parcours disponibles dans le district.

Les tableaux 2 et 3 montrent que tous les bilans en N et presque tous les bilans en P sont négatifs, surtout dans les zones les plus fertiles. Les pertes en éléments nutritifs sont légèrement plus faibles pour les exploitations LEIA, qui ont même souvent un bilan positif pour K.

Les indicateurs de performance économique ne montrent pas de différences significatives entre les systèmes de gestion (Tableau 4). Cependant, l'analyse des données concernant la main-d'œuvre montre que la gestion LEIA demande plus de main-d'œuvre que la gestion conventionnelle.

Les exploitations dans les zones à potentiel élevé ont obtenu en moyenne des revenus nets plus élevés par hectare et par an.

Les différences entre districts sont énormes si l'on compare la valeur des éléments nutritifs disparus et les coûts de remplacement. Les coûts de remplacement ont été calculés en multipliant les pertes nettes en éléments nutritifs par le prix des engrais né-

---

**Tableau 4. Revenu net par ha, coût de remplacement par ha et besoin en main-d'œuvre pour les exploitations conventionnelles et LEIA**

	Machakos		Nyeri		Palissa		Kabarole	
	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA	Conv.	LEIA
Revenu net/exploitation (\$ EU/ha/an)	95	194	955	310	57	102	254	238
Coûts de remplacement (\$ EU/ha/an)	43	60	155	163	5	3	363	235
Besoin en main- d'œuvre (jours/ha/an)	193	253	485	648	75	120	255	215

cessaires pour remplacer ces pertes. À Palissa, les coûts de remplacement n'atteignent que 5 % des revenus nets de l'exploitation par hectare et ces coûts sont également relativement faibles à Nyeri pour les exploitations conventionnelles. Par contre à Machakos et à Karabole une proportion considérable du revenu net par hectare était basée sur l'épuisement des sols avec des chiffres de 30 et 45 % pour Machakos et plus de 100 % pour Karabole.

### **Identification, expérimentation et évaluation des technologies à faible niveau d'intrants externes**

Les analyses ont abouti à un plan de recherche pour l'expérimentation en milieu paysan dans chaque district de recherche. Toutes les expérimentations visaient l'apport d'éléments nutritifs par l'utilisation de compost et de lisier, tandis que presque aucune technique d'économie de nutriments n'a été sélectionnée. En général, les résultats montrent qu'une hausse significative des rendements et des revenus peut être obtenue avec des applications relativement élevées de compost mais que la disponibilité en matériel et en main-d'œuvre devient très vite un facteur limitant. Des hausses sensibles et durables de rendements ne peuvent donc être obtenues que par la combinaison intelligente d'engrais minéraux et de ressources organiques localement disponibles.

### **Formulation de politiques et de mesures favorables au niveau des districts**

Quatre ateliers ont été organisés auxquels ont participé 150 acteurs parmi lesquels des décideurs politiques de plusieurs ministères au niveau du district, des chercheurs, des agents de vulgarisation, des personnels d'ONG, de projets de développement et autres. Lors de ces ateliers, des scénarios de développement et un plan d'actions prioritaires ont été développés. Les scénarios montraient les conséquences du maintien des pratiques de production agricoles existantes, de l'application des techniques de LEIA et de l'introduction de la technologie de gestion intégrée de



la fertilité des sols. Les plans d'actions ont souligné le besoin d'améliorer certains aspects tels que :

- la diffusion de l'information concernant les méthodes de gestion intégrée de la fertilité des sols vers les producteurs ;
- l'accès au crédit ;
- les marchés d'intrants et de produits agricoles ;
- les infrastructures.

### Conclusions

Cette étude de cas a montré que tous les bilans N et la plupart des bilans P au niveau de l'exploitation agricole étaient négatifs, surtout dans les zones à potentiel élevé. La plupart des sites étaient suffisamment pourvus en K.

Cette situation menace sérieusement l'avenir de la productivité agricole. Les causes des pertes en N et P diffèrent considérablement entre les sites. Les analyses de sols ont montré qu'il n'y a pas de différence entre les réserves en éléments minéraux de sols gérés de façon conventionnelle ou gérés selon LEIA. Apparemment, l'emploi de techniques à faible niveau d'intrants externes comme l'utilisation du compost, du lisier, etc. n'améliore pas significativement la fertilité des sols (mesurée en teneurs en N, P, K et C) par rapport aux pratiques conventionnelles comme l'application du fumier de ferme, d'engrais minéral, etc. En général, l'état nutritif est beaucoup plus élevé dans les zones à potentiel élevé que dans les zones à faible potentiel. Dans l'ensemble, les sols se sont révélés convenablement pourvus en K et déficitaires en P. On a observé de grandes différences dans la gestion de la fertilité, les flux de nutriments, les bilans en éléments minéraux et les indicateurs de performance économique entre exploitations d'un même groupe dans une zone de recherche donnée.

Dans l'ensemble, les revenus agricoles enregistrés sont plutôt faibles et irréguliers. Mais, surtout, une grande part de ces reve-

nus repose sur l'épuisement des sols. Les revenus nets par hectare des exploitations ont été légèrement plus élevés pour les exploitations LEIA dans les zones à faible potentiel, et plus élevés pour les exploitations conventionnelles dans les zones à haut potentiel.

Les technologies à faible niveau d'intrants externes seules n'offrent que des possibilités limitées pour résoudre les problèmes de l'épuisement en éléments nutritifs des sols de la région. Une hausse significative des rendements et des revenus est possible avec des apports relativement élevés de compost, mais la disponibilité du matériel et de la main-d'œuvre devient très vite un facteur limitant. Cependant, augmenter seulement l'application d'intrants externes n'est pas une solution réaliste non plus. Pour la majorité des petits exploitants, cette option n'est pas réalisable économiquement parce que l'infrastructure nécessaire est absente. La combinaison appropriée d'intrants externes et de techniques LEIA semble être la stratégie alternative la plus appropriée : l'utilisation maximale d'éléments nutritifs localement disponibles en combinaison avec l'utilisation optimale (sur le plan environnemental et économique) d'éléments nutritifs externes. L'accent doit être davantage placé sur la réduction des pertes en éléments nutritifs en utilisant les ressources organiques localement disponibles.

Des changements dans les politiques agricoles sont nécessaires pour inciter les producteurs à faire des investissements à court et à long termes dans la fertilité des sols et les éléments nutritifs. Les décideurs politiques doivent être impliqués dans les activités de suivi et de recherche orientées sur l'amélioration de la fertilité des sols.

Le projet a révélé la nécessité d'une évaluation économique et écologique systématique de la gestion de la fertilité des sols et de son impact sur la durabilité de nombreux systèmes de production. L'approche a considérablement contribué au développement

des méthodologies d'évaluation participative des flux d'éléments nutritifs et d'indicateurs de performance économique qui peuvent constituer une base pour le développement de technologies GIFS encore plus appropriées et spécifiques aux conditions locales. Tous les partenaires ont amélioré leur connaissance du fonctionnement des petites exploitations et ont acquis des compétences dans le développement participatif de technologies et l'évaluation participative de la durabilité des technologies et des systèmes de production.

La phase de diagnostic de la méthodologie s'est avérée très coûteuse en temps à cause de l'évaluation participative intensive et de la collecte mensuelle de données de suivi. Bien qu'on ait obtenu une image claire et précise des contraintes actuelles du système de la gestion des sols et que les producteurs soient engagés dans un processus d'apprentissage et d'observation fructueux, une méthodologie plus rapide et moins exigeante en ressources doit être développée pour que cette approche soit adoptée avec succès à plus grande échelle. Par exemple, le recueil des données une fois seulement par saison culturale et la réduction du nombre d'outils utilisés et des réunions pourraient être des options à explorer. L'implication dans le projet des décideurs politiques au niveau du district s'est révélée d'une extrême importance pour resituer les résultats techniques du projet dans une perspective plus large. Bien qu'une participation régulière soit prévue, ce n'est qu'à un stade tardif du projet que les ateliers impliquant des acteurs du niveau district ont pu être organisés. Il en est résulté des observations intéressantes et des plans d'actions, mais sans suivi adéquat. Pour les activités futures, des interactions avec les décideurs politiques à un stade précoce du projet devraient être prioritaires afin d'assurer l'intégration complète des politiques d'appui et des options techniques.

## Références

- De Jager A., Onduru D., Van Wijk M.S., Vlaming J., Gachini G.N., 2001. Assessing sustainability of low-external-input farm management systems with the nutrient monitoring approach: a case study in Kenya. *Agricultural Systems*, 69 : 99-118.
- De Jager A., Nandwa S.M., Okoth P.F., 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). I. Concepts and methods. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 71 : 37-48.
- FAO, 1990. *FAO-Unesco Soil Map of the World*. Revised Legend, Soils Bulletin 60, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 119 p.
- Henao J. et Baanante C.A., 1999. *Estimating rates of nutrient depletion in soils of agricultural lands of Africa*. IFDC T-48, International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, Alabama, USA.
- Pretty J.N., 1995. *Regenerating agriculture; policies and practice for sustainability and self-reliance*. Earthscan, London, United Kingdom.
- Reijntjes C., Haverkort B., Waters-Bayer A., 1992. *Farming for the future. An introduction to low-external-input and sustainable agriculture*. ILEIA, Leusden, The Netherlands.
- Smaling E.M.A., Fresco L.O., De Jager A., 1996. Classifying and monitoring soil nutrient stocks and flows in African agriculture. *Ambio*, 25 : 492-496.
- Vlaming J., Van den Bosch H., Van Wijk M.S., De Jager A., Bannink A., Van Keulen H., 2001. *Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems; part 1: Manual for the NUTMON toolbox*, Wageningen, The Netherlands.

## CHAPITRE 4

### Test du NuMaSS dans les exploitations agricoles aux Philippines

*T. Corton<sup>1</sup>, T. George<sup>2</sup>, R. Escabarte<sup>1</sup>, J. Lasquite<sup>1</sup>,  
J. Quito<sup>1</sup>, M. Casimero<sup>1\*</sup>*

*Pour plus d'information sur le NuMaSS, voir annexe 9*

#### Introduction

Aux Philippines, les sols acides de plateau, principalement des ultisols (FAO, 1990) représentent environ neuf millions d'hectares de terres déboisées sous-utilisées (information donnée par le Bureau des sols et de la gestion de l'eau, Philippines). Le NuMaSS (*Nutrient Management Support System*, système d'appui à la gestion des éléments nutritifs) pourrait être un outil utile pour explorer le potentiel de cette zone pour des cultures plus diversifiées et plus rémunératrices.

Depuis 1987, l'IRRI (*International Rice Research Institute*) et le PhilRice (*Philippine Rice Research Institute*) – partenaires au sein du programme SM-CRSP (*Soil Management Collaborative Research Support Program*) – sont impliqués à travers le développement du NuMaSS dans l'expérimentation, l'évaluation et la mise au point de recommandations pour l'utilisation d'engrais et de chaux dans les zones de plateau en Asie.

<sup>1</sup>PhilRice, Maligaya, Munoz, Nueva Ecija, Philippines

<sup>2</sup>International Rice Research Institute (IRRI), DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines

\*Auteur correspondant

Dans ce cadre, l'IRRI et le PhilRice ont collaboré avec des universités américaines pour tester le NuMaSS dans des exploitations agricoles à Ilagan, sur l'île d'Isabela et dans la vallée d'Arakan au *North Cotabato* aux Philippines.

Le NuMaSS a été évalué en milieu paysan avec les objectifs suivants :

- tester les aides à la décision du NuMaSS relatives aux éléments nutritifs pour déterminer si le diagnostic porté est optimal et si les conditions d'une réponse aux apports de nutriments en milieu paysans sont bien détectées ;
- utiliser les données de l'évaluation en milieu paysan pour améliorer le diagnostic et les prédictions de NuMaSS.

### **Méthodologie**

L'évaluation en milieu paysan comportait la combinaison de différentes pratiques d'utilisation d'engrais sur les cultures de riz pluvial ou de maïs. Les traitements étaient :

1. Témoin (pas d'engrais) ;
2. Pratique paysanne (choix du paysan pour les engrais N, P et K) ;
3. Recommandation générale pour la région, (134 kg N/ha, 18 kg P/ha et 35 kg K/ha pour le maïs et 90 kg N/ha, 9 kg P/ha et 18 kg K/ha pour le riz de plateau) ;
4. Recommandation NuMaSS (apports de N, P et chaux basés sur les données de sol des parcelles et les prédictions du NuMaSS, avec un apport de K identique au traitement 3) ;
5. Recommandation NuMaSS + K élevé (apports de N, P et chaux basés sur les données de sol des parcelles et les prédictions du NuMaSS avec des niveaux élevés de K si le niveau des apports de K en traitement 3 était jugé inadéquat).

Les exploitations agricoles et les paysans ont été sélectionnés pour représenter la diversité des situations de production : paysans avec et sans revenus d'appoint, exploitations sur pentes fai-

bles (0-8 %) à modérées (8-16 %), pH faible ou élevé, petites et grandes exploitations. Les paysans ont été sélectionnés sur la base de leur intention de cultiver du riz pluvial ou du maïs. Toutes les opérations autres que les recommandations de fertilisation correspondaient aux pratiques paysannes.

Après une discussion diagnostique avec le paysan concernant ses méthodes de production, des échantillons des sols ont été prélevés sur une profondeur de 15 cm et analysés pour mesurer leur pH et leurs teneurs en matières organiques, en Al, en bases échangeables, en argile et en P-Mehlich 1.

En se basant sur les analyses de sols et les niveaux de « rendements cibles », on a utilisé NuMaSS pour élaborer des diagnostics et recommandations, ce qui a permis de fixer les traitements 4 et 5. Les « rendements cibles » ont été déterminés localement par des agronomes ou des agents de terrain qui connaissaient ces cultures ; il s'agissait de rendements plutôt optimistes qui peuvent être obtenus environ deux années sur cinq.

Le mode d'apport de l'engrais variait selon la culture. Pour le riz, un sixième du N et tout le P et K étaient incorporés dans le sol au semis. Le reste du N était appliqué en trois fois, un tiers au tallage maximum, un autre tiers 5 à 7 jours avant l'initiation paniculaire et le dernier sixième à la floraison. Pour le maïs, un tiers du N et tout le P et K étaient incorporés dans le sol au semis. Le reste du N était appliqué en deux fois, un tiers 15 à 20 jours après semis (JAS) et un tiers 30 à 35 JAS. La chaux était incorporée dans le sol au moins trois semaines avant le semis, à 15 cm de profondeur. Le rendement en grain et les cannes de maïs ou la paille de riz ont été échantillonnés à la récolte. Après avoir enregistré le poids à l'état frais de l'ensemble et de sous-échantillons, ces sous-échantillons ont été séchés dans un four pendant 48 heures à 70 °C et analysés pour déterminer leur teneur en N, P et K.

À Ilagan, des parcelles expérimentales ont été installées dans 7 exploitations en riz pluvial en 1998, puis dans 13 exploitations en riz pluvial et 15 exploitations en maïs en 1999, et, dans 13 exploitations en maïs et 4 exploitations en riz pluvial en 2000. En 2000 également, mais dans la vallée d'Arakan, des parcelles expérimentales ont été installées dans 17 exploitations en riz pluvial (Tableau 1).

**Tableau 1. Nombre d'essais installés en milieu paysan**

Localité	1998		1999		2000	
	Riz	Maïs	Riz	Maïs	Riz	Maïs
Ilagan	7	0	13	15	4	13
Arakan	0	0	0	0	17	0
Total	7	0	13	15	21	13

### **Le diagnostic NuMaSS et l'évaluation de son niveau de précision**

Alors que la plupart des sols d'Ilagan étaient très acides ( $pH_{KCl}$  inférieur à 4,5 dans 62 % des exploitations en riz pluvial et en maïs) et très faiblement pourvus en bases échangeables, les sols de toutes les exploitations de la vallée d'Arakan enregistraient des  $pH_{KCl}$  supérieurs à 4,5 et des quantités élevées de Ca et de Mg, d'où des capacités d'échange cationique assez élevées (Tableau 2).

Tandis que l'acidité et la teneur en Ca et Mg des sols d'Ilagan et d'Arakan différaient notablement, la majorité des sols des deux zones étaient extrêmement déficitaires en P assimilable Mehlich 1. Sur l'ensemble des exploitations, 89 % avait des sols dont les teneurs en P-Mehlich 1 étaient inférieures à 5 mg/kg. Le pourcentage d'exploitations d'Ilagan, qui enregistraient une déficience



**Tableau 2. Aperçu de l'acidité du sol, du P assimilable, et des bases échangeables (Ca, Mg) dans les sites expérimentaux de riz et de maïs**

		Riz		Maïs
		Ilagan, 1999	Arakan 2000	Ilagan 1999
		% d'exploitations		
pH <sub>KCl</sub>	<4,5	62	0	60
	>4,5	38	100	40
P Mehlich 1 (mg/kg)	<5	100	76	93
	>5	0	24	7
Ca (cmol <sub>c</sub> /kg)	<2	99	0	100
	2-10	1	1	0
	>10	0	99	0
Mg (cmol <sub>c</sub> /kg)	<2	99	0	100
	2-10	1	49	0
	>10	0	51	0

en P pour les sols en riz pluvial et en maïs était de 94 % mais atteignait 100 % lorsqu'on prenait seulement en considération les sols exploités en riz.

Le riz pluvial a donc tendance à être cultivé dans des sols extrêmement déficitaires en P. Les sols d'Ilagan, moins acides mais plus riches en bases que les autres, se trouvaient dans des exploitations situées dans les plaines des fleuves, qui bénéficient des dépôts alluviaux laissés par les inondations et sont souvent utilisées pour la culture de maïs.

Donc, pour toutes les cultures et dans les deux sites, NuMaSS a diagnostiqué une déficience en P dans la plupart des exploitations et une contrainte d'acidité seulement dans quelques-unes.

Porter un diagnostic sur une déficience en N n'était pas aussi simple que pour l'acidité et le phosphore, où on étalonne les résultats des analyses de sols par rapport à des niveaux critiques. Selon l'algorithme du NuMaSS, le prélèvement d'azote sur les stocks du sol a été estimé par l'absorption de N d'une culture non-fertilisée en azote.

On diagnostique une déficience quand la quantité estimée d'azote disponible dans le sol est plus faible que l'absorption de N nécessaire pour obtenir le rendement visé. Le stock d'azote utilisable estimé à Ilagan et Arakan variait entre seulement 20 et 30 kg/ha ce qui suffit à peine pour 1 t/ha de riz pluvial et 1,5 t/ha de maïs. Étant donné ce faible niveau de rendement, l'estimation NuMaSS du besoin en engrais N aurait été très influencée par les rendements cibles retenus, alors que dans NuMaSS, les estimations de P et de chaux sont indépendants des rendements visés. Étant donné les faibles ressources en azote du sol, on a utilisé une estimation moyenne de l'azote du sol de toutes les exploitations pour calculer le besoin en N. En outre, puisque dans le NuMaSS, il n'est pas prévu de varier les rendements cibles entre exploitations dans le même environnement, on a supposé que les rendements visés étaient les mêmes pour toutes les exploitations. Sur la base de ces hypothèses, une déficience en N a été diagnostiquée dans toutes les exploitations d'Arakan et d'Ilagan pour le riz pluvial et pour le maïs.

Les diagnostics NuMaSS et les réponses observées pour les deux cultures et pour les différents sites sont résumés en tableau 3.

Étant donné qu'il n'y avait pas de répétitions prévues pour les réponses observées dans chaque exploitation, une augmentation d'au moins 0,5 t/ha du rendement en grain du riz pluvial et de 1 t/ha de maïs grain pour le traitement NuMaSS par rapport au rendement du témoin sans intrant a été considérée comme positive. Il faut noter que, tandis que les diagnostics ont été faits pour des contraintes d'éléments nutritifs pris séparément, les réponses ont été mesurées pour l'application combinée des éléments nutritifs déficients. Les statistiques Kappa ont été calculées pour déterminer les concordances entre les diagnostics et les réponses observées au champ.

**Tableau 3. Évaluation du niveau de précision du diagnostic NuMaSS pour le maïs et le riz pluvial dans les vallées d'Ilagan et d'Arakan**

Diagnostic	Intrant	Ilagan						Arakan		
		Riz pluvial 1999#		Maïs 1999#		Maïs 2000#		Riz pluvial 2000#		
		+	-	+	-	+	-	+	-	
Réponse	Prédiction	N	13	0	15	0	8	0	17	0
		P	13	0	12	3	8	0	16	1
		Chaux	8	5	9	6	0	8	0	17
	Observée*	N,P, Chaux	11	2	15	0	8	0	17	0
Coefficient Kappa		0,85		1		1		1		

\*La réponse observée est la réponse à une ou plusieurs déficiences diagnostiquées

#Une augmentation du rendement en grain d'au moins 0,5 t/ha du traitement NuMaSS par rapport au témoin (sans engrais) est arbitrairement considérée comme une réponse positive

Une valeur Kappa de 1 indique que les diagnostics et les réponses observées ont concordé systématiquement. Une valeur Kappa de 0 indique qu'il y a eu un nombre égal de diagnostics corrects et incorrects.

Les valeurs Kappa pour les différents sites et cultures ont varié entre 0,85 et 1, ce qui indique une précision élevée des diagnostics NuMaSS, c'est-à-dire qu'il y a eu presque toujours concordance entre les réponses à une application combinée de N, P et de chaux quand un ou plusieurs de ces éléments avaient été diagnostiqués comme déficients.

### **La prédiction NuMaSS et son test en milieu paysan**

#### **Évaluation de la réponse du riz pluvial sur sols acides durant la saison des pluies 1999 à Ilagan**

Dans l'essai de riz pluvial à Ilagan en 1999, les pratiques paysannes en matière d'utilisation de N, P et K variaient beaucoup :

de 0 à 134 kg/ha N, de 0 à 18 kg/ha P et de 0 à 35 kg/ha K ; certains paysans dépassaient donc les niveaux N, P et K des recommandations régionales et celles du NuMaSS.

Les taux recommandés par NuMaSS étaient de 132 kg/ha pour le N, de 0 à 36 kg/ha pour le P et de 0 à 2 t/ha pour la chaux (Tableau 6). Du fait de la grande variabilité des taux de N, P et K entre traitements, les applications de N, P et K ont été groupées dans des groupes de niveau croissant et de nouveaux noms de traitements leur ont été assignées (Tableau 4).

**Tableau 4. Gamme de NPK appliqué au riz pluvial dans les tests en exploitation, Ilagan, 1999**

Éléments nutritifs	Gamme des quantités appliquées (kg/ha)			
	Aucune	Faible	Moyenne	Haute
N	0	9-40	60-90	120-138
P	0	4-12	17-29	36
K	0	8-23	35	60-100

Le nouvel ensemble des données avec les nouvelles désignations des niveaux de N, P et K a fait l'objet d'une analyse par classification. Il s'est avéré que les données ne se groupaient que pour N, et que K n'était pas un facteur significatif influençant le rendement. Les groupes de N étaient : N1 = 9 à 40 kg N/ha et N2 = 60 à 138 kg N/ha. L'analyse de variance basée sur ces deux niveaux de N comme traitements, montrait que les rendements de ces deux groupes étaient significativement différents ( $p = 0,0001$ ) et qu'on rendait compte d'environ 78 % de la variation du rendement par ce groupement de niveaux d'apport de N (Tableau 5).

L'absorption de N, P et K était également très différente entre ces classes d'apport de N.

**Tableau 5. Rendement en grain et absorption d'éléments nutritifs par le riz pluvial, Ilagan, 1999. Données analysées après séparation en deux classes d'apport de N**

Classe d'apport N	Rendement en grain	Absorption N	Absorption P	Absorption K
kg/ha				
9 – 40	633b*	40b	4,8b	40,4b
60 – 138	1160a	86a	9,3a	66,8a

\*Les valeurs avec la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % par LSD (plus petite différence significative)

Vu que K n'a pas été identifié comme facteur significatif dans l'expérimentation de riz pluvial à Ilagan en 1999, une analyse de variance a été faite avec les données combinées des traitements NuMaSS et NuMaSS+K. Les recommandations NuMaSS et les recommandations régionales ont donné les mêmes rendements de 1,2 t/ha, significativement supérieurs à ceux des pratiques paysannes et du traitement témoin (Tableau 6).

**Tableau 6. Rendement en grain et absorption d'éléments nutritifs par le riz pluvial, soumis à plusieurs apports d'intrants, Ilagan, 1999**

Traitements	N	P	K	Chaux	Rendement en grains	Absorption d'éléments nutritifs		
	Apports kg/ha				(t/ha)	N	P	K
Témoin	0	0	0	0	0,59c*	37,6c	4,2d	38,2c
Pratiques paysannes	0-134	0-18	0-35	0	0,93b	58,3b	6,8c	53,8b
Recommandation régionale	90	9	18	0	1,21a	84,4a	8,8b	61,1ab
NuMaSS et NuMass + K	132	0-36	60-100	0-2	1,21a	94,7a	10,5a	73,1a

\*Les valeurs avec la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % par LSD (plus petite différence significative)

Des différences similaires ont été constatées pour l'absorption de N, P et K.

### **Évaluation de la réponse du maïs sur sols acides de plateau et sur sols moins acides de plaine alluviale à Ilagan, 1999 et 2000**

Les analyses de variance de 1999 n'ont pas indiqué de différences significatives entre les recommandations régionales et les recommandations NuMaSS, bien que seul NuMaSS ait été supérieur à la pratique paysanne (Tableau 7). On a trouvé que K n'était pas un facteur significatif d'amélioration des rendements, d'où la combinaison des données de NuMaSS + K (recommandations régionales) et NuMaSS + K élevé dans le tableau 7.

**Tableau 7. Rendement en grain du maïs en réponse aux apports d'éléments minéraux, saison humide 1999 à Ilagan**

Traitements	N	P	K	Chaux	Rendement en grain
	kg ha <sup>-1</sup>			t ha <sup>-1</sup>	
Témoin	0	0	0	0	1,25c
Pratique paysanne	0-274	0-20	0-50	0	3,86b
Régional	134	18	35	0	4,82ab
NuMass	210	0-60	60	0-2	4,95a

\*Les valeurs avec la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % par LSD (plus petite différence significative)

En 2000, il n'y avait aucune différence significative entre les rendements des différents traitements, à l'exception du témoin qui ne recevait aucun apport. (Tableau 8).

### **Évaluation de la réponse du riz pluvial sur sols de plateau moins acides, vallée d'Arakan, 2000**

L'analyse de variance des rendements en grain a montré un coefficient de variation (CV) très élevé et un coefficient de corrélation (R<sup>2</sup>) faible non significatif pour le modèle. Ceci a été ex-

**Tableau 8. Rendement en grain du maïs en réponse aux apports d'éléments minéraux, saison humide 2000, Ilagan**  
 (Les résultats concernant la chaux ne sont pas inclus dans la comparaison parce que non disponibles à ce jour)

Traitements	Éléments nutritifs apportés (kg/ha)			Rendement en grain (t/ha)
	N	P	K	
Témoin	0	0	0	1,36b
Pratique paysanne	90-120	12-25	12-23	2,52a
Régional	134	18	35	2,90a
NuMaSS + K régional	225	30-51	35	3,13a
NuMaSS + K élevé	225	30-51	80	3,10a

\*Les valeurs dans les colonnes avec la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % par LSD (plus petite différence significative)

pliqué par le fait que l'apport de N sous pratiques paysannes variait largement, recoupant les niveaux de N des traitements régionaux et de NuMaSS. Le CV a été significativement réduit (20 %) et le R<sup>2</sup> amélioré à 91 % quand les pratiques paysannes d'apport de N ont été groupées et analysées en trois catégories : 16 à 45 kg N/ha, 90 kg N/ha et 113 à 180 kg/ha. Les résultats ont indiqué que les rendements en grain sous NuMaSS (avec K régional ou élevé), sous recommandations régionales et sous pratique paysanne de 90 kg N/ha étaient similaires mais significativement plus élevés que le témoin et la pratique paysanne à N faible et élevé (Tableau 9). Il faut noter que la pratique paysanne (PP) n'incluait pas de K dans l'application et pas de P sauf sous N faible.

### Discussion

Tous les tests en milieu paysan indiquent que NuMaSS a un niveau de précision élevé pour le diagnostic des contraintes N, P

**Tableau 9. Rendement en grain du riz pluvial en réponse aux apports d'éléments minéraux, saison humide 2000, vallée d'Arakan** (Les résultats concernant la chaux ne sont pas inclus dans la comparaison parce que non disponibles à ce jour)

Traitement	Éléments nutritifs apportés (kg/ha)			Rendement en grain (t/ha)
	N	P	K	
Témoin	0	0	0	0,99c
Pratique paysanne N élevé	113-180	0	0	1,34c
PP N moyen	90	0	0	1,77b
PP N faible	16-45	0-22	0	1,20c
Régional	90	26	25	2,07ab
NuMaSS + K régional	132	0-12	25	2,20a
NuMaSS + K élevé	132	0-12	67	2,05ab

\*Les valeurs dans les colonnes avec la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % par LSD (plus petite différence significative)

et de l'acidité. Cependant, les rendements obtenus pour le riz pluvial et le maïs ont été considérablement plus bas que les rendements pour lesquels les diagnostics et recommandations NuMaSS sont développés.

En général, les recommandations NuMaSS ont donné des rendements semblables à ceux des recommandations régionales dans les sites de plateaux acides à Ilagan et dans les sites moins acides de la vallée d'Arakan, aussi bien pour le riz pluvial que pour le maïs. Donc, NuMaSS donne d'aussi bons résultats que les recommandations régionales, même si le K qui est toujours inclus dans les recommandations régionales ne l'est pas dans le NuMaSS. Il faut également noter que, dans certains cas, les rendements sous pratiques paysannes étaient les mêmes que sous recommandations régionales ou sous NuMaSS, et ceci, souvent sans apport de N ou de K, et jamais avec ajout de chaux. Une analyse par classification des rendements de riz pluvial de 1999 à



Ilagan a montré qu'il y avait une réponse du rendement à l'application de N mais pas à l'application de P, K ou de chaux. Les résultats globaux confirment que N a été un facteur limitant du rendement du riz pluvial et du maïs. Cependant, nous ne pouvons pas conclure que P, K ou l'acidité n'ont pas été des facteurs limitatifs, puisque la réponse aux recommandations NuMaSS ne faisait pas la distinction entre azote, phosphore et chaux. George *et al.*, (2001) par exemple, ont démontré qu'il y avait une réponse du riz pluvial à l'apport de P (meilleure production de paille des variétés traditionnelles et hausse du rendement en grain des variétés améliorées), quand il n'y avait pas ou peu d'autres contraintes que le P. Dans les tests actuels, il est probable que les stocks en P et K du sol étaient suffisants pour assurer les rendements relativement faibles obtenus.

On peut conclure de ces résultats que les recommandations NuMaSS fonctionnent aussi bien que les recommandations régionales dans les années initiales, mais il n'est pas sûr que les recommandations NuMaSS sont rentables à long terme, parce que ceci ne peut être évalué que si les effets résiduels des apports de P et de chaux sont pris en considération.

Bien qu'il ait été demandé aux paysans participants de reconduire les tests dans les mêmes parcelles, très peu l'ont fait pour diverses raisons, entre autres le manque de pluie en temps opportun et la mise en jachère des terres.

Il faut souligner que le NuMaSS ne prédit pas les rendements mais fournit des recommandations pour réaliser un rendement ciblé. Bien que les rendements visés par NuMaSS soient raisonnables pour la région, aucun des essais n'a permis d'atteindre les rendements ciblés. C'est le cas en particulier pour le diagnostic de N et les recommandations pour le maïs. Le rendement ciblé de 6 t/ha dans l'expérimentation en milieu paysan est réellement possible avec du maïs hybride comme l'ont démontré Aragon *et al.*, 2003. Ils ont rapporté des rendements de maïs hybride dans

les expérimentations en milieu paysan de 5,8 t/ha en 2000 et de 6,2 t/ha en 2001. Cependant, aucune des parcelles paysannes n'a pu produire autant, alors que la quantité d'engrais azoté apportée aurait dû suffire pour un rendement de 6 t/ha. Plusieurs causes peuvent expliquer cette situation. Le rendement cible était basé sur la supposition de NuMaSS qu'il n'y a pas d'autres facteurs limitant le rendement que N, P et l'acidité, ce qui n'est pas le cas. À la différence du besoin en P et en chaux, l'absorption d'azote N est dépendante de la demande, ce qui implique que d'autres facteurs limitatifs peuvent déterminer le rendement ciblé et donc la demande en N.

Dans cette mise en œuvre du NuMaSS, la disponibilité de N dans le sol est estimée par l'absorption de N du témoin non-fertilisé. Cependant, l'absorption réelle de N peut être déterminée par d'autres facteurs limitatifs et par conséquent être différente de l'absorption potentielle de N. L'absorption potentielle de N pourrait être estimée par un traitement où tous les autres facteurs seraient optimisés de sorte que N pourrait être considéré comme le seul facteur limitatif. Ces deux estimations différeraient notablement, vu qu'en l'absence d'autres limitations nutritives, tout l'azote initial et minéralisé lors de la saison serait absorbé par la culture.

Pour cette raison, il est important de définir des rendements cibles réalistes et d'adapter ensuite les recommandations d'apport d'intrants à ces objectifs de rendement plutôt que de les baser seulement sur les réserves des sols en nutriments. Pour la définition de ces rendements cibles, des facteurs limitatifs comme le potentiel de rendement du génotype et la période de semis en relation avec les périodes sèches – doivent être pris en considération.

Les combinaisons de traitements que nous avons utilisées, n'ont pas permis de tester s'il y avait des réponses aux contraintes nutritives en chacun des éléments, tels que N, P ou acidité. Afin de

tester le succès des diagnostics concernant ces contraintes, des expérimentations supplémentaires « soustractives » sur les éléments nutritifs doivent être envisagées dans les évaluations NuMaSS en milieu paysan, p.ex. par des tests: + N + P + chaux, + N + P – chaux, - N + P + chaux. Une réponse significative au traitement complet comparé p.ex. à: – N + P + chaux confirmerait le diagnostic de la déficience en N.

---

### Références

- Aragon M.L., Lasquite J.B., Corton T.M., Casimero M.C., Santiago S.T., George T., Yost R.S., 2003. Intensive testing of the NuMaSS Decision–aids Tool in the Philippines. In *Field Testing of Integrated Nutrient Management Support System (NuMaSS) in Southeast Asia: Workshop Proceedings*. pp. 60-89. Casimero, M.C., S Ma. Pablico, Yost, R.S. et Aragon, M.L. (Eds.). Philippine Rice Research Institute, Maligaya, Munoz, Nueva Ecija (sous presse).
- FAO, 1990. *FAO-Unesco Soil Map of the World. Revised Legend*, Soils Bulletin, 60, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 119 p.
- George T., Magbanua R., Roder W., Van Keer K., Trebuil G., Reoma V., 2001. Upland rice response to phosphorus fertilization in Asia. *Agronomy Journal*, 93 : 1362-1370.

## CHAPITRE 5

### L'utilisation de QUEFTS en vue de recommandations de fertilisation équilibrée du maïs au Togo

*T.E. Struif Bontkes<sup>1</sup>, M.C.S. Wopereis<sup>1</sup>, A. Tamelokpo<sup>1</sup>,  
K.A. Ankou<sup>1</sup>, D. Lamboni<sup>1</sup>*

*Pour plus d'information sur QUEFTS, voir annexe 1*

---

#### Introduction

Les recommandations actuelles de fertilisation du sol au Togo sont surtout basées sur les besoins en éléments nutritifs des cultures, sans que le stock d'éléments nutritifs dans le sol ne soit pris en considération. Apprécier cette *capacité du sol à fournir des nutriments* est d'un grand intérêt puisque cela permet de mieux adapter les apports d'engrais minéraux aux besoins en nutriments des cultures.

La variabilité spatio-temporelle de la capacité des sols à fournir des nutriments se manifeste à différentes échelles, du niveau régional au niveau villageois et jusqu'au niveau des parcelles. Par exemple, dans le sud du Togo, on trouve surtout des ferralsols (FAO, 1990), connus sous le terme de « Terres de Barre ». Ce sont des sols profonds, contenant au moins 90 % de sable mais souvent déficitaires en potasse (des niveaux de K échangeable aussi bas que 0,2 mmol K/kg ont été mesurés). Dans le reste du

---

<sup>1</sup>Un Centre international pour la fertilité du sol et le développement agricole (IFDC) - Division Afrique, BP 4483, Lomé, Togo

pays, ce sont les acrisols qui dominent. Ces sols sont souvent peu profonds et le niveau de potasse dans le sol, de 1,5 à 10 mmol K/kg, constitue rarement un goulot d'étranglement majeur pour la production.

Au niveau villageois, on peut trouver des anneaux concentriques de niveau de fertilité de sol décroissant au fur et à mesure qu'on s'éloigne du village (Prudencio, 1983). Dans le premier anneau, immédiatement autour des habitations, des apports organiques comme les déchets ménagers sont utilisés pour améliorer la fertilité des sols ce qui donne des conditions de développement favorables à des cultures exigeantes en nutriments, comme le maïs par exemple. Dans le deuxième anneau, il y a moins d'apports organiques et certains paysans épandent des engrais minéraux. Dans le troisième anneau, vers l'extérieur, la fertilité du sol est entretenue par la mise en jachère. Le bétail peut ramener dans le premier anneau des éléments nutritifs prélevés sur ces jachères quand il est parqué la nuit près des habitations. Des différences de niveau de fertilité des sols au niveau villageois peuvent aussi venir de différences micro-topographiques. Les paysans connaissent généralement assez bien ces différences et ont souvent établi une typologie locale des sols (Defoer et Budelman, 2000).

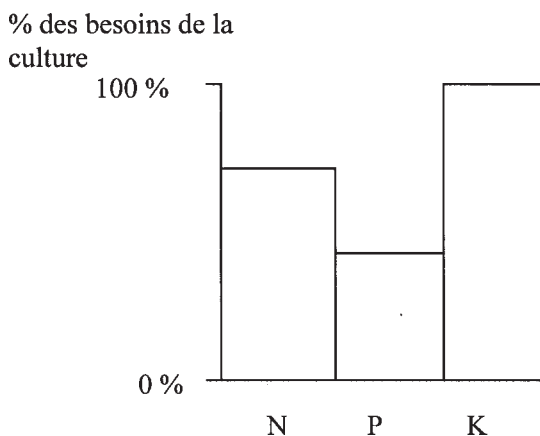
Le tableau 1 fournit quelques exemples de la variabilité de la fertilité des sols entre et à l'intérieur des régions togolaises. Dans ce tableau, C-org donne une mesure de la teneur en matière organique du sol, N-tot est lié à la capacité du sol à fournir de l'azote, P-Bray I mesure le phosphore disponible pour la plante (Phosphore assimilable), P-tot donne une indication sur les réserves en P totales dans le sol et K-éch (échangeable) mesure le potassium disponible pour la plante. À Mango, les deux champs paysans ont des caractéristiques chimiques assez voisines, mais les deux parcelles d'Adjodogou sont différentes. Une de ces parcelles est visiblement dégradée avec des taux très bas en N et K et une faible teneur en matière organique.

**Tableau 1. Exemple de différences de caractéristiques chimiques des sols liées à la capacité propre des sols à fournir des éléments nutritifs dans les parcelles paysannes de quatre villages au Togo (« deux » village)**

Village et coordonnées géographiques	Région du Togo	C-org (g/kg)	N-tot (g/kg)	P-BrayI (mg/kg)	P-tot (mg/kg)	K-éch (meq/kg)
Adjodogou 6°33N, 1°57E	Sud	9,0	1,1	3,5	416	1,6
		4,8	0,7	6,3	340	0,2
Sevé Kpota 6°44N, 0°95E	Sud	19,0	1,6	3,3	331	4,1
		9,0	1,2	2,6	205	2,1
Tsravékoé 6°53N, 1°01E	Sud	8,0	0,9	2,0	168	4,0
		4,5	0,6	1,4	141	1,7
Mango 10°18N, 0°24 E	Nord	7,5	0,8	2,6	283	1,9
		7,0	0,9	3,4	357	1,6

Ignorer les réserves disponibles des sols en éléments nutritifs peut aboutir à des applications d'engrais qui ne coïncident pas avec les besoins des plantes en éléments nutritifs, d'où un gaspillage de nutriments, d'argent et même une pollution de l'environnement. La figure 1 illustre la situation dans laquelle le phosphore (P) est l'élément nutritif le plus limitatif pour le développement de la culture.

En appliquant un engrais contenant un pourcentage élevé de K et un faible pourcentage de P dans le cas de la figure 1, on n'améliorera pas significativement le rendement et on peut même réduire le rendement économique. L'apport d'engrais minéral doit donc prendre en considération la réserve en éléments nutritifs du sol. Les paysans s'en rendent compte, mais l'environnement institutionnel dans lequel ils opèrent ne laisse souvent guère de flexibilité. Dans le sud du Togo par exemple, les paysans ne peuvent acheter de l'urée que si ils achètent également du NPK (15-15-15), habituellement dans un rapport de deux sacs de NPK pour un sac d'urée. En outre, l'urée et le NPK (15-15-15) sont très



**Figure 1. Rapport entre les réserves disponibles du sol en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) et les quantités de N, P et K nécessaires pour obtenir le rendement ciblé**

---

souvent les seuls engrais minéraux disponibles en dehors d'un engrais composé spécifique pour le coton.

En principe, les recommandations de fertilisation devraient être spécifiques des sites, c'est-à-dire adaptées aux conditions de sol et de climat, aux pratiques culturales (choix de la culture et de la variété, date de semis, sarclage, etc.), aux prix des intrants et des produits, au rendement recherché et aux moyens financiers des paysans. Il est clair que ce type de recommandations ne peut être obtenu par l'expérimentation seule parce que les coûts en seraient beaucoup trop élevés. Une approche plus prometteuse pourrait être l'utilisation combinée d'outils d'aide à la décision et d'approches participatives. Cette hypothèse a été testée dans trois villages dans le sud du Togo durant la grande saison des pluies (avril-août) 2002.

## Méthode

L'outil d'aide à la décision utilisé ici est le modèle QUEFTS (*Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils* /Évaluation quantitative de la fertilité des sols tropicaux). QUEFTS a été développé à l'université d'agronomie de Wageningen sur la base de données du Kenya et du Surinam (Janssen *et al.*, 1990). QUEFTS est un outil simple, permettant de prédire des rendements sur la base d'un certain nombre de caractéristiques des sols (C-org, N-tot, P-tot, P-assimilable (p.ex. P-Bray I, K-éch et pH-eau). Ces données sont utilisées pour en déduire des estimations de la disponibilité en éléments nutritifs dans le sol. Les autres variables d'entrée sont le taux maximum d'utilisation de l'engrais et la relation entre absorption du nutriment et rendement. Cette relation se trouve entre deux limites, représentant l'accumulation maximale et la dilution maximale de l'élément nutritif (en général N, P ou K) dans la culture. Si ces courbes-enveloppes sont connues pour ces trois éléments nutritifs, elles peuvent être transformées en courbes qui décrivent la nutrition optimale (équilibrée) prenant en compte l'interaction entre ces éléments nutritifs. Cependant, il faut noter que QUEFTS ne prend pas en compte des facteurs tels que l'approvisionnement en eau, les déprédateurs et maladies, et les variétés.

Trois villages ont été choisis dans le sud du Togo : Sevé Kpota, Adjodogou et Kpétémé. Sevé Kpota (6°44 N, 0°95 S) est situé dans le sud-ouest du Togo alors qu'Adjodogou (6°33 N, 1°57 S) et Kpétémé (6°30 N, 1°54 S) se trouvent dans le sud-est du pays. La répartition des pluies dans tous les villages est bi-modale. Pendant la grande saison des pluies d'avril à août il pleut en moyenne 650 mm à Sevé Kpota (moyenne sur 20 ans du 1<sup>er</sup> mars au 31 août) et à Adjodogou et Kpétémé environ 630 mm/saison (moyenne sur 20 ans du 1<sup>er</sup> mars au 31 août).



Sevé Kpota a une pression démographique relativement faible (95 habitants km<sup>-2</sup>) alors que la pression démographique est beaucoup plus élevée à Adjodougou et Kpétémé (280 habitants km<sup>-2</sup>) (DSEA, 1997). Les sols de Sevé Kpota sont surtout des acrisols de type plinthique (FAO, 1990). À Adjodougou et Kpétémé on trouve surtout des ferralsols (FAO, 1990) qui sont moins fertiles que les sols de Sevé Kpota. Le maïs (*Zea mays* L.) et le manioc (*Manihot esculenta*) sont les principales cultures de la région.

À Sevé Kpota, la recommandation standard de fertilisation pour le maïs, préconisée par le service de vulgarisation est : 150 kg de NPK (15-15-15)/ha et 50 kg d'urée/ha. À Kpétémé et Adjodougou, l'ONG locale recommande 200 kg de NPK/ha et 150 kg d'urée/ha. Cependant, moins de la moitié des paysans des villages étudiés utilise effectivement de l'engrais (Agboh-Noaméshie et Sedzro, 2002) ; parmi eux, certains adaptent déjà les doses employées au type de sol p.ex. en appliquant de l'urée sur les sols les plus fertiles et une combinaison de NPK et d'urée sur les sols les moins fertiles.

Dans les trois villages, une approche participative d'apprentissage et de recherche-action a été utilisée (Defoer et Budelman, 2000), permettant l'élaboration de cartes villageoises des sols. Les paysans ont distingué trois types de sol à Kpétémé et Sevé Kpota, basés principalement sur des différences de couleur : des sols rouges, des sols noirs et des sols blancs. À Adjodougou il n'y avait que des sols rouges. Pour chacun de ces types de sol, des données concernant la teneur en C organique, la teneur en N-tot, P-tot, P-assimilable et K-échangeable, et le pH-eau étaient disponibles grâce à des études antérieures (Struif Bontkes, données non publiées). Ces données ont été entrées dans la version standard de QUEFTS pour élaborer une gamme d'alternatives aux recommandations standards de fertilisation pour cette région. Sur la base de ces résultats préliminaires et de discussions avec les paysans, des expérimentations de fertilisation ont été mises en place dans chaque village, pour l'ensemble des types de sol.

Chaque test comportait les cinq traitements suivants (tableaux 2 et 3) : témoin (1 : pas d'engrais), pratique du paysan (2), pratique recommandée (3) et deux stratégies alternatives d'apport d'engrais (4 et 5) ; il y avait une répétition par paysan. Des échantillons composites de sol étaient prélevés à 0-0,2 m de profondeur dans chaque parcelle pour évaluer leur teneur en C-org, en N-tot, en P-

**Tableau 2. Stratégies d'application d'engrais minéral évaluées avec les paysans lors de la saison principale des pluies 2002 sur des ferralsols à Kpétémé et à Adjodogou, sud du Togo** (Les nombres correspondent à des sacs de 50 kg)

Traitement	NPK	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Urée (fumure de base)	Urée (2 <sup>e</sup> apport)	Total
1	0	0	0	0	0
2	Pratique paysanne				
3	4	0	1,5	1,5	7
4	1	1	1,5	1,5	5
5	0	2	1,5	1,5	5

**Tableau 3. Stratégies d'application d'engrais minéral évaluées avec les paysans lors de la saison principale des pluies 2002 sur des acrisols à Sevé Kpota, sud du Togo** (Les nombres correspondent à des sacs de 50 kg)

Traitement	NPK	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Urée (fumure de base)	Urée (2 <sup>e</sup> apport)	Total
1	0	0	0	0	0
2	Pratique paysanne				
3	3	0	0	1	4
4	1	0	1	1	3
5	0	0	1,5	1,5	3

tot, en P-assimilable, en K-échangeable, et le pH-eau, suivant les méthodes standards de laboratoire (IITA, 1982).

Du  $K_2SO_4$  a été ajouté à Kpétémé et Adjodogou à cause de la très faible teneur en K-échangeable des ferralsols. Le nombre de sacs pour les traitements 4 et 5 a été réduit par rapport à la pratique recommandée (traitement 3) dans tous les villages, parce que les paysans hésitaient à consacrer trop d'argent à l'achat d'engrais.

Ces recommandations alternatives et standard ont été évaluées sur tous les types de sol distingués par les paysans.

Les résultats ont été discutés avec les paysans et comparés aux résultats d'une version de QUEFTS qui était calibrée pour les deux types de sol, sur la base d'une série limitée de données concernant les sols, les rendements et l'absorption des éléments nutritifs obtenues lors d'expérimentations antérieures à Sevé Kpota et Adjodogou (Struif Bontkes, données non publiées).

Dans ce calibrage, des paramètres ont été ajustés : les paramètres qui commandent le prélèvement des éléments nutritifs du sol, les taux maximaux de recouvrement des engrais et les rapports rendement/éléments absorbés. Ce calibrage a été exécuté en ajustant les paramètres jusqu'à obtenir la meilleure correspondance (à l'œil) entre les rendements simulés et les rendements obtenus, et entre les rapports (simulés et observés) des rendements et des quantités d'éléments minéraux absorbés.

La version QUEFTS calibrée a ensuite été utilisée pour élaborer des recommandations de fertilisation spécifiques aux sites, liées non seulement à la disponibilité des nutriments dans le sol, mais également à la capacité/ motivation du paysan à acheter de l'engrais.

## Résultats

Les paramètres du modèle QUEFTS spécifiques des types de sol tels qu'ils résultent du calibrage sont les suivants :

*Les paramètres déterminant les disponibilités en N, P et K*

SN	= (pH-3)*17* N-tot	-1-
SP	= 0,028 * P-tot + P-Bray I	-2-
SK(F)	= 400 * K-éch / (2+0,9*C-org)	-3-
SK(A)	= 320 * K-éch / (2+0,9*C-org)	-4-

Où :

SN	= disponibilité en N en kg/ha,
SP	= disponibilité en P en kg/ha,
SK(F)	= disponibilité en K en kg/ha dans les ferralsols,
SK(A)	= disponibilité en K en kg/ha dans les acrisols.

*Paramètres déterminant le rapport rendement /éléments nutritifs absorbés :*

YNA	= 30 * (SN - 5)	-5-
YND	= 60 * (SN - 5)	-6-
YPA	= 120 * (SP - 0,4)	-7-
YPD	= 300 * (SP - 0,4)	-8-
YKA	= 30 * (SK - 2)	-9-
YKD	= 120 * (SK - 2)	-10-

Où :

YNA	= rendement maïs (kg/ha) pour une accumulation maximale de N dans la plante ;
YND	= rendement maïs (kg/ha) pour une dilution maximale de N dans la plante ;
YPA	= rendement maïs (kg/ha) pour une accumulation maximale de P dans la plante ;
YPD	= rendement maïs (kg/ha) pour une dilution maximale de P dans la plante ;

YKA = rendement maïs (kg/ha) pour une accumulation maximale de K dans la plante ;

YKD = rendement maïs (kg/ha) pour une dilution maximale de K dans la plante.

*Les taux maximaux de recouvrement (MRR: Maximum Recovery Rates) de l'engrais :*

MRR (N) = 0,4 kg de N absorbé par kg N appliqué pour ferralsols

MRR (N) = 0,5 kg de N absorbé par kg N appliqué pour acrisols

MRR (P) = 0,3 kg de P absorbé par kg P appliqué pour ferralsols

MRR (P) = 0,7 kg de P absorbé par kg P appliqué pour acrisols

MRR (K) = 0,5 kg de K absorbé par kg K appliqué pour ferralsols

MRR (K) = 0,5 kg de K absorbé par kg K appliqué pour acrisols

Quelques résultats des analyses chimiques des échantillons de sol pris avant le début des tests sont présentés dans le tableau 4.

Le tableau 4 montre que les sols noirs sont en général plus fertiles que les sols rouges ou blancs à Sevé Kpota. Les différences de fertilité des sols à Kpétémé sont moins évidentes.

La concordance entre les rendements prédits (simulés) et les rendements observés a été très variable. Ceci est en partie dû à la grande hétérogénéité des parcelles, du fait des arbres (ombre), de la densité de peuplement variable, des sarclages tardifs et (dans le cas d'Adjodougou et de Kpétémé) de la culture dérobée de manioc, où le manioc est planté dans le champ de maïs pour terminer son développement après la récolte de maïs. Cette variabilité a induit des coefficients de corrélation relativement bas (voir tableau 5). La grande différence entre les rendements observés et les rendements simulés pour les acrisols est essentiellement due aux sols noirs qui sont fertiles mais ne produisent pas très bien parce qu'ils sont peu profonds.

**Tableau 4. Caractéristiques moyennes des types de sol distingués par les paysans** (Le nombre de champs par type de sol est indiqué entre parenthèses)

	Sevé Kpota			Kpétémé			Adjodogou
	Noir (8)	Rouge (8)	Blanc (8)	Noir (2)	Rouge (5)	Blanc (1)	Rouge (6)
Argile (%)	26	19	13	8	6	4	8
C-org (g/kg)	11	8	8	4	6	3	5
N-tot (g/kg)	1,7	1,2	1,2	0,5	0,6	0,5	0,6
P-Bray I (mg/kg)	8,4	3,6	4,5	3,5	4,9	4,6	6,6
P-tot (mg/kg)	636	238	205	193	187	187	346
K-éch (meq/kg)	6,7	3,0	2,0	1,0	0,8	0,7	0,5
pH-H <sub>2</sub> O	7,3	7,1	6,9	6,4	6,5	6,8	6,9

**Tableau 5. Rendements moyens en maïs observés et simulés par QUEFTS sur les deux types de sol, après calibrage**

	Ferralsols	Acrisols
R <sup>2</sup>	0,57	0,48
Rendements moyens (t/ha)		
– Observés	2,1	2,4
– Simulés	2,3	3,1

Un nouvel ajustement des paramètres QUEFTS n'a pas été possible car les données d'absorption des éléments nutritifs n'étaient pas encore disponibles au moment de la rédaction.

### Recommandations de fertilisation

La version ajustée de QUEFTS a été utilisée pour élaborer des recommandations de fertilisation pour plusieurs sols, en prenant en compte les engrais disponibles et la possibilité du paysan d'acheter ces engrais.

Nous avons postulé que les paysans avaient accès à quatre types d'engrais : l'urée (7 500 FCFA<sup>2</sup>/sac de 50 kg), le NPK 15-15-15 (7 500 FCFA/sac de 50 kg), le  $K_2SO_4$  (10 000 FCFA/sac de 50 kg) et le TSP (15 000 FCFA/sac de 50 kg). Nous supposons que les paysans peuvent souhaiter acheter un sac d'engrais par ha au minimum et quatre sacs au maximum. Il est difficile pour le moment de trouver du  $K_2SO_4$  et du TSP. C'est la raison pour laquelle le prix du TSP a été arbitrairement fixé à 15 000 FCFA par sac.

La sensibilité des recommandations de fertilisation obtenues par QUEFTS à la richesse en K du sol a été analysée pour Adjodogou. Le K échangeable a été fixé à 0,2, 0,3 et 0,4 meq K/kg. D'aussi faibles valeurs se rencontrent dans des sols très dégradés, voir tableau 1. Les performances agricole et financière des différents traitements, simulées par QUEFTS sont présentées dans les tableaux 6 et 7.

Dans certains cas, les rendements sont similaires, mais la rentabilité diffère considérablement. Ceci est dû aux grandes différences de rendements en l'absence d'apport d'engrais.

Ces tableaux montrent que les doses optimales d'engrais varient entre et dans les régions. Ils indiquent également que, sur les ferralsols dégradés, le facteur limitant la production de maïs est K, tandis que sur les acrisols, ce sont surtout N et P. Les deux tableaux montrent également que le niveau critique en K échangeable dans les sols très dégradés d'Adjodogou est d'environ 0,3 - 0,4 meq/kg sol, puisque le type d'engrais recommandé passe de  $K_2SO_4$  à NPK et urée quand le K échangeable augmente de 0,2 à 0,4 meq K/ha.

Ces résultats suggèrent qu'il est important (i) d'adapter les recommandations de fertilisation aux conditions spécifiques des parcelles, (ii) de mettre des engrais simples à la disposition des

---

<sup>2</sup>1 euro = 656 FCFA

**Tableau 6. Performances agronomique et financière des recommandations de fertilisation pour chacun des trois villages si le paysan peut acheter un sac d'engrais (50 kg) comme postulé par QUEFTS**

Village	Engrais (sacs/ha)	Rendement (t/ha)	Gain de rendement lié à l'application d'engrais (kg/ha)	Bénéfice net <sup>a</sup> de l'utilisation d'engrais (x 1000 CFA/ha)	Ratio valeur/coût <sup>b</sup> (-)
Adjodougou					
- 0,2 meq K/ha	1 K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,59	0,46	17,4	2,74
- 0,3 meq K/ha	1 NPK	1,66	0,17	2,7	1,36
- 0,4 meq K/ha	1 urée	1,82	0,19	4,0	1,53
Kpétémé					
- Sol noir	1 urée	1,65	0,33	12,3	2,63
- Sol rouge	1 urée	1,68	0,25	7,5	2,0
- Sol blanc	1 urée	1,75	0,30	10,3	2,38
Sevé Kpota					
- Sol noir	1 urée	5,32	0,30	10,3	2,37
- Sol rouge	1 TSP	3,34	0,82	34,1	3,27
- Sol blanc	1 TSP	3,13	0,73	29,1	2,92

<sup>a</sup>Bénéfices nets des traitements : (prix maïs x hausse rendement) – coût des engrais appliqués

<sup>b</sup>Ratio valeur / coût : (prix maïs \* hausse rendement) / coût des engrais appliqués

paysans, et (iii) de permettre aux paysans d'acheter les engrais qu'ils veulent.

Les résultats de cette étude ont été discutés avec des représentants des instituts de recherche agronomique, des services de vulgarisation, des organisations paysannes et des distributeurs d'engrais. Ils étaient tous d'accord pour dire qu'il faut des recommandations adaptées aux spécificités des environnements et des parcelles. Ceci impliquerait que plus de types d'engrais, adaptés aux besoins des différentes régions, soient disponibles, ce qui exige la connaissance des besoins en engrais spécifiques de chaque région et un système de distribution capable de délivrer les



**Tableau 7. Performances agronomique et financière des recommandations de fertilisation pour chacun des trois villages si le paysan peut acheter quatre sacs (50 kg) d'engrais**

Village	Engrais (sacs/ha)	Rendement (t/ha)	Gain en rendement lié à l'application d'engrais (kg/ha)	Bénéfice net <sup>a</sup> de l'utilisation d'engrais (x 1000 CFA/ha)	Ratio valeur/coût <sup>b</sup> (-)
Adjodogou	- 0,2 meq K/ha 2 urée + 2 K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,16	1,03	26,8	1,77
	- 0,3 meq K/ha 2 urée + 1 NPK + 1 K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,24	0,75	12,7	1,39
	- 0,4 meq K/ha 2 urée + 2 NPK	2,35	0,72	11,1	1,44
Kpétémé	- Sol rouge 2 urée + 2 NPK	2,17	0,74	14,6	1,49
	- Sol blanc 3 urée + 1 NPK	2,30	0,84	20,4	1,68
	- Sol noir 2 urée + 2 NPK	2,20	0,88	22,8	1,76
Sévé Kpota	- Sol noir 3 urée + 1 TSP	6,22	1,19	34,2	1,91
	- Sol rouge 2 urée + 2 TSP	4,32	1,80	62,9	2,40
	- Sol blanc 2 urée + 2 TSP	4,01	1,62	52,0	2,15

<sup>a</sup>Bénéfices nets des traitements : (prix maïs x hausse rendement) – coût des engrais appliqués

<sup>b</sup>Ratio valeur/coût : (prix maïs x hausse rendement) / coût des engrais appliqués

quantités nécessaires au moment opportun. En outre, puisqu'une partie des engrais est donnée au pays, il pourrait être nécessaire de convaincre les donateurs d'ajuster le type d'engrais donné.

## Discussion

L'utilisation moyenne d'engrais en Afrique sub-saharienne est seulement de 8 kg/ha (Heno et Baanante, 1999). Divers facteurs expliquent cette situation : les risques climatiques, le faible dé-

veloppement des marchés d'intrants et de produits agricoles, et la réticence des paysans à acheter de l'engrais au comptant. Les recommandations de fertilisation doivent donc être ajustées aux besoins du paysan (homme ou femme), en tenant compte de la fertilité du sol de sa parcelle, des autres facteurs de conduite des cultures tels que le choix variétal, la date de semis, etc. et de sa capacité à acheter des intrants. La pratique actuelle d'une recommandation unique de fertilisation pour toute une région n'incite pas les paysans à utiliser de l'engrais. Cette situation est aggravée par la gamme restreinte de types d'engrais mis en vente, comme c'est le cas au Togo.

Le modèle QUEFTS peut être utile dans la formulation de recommandations de fertilisation qui prennent en compte ces considérations. Un avantage supplémentaire de QUEFTS est que c'est un outil simple à utiliser, qui ne demande que peu de données (C organique, P assimilable, K échangeable et pH, potentiel de rendement et taux de recouvrement maximum d'engrais). En revanche, beaucoup d'autres facteurs ne sont pas pris en considération, p.ex. la disponibilité en eau, le choix variétal, la densité de semis, l'infestation par les mauvaises herbes et la date de semis, bien qu'ils puissent être pris en compte partiellement par l'ajustement des taux de recouvrement maximum d'engrais et du potentiel de rendement.

Bien que QUEFTS ne demande pas beaucoup de données, ces données ne sont pas toujours faciles à obtenir, leur qualité est parfois discutable ou bien elles sont difficiles à interpréter (p.ex. si les méthodes d'analyse utilisées par les différents laboratoires ne sont pas les mêmes). En outre, des analyses de sol demandent du temps et de l'argent, ce qui peut considérablement réduire l'applicabilité de l'outil QUEFTS.

Il y a plusieurs façons de surmonter ces obstacles ou au moins de les limiter. Bien que, la fertilité des sols puisse varier sur de courtes distances, on peut dégager de grandes lignes pour les prin-

cipaux types de sol. Par exemple, la production de maïs sur des ferralsols dégradés comme cela a été présenté dans cette étude de cas, a des chances d'être affectée par les faibles réserves en K de ces sols. Cependant, pour chaque type de sol, il peut y avoir des différences importantes, à cause de l'histoire de l'utilisation du terrain, et de la variabilité spatiale intrinsèque au sein de l'unité de sol principale. La caractérisation de la variabilité au sein de ces types de sol devrait être réalisée en étroite collaboration avec les paysans, en utilisant leur mode de classification des sols. Une solution alternative aux analyses en laboratoire souvent coûteuses et longues, pourrait être l'utilisation de boîtes de tests de sols moins chères et utilisables facilement sur le terrain. Cependant, ces boîtes de tests de sol doivent être soigneusement testées avant leur utilisation sur le terrain. Une approche encore moins chère et plus pratique pourrait être de mesurer directement la disponibilité en éléments nutritifs du sol, en se basant sur les éléments absorbés par les plantes, mesurés dans des essais d'omission d'éléments nutritifs dans des sites représentatifs. Par exemple, dans une parcelle qui a reçu une dose adéquate de P et de K pour s'assurer que ces éléments ne limitent pas la croissance, mais pas de N, l'absorption de N par le maïs peut servir de mesure pour la disponibilité en N du sol (SN).

L'adoption d'une telle approche mènerait à un changement graduel de recommandations générales vers des recommandations spécifiques aux sites. Pour atteindre cet objectif, les chercheurs devraient se familiariser avec les principes de QUEFTS, avec l'interprétation des données de sol existantes et l'utilisation des boîtes simples de tests et/ou tests d'omission d'éléments nutritifs. Les chercheurs doivent également être capables d'estimer le potentiel de rendement (lié au choix variétal, à la date de semis et à la disponibilité en eau) et estimer les taux maximaux de recouvrement d'engrais (liés à l'érosion et au lessivage, à l'infestation par les mauvaises herbes et à la disponibilité en eau). Afin de faciliter l'estimation des potentiels de rendements sous

différentes conditions (variété, type de sol, date de semis et répartition des pluies), des modèles de simulation de cultures qui prennent en compte ces facteurs peuvent être utilisés (p.ex. DSSAT). Les différentes combinaisons entre fertilité du sol, variété, pluviométrie, et pratiques culturales doivent être évaluées soigneusement et en étroite collaboration avec l'équipe de vulgarisation et les paysans dans les différentes régions et districts. C'est alors qu'on utilise le modèle QUEFTS pour élaborer des recommandations de fertilisation pour ces différentes combinaisons, selon la capacité du paysan à acheter de l'engrais. Un exemple de l'efficacité de cette méthode a été présenté par Häfele *et al.*, (2003), pour des systèmes de riz irrigué au Sahel. Ensuite, les agents de vulgarisation et les vendeurs d'engrais devraient recevoir une formation concernant l'application de ces recommandations dans leur district. Une telle approche en donnant la responsabilité de la recommandation de fertilisation aux personnes en contact direct avec les paysans stimulera le développement d'un référentiel local et de son « feedback » vers les chercheurs.

---

## Références

- Agboh-Noaméshie A. et Sedzro K.M., 2002. *Amélioration de la productivité du maïs et utilisation des modèles dans le transfert des technologies*. Rapport Technique. Projet COSTBOX, IFDC / ITRA, Lomé, Togo.
- Defoer T. et Budelman A. (Eds.), 2000. *Managing Soil Fertility in the Tropics : A Resource Guide for participatory learning and action research*. Royal Tropical Institute (KIT), Amsterdam, The Netherlands.
- DSEA, 1997. *Rapport Annuel*, Direction des Statistiques et des Enquêtes Agricoles, Lomé, Togo.

FAO, 1990. *FAO-Unesco Soil Map of the World. Revised Legend*, Soils Bulletin, 60, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 119 p.

Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Ndiaye M.K., Kropff M.J., 2003. A framework to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in West Africa. *Agricultural Systems*, 76 : 313-335.

Henaou J. et Baanante C.A., 1999. *Estimating rates of nutrient depletion in soils of agricultural lands of Africa*. Techn. Bull. 48. International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, USA.

IITA, 1982. *Automated and semi-automated methods for soil and plant analysis*. Manual series 7. International Institute for Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria.

Janssen B.H., Guiking F.C.T., Van der Eijk D., Smaling E.M.A., Wolf J., Van Reuler H., 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 46 : 299-318.

Prudencio Y.C., 1983. *A village study of soil fertility management and food crop production in Upper-Volta: Technical and economic analysis*. PhD thesis, University of Arizona, USA.

## CHAPITRE 6

### Application d'APSIM dans les systèmes des petites exploitations agricoles en zones tropicales semi-arides

*J. Dimes<sup>1</sup>, S. Twomlow<sup>1\*</sup>, P. Carberry<sup>2</sup>*

*Pour plus d'information sur APSIM voir annexe 3*

---

#### Introduction

Malgré des décennies de recherche, les petits agriculteurs des régions semi-arides d'Afrique méridionale et orientale n'investissent que peu dans la gestion de la fertilité des sols, et l'efficacité de l'utilisation de l'eau et les rendements restent désespérément bas (Ryan et Spencer, 2001 ; Mapfumo et Giller, 2001). Pour s'attaquer au problème persistant de l'insécurité alimentaire, les chercheurs de l'ICRISAT (*International Crop Research Institute for the Semi-arid Tropics*, Institut international de recherche agricole pour les tropiques semi-arides) et leurs partenaires des services nationaux de recherche agricole et de vulgarisation (SNRAV) ont mené une recherche qui combine la recherche participative paysanne et la modélisation des systèmes de culture pour identifier des possibilités d'amélioration des technologies de gestion de la fertilité pour les régions prédisposées à la sécheresse. Grâce aux approches de recherche participative en milieu paysan, on peut vérifier la pertinence des technologies de fertilité des sols en cours d'expérimentation et relever les préférences et les adapta-

---

<sup>1</sup>ICRISAT, PO Box 776, Bulawayo, Zimbabwe

\*auteur correspondant

<sup>2</sup>CSIRO Sustainable Ecosystems / APSRU, PO Box 102, Toowoomba, Queensland, 4350, Australia

tions paysannes. Cette recherche a pour but une adoption et une adaptation accrues des technologies de la fertilité des sols par les petites exploitations.

La recherche participative paysanne explore généralement des options de technologies et de gestion par la discussion interactive et l'expérimentation partagée entre paysans et chercheurs (Ashby et Sperling, 1994). Cependant, les expérimentations participatives en milieu paysan sont conditionnées par la spécificité des sites et des saisons, une limite souvent négligée. Ce sont les mêmes contraintes que rencontre l'expérimentation en station, et que les modélisateurs de croissance de cultures affirment avoir surmontées depuis longtemps (Keating *et al.*, 1991). Dans les régions prédisposées à la sécheresse en particulier, les risques liés aux variations des précipitations saisonnières sont une condition clé qui détermine si, oui ou non, ou sous quelle forme, la technologie a des chances d'être adoptée par les paysans (Marra *et al.*, 2003 ; Stewart, 1988). C'est pour cette raison que les modèles de simulation ont été introduits dans les programmes de recherche de l'ICRISAT de façon à mieux apprécier les effets de la variabilité saisonnière des pluies et à améliorer la quantification des risques climatiques associés à une technologie et à un environnement donnés. Cependant, un modèle de simulation offre d'autres avantages : il peut accroître l'efficacité de la recherche en aidant à identifier les « meilleurs choix » parmi les options à tester avec les paysans (Dimes *et al.*, 2002) et donner un cadre pour extrapoler les résultats de la recherche à d'autres sites et d'autres modes de gestion (Gowing et Young, 1997), en particulier lorsque ce modèle est accompagné d'une analyse économique approfondie (Rose et Adiku, 2001).

Des travaux antérieurs dans les domaines de la recherche paysanne participative et des modèles de simulation informatisés en Australie (FARMSCAPE, McCown *et al.*, 1998) et en Amérique latine suggèrent que la combinaison de ces deux approches très

différentes peut aboutir à des effets synergiques (Engel *et al.*, 2001 ; Robertson *et al.*, 2000 ; Carberry *et al.*, 2002). Cependant, il y a des personnes sceptiques tant du côté de la recherche que de la pratique agricole qui se demandent si les petits paysans pauvres d'Afrique australe sont mûrs pour de telles synergies. Ce chapitre discute les expériences de chercheurs de l'ICRISAT et de leurs partenaires des SNRAV, dans leurs efforts pour lier l'utilisation des modèles de simulation à la recherche participative dans des systèmes de production de petits paysans au Zimbabwe.

### **Combinaison de méthodes de recherche participative et d'APSIM**

En octobre 2001 un atelier a été organisé au Zimbabwe. Cette activité était spécialement conçue pour obtenir la contribution des paysans au développement et à l'analyse des scénarios et à l'évaluation des résultats de l'application des modèles, sur la base de leur expérience locale. L'objectif de l'atelier n'était pas seulement de cibler les activités de recherche, mais également de générer des compétences en modélisation parmi les partenaires des SNRAV et d'explorer des approches pour associer modélisation et techniques de recherche participative (Braun, 2001 ; Dimes, 2001).

Des équipes multidisciplinaires, composées d'agronomes, d'économistes et de spécialistes en sciences sociales ont visité les villages dans la région des territoires communaux de Zimuto (*Zimuto Communal Land Area*), de Masvingo (19°823 S, 30°910 E) et Tsholoto (*Tsholoto Communal Land Area*), et de Matebeleland (19°165 S, 27°578 E) dans le sud du Zimbabwe. Pour engager les paysans dans les discussions, l'élaboration d'un calendrier des activités agricoles en fonction des types de sols locaux et des champs s'est révélé utile ; on y détaille quelles cultures sont mises en place et où, les dates habituelles de semis, de sarclage et de récolte, l'évaluation paysanne de la fertilité de chaque parcelle, les apports d'engrais habituels et leur justification.



À l'aide de ces données, l'outil de simulation APSIM (McCown *et al.*, 1996 ; Keating *et al.*, 2003) a été expliqué aux paysans et testé à travers un processus de discussions interactives pour s'assurer que les prédictions sur la performance de la culture étaient raisonnables et compatibles avec l'expérience paysanne des conditions locales. Cet exercice initial a favorisé l'instauration d'un climat de confiance entre chercheurs et paysans et a fourni une base commune de travail. Ce qui est très important quand on rend compte des résultats des modèles de culture, c'est de se mettre d'accord pour utiliser des unités de surface et de rendement qui sont connues par les producteurs, p.ex. un nombre de sacs de 50 kg par acre (unité de surface employée dans les pays anglophones) au lieu de kg par ha. Ensuite, il y a eu des entretiens individuels avec des paysans pour obtenir des détails sur leurs pratiques agricoles, sur la sécurité alimentaire des ménages et sur les ressources disponibles.

À cette étape de la démarche, un outil très intéressant était la carte des flux de ressources (*Resource Flow Map*, RFM) (voir chapitre 2 de ce guide et Defoer et Budelman, 2000). Ces cartes permettent d'obtenir une vue d'ensemble des ressources des paysans pris individuellement et de leurs pratiques de gestion mais, surtout, elles se sont révélées génératrices de questions du type « qu'est-ce qui se passerait si ... ? », qu'on peut explorer en utilisant le modèle APSIM.

Lors des sessions d'élaboration des RFM, les questions qui intéressent particulièrement les paysans sont du type qui suivent.

- Est-ce que je dois plutôt concentrer ou répartir la fertilisation azotée (fumier ou engrais) disponible ?
- Est-ce que je dois plutôt utiliser l'engrais azoté en combinaison avec le fumier ou est-ce que je l'utilise séparément ?
- Que se passera-t-il pour le rendement de maïs si j'utilise la variété sc501 de cycle moyen au lieu de la variété sc401 de cycle court, communément cultivée ?

- Quel gain de rendement est-ce que je peux attendre en utilisant de l'engrais ?
- Est-ce que je dois plutôt dépenser mon argent pour l'engrais ou pour le sarclage ?

L'information provenant des résultats des différents scénarios a été présentée de deux façons : (i) sur ordinateur et (ii) traduit en schémas simples sur un tableau à feuilles mobiles. Les paysans ont apprécié de pouvoir discuter les différents scénarios en termes de rendement et de profit supplémentaires, surtout quand ils étaient mis en compétition pour deviner les résultats. Il était aussi très encourageant de noter que les estimations paysannes concernant une intervention connue correspondaient généralement aux estimations des modèles.

On a d'abord discuté pour chaque site la variabilité simulée des rendements en maïs causée par la variabilité des pluies en utilisant 10 ans de données climatiques. Pour les sols sableux à Masvingo, trois types d'années ont pu être distingués pour la période de 1989 à 1998 : une très mauvaise année (1992), quatre mauvaises années et cinq années normales. La question de la concentration ou de la répartition de la fumure sur toute la surface a ensuite été abordée : le choix était soit d'appliquer deux sacs de nitrate d'ammonium (NA) sur une parcelle de 2,5 acres, soit de les épandre sur deux parcelles de 2,5 acres. Le tableau 1 résume les résultats des simulations (exprimés en sacs de maïs par parcelle) pour le territoire communal de Zimuto (Masvingo). Tous les paysans étaient d'accord avec les résultats du modèle APSIM et disaient que cela correspondait à leurs pratiques normales : répartir l'engrais sur une surface plus grande. Cependant, quelques paysans disaient que, vu les problèmes de main-d'œuvre, ils avaient récemment changé leur pratique en concentrant l'engrais sur une surface limitée.

**Tableau 1. Rendement de maïs simulé par APSIM (sacs de 50 kg) de deux parcelles de 2,5 acres avec application de deux sacs de nitrate d'ammonium (NA) sur une seule parcelle (concentration) ou sur deux parcelles (étalement) dans de bonnes et de mauvaises conditions climatiques. Masvingo, Zimbabwe, sol sableux**

	Concentration			Étalement		
	Parcelle 1	Parcelle 2	Total	Parcelle 1	Parcelle 2	Total
	2 sacs NA	Pas d'intrants		1 sac NA	1 sac NA	
Année la plus mauvaise	0	0	0	0	0	0
Mauvaise année	18	7	25	18	18	36
Année normale	56	10	66	36	36	72

Ensuite la question concernant l'utilisation d'engrais minéral en combinaison avec le fumier a été discutée. On a décidé de comparer l'utilisation du fumier de six bovins et de deux sacs de NA sur la même parcelle de 2,5 acres avec apport du fumier sur une parcelle de 2,5 acres et application de NA sur un autre champ de même superficie. Les résultats de cette simulation sont présentés dans le tableau 2 (exprimés en sacs de 50 kg/champ) pour Zimuto.

Bien que les résultats du modèle suggèrent qu'il vaut mieux séparer l'application d'engrais minéral et de fumure organique, les paysans qui l'appliquent ensemble sur la même parcelle le font à cause du manque de main-d'œuvre.

Puis la troisième question a été discutée : l'impact de l'utilisation de la variété sc501 de cycle moyen (120 à 130 jours) au lieu de la variété sc401 de cycle court (110 à 120 jours) utilisée habituellement dans les deux zones. Cultiver la variété sc501 a eu un effet défavorable sur les rendements de maïs dans la plupart des

**Tableau 2. Rendement de maïs simulé par APSIM (sacs de 50 kg) de deux parcelles de 2,5 acres avec application de deux sacs de nitrate d'ammonium (NA) et de fumier sur une seule parcelle (concentration) ou application de deux sacs de NA sur une parcelle et du fumier sur une autre (étalement) dans de bonnes et de mauvaises conditions climatiques. Masvingo, Zimbabwe, sol sableux**

	Concentration			Étalement		
	Parcelle 1 2 sacs NA + fumier	Parcelle 2 Pas d'intrants	Total	Parcelle 1 2 sacs NA	Parcelle 2 Fumier	Total
Plus mauvaise année	0	0	0	0	0	0
Mauvaise année	18	7	25	17	10	27
Année normale	62	10	72	56	30	86

cas (Figure 1) et les paysans de Tsholotho ont visiblement apprécié ce résultat.

Les deux dernières questions qu'avaient posées les paysans ne pouvaient pas être résolues directement au champ. Cependant, on voit ci-dessous que l'outil APSIM peut donner des réponses.

La figure 2 montre les rendements de maïs simulés pour 48 années d'enregistrements climatiques à Masvingo, pour trois traitements azotés, en supposant une gestion uniforme, et des pressions faibles de mauvaises herbes, de déprédateurs et de maladies. Les résultats sans apport d'engrais montrent des rendements faibles et des variations annuelles relativement faibles auxquels sont habitués les petits paysans des territoires communaux (Figure 2, rendements des paysans). Si la contrainte azote est réduite par l'apport d'engrais, les rendements simulés sont très variables, ce qui s'explique par la variabilité des précipitations dans cette région. Les années où l'application de N a amélioré les rendements

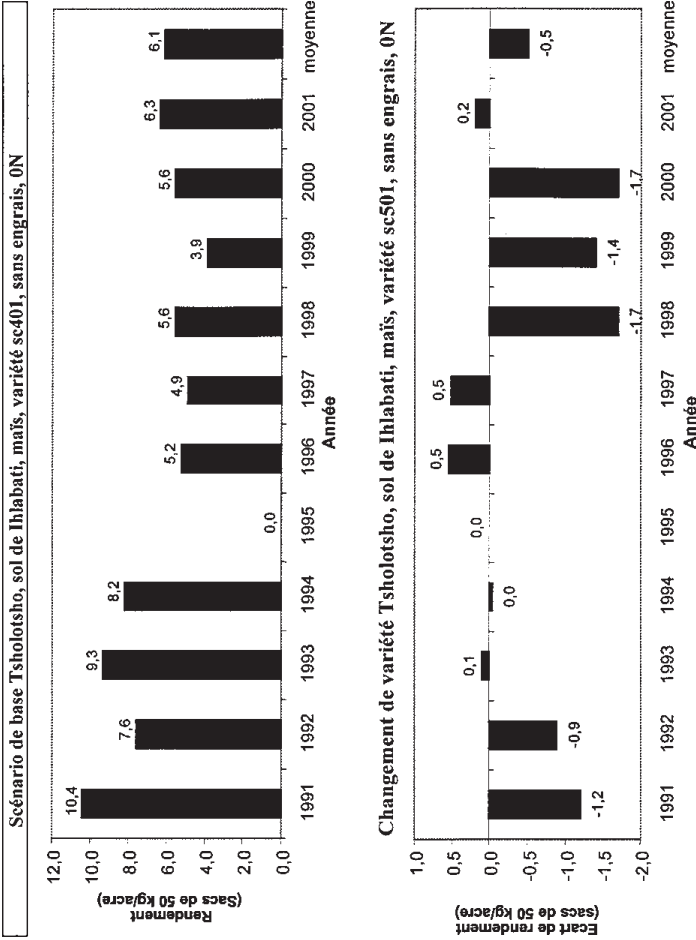
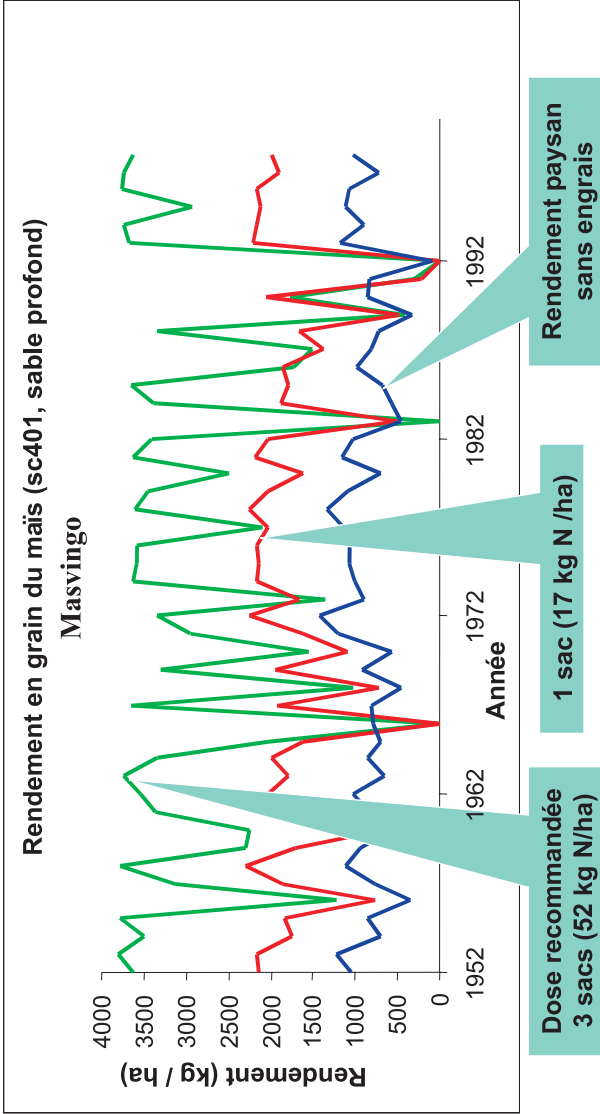


Figure 1. Rendements simulés de maïs de variété sc401 à cycle court, et écarts de rendements simulés par rapport à la variété sc501 de cycle moyen, dans les conditions de Tsholotsho (sol sableux)



**Figure 2.** Rendements simulés de maïs à Masvingo, Zimbabwe pour trois traitements de fertilisation azotée : sans engrais (rendements paysans typiques), avec la dose recommandée de 3 sacs/ha (52 kg N/ha) et une dose moins coûteuse de 1 sac/ha (17 kg N/ha)

donc l'efficacité de l'eau utilisée, sont nombreuses, mais il y a aussi des années sans amélioration de rendements et donc avec peu ou pas de bénéfice sur l'investissement dans les engrais.

Le risque associé aux variations de rendements avec apport de N (Figure 2), est l'un des principaux facteurs qui explique pourquoi les paysans des régions arides n'utilisent pas d'engrais (Ahmed *et al.*, 1997 ; Mapfumo et Giller, 2001 ; Scoones et Toulmin, 1999). Cette impression de risque élevé persiste, parce que les services de vulgarisation manquent d'informations appropriées sur la quantité d'engrais à appliquer (Figure 2, trois sacs de NA/ha). Actuellement, la recherche ne donne pas de recommandations de fertilisation pour les régions les plus arides du Zimbabwe (Mlambo et Tapfumaneyi, communication personnelle) et en fait, pour la grande majorité de l'Afrique méridionale ; les agents de vulgarisation dans ces régions plus sèches ajustent souvent les recommandations de fertilisation, établies pour les régions plus arrosées. Bien que ce soient des révisions à la baisse, qui prennent en compte les pluies aléatoires et la situation économique des paysans des régions arides, elles sont néanmoins élevées par rapport à la perception paysanne des risques et à leurs contraintes financières (Ahmed *et al.*, 1997). En analysant la distribution inter annuelle des réponses à l'azote (Figure 2), on pourrait s'attendre à ce que les recommandations de fertilisation N basées sur l'expérimentation durant la période 1993 à 1998, soient très différentes des recommandations basées sur les expérimentations menées durant la période 1987 à 1992.

La figure 3 compare les gains de production de maïs grain en dollars zimbabwéens (\$ Z) par \$ Z investi dans l'engrais azoté, pour des cultures simulées à Masvingo pour les deux doses de N considérées (1 et 3 sacs de NA/ha, c'est-à-dire 17 kg N/ha et 52 kg N/ha), et l'effet du sarclage. Dans les options considérées, les résultats simulés indiquent que le meilleur retour sur investissement est obtenu avec l'application d'un sac de NA par hectare sur une culture bien sarclée. Cependant, on obtient le plus mau-

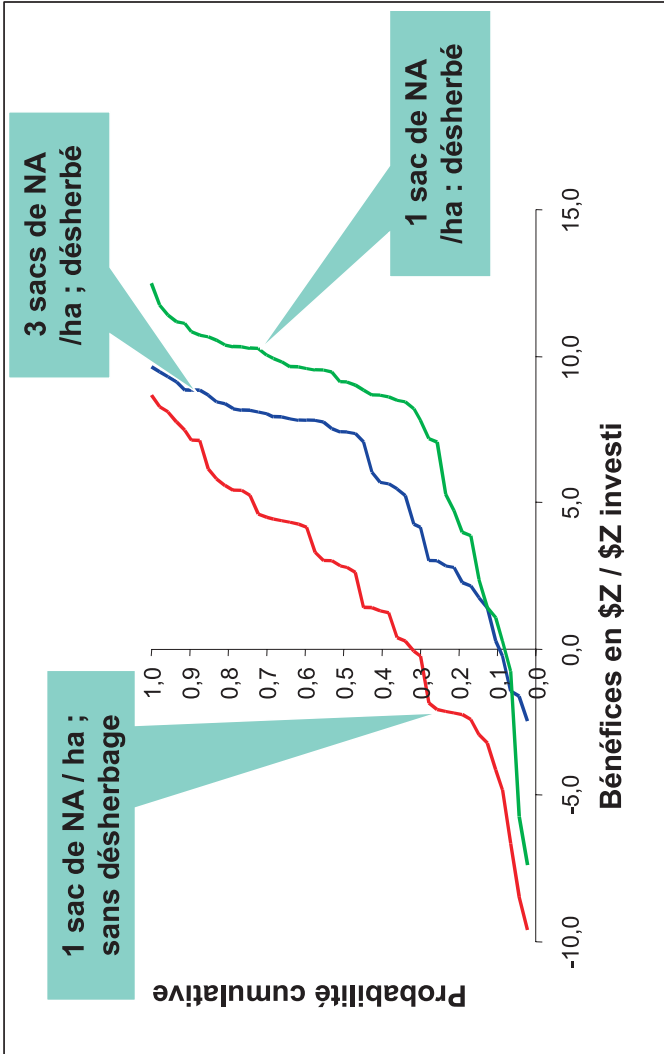


Figure 3. Gain de production en \$ zimbabwéens (\$Z) de maïs grain par \$Z investi dans l'achat d'engrais azoté pour des cultures simulées à Masvingo suivant les deux doses de N et l'effet du désherbage



vais résultat quand on applique la même quantité d'engrais sur une parcelle qui n'a pas été sarclée. Dans ce scénario, l'investissement dans le sarclage plutôt que dans l'engrais (au-delà d'un sac de NA/hectare) est très rentable. Les chercheurs, les agents de vulgarisation et les paysans n'ont généralement pas d'idée claire sur les compromis à faire dans l'allocation des ressources entre achats d'engrais et recours à la main-d'œuvre salariée pour le sarclage. L'avantage de la simulation est que la réponse attendue des rendements et les risques d'appliquer une moins grande quantité d'engrais N, peuvent facilement être quantifiés (Figures 2 et 3) et utilisés dans la conception d'expérimentations en milieu paysan. En utilisant parallèlement des tests de vérification en milieu paysan, les résultats des figures 2 et 3 peuvent être repris dans des recommandations plus appropriées aux régions arides, améliorant ainsi largement l'information qui est actuellement diffusée aux paysans par les agents de vulgarisation.

Quand une « nouvelle » technologie est mise en place avec le concours des petits exploitants agricoles, ni le chercheur ni les paysans n'ont la capacité de prédire comment cette technologie va évoluer au-delà de la période d'expérimentation ou dans d'autres conditions de mise en œuvre que celles de l'expérimentation. Normalement, il faut des années pour parvenir à cette connaissance, mais avec un outil de simulation décrivant de façon adéquate les effets principaux de la technologie sur le développement de la culture et sur les mécanismes du sol, (Carberry *et al.*, 1999), on peut en avoir une idée beaucoup plus rapidement. Ceci peut guider les recherches ultérieures sur la technologie en question ou fournir des données à plus long terme pour faire une analyse économique approfondie des nouvelles technologies, surtout par rapport à d'autres investissements.

## Conclusions

La simulation peut aider paysans et chercheurs à évaluer et à interpréter les réponses variables des expérimentations sur la fer-

tilité des sols en milieu paysan et, en utilisant parallèlement des séries de données climatiques à long terme, fournir une évaluation des risques associés aux technologies en termes de production et de rentabilité. Il fournit un cadre performant et efficace pour l'extrapolation des résultats de recherches à d'autres sites et conditions de mise en œuvre, et pour la compréhension du fonctionnement des systèmes et de leur impact à long terme. Il peut être utilisé pour comparer les avantages et les inconvénients des différentes options de gestion et la rentabilité des ressources limitées.

Il est clair que cette possibilité pourrait renforcer la recherche participative dans les petites exploitations. Cependant, il faut reconnaître que, pour être appliqué de façon efficace à grande échelle, il faut que l'outil de modélisation puisse être adapté au système de culture, aux contraintes biologiques et physiques majeures, et aux pratiques de gestion liées à des systèmes de production particuliers. Ceci exige premièrement de l'outil de simulation une grande capacité et beaucoup de flexibilité, et deuxièmement une disponibilité des données pédologiques, climatiques et culturelles nécessaires.

Malgré ces contraintes, les discussions engagées à l'aide de modèles avec les paysans sur les pratiques culturales se sont montrées fort utiles dans le développement de programmes de recherche sur la gestion de la fertilité des sols par les paysans eux-mêmes. Notre expérience récente avec les paysans dans l'utilisation de modèles de simulation rend encore plus évident que le risque, l'incertitude et l'apprentissage jouent un rôle important dans le processus d'adoption de nouvelles technologies.

L'avantage principal que nous voyons à la combinaison de la recherche participative paysanne avec la modélisation de simulations, est l'apprentissage conjoint et réciproque entre chercheurs et paysans sur l'impact du risque. Ceci est une réponse claire aux sceptiques qui se demandent si la modélisation a une place dans

la petite exploitation agricole : en bref, les ordinateurs et les petits exploitants agricoles vont bien ensemble. L'ICRISAT a d'ores et déjà commencé des expérimentations gérées par les paysans basées sur les scénarios qui ont été développés au cours de ces échanges.

---

## Références

- Ahmed M.M, Rohrbach D.D., Gono L.T., Mazhangara E.P., Mugwira L., Masendeke D.D., Alibaba S., 1997. *Soil fertility management in communal areas of Zimbabwe: current practices, constraints and opportunities for change. Results of a diagnostic survey*. ICRISAT Southern and Eastern Africa Region Working Paper No. 6, ICRISAT, Bulawayo, Zimbabwe.
- Ashby J, Sperling L., 1994. *Institutionalising participatory, client-driven research and technology development in agriculture*. Agricultural Administration (Research and Extension) Network Paper 49. ODI : London, United Kingdom, 21 p.
- Braun A., 2001. *Linking Logics II: Exploring linkages between farmer participatory research and computer based simulation modelling. 15-20 October, 2001*, ICRISAT, Bulawayo, Zimbabwe. CD-Rom.
- Carberry P.S., Probert M.E., Dimes J.P., Keating B.A., McCown, R.L. 1999. Role of modelling in improving nutrient efficiency in cropping systems. In *Food Security in nutrient-stressed environments: exploiting plants' genetic capabilities*, International Crops Research Institute of the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Bulawayo , Zimbabwe.
- Carberry P.S., Hochman Z., McCown R.L., Dalgliesh N.P., Foale M.A., Poulton P.L., Hargreaves J.N.G., Hargreaves D.M.G., Robertson M.J., 2002. The FARMSCAPE approach to decision support: Farmers, Advisers, Researchers, Monitoring, Simulation, Communication and Performance Evaluation. *Agricultural Systems*, 74 : 141-177.

- Defoer T., Budelman A., 2000. *Managing soil fertility in the tropics. A Resource Guide for participatory learning and action research*. Royal Tropical Institute, Amsterdam, The Netherlands.
- Dimes J.P. 2001. *Linking logics: Farmer and researcher interactions on farm management and simulation modeling in smallholder farming systems*. Proceedings of CIMMYT-ICRISAT workshop on linking simulation modeling and farmer participatory research on soil fertility management in Zimbabwe and Malawi, 24-29 Sept., 2000, Masvingo, Zimbabwe. International Crops Research Institute of the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Bulawayo, Zimbabwe and Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (CIMMYT), Mt Pleasant, Harare, Zimbabwe. 40 p.
- Dimes J., Muza L., Malunga G., Snapp S., 2002. *Trade-offs between investments in nitrogen and weeding: on-farm experimentation and simulation analysis in Malawi and Zimbabwe*. 7<sup>th</sup> Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference and Symposium on Low-Nitrogen and Drought Tolerance in Maize, Nairobi, Kenya, February 11-15, 2002 (sous presse).
- Engel P.G.H., Visser I., Guijt A., Melo O., 2001. Integrating 'Hard' and 'Soft' Systems methods for assessing farmer strategies in Ñube, Chile. In *Deepening Rural Resource Management*, pp. 39-55.
- Gowing G.J.W., Young M.D.B., 1997. *Computer simulation as a tool for technology transfer: interpreting and extending experimental results on RWH for maize production*. Proc. 1st Int. Conf. Southern and Eastern Africa Society of Agricultural Engineers (SEASAE). Arusha, Oct. 1996.
- Keating B.A., Carberry P.S., Hammer G.L., Probert M.E., Robertson M.J., Holzworth D., Huth N.I., Hargreaves J.N.G., Meinke H., Hochman Z., McLean G., Verburg K., Snow V., Dimes J.P., Silburn M., Wang E., Brown S. Bristow K.L.,

- Asseng S., Chapman S., McCown R.L., Freebairn D.M., Smith C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18 : 267-288.
- Keating B.A., Godwin D.C., Watiki J.M., 1991. Optimising nitrogen inputs in response to climatic risk, In *Climatic risk in crop production: Models and management in the semiarid tropics and subtropics*. pp. 329-358, Muchow, R.C., Bellamy J.A. (Eds.), CAB International, Wallingford.
- Mapfumo P., Giller K.E., 2001. *Soil fertility and management strategies and practices by smallholder farmers in semi-arid areas of Zimbabwe*. International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Bulawayo, Zimbabwe and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 66 p.
- Marra M., Pannell D.J., Abadi Ghadim A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve? *Agricultural Systems*, 75 : 215-234.
- McCown R.L., Hammer G.L., Hargreaves J.N.G., Holzworth D.P., Freebairn D.M., 1996. APSIM: A novel software system for model development, model testing, and simulation in agricultural research. *Agricultural Systems*, 50 : 255-271.
- McCown R. L., Carberry P. S., Foale M.A., Hochman Z., Coutts J. A., Dalgliesh N. P., 1998. The FARMSCAPE approach to farming systems research. *DANS Proceedings of the 9<sup>th</sup> Australian Agronomy Conference*. pp. 633-636, Wagga Wagga, NSW, Australia.
- Robertson M.J., Carberry P.S., Lucy M., 2000. Evaluation of a new cropping option using a participatory approach with on-farm monitoring and simulation: a case study of spring-sown mungbeans. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51 : 1-12.

- Rose C.W., Adiku S., 2001. Conceptual methodologies in agro-environmental systems. *Soil and Tillage Research*, 58, 141-149.
- Ryan J.G., Spencer D., 2001. *Future challenges and opportunities for Agricultural R&D in the semi-arid tropics*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru, Andhra Pradesh, India, 83 p.
- Scoones I., Toulmin C., 1999. *Policies for soil fertility management in Africa: A report prepared for the Department of International Development*. Institute for Development Studies, Brighton and International Institute for Environmental Development, London. 128 p.
- Stewart J.I., 1988. *Response farming in rainfed agriculture*. Wharf Foundation Press, Davis, California.

## CHAPITRE 7

### Utilisation de DSSAT pour une combinaison optimale de cultivars de maïs et de date de semis dans le sud Togo

*K. Dzotsi<sup>1</sup>, A. Agboh-Noaméshie<sup>2</sup>, T.E. Struif Bontkes<sup>1</sup>,  
U. Singh<sup>3</sup>, P. Dejean<sup>1</sup>*

*Pour plus d'information sur DSSAT,  
se référer à l'annexe 2*

---

### Introduction

La culture la plus importante du sud Togo est le maïs avec un rendement moyen d'environ 1 t/ha en grande saison des pluies d'avril à juin-juillet. Cependant les rendements potentiels obtenus en station sous conditions optimales ou calculés par les modèles de simulation (Singh *et al.*, 1999 ; IFDC, 2002) sont beaucoup plus élevés et peuvent atteindre 6 t/ha. Pour réduire cet écart, les paysans se heurtent à des contraintes biophysiques et socio-économiques. L'irrégularité des précipitations est l'une de ces contraintes et constitue un facteur de risque important. Afin de répartir les risques, certains paysans allongent la période de semis Ils peuvent également décaler le semis à cause du manque de main-d'œuvre ou parce qu'ils veulent récolter quand les prix sont élevés (p.ex. maïs frais précoce).

<sup>1</sup>Un Centre international pour la fertilité des sols et le développement agricole (IFDC) – Division Afrique, BP 4483, Lomé, Togo

<sup>2</sup>Institut togolais de recherche agronomique (ITRA), BP 1163, Lomé, Togo

<sup>3</sup>Research and Development Division, International Center for Soil Fertility and Agricultural Development (IFDC), P.O. Box 2040, Muscle Shoals, Alabama 35662, USA

L'Institut togolais de la recherche agronomique (ITRA) évalue actuellement des cultivars de maïs précoce et très précoce. Ces cultivars pourraient être particulièrement intéressants pour le sud du Togo qui a une pluviométrie bi-modale avec deux saisons pluvieuses par an : la saison des pluies principale s'étend d'avril à juin-juillet et la deuxième de septembre à novembre. En choisissant un cultivar approprié à leurs objectifs et aux dates de semis, les paysans pourront diminuer les risques et augmenter la productivité, donc mieux rentabiliser l'utilisation d'engrais.

L'expérimentation au champ pourrait permettre de déterminer les dates optimales de semis du maïs pour le sud du Togo mais demanderait des essais répétés durant de longues années pour intégrer la variabilité des précipitations. En outre, les résultats pour une région ne sont pas nécessairement applicables à d'autres du fait des différences dans la distribution des pluies et/ou les types de sol. Un outil d'aide à la décision comme le DSSAT peut être utile dans ce cas, puisqu'il permet d'établir la distribution des probabilités de rendements en maïs pour toute combinaison donnée de date de semis, de choix du cultivar, de type de sol et de conduite de culture, à condition que le modèle soit validé pour les conditions de cultures considérées et que les enregistrements météorologiques soient disponibles sur une période suffisamment longue.

- L'objectif de cette étude de cas était d'utiliser le DSSAT pour :
- identifier les combinaisons optimales de cultivar et de date de semis pour deux régions agro-écologiques du sud du Togo ;
  - extrapoler ces résultats à l'ensemble du sud Togo à l'aide d'un système d'information géographique (SIG).

## Méthode

### Expérimentations au champ

L'étude s'est déroulée dans deux villages du sud du Togo, qui présentent des caractéristiques pluviométriques et pédologiques



différentes : Adjodogou (sols pauvres, pluviométrie faible) et Sévé Kpota (sols plus fertiles, pluviométrie plus élevée). Les données générales concernant ces deux villages sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1. Description générale des deux sites étudiés**

Village	Adjodogou	Sévé Kpota
Coordonnées géographiques	6°33N, 1°57E	6°44N, 0°95E
Pluviométrie 1 <sup>re</sup> saison (mm, moyenne sur 20 ans; 1 mars – 31 août)	629	654
Pluviométrie 2 <sup>e</sup> saison (mm, moyenne sur 20 ans; 1 septembre – 31 décembre)	186	323
Type de sol	Ferralsols Rhodiques	Acrisols Plinthiques
Profondeur du sol (m)	2,0	0,8
% argile	8	15
% matière organique	0,7	1,4
% N-total	0,045	0,112
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> initial (mg/kg)	8	13
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> initial (mg/kg)	13	26

Dans ces deux villages, cinq paysans ont participé à des expérimentations menées en 2001. Trois cultivars de maïs (cycle moyen, précoce et très précoce, tableau 2) ont été testés : ils ont été semés entre le 19 avril et le 11 mai lors de la première saison des pluies et entre le 10 et le 20 septembre lors de la deuxième saison. Chaque paysan représentait une répétition. Au total, 150 kg/ha de NPK (15-15-15) ont été appliqués 15 jours après le semis (JAS) et 50 kg/ha d'urée 45 JAS.

**Tableau 2. Caractéristiques des trois cultivars de maïs utilisés dans les expérimentations sur le terrain**

Nom	AB11	TZECComp4C2	TZESRWGua314
Durée (jours)	90 – 95	84 – 89	79 – 83
Durée (classe)	Moyenne	Précoce	Très précoce

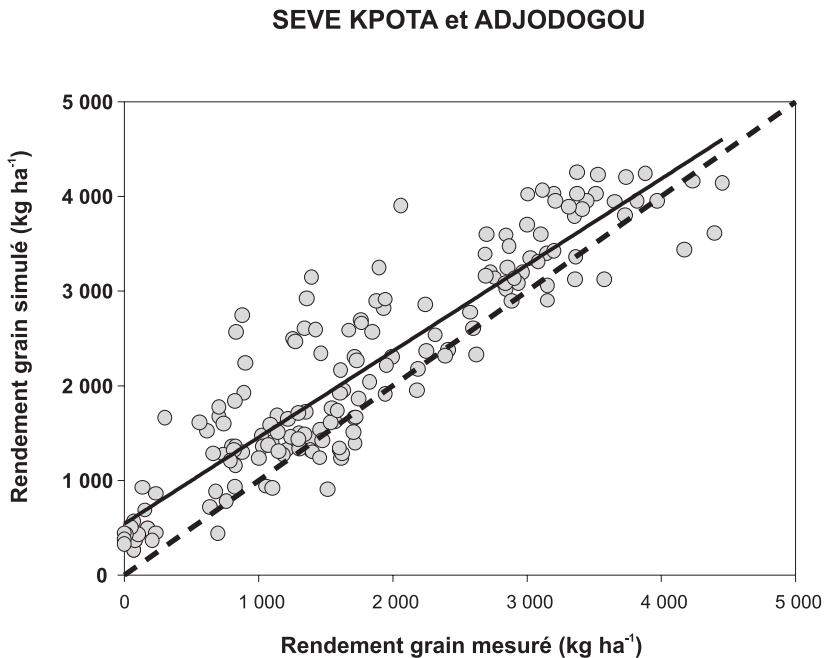
Au début de la première saison des pluies, la texture du sol, la matière organique, l'azote total, et les concentrations initiales de  $\text{NO}_3$  et de  $\text{NH}_4$  ont été déterminées pour chaque parcelle. Des stations météorologiques automatiques, installées à 200 m des parcelles tests de Sévé Kpota et à 4 km des parcelles tests d'Adjodogou, enregistraient la pluviométrie quotidienne, les températures maximale et minimale et la radiation solaire. Des mesures fines telles que le rythme d'apparition des feuilles et les dates de floraison femelle et de maturité ont été faites tout au long du cycle dans les deux villages de façon à estimer les caractères génétiques de chaque cultivar. À maturité, l'indice de récolte (*harvest index* = poids de grain/ matière sèche totale produite par la culture), le rendement en grain, la biomasse aérienne totale, la biomasse des tiges, le nombre de grains par  $\text{m}^2$ , le poids d'un grain et la teneur en N du grain et des tiges ont été déterminés à partir d'échantillons prélevés sur deux poquets adjacents dans chacune des parcelles. À la récolte, le nombre d'épis et le rendement par parcelle ont été déterminés. Ces informations ont été utilisées pour calibrer et valider le modèle.

### **Calibrage et validation du modèle**

Les données des expérimentations ont été utilisées pour développer des jeux de paramètres pour le modèle maïs de DSSAT (CERES-Maïs) pour chaque cultivar (Jones *et al.*, 1998). Au début le DSSAT utilisait les valeurs par défaut pour les cultivars de maïs disponibles dans le modèle, ce qui aboutissait à des écarts relativement importants entre les stades phénologiques (date de floraison femelle et date de maturité) simulés et observés et entre les rendements de maïs simulés et observés. La performance médiocre du modèle était au moins en partie due au fait que les caractères génétiques (liés aux dates de floraison femelle et de maturité, à la sensibilité à la photopériode, au nombre de grains potentiel par épi, au taux de remplissage du grain, et au nombre de feuilles par plante) n'étaient pas disponibles pour les trois cultivars testés.

Les caractères génétiques ont été calibrés jusqu'à obtention d'une concordance entre les données phénologiques mesurées et observées du maïs et entre les rendements de maïs pour la première saison des pluies à Sévé Kpota, où les conditions de développement ont été plus favorables par rapport à la seconde saison à Sévé Kpota et aux deux saisons à Adjodogou (Fig. 1).

Les observations visuelles sur le terrain ont indiqué que la réponse à la sécheresse n'était pas la même pour les trois cultivars



**Figure 1.** Comparaison des rendements mesurés et simulés par DSSAT à Sévé Kpota et Adjodogou. Les données sont relatives aux rendements des parcelles de cinq paysans de chaque village pour trois dates de semis et trois cultivars de maïs sur deux saisons des pluies. La ligne pointillée représente la droite 1:1 et la ligne continue la droite de régression ( $Y = 0.911X + 544$ ,  $R^2 = 0.83$ )

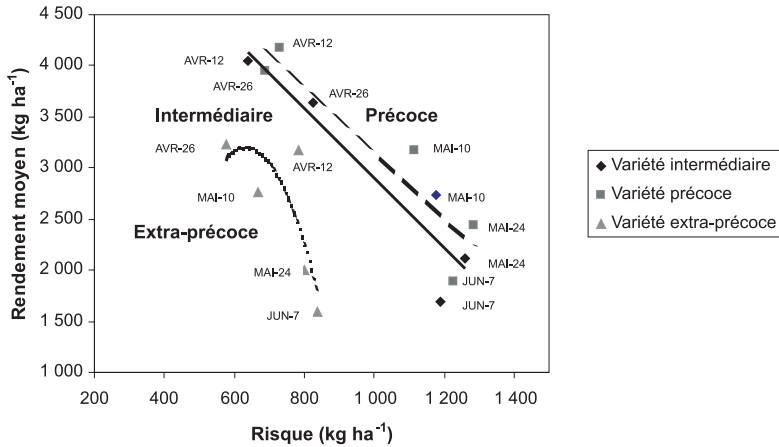
testés. Le cultivar très précoce TZESRW x Gua314 était le plus sensible, mais ces différences ne sont pas paramétrées dans le modèle. Pour cette raison, le calibrage a mis l'accent sur le facteur de croissance racinaire dans le sol (SRGF: *soil root growth factor*), un paramètre du sol qui, pour chaque cultivar de maïs, exprime la répartition de la croissance des racines dans le profil du sol pour l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs.

DSSAT a été validé avec les données expérimentales 2001 de seconde saison des pluies à Sévé Kpota et des deux saisons à Adjodougou. La disponibilité de données fiables concernant le sol : densité apparente, pH, capacité de rétention en eau et niveau de fertilité (N-total, N-minéral), tout comme la profondeur racinaire maximale (restriction à la croissance racinaire) se sont avérées essentielles pour une telle validation.

### **Application du modèle**

L'application de DSSAT pour simuler les performances de différentes combinaisons de dates de semis et de cultivars de maïs pour un certain nombre d'années s'est basée sur des séries de données de pluviométrie couvrant 30 ans pour Sévé Kpota et 20 ans pour Adjodougou. Le générateur météorologique automatique, WGEN (Hansen *et al.*, 1994), intégré dans DSSAT, a été utilisé pour estimer les données de pluviométrie manquantes. La croissance était supposée limitée par l'azote et par l'eau. La quantité et les dates d'application d'azote étaient les mêmes que dans les expérimentations au champ : 45,5 kg/ha de N en deux apports (22,5 kg à 15 JAS et 23 kg à 45 JAS).

Pour la première saison des pluies, des simulations ont été faites pour les deux villages à des intervalles de deux semaines du 12 avril au 7 juin. Pour la deuxième saison, des simulations ont été exécutées tous les 10 jours du 1<sup>er</sup> septembre au 11 octobre. Les correspondances entre les écarts-type et les moyennes des rendements simulés ont été représentées dans un graphique (Figures 2 et 3). L'écart-type a été utilisé comme mesure de variabilité

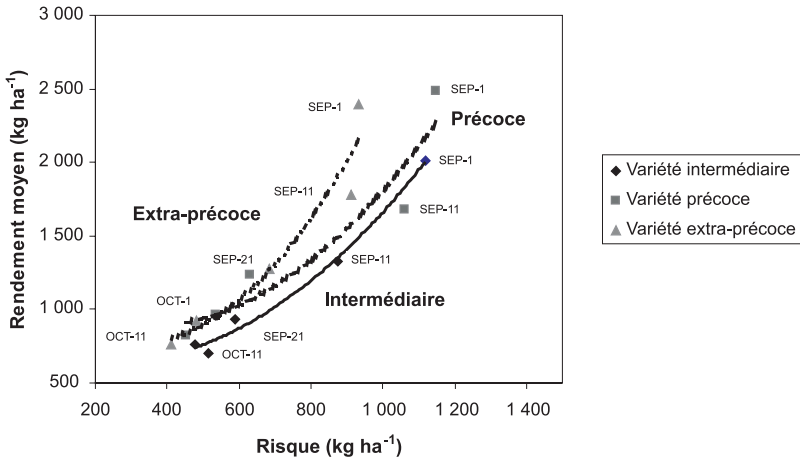


**Figure 2. Rendements moyens (kg/ha) et écarts type (kg/ha) (indicateur du risque) de plusieurs combinaisons de cultivars et de dates de semis pour la 1<sup>re</sup> saison de culture en utilisant des données climatiques de 30 ans pour Sévé Kpota. Variété intermédiaire : AB11, variété précoce : TZEComp4C2 et variété très précoce : TZESRW x Gua314**

des simulations de rendements et peut donc être considéré comme un indicateur du risque lié à la date de semis.

### Combinaison du DSSAT et du SIG

Pour extrapoler les résultats du DSSAT obtenus dans les deux villages à d'autres régions du Togo, un système d'aide à la décision et d'information (*Information and Decision Support System*, IDSS), qui lie le modèle de culture DSSAT avec un SIG, a été développé. L'IDSS est basé sur un prototype développé par l'IFDC pour le sorgho dans les régions tropicales semi-arides en Inde (Singh *et al.*, 1993) et pour le blé en Uruguay (Baethgen, 1998). L'utilisation d'un IDSS se justifie par la complexité des systèmes agro-écologiques, la nécessité d'avoir une vision à long terme des processus biophysiques pour en évaluer la durabilité, et la disponibilité restreinte des moyens de recherche.



**Figure 3. Rendements moyens (kg/ha) et déviations standards (kg/ha) (indicateur de risque) de plusieurs combinaisons de cultivars et de dates de semis pour la 2<sup>e</sup> saison de culture en utilisant des données climatiques de 30 ans pour Suvé Kpota. Variété intermédiaire : AB11, variété précoce : TZEComp4C2 et variété très précoce : TZESRW x Gua314**

La carte pédologique du Togo (Lamouroux, 1966) a été digitalisée et ensuite, les données géo-référencées de plus de 500 profils de sol représentatifs (ITRA, données non publiées) ont été incorporées à cette carte. Pour prendre en compte la variabilité au sein d'une unité pédologique, les données des profils de sol localisés dans cette unité ont été revues et organisées en trois catégories : faible, moyenne et bonne fertilité du sol sur la base des teneurs en carbone et en K. Le Togo ne possède que quelques stations météorologiques complètes, mais il existe un grand nombre de stations pluviométriques. À chaque unité de sol ont été associées les données météorologiques de la station complète et de la station pluviométrique les plus proches. Dans le cas de grandes unités abritant plusieurs stations pluviométriques, l'unité de sol a été divisée en deux sous-unités présentant les mêmes caractéristiques.

téristiques de sol mais avec des données pluviométriques différentes.

On a fait tourner DSSAT pour chaque zone agro-écologique (c'est-à-dire chaque combinaison spécifique de climat et de type de sol) et pour les différents cultivars de maïs et dates de semis en utilisant les enregistrements réels sur 30 ans.

## Résultats et discussion

### Calibrage et validation de DSSAT

Après le calibrage du modèle basé sur les données de la première saison des pluies de Sévé Kpota, les rendements simulés et observés pour les deux saisons et pour les différents sites ont été comparés. La figure 1 montre une forte convergence entre les résultats observés et simulés ( $r^2 = 0,83$ ), indiquant qu'avec des données correctes pour les caractéristiques de sol et de cultivar, DSSAT prédit de façon satisfaisante le rendement de maïs de différents cultivars, semés à différentes dates, sur différents sites et à des saisons différentes. Les défauts majeurs de concordance entre simulations et mesures sont dus à des conditions qui ne sont pas prises en compte par DSSAT, comme l'infestation par les mauvaises herbes, les dégâts causés par les oiseaux et l'effet d'ombrage des arbres.

Il est donc important de connaître les limites d'un modèle et d'éliminer ou de minimiser les effets des facteurs qui ne sont pas simulés par le modèle, p.ex. par un sarclage ou la pulvérisation d'herbicides.

### Choix de la date de semis et du cultivar

Les résultats des simulations menées au cours de la première saison des pluies, pour des dates de semis décalées du 12 avril au 7 juin sont présentés dans la figure 2 pour Sévé Kpota. Ces résultats montrent que pour une date de semis précoce, il faut préférer

un cultivar précoce ou de moyenne durée à un cultivar très précoce, parce qu'ils permettent d'obtenir un meilleur rendement avec des risques plus faibles. Si le semis est réalisé après la fin du mois d'avril, on aboutit encore à des rendements un peu plus élevés pour le cultivar précoce que pour le cultivar très précoce, mais les risques sont également plus élevés.

Les résultats des simulations exécutées pour la deuxième saison des pluies et pour des dates de semis étagées du 1<sup>er</sup> septembre au 11 octobre pour Sévé Kpota sont présentés dans la figure 3. Pour toutes les dates de semis, les rendements simulés ont été relativement faibles, avec une tendance à la baisse : de 2 t/ha pour le semis du 1<sup>er</sup> septembre à environ 0,75 t/ha pour le semis du 11 octobre. Les écarts type diminuaient mais avec des niveaux de rendement très faibles. Ce résultat met l'accent sur les risques que courent les paysans et justifie qu'ils placent de faibles espoirs sur une culture de maïs de deuxième saison des pluies. Les mêmes tendances ont été observées à Adjodougou mais avec des niveaux de rendements plus bas du fait des conditions moins favorables.

Les simulations ont permis de faire les recommandations suivantes :

#### *Sévé Kpota*

1. Au début de la première saison des pluies, le cultivar à cycle moyen donnera le meilleur rendement, tandis qu'à partir de la fin avril il faut préférer le cultivar précoce. Quand ils avaient le choix entre les trois cultivars testés, les paysans achetaient d'ailleurs ce cultivar précoce (TZEComp4C2) (Figure 4).
2. Pour la deuxième saison (plus courte), le cultivar très précoce semble être le meilleur compromis entre un rendement raisonnable et un risque relativement faible.



Date de semis	Nom du cultivar			Rendement attendu (kg/ha)
	AB 11	TZECComp4C2	TZESRW x Gua314	
12 avril				4 500–3 400
26 avril				4 000–3 000
10 mai				3 000–2 400
24 mai				2 300–1 800
7 juin				1 800–1 200

Ordre de préférence : 1<sup>er</sup>  2<sup>e</sup>  3<sup>e</sup>

**Figure 4. Schéma présentant les cultivars de maïs recommandés selon les différentes dates de semis et leurs rendements attendus**

### *Adjodogou*

1. Ici aussi, le cultivar précoce était le meilleur choix pour la première saison des pluies. Cependant, de nombreux paysans préféraient le cultivar très précoce d’une part, parce qu’il réduit la « période de soudure » et d’autre part, pour son goût sucré, ce qui montre que des facteurs autres que le rendement et la réduction des risques jouent un rôle dans le choix des paysans.
2. Le cultivar très précoce est le meilleur si les paysans doivent semer tard pour la première saison et pour tous les semis de seconde saison.

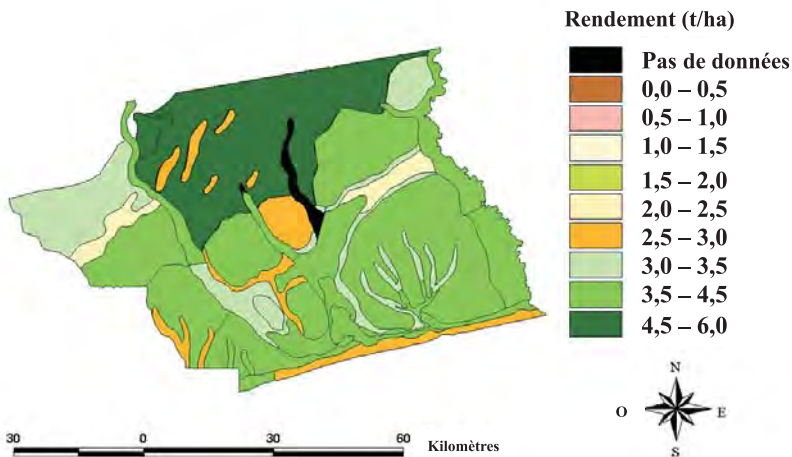
### **Outil d’aide à la décision paysanne**

Sur la base de ces résultats, des brochures ont été conçues pour aider les paysans à choisir entre les cultivars en fonction de la date de semis. Une brochure est présentée en figure 4 ; elle montre plusieurs combinaisons de cultivars et de périodes de semis, et la fourchette de rendements à attendre du cultivar choisi. Les couleurs indiquent pour chaque période de semis l’ordre de préférence des cultivars, bien que d’autres caractéristiques ne soient pas prises en considération comme p.ex. la qualité, la résistance aux oiseaux, etc. La brochure a été traduite en ewe, la langue locale, et distribuée aux paysans.

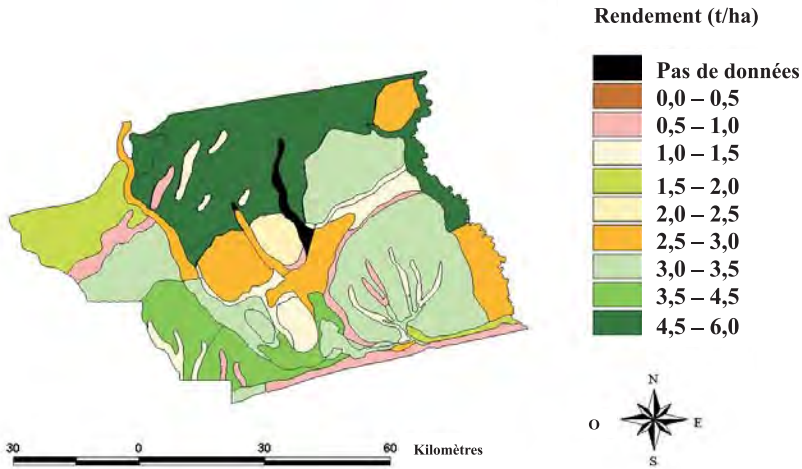
## Combiner SIG et DSSAT

Les figures 5 et 6 montrent les résultats obtenus à partir de la combinaison du SIG et de DSSAT pour le sud du Togo. Les résultats montrent les rendements moyens d'un cultivar de maïs à cycle moyen (AB 11) cultivé pour les différentes combinaisons d'unités de sol et des séries climatiques enregistrées sur 30 ans. Les résultats de la figure 5 se rapportent à un semis précoce et ceux de la figure 6 à un semis tardif sur des sols fertiles.

Des figures similaires pourraient être faites pour d'autres combinaisons incluant des sols de fertilité faible ou moyenne. Le classement des sols en bons, moyens et faibles est basé uniquement sur des données analytiques, mais il devrait être affiné en étroite collaboration avec les paysans en utilisant des systèmes locaux de classification. Dans le sud du Togo, par exemple, les paysans



**Figure 5.** Rendements moyens (t/ha) en maïs grain simulés par DSSAT sur les 30 années de référence avec un cultivar à cycle moyen (AB11) semé tôt (12 avril).



**Figure 6. Rendements moyens (t/ha) en maïs grain simulés par DSSAT sur les 30 années de référence avec un cultivar à cycle moyen (AB11) semé tard (24 mai)**

classent leurs sols selon la couleur, p.ex. des sols noirs, rouges et blancs. Après identification, de telles catégories devraient être caractérisées pour chaque unité de sol. Puisque ces catégories risquent d’aboutir à une carte trop complexe, il est inutile d’essayer de les géo-référencer. Il semble plus efficace d’utiliser des descriptions de ces catégories comme bases des simulations et de lier les résultats de ces simulations aux catégories de sol telles que les paysans et les agents de vulgarisation locaux les ont identifiées.

## Conclusions

Cette étude de cas montre les possibilités de DSSAT, surtout lorsqu’il est combiné avec une base de données géo-référencées : les résultats obtenus en un an dans un nombre limité de sites peuvent être utilisés pour explorer les possibilités dans d’autres régions

où existent d'autres risques. Ce modèle peut considérablement améliorer le développement des recommandations spécifiques aux sites, et permettre en même temps de gagner du temps et d'économiser sur les ressources nécessaires au développement de ces recommandations.

Bien que les résultats soient très prometteurs, il faut tenir compte du fait que la disponibilité de données de qualité est un préalable indispensable à l'utilisation de tels outils. Dans le cas présenté, les données utilisées pour la base de données pédologiques du SIG, provenaient d'études qui avaient parfois plus de 30 ans. Évidemment, la fertilité du sol peut changer au fil des ans, mais l'interprétation de certaines données peut également être difficile. Ceci est particulièrement vrai pour les données concernant le P assimilable parce qu'il est difficile de comparer différents sols quand les méthodes d'analyse utilisées ont été différentes. Il faut également se rendre compte que les modèles de simulation ne prennent en compte qu'un nombre limité de facteurs. Par exemple les effets des adventices, des oiseaux, des déprédateurs et des maladies, des cultures associées ou des déficiences en P et en K ne sont que faiblement ou pas du tout pris en compte par le modèle. Les résultats obtenus grâce à ces outils doivent donc être traités avec prudence, et demandent des interprétations supplémentaires de la part des chercheurs, des agents de vulgarisation et des paysans.

---

## Références

Baethgen W.E., 1998. Applying scientific results in the agricultural sector : information and decision support systems. In *Proceedings of the Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) Science Forum : Global Change in the Americas*. Arlington, Virginia, June 1998.

- Hansen J.W., Pickering N.B., Jones J.W., Wells C., Chan H., Godwin D.C., 1994. Weatherman. In *DSSAT version 3*, Tsuji G., Uehara G. et Balas S. (Eds.). pp. 138-200. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- IFDC, 2002. *Collaborative Research Programme for Soil Fertility Restoration and Management in Resource-Poor Areas of Sub-Saharan Africa*, Technical Bulletin 67. An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, USA.
- Jones J.W., Tsuji G.Y., Hoogenboom G., Hunt L.A., Thornton P.K., Wilkens P.W., Imamura D.T., Bowen W.T., Singh U., 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In *Understanding options for agricultural production*, Tsuji, G.Y. et al. (Eds.), pp. 157-177. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Lamouroux R., 1966. *Carte pédologique du Togo à l'échelle de 1/1000000*. Centre ORSTOM de Lomé. Lomé, Togo.
- Singh U., Brink J. E., Thornton P. K., Christianson C. B., 1993. *Linking crop models with a geographic information system to assist decision making: a prototype for the semiarid tropics*. IFDC Paper Series, P-19. IFDC, Muscle Shoals, Alabama, USA.
- Singh U., Reuler H. van, Chude V., Aihou K., Dejean P., 1999. *Using Decision Support Systems to stimulate resource conserving practices*. Paper presented at the MODSS'99 Conference, 1 – 6 August 1999, Brisbane, Australia.

## CHAPITRE 8

### Des outils d'aide à la décision pour les systèmes de riz irrigué au Sahel

M.C.S. Wopereis<sup>1</sup>, S.M. Hüfele<sup>2</sup>, M. Dingkuhn<sup>3</sup>, A. Sow<sup>2</sup>

*Pour plus d'information sur RIDEV,  
se référer à l'annexe 10*

#### Introduction

Le riz (*Oryza sativa* L.) est en train de devenir un des principaux aliments de base en Afrique de l'Ouest. Alors que les systèmes irrigués représentent seulement 10,5 % de la surface totale en riziculture, ces écologies ont le potentiel de rendement le plus élevé et contribuent pour 26 % à la production régionale de riz (Maclean *et al.*, 2002). Partout en Afrique de l'Ouest on trouve des périmètres irrigués, des confins du désert en Mauritanie et au Niger à la zone de forêts humides au Sierra Leone et au Nigeria.

Le riz irrigué du Sahel et de la savane soudanaise couvre environ 350 000 ha (Maclean *et al.*, 2002). La zone concernée s'étend du Sénégal au Cameroun, en passant par la Mauritanie, le Mali, le Burkina Faso et le Nigeria. Dans ces régions, l'eau d'irrigation est soit pompée dans les puits et les rivières principales, soit amenée par gravité depuis les rivières et les barrages. Le riz est soit

<sup>1</sup>Un Centre international pour la fertilité des sols et le développement agricole (IFDC) – Division Afrique, BP 4483, Lomé, Togo

<sup>2</sup>Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest, le centre du riz pour l'Afrique (ADRAO), BP 96 St.-Louis, Sénégal

<sup>3</sup>CIRAD, TA 40/01 Av. Agropolis, 34398 Montpellier CEDEX 5, France

semé directement, soit repiqué, et cultivé surtout pendant la saison des pluies (juillet-novembre). Seuls 10 à 20 % des riziculteurs font une deuxième culture de riz pendant la saison sèche (février-mai) sur les mêmes parcelles. Le labour est en général réalisé à l'aide d'un tracteur ou d'animaux. Les rendements paysans moyens dans les systèmes irrigués du Sahel sont estimés à 4,5 t/ha (Wopereis *et al.*, 1999).

Les riziculteurs du Sahel doivent tenir compte d'importantes fluctuations de températures au cours de l'année. Les températures sont basses à l'initiation paniculaire en saison humide et élevées aux alentours de la floraison en saison sèche, ce qui peut provoquer une stérilité des épillets et donc des pertes de rendement importantes. Le semis au moment adéquat et le choix variétal (cycle court ou moyen) sont très importants, surtout si on pratique deux cultures de riz par an sur la même parcelle. En outre, l'exécution au moment opportun des autres interventions culturales, telles que le sarclage, l'application d'engrais et la récolte, dépendent du stade de développement du riz qui est également influencé par la température. Le choix des dates des interventions a un impact important sur la productivité du riz (Wopereis *et al.*, 1999 ; Häfele *et al.*, 2002 ; Poussin *et al.*, 2003). L'ADRAO et ses partenaires ont développé une série d'outils d'aide à la décision (OAD) qui peuvent aider les paysans dans la gestion de leur calendrier cultural pour le riz irrigué au Sahel. Les OAD sont aussi bien de simples arbres de décisions, tableaux et calendriers culturaux que des modèles plus complexes de simulation de culture. Dans ce chapitre nous illustrons l'utilisation de ces outils à l'aide de plusieurs études de cas.

### **L'outil d'aide à la décision RIDEV**

Le modèle de phénologie RIDEV a été décrit par Dingkuhn (1995). Le RIDEV fournit un axe temporel du stade de développement 0 (germination) au stade 2 (maturité). La progression le long de cet axe, de la germination à la floraison (1), est déterminée par la photopériode et la température à l'apex végétatif. Puis-

que l'apex végétatif est submergé durant la plus grande partie des phases de croissance, la température de l'eau dans la parcelle est déduite à partir de la température de l'air et de l'indice foliaire. En supposant que la maturation du grain est dictée principalement par des processus métaboliques, le passage de la floraison (1) à la maturité (2) est modulé par les effets de la température de l'air sur le taux journalier de maturation.

La stérilité des épillets causée par le froid est simulée sur la base des températures minimales de l'air aux stades d'initiation paniculaire et d'épiaison, et des températures (basses) critiques caractéristiques de la variété. La stérilité induite par la chaleur est simulée en fonction de la température quotidienne moyenne au stade d'anthèse. La stérilité des épillets varie de 0 à 100 % quand la température moyenne s'élève de 32 °C à 42 °C. Les résultats du modèle ne prennent pas en compte les 5 à 15 % de stérilité « ordinaire » non-liés au climat.

Les données d'entrée du modèle sont les températures minimales et maximales quotidiennes, la latitude géographique, les caractéristiques photothermiques de la variété et la méthode d'implantation (repiquage ou semis direct). Les caractéristiques photothermiques de 49 cultivars ont été présentées par Dingkuhn et Miézan (1995) et aujourd'hui 95 cultivars sont inclus dans le modèle. Le modèle fournit le pourcentage de stérilité des épillets et des recommandations pour la gestion du calendrier cultural basées sur la phénologie de la culture.

### **La caractérisation des systèmes rizicoles**

Afin d'avoir une idée d'ensemble de l'étendue des problèmes dus aux températures extrêmes au Sahel, des simulations à l'aide de RIDEV ont été faites pour trois cultivars de riz très populaires en utilisant une base de données météorologiques disponible à l'ADRAO (Dingkuhn, 1995). La base de données comportait 38 sites localisés au Sénégal, en Mauritanie, au Mali, au Burkina Faso, au Niger et au Tchad. Pour chacun de ces sites on disposait



de 10 à 33 ans d'enregistrements météorologiques. Les simulations RIDEV ont montré qu'un semis entre mi-septembre et mi-novembre était associé à une perte presque totale du rendement, du fait des basses températures, dans tous les environnements. La durée du cycle de la culture était plus longue quand on semait en novembre, et augmentait de cinq jours par degré de latitude au Sahel continental. La plus grande variation annuelle de la durée de cycle a été observée dans la zone côtière ouest et l'extrême nord du Sahel. On a rencontré différentes combinaisons annuelles « durée du cycle x perte de rendement » en relation avec les gradients climatiques le long des fleuves Sénégal et Niger. Les géotypes disponibles pour les producteurs ne laissaient que peu d'espace pour des calendriers culturels alternatifs par rapport aux calendriers locaux en double culture. Atteindre une plus grande flexibilité en termes de calendriers culturels demande l'introduction de variétés à cycle court.

Dans cet exemple, RIDEV a été utilisé pour caractériser les environnements rizicoles en termes de (i) risques de pertes de rendements dues aux températures extrêmes et (ii) durée du cycle. Sans le modèle RIDEV il aurait été impossible de mener cette étude. Des expérimentations de terrain de plus de 10 à 30 ans auraient été nécessaires pour obtenir les données dans les 38 sites de recherche. Par la modélisation il a été possible d'évaluer les risques dus aux contraintes thermiques et la variabilité de la durée du cycle en fonction du site et de la date de semis et de prendre en considération la variabilité inter-annuelle.

### **Vers un meilleur calage entre interventions et développement de la culture**

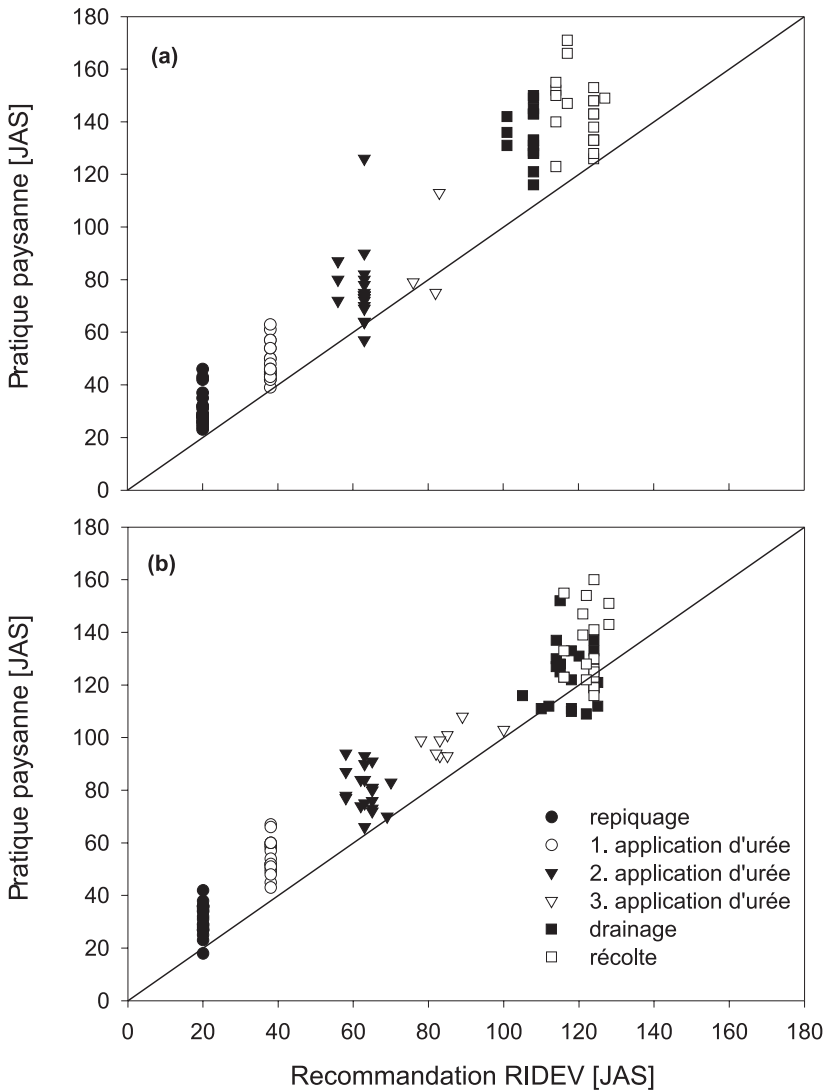
Les chercheurs spécialistes du riz de l'ADRAO, du Burkina Faso, du Mali et du Sénégal, en collaboration avec les organisations paysannes et les services de vulgarisation ont fait des enquêtes socio-économiques et agronomiques dans les systèmes de riz irrigué du Sahel pour en apprécier les principales contraintes et possibilités afin de déterminer les raisons qui sous-tendent les

décisions paysannes ; les détails se trouvent dans Wopereis *et al.*, 1999 et Häfele *et al.*, 2001. Les rendements moyens des paysans interrogés se situaient entre 3,8 et 7,2 t/ha, avec une moyenne générale de 4,5 t/ha. Les rendements des paysans étaient très variables, allant de l'échec presque complet de la culture (0,3 t/ha) à des rendements très élevés (8,7 t/ha). On a trouvé des rendements moyens élevés et une faible variabilité de rendements dans les aménagements hydro-agricoles relativement anciens, p.ex. à l'Office du Niger au Mali.

RIDEV a été utilisé pour déterminer le calendrier optimal de l'application de l'engrais azoté (trois apports fractionnés : au début tallage, à l'initiation paniculaire et à l'épiaison) et le choix du moment optimal pour le drainage avant récolte (maturité physiologique) pour chaque combinaison de date de semis et de choix variétal rencontrée dans les enquêtes.

La comparaison entre calendrier réel et calendrier optimal (selon RIDEV) des interventions culturales a révélé des écarts importants. Un exemple est donné en figure 1 pour l'aménagement hydro-agricole de Guédé (16°35' N, 15°02' O) au Sénégal. Le manque d'information sur le calendrier optimal et les problèmes d'accès aux intrants tels que crédit, semences et engrais étaient les raisons principales citées par les paysans (Häfele *et al.*, 2002).

Poussin *et al.*, (2003) ont utilisé le modèle RIDEV pour analyser les cycles de culture et les pertes de rendements dues aux contraintes thermiques dans des enquêtes menées dans la vallée du fleuve Sénégal. Les résultats du modèle ont indiqué que les pertes de rendements dues au froid ou à la chaleur durant le stade de floraison pouvaient être négligées et que le moment de la récolte était proche de la maturité physiologique. L'analyse des échantillons de sol a indiqué que la teneur en P et K du sol était suffisante pour la croissance et le développement du riz. Les auteurs ont conclu que la variabilité des rendements était par conséquent due aux différences dans la conduite de la culture (autres



**Figure 1. Dates réelles des interventions paysannes comparées aux dates optimales d'application des techniques culturales durant les saisons humides 1996 (a) et 1997 (b) en jours après semis (JAS). Les dates optimales ont été obtenues à l'aide du modèle de simulation RIDEV**

que le choix des dates de semis et de récolte) au niveau paysan. La modélisation RIDEV a permis de diviser les parcelles paysannes en parcelles bien gérées, et parcelles mal gérées en ce qui concerne l'utilisation de N. Ensuite, les analyses en composantes principales ont montré que la gestion sub-optimale des mauvaises herbes et de l'engrais azoté sont les facteurs explicatifs majeurs de la variabilité des rendements dans les parcelles paysannes. Häfele *et al.*, (2000) ont confirmé ce résultat quand ils ont évalué les pratiques paysannes de gestion intégrée de la fertilité des sols et des adventices en Mauritanie et au Sénégal. La gestion améliorée de l'application d'engrais augmentait le rendement en grain de 0,9 t/ha, tandis qu'une gestion améliorée des mauvaises herbes entraînait une augmentation de 1 t/ha. Les effets des pratiques de gestion améliorées étaient additifs et donnaient une augmentation moyenne de rendement de 1,8 t/ha, par rapport aux pratiques paysannes. Les rapports valeur/coût variaient entre 2,1 et 4,6 pour les traitements améliorés, et la gestion améliorée de la fertilité des sols et des mauvaises herbes permettait une hausse des revenus nets de 40 à 85 % par rapport aux pratiques paysannes.

**Tableaux des calendriers culturaux** — L'équipe de l'ADRAO a résumé les résultats de RIDEV dans des tableaux qui sont utilisés par les communautés villageoises et les agents de vulgarisation sur le terrain. On trouve dans le tableau 1 un exemple pour les aménagements hydro-agricoles autour de Podor (16°35' N, 15°20' O) dans la vallée du fleuve Sénégal. Les valeurs sont des moyennes pour des simulations qui ont été effectuées avec des intervalles de sept jours sur une période de 33 années d'enregistrements de données climatiques. Le tableau présente les meilleures dates d'interventions culturales en fonction de la date de semis et du cultivar ainsi que le risque de perte de rendement due aux contraintes thermiques. En utilisant RIDEV, des tableaux similaires peuvent être faits pour chaque combinaison site x cultivar x méthode d'installation de la culture au Sahel, pourvu que les données climatiques soient disponibles. Bien que la moyenne de stérilité soit seulement de 9 % quand le riz est semé le 18 août (ce

**Tableau 1. Calendrier culturel estimé par RIDEV en utilisant des intervalles de sept jours pour le riz repiqué, cultivar Jaya, durant la saison humide à Podor, Sénégal, sur la base de simulations utilisant des données climatiques sur 30 ans**

Date de semis	Date de repiquage	1 <sup>er</sup> apport d'urée	2 <sup>e</sup> apport d'urée	3 <sup>e</sup> apport d'urée	Date de floraison	Date du dernier drainage	Date de récolte	Stérilité % moyenne	Années > 30 % stérilité	Durée du cycle (jours)
23 juin	13 juil	31 juil	27 août	16 sept	26 sept	11 oct	25 oct	1	1	125
30 juin	20 juil	07 août	02 sept	22 sept	02 oct	17 oct	31 oct	3	2	124
07 juil	27 juil	14 août	08 sept	29 sept	09 oct	23 oct	06 nov	4	1	125
14 juil	03 août	21 août	14 sept	05 oct	15 oct	29 oct	12 nov	1	1	125
21 juil	10 août	28 août	21 sept	11 oct	21 oct	05 nov	19 nov	0	0	125
28 juil	17 août	04 sept	28 sept	18 oct	28 oct	12 nov	26 nov	0	0	126
04 août	24 août	11 sept	05 oct	26 oct	05 nov	19 nov	03 déc	0	0	128
11 août	31 août	18 sept	13 oct	03 nov	13 nov	27 nov	11 déc	1	1	131
18 août	07 sept	25 sept	23 oct	12 nov	22 nov	07 déc	21 déc	9	4	135
25 août	14 sept	02 oct	02 nov	22 nov	02 déc	17 déc	31 déc	20	14	140
01 sept	21 sept	09 oct	14 nov	05 déc	15 déc	29 déc	12 jan	54	23	147
08 sept	28 sept	16 oct	28 nov	19 déc	29 déc	12 jan	26 jan	71	30	154

qui n'influence guère les rendements en grains), pour quatre des années, la stérilité a dépassé 30 % (Tableau 1). Ainsi, des pertes considérables en rendements et en investissements peuvent être prévues pour 4 années sur 30 avec cette date de semis.

**Posters d'un calendrier culturel** — Bien que les tableaux de calendriers cultureux fournissent une référence facile et rapide, ils ne conviennent ni pour les discussions ni comme outil d'apprentissage. C'est la raison pour laquelle les résultats de RIDEV ont été saisis et représentés sur des posters qui affichent le calendrier culturel optimal pour un site donné, pour la méthode d'ins-

tallation de la culture, la date de semis et le cultivar les plus courants. Un exemple est présenté en figure 2. Ces posters sont très utiles pour entamer des discussions avec les paysans au cours des visites de terrain. Les discussions se développent facilement sur le thème des interventions nécessaires au cours du cycle de culture. La gestion de l'eau au niveau des champs est également présentée sur le poster. Le poster montre qu'un drainage de la parcelle est nécessaire avant l'apport d'herbicide et d'engrais, et aussi 15 jours avant la récolte. Ces posters sont spécifiques aux sites, aux techniques d'installation culturale, à la date de semis et au choix variétal et peuvent être facilement adaptés en utilisant RIDEV.

### **Synthèse : Développement d'options pour la gestion intégrée de riz (GIR)**

L'ADRAO et ses partenaires ont développé des options pour la gestion intégrée de la culture de riz (GIR) au Sahel qui soient à la portée des producteurs. Ces options sont issues des enquêtes sur le terrain, des expérimentations en station et en milieu paysan et de la modélisation. Les options pour le Sahel ont été résumées dans un manuel (ADRAO et SAED, 2000) et des brochures de deux pages. Le manuel et les brochures proposent un calendrier cultural pour une meilleure gestion, mais des informations pertinentes sont fournies aux paysans pour leur permettre d'adapter le calendrier à leurs moyens. Les options GIR pour la vallée du fleuve de Sénégal sont entre autres :

- préparation de la parcelle : cultiver sur un sol qui convient au riz irrigué (c.-à.-d. des sols argileux lourds, terminologie locale : sols Hollaldé et faux-Hollaldé), s'assurer que le sol est bien labouré et nivelé ;
- choix variétal : utiliser des semences pré-germées certifiées (ou des semences de haute qualité) ; pour la saison sèche Sahel 108 (bonne qualité de grain, mais sensible à la salinité) ou I Kong Pao (faible qualité de grain, tolérante au sel), et pour la saison des pluies : Sahel108, Jaya, Sahel201 et Sahel202 ;

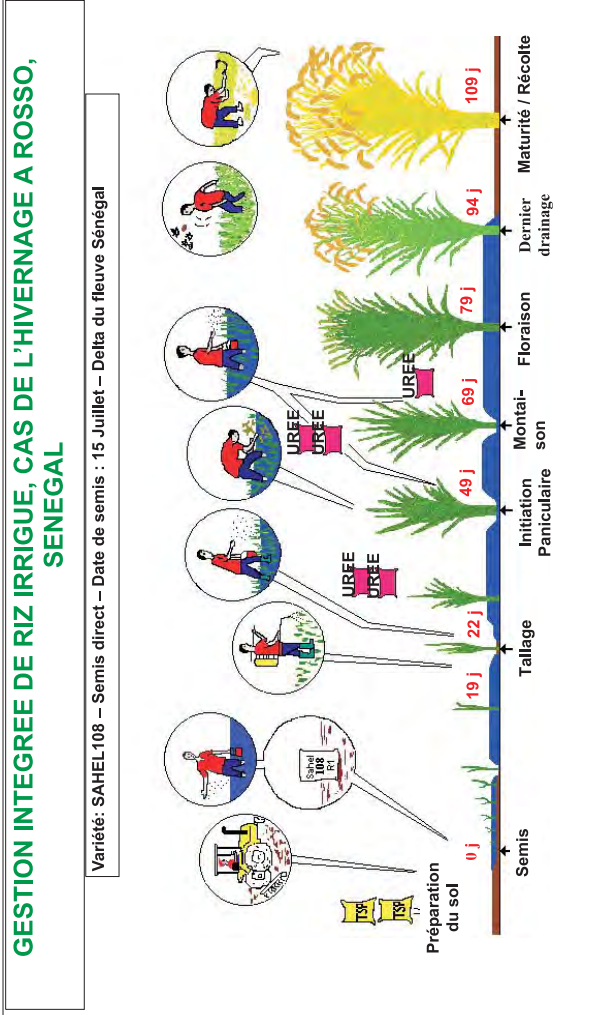


Figure 2. Poster d'un calendrier cultural pour la variété Sahel 108 en semis direct. Site : Rosso, Sénégal. Date de semis : 15 juillet. Le poster peut être adapté facilement pour toute sorte de combinaison (site x cultivar x date de semis x technique d'installation de la culture) pour le riz irrigué cultivé au Sahel. Des informations complémentaires sur les options de gestion intégrée de la culture de riz sont imprimées au verso du poster, p.ex. sur la gestion des adventices et la gestion des engrais minéraux en fonction des moyens financiers du paysan

- date de semis : établie par RIDEV pour éviter les pertes dues au froid ou à la chaleur ;
- densité de semis : utiliser des semences de haute qualité ou certifiées et 100 kg / ha et 40 kg/ha respectivement pour le semis direct et le repiquage ;
- application des engrais minéraux : 100 kg/ha de super phosphate triple (TSP, 20 % P) ou de phosphate monoacide d'ammonium (DAP, 20 % P, 18 % N) et 250 à 300 kg/ha d'urée (46 % N), selon la localisation de la parcelle le long du fleuve Sénégal. Le TSP est appliqué comme engrais de fond, tandis que l'urée est appliquée en trois apports fractionnés. La première dose de 40 % est appliquée au début tallage, la deuxième dose de 40 % à l'initiation paniculaire et la dose finale de 20 % à la montaison. Le calage entre les applications d'urée et le développement de la culture peut être guidé par RIDEV ;
- gestion des mauvaises herbes : un mélange de 8 l/ha de Propanil et de 1 l/ha de 2-4D appliqué quelques jours avant la première application d'urée (au stade 2-3 feuilles des adventices), et un sarclage manuel avant la deuxième application d'urée ;
- gestion de l'eau : dans le but d'optimiser l'efficacité des engrais et des herbicides, il faut appliquer l'herbicide sur des champs complètement drainés, et réduire à 3 cm la lame d'eau 4 à 5 jours avant chaque apport d'engrais. La parcelle est complètement drainée 15 jours avant la floraison pour faciliter la maturation uniforme des grains, mais surtout pour permettre une récolte en temps voulu ;
- récolte et post-récolte : récolte à maturité, c'est-à-dire quand environ 80 % des panicules sont jaunes. Battage dans les sept jours qui suivent la récolte.

Ces pratiques améliorées de gestion intégrée de la riziculture (GIR) ont été évaluées avec plus de 300 paysans dans la vallée du fleuve Sénégal au Sénégal et en Mauritanie. Les pratiques GIR ont permis des améliorations significatives du rendement en grains (en moyenne de près de 2 t) et des augmentations de revenus nets par hectare, alors que les niveaux d'intrants et les coûts de pro-



duction totaux par hectare restaient similaires aux pratiques paysannes courantes. Les écarts de rentabilité et de productivité entre les pratiques GIR et les pratiques paysannes peuvent être expliquées par les différences dans la gestion des ressources disponibles, et non par les niveaux d'intrants utilisés. Des études plus détaillées de 2001 et 2002 (Kebbeh et Miézan, 2003) au Sénégal et en Mauritanie indiquent que les gains de productivité sont directement liés aux nombres d'options GIR que les paysans peuvent mettre en œuvre. Grâce à la GIR, les paysans sont capables d'augmenter la productivité du riz en gardant ou même en améliorant le niveau des ressources naturelles. L'efficacité accrue de l'utilisation d'engrais et d'herbicides réduira les pertes de N et l'impact des herbicides sur l'environnement. Au départ les OAD élaborés par l'ADRAO ont servi à dériver ces options GIR pour une gamme de conditions environnementales pertinentes pour les paysans (c'est-à-dire combinaison : date de semis x site x choix variétal x méthode d'implantation) et pour estimer les risques. Ceci aurait été impossible dans le cadre de l'expérimentation au champ.

## **Conclusions**

RIDEV a eu de nombreuses utilisations : caractérisation des systèmes rizicoles à l'échelle régionale, analyse des pratiques de gestion paysanne, et outil de développement d'options GIR. RIDEV a été également utile pour estimer les risques des pertes de rendements dues aux contraintes thermiques en fonction du choix variétal, de la date de semis et du site. Ce type de connaissance est très important pour les paysans et ne peut être obtenu par l'expérimentation au champ. Les résultats du modèle ont été utilisés dans l'élaboration d'outils d'aide à la décision qui sont plus faciles à utiliser par les paysans. Le poster d'un calendrier cultural (Figure 2) est un outil très utile dans la discussion avec les paysans et comme outil d'apprentissage en général.

L'ADRAO, les instituts nationaux de recherche et de vulgarisation (SNRAV) et les ONG en Mauritanie et au Sénégal mettent actuellement au point les moyens de diffusion des résultats de ces études à beaucoup plus de paysans.

Notre expérience a montré que les paysans n'ont pas besoin de recommandations rigides avec des options détaillées à appliquer, mais plutôt d'options parmi lesquelles sélectionner les plus rentables pour eux. Les meilleurs résultats sont obtenus quand ces options sont développées en partenariat, impliquant les paysans et les autres acteurs du développement rizicole concernés.

Les outils d'aide à la décision peuvent jouer un rôle de catalyseur dans l'accélération de la recherche et le développement participatif d'options de gestion améliorée des cultures.

---

## Références

- ADRAO et SAED, 2000. Manuel pratique pour la riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal. ADRAO, St. Louis, Senegal, 100 p. + annexes.
- Dingkuhn M., Miézan K.M., 1995. Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. II. Validation of photothermal constants and characterization of genotypes. *Agricultural Systems*, 48 : 411-434.
- Dingkuhn M., 1995. Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. III. Characterizing environments by simulating the crop's photothermal responses. *Agricultural Systems*, 48 : 435-456.
- Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Donovan C., 2002. Farmers' perceptions, practices and performance in a Sahelian irrigated rice scheme. *Experimental Agriculture*, 38 : 197-210.

- Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Donovan C., Maubuisson J., 2001. Improving productivity and profitability of irrigated rice production in Mauritania. *European Journal of Agronomy*, 14 : 181-196.
- Häfele S., Johnson D.E., Diallo S., Wopereis M.C.S, Janin I., 2000. Improved soil fertility and weed management is profitable for irrigated rice farmers in Sahelian Africa. *Field Crops Research*, 66 : 101-113.
- Kebbeh M., Miézan K.M., 2003. Ex-ante evaluation of integrated crop management options for irrigated rice production in the Senegal River Valley. *Field Crops Research*, 81 : 87-94.
- Maclean J.L., Dawe D.C., Hardy B., Hettel G.P. (Eds.), 2002. *Rice almanac*. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños (Philippines), West Africa Rice Development Association (WARDA), Bouaké (Côte d'Ivoire), International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali (Colombia), Food and Agriculture Organization (FAO). Rome (Italy), 253 p.
- Poussin J.C., Wopereis M.C.S., Debouzie D., Maeght J.L., 2003. Determinants of irrigated rice yield in the Senegal River valley. *European Journal of Agronomy* (sous presse).
- Wopereis M.C.S., Donovan C., Nebié B., Guindo D., N'Diaye M.K., 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. Part I. Agronomic analysis. *Field Crops Research*, 61 : 125-145.

## CHAPITRE 9

### Des outils d'aide à la décision pour les cultures pluviales au Sahel au niveau de la parcelle et au niveau régional

*M. Dingkuhn<sup>1\*</sup>, C. Baron<sup>1</sup>, V. Bonnal<sup>1</sup>, F. Maraux<sup>1</sup>, B. Sarr<sup>2</sup>,  
B. Sultan<sup>3</sup>, A. Clopes<sup>1</sup>, F. Forest<sup>1</sup>*

*Pour plus d'information sur SARRA-H,  
se référer à l'annexe 16*

---

### Introduction

C'est la pluviométrie et sa répartition qui déterminent la longueur de la saison culturale et le rendement potentiel des cultures arides dans le Sahel et les savanes soudanaises de l'Afrique de l'Ouest. Elles déterminent également la capacité de ces cultures à utiliser des éléments nutritifs. Les cultures mises en place dans ces environnements sont surtout des céréales de type C4, le mil et le sorgho, qui sont semés à des dates variables, dépendant de la date de commencement de la saison des pluies (Vaksmann *et al.*, 1996 ; Sivakumar, 1988). La culture arrivera à maturité à une date relativement stable, ou après une durée de croissance spécifique au génotype (Bacci et Reyniers, 1998) selon qu'il s'agit d'une culture traditionnelle (sensible à la photopériode) ou améliorée (insensible). Durant cette période, des phases de sécheresse plus ou moins intenses peuvent apparaître, qui auront un

---

<sup>1</sup>CIRAD, TA 40/01 Ave. Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France

\*Auteur correspondant : [dingkuhn@cirad.fr](mailto:dingkuhn@cirad.fr)

<sup>2</sup>AGRHYMET, BP 13184 Niamey, Niger

<sup>3</sup>Laboratoire de météorologie dynamique, École polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France

impact variable sur le rendement car la sensibilité aux stress varie selon les phases phénologiques.

Les processus qui régissent ces relations sont bien connus. Il est cependant difficile de traduire cette connaissance scientifique en information concernant les risques d'échec de la culture, permettant ainsi aux agents de vulgarisation de donner de meilleurs conseils, ou aux gouvernants d'initier à temps des opérations de secours. Depuis les sécheresses dévastatrices des années 70, de nouveaux mécanismes régionaux pour l'acquisition et la mise en commun des données climatiques ont été mis en place (Centre régional Agrhymet, pour les neuf pays membres du CILSS, (Comité permanent inter-états de lutte contre la sécheresse au Sahel), le suivi continu des rendements des cultures (p.ex. le projet DIAPER, Maraux *et al.*, 1994), et la prévision saisonnière des rendements (le système DHC d'Agrhymet). Ces activités nécessitent des outils simples et robustes qui lient la variabilité climatique à l'impact agronomique. Deux de ces outils génériques sont utilisés partout dans les tropiques, notamment le modèle *Cropwat* de la FAO (Doorenbos et Pruitt, 1977 ; Doorenbos et Kassam, 1979) et SARRA (Système d'analyse régional des risques agro-climatiques ; Baron *et al.*, 1999) développé par le CIRAD et ses partenaires en Afrique de l'Ouest. Le modèle SARRA, qui est connu sous différentes appellations selon les versions, est devenu un standard dans les pays CILSS, et est présenté ci après.

SARRA est un modèle simple, qui simule le bilan hydrique d'une culture annuelle au niveau de la parcelle et au niveau de la région par extrapolation. Il y a différentes versions : pour l'analyse des données météorologiques (SARRA-MET), pour l'évaluation des scénarios ou situations climatiques basée sur le bilan hydrique de la plante (SARRA-BIL) et l'établissement des bilans hydriques géoréférencés qui permettent le zonage agro-climatique (SARRA-ZON). Une version spécialisée du modèle Diagnostic hydrique des cultures DHC (Samba, 1998) est utili-

sée par les services nationaux agro-météorologiques et Agrhymet pour la prévision des rendements au niveau régional. Finalement, récemment un modèle pour la culture entière (incluant un bilan de carbone) a été développé autour de SARRA, appelé SARRA-H (H pour « habillé ») (Samba *et al.*, 2001).

## **Le modèle de bilan hydrique SARRA et ses applications**

### **Données nécessaires et paramètres**

SARRA opère sur un pas de temps quotidien. Le modèle utilise deux types de données climatiques, la pluie et la demande climatique (ET potentielle = ETP ; Doorenbos et Pruitt, 1977) et quelques paramètres décrivant la capacité de rétention d'eau du sol volumétrique (RU : réserve utile = emmagasinement potentiel de l'eau au-dessus du point de flétrissement), ainsi que la durée en jours des différentes phases de la croissance. Celles-ci sont à leur tour caractérisées par des critères dynamiques (coefficient de culture  $K_c$ , sans dimension) et un taux d'avancée du front racinaire (distance\*jour<sup>-1</sup>). En outre, des constantes empiriques fixent les critères de pluviométrie qui initient le semis, définissant les modalités de test durant le stade « plantules » qui simule un échec de la culture (sécheresse prolongée après semis), et la recherche d'une autre date favorable à une replantation en cas d'échec. Finalement, des constantes empiriques sont utilisées dans une règle simple pour estimer le ruissellement, qui est supposé être une fraction fixe des pluies quotidiennes excédant une valeur critique.

### **Bilan hydrique**

Le bilan hydrique SARRA est résumé en figure 1. La simulation d'un front d'humectation, un caractère très important, a été développé en particulier pour des situations caractérisées par une période sèche prononcée. Le front d'humectation descend durant la saison humide, alimenté principalement par des précipitations qui surchargent les couches du sol déjà humides. Le front des

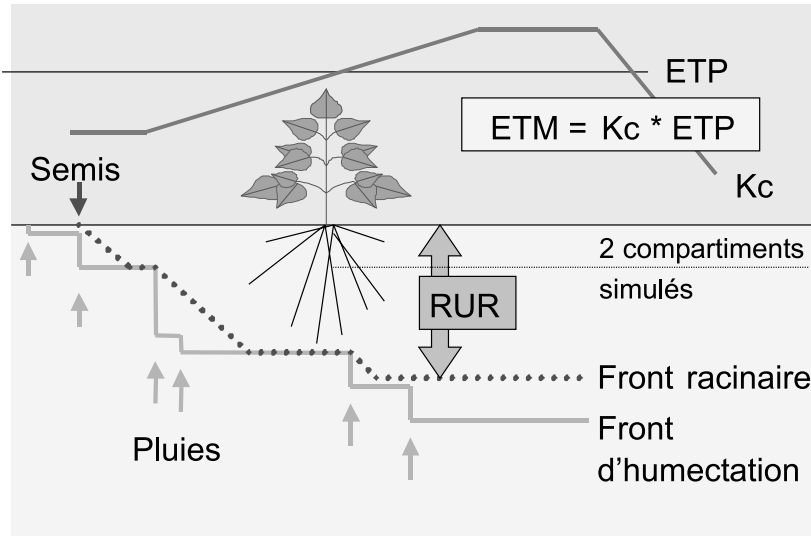


Figure 1. Composantes principales du bilan hydrique SARRA

racines est limité par le front d'humectation, et suit donc ce dernier dans des délais variables, selon la vitesse d'enracinement. Ce concept de modélisation demande des simulations qui commencent bien avant le semis, idéalement au démarrage de la saison des pluies quand le profil du sol est sec.

La couche arable est divisée en une couche superficielle avec une épaisseur fixe (20 cm pour les sols en drainage libre au Sahel), qui sert à calculer l'humidité de la surface en absence de culture, et un compartiment du sol avec une épaisseur variable. La profondeur de cette dernière augmente avec la progression du front racinaire et augmente en même temps la capacité de stockage de l'eau dans le sol accessible aux racines. Une simple variable décrit l'état de l'eau dans le sol pour cette couche, appelé l'humidité relative du sol (HRS), synonyme de la fraction d'eau

transpirable du sol (FTSW). Elle décrit la fraction de RU du sol colonisé par les racines (au-dessus du point de flétrissement).

L'extraction de l'eau du sol est fonction de la demande climatique ETP, transformée en deux stades pour exprimer la demande de la culture. La première transformation est la multiplication par  $K_c$  (basée sur les dynamiques forcées selon le stade de développement) exprimant évapotranspiration maximale ETM sans contraintes de ressources en eau.

$$ETM = K_c * ETP \quad (0 < K_c < 1,5)$$

La deuxième transformation correspond aux effets de la sécheresse utilisant l'équation « Eagleman » (Eagleman, 1971). Cette équation, qui a le même effet que le facteur P de la FAO (Doorenbos et Kassam, 1979), traduit l'effet de la FTSW par une réduction relative de l'évapotranspiration, exprimant l'évapotranspiration réelle ETR.

$$ETR = ETM * fn(FTSW, ETP)$$

L'équation d'Eagleman, qui est entièrement empirique, décrit une baisse non-linéaire du rapport ETR/ETM quand FTSW diminue, et intègre aussi la sensibilité plus élevée au déficit d'eau dans le sol lorsque la demande climatique est élevée, par une moindre ETR. ETR(i) décrit le cumul de la quantité d'eau évaporée et transpirée chaque jour (i) et affecte donc le stock d'eau dans le sol du jour suivant.

### **Indice de sécheresse et estimation de rendement**

Les estimations de rendement de SARRA ou de ses dérivés, sont basées complètement sur le bilan hydrique, sans prendre directement en considération l'assimilation de carbone. Le terme ETR/ETM (compris entre 0 et 1) exprime l'indice de satisfaction de l'état hydrique quotidien de la plante, 1 = sans stress et 0 =



stress correspondant à un stock d'eau ayant atteint le point de flétrissement. Cet indice peut être utilisé de différentes façons, comme outil de diagnostic : en temps réel au niveau du champ ou au niveau régional en y intégrant le passé hydrique récent pour estimer l'état actuel. En supposant que ETR représente l'utilisation réelle de l'eau par la culture, et ETM l'utilisation potentielle de l'eau, des indices secondaires peuvent être déduits :

$ETR/ETM(i)$

= niveau de sécheresse physiologique par jour (i)

$\Sigma ETR_{(\text{cycle de croissance})}$

= indicateur brut pour la biomasse totale produite, en supposant que l'efficacité de l'utilisation de l'eau est constante et que la transpiration est très supérieure à l'évaporation. (Si la couverture végétale fermée est établie tardivement, il pourrait être utile de considérer seulement la période après installation).

$\Sigma ETR_{(\text{cycle de croissance})} / \Sigma ETM_{(\text{cycle de croissance})}$

= similaire à la  $\Sigma ETR$ , mais exprimé comme une fraction du potentiel

$\Sigma ETR_{(\text{phase critique})} / \Sigma ETM_{(\text{phase critique})}$

= niveau de stress durant une phase critique physiologique, comme la floraison, qui est fréquemment cité comme un bon indicateur de l'indice de récolte (*harvest index*, HI)

$\Sigma ETR_{(\text{cycle de croissance})} / \Sigma ETM_{(\text{cycle de croissance})} * \Sigma ETR_{(\text{phase critique})} / \Sigma ETM_{(\text{phase critique})}$

= indicateur du rendement limité par l'eau, analogue conceptuellement à une **biomasse** affectée d'un indice de récolte (**HI**), et appelé **IRES**P (« indice de rendement espéré »)

Il a été montré que l'indicateur IRESP est fortement corrélé aux rendements paysans producteurs de mil lorsqu'ils sont agrégés au niveau villageois pour des recensements effectués au Sénégal, Mali, Burkina Faso et Niger en 1988-1990 (Forest et Cortier, 1991 ; Maraux *et al.*, 1994), donnant la corrélation suivante :

$$\begin{aligned} \text{Rendement grain (kg.ha}^{-1}\text{)} &= 11,3 \text{ IRESP} - 128 \\ N &= 90, R^2 = 0,66^{***} \end{aligned}$$

### Versions spécialisées de SARRA

Trois versions de SARRA complètement documentées sont disponibles et ont été traduites du français en portugais, espagnol, indonésien et anglais (la version anglaise du manuel n'existe pas) (Baron *et al.*, 1996). Leur format – programme Pascal sous DOS, avec des menus de choix multiples classiques est ancien, mais SARRA reste utilisé comme outil dans la recherche et développement agricole appliquée, par exemple en Afrique de l'Ouest, au Brésil, en Indonésie... Les logiciels sont gratuitement distribués par le CIRAD à des fins non commerciales, sous réserve de signature d'un contrat d'utilisation et de diffusion.

Il y a trois versions spécialisées de SARRA :

- SARRA-MET : cette version permet la gestion et des analyses des données de station météorologique pluri- et intra-annuelles, incluant diverses analyses statistiques, et la représentation graphique de ces analyses. Les fichiers des résultats sont en format ASCII et donc accessibles par des tableurs ordinaires ;
- SARRA-BIL : cette version permet de simuler des bilans hydriques au niveau de la parcelle de séries de données climatiques, ainsi que l'analyse statistique intra- et inter-annuelle, de toutes les variables de sortie (variables d'état instantanées, bilans intermédiaires, etc.) du bilan hydrique ;
- SARRA-ZON : permet d'effectuer un grand nombre de bilans hydriques basés sur un réseau de données climatiques géo-référencées pour des études de zonage, dont les sorties sont

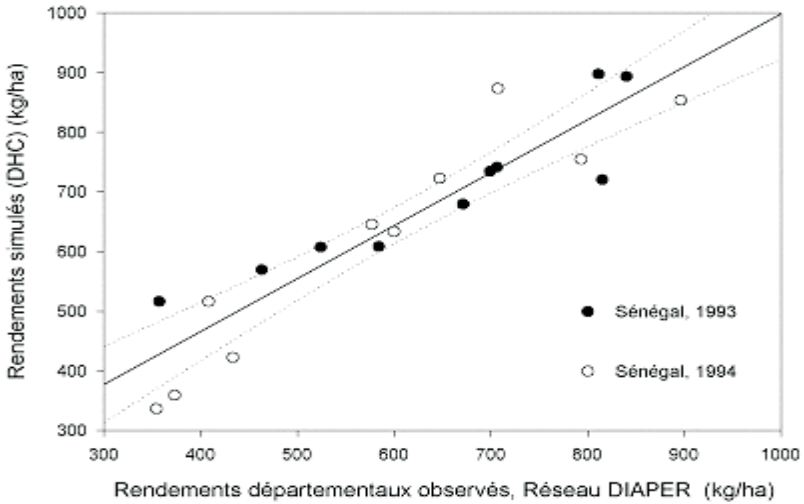
adaptées à des logiciels complémentaires tels que Surfer ou des outils SIG.

Des exemples d'utilisation de SARRA pour le mil en Afrique de l'Ouest et pour le maïs au Brésil sont donnés par Affholder (1997) et Affholder *et al.*, (1997).

### **DHC, un système de prévision de rendements pour les pays CILSS basé sur SARRA**

En 1991, le système/logiciel DHC a été adopté par le Centre Régional Agrhymet pour prédire les rendements en grain au cours de la saison culturale pour les neuf pays du CILSS (Burkina Faso, Cap Vert, Guinée-Bissau, Mali, Mauritanie, Niger, Sénégal, Tchad et la Gambie, Girard *et al.*, 1991). Ce système de modélisation utilise, à travers le réseau Agrhymet des données de précipitations quotidiennes presque à temps réel, de 180 sites pour simuler l'évolution hydrique de la culture de mil de la saison en cours, et extrapole l'analyse pour la fin de la culture en utilisant des séries de données historiques. De la même façon – parce que les données ETP ne sont souvent pas disponibles, et qu'elles devraient dépendre d'un réseau de stations beaucoup plus restreint – des données historiques, des moyennes décennales d'ETP, obtenues par krigeage (une méthode d'estimation par interpolation spatiale) pour la région, sont utilisées pour le cycle complet de la culture. Les dates de semis sont généralement simulées en utilisant les critères paysans basés sur la pluviométrie. Les prédictions des rendements sont très performantes (exemple, simulation en fin de saison pour 10 régions administratives au Sénégal, figure 2) et sont distribuées au public sous forme de cartes au cours de la saison d'été par l'Agrhymet ([www.Agrhymet.ne](http://www.Agrhymet.ne)) et la FAO.

Une version modifiée appelé DHC-CP utilise les images du satellite Météosat, couplé à un générateur de pluie probabiliste estimant la précipitation en tous points d'une grille géo-référencée. Ce générateur est basé sur les chaînes de Markov dont les



**Figure 2. Relation entre les rendements de mil en grain simulés et observés dans 10 régions administratives au Sénégal**

paramètres ont été estimés à partir de séries pluviométriques d'un réseau de pluviomètres (Goze, 1990), permettant par exemple de reproduire des distributions statistiques des pluies en tous points d'une grille géo-référencée. Cette version bien que fonctionnelle, n'est pas utilisée actuellement systématiquement.

### **SARRA-H, un modèle complet pour les cultures**

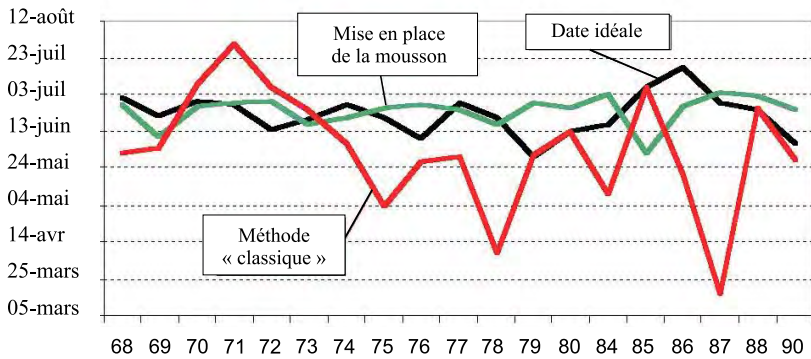
En 2000, le CIRAD, Agrhymet et plusieurs partenaires européens ont collaboré dans le projet PROMISE (<http://ugamp.nerc.ac.uk/promise>) pour développer de nouveaux outils de mesure de l'impact des prévisions saisonnières et climatiques à long terme sur l'agriculture.

SARRA a été développé – spécialement pour l'Afrique de l'Ouest – pour devenir un modèle complet des cultures, appelé SARRA-H. SARRA-H simule la production et la partition de la biomasse limitée par l'eau et la radiation, sensible à la densité de

semis et la photopériode. Le modèle simule le rendement possible, il prend en considération les forçages environnementaux (eau, texture du sol, météorologie), mais pas les ressources qui peuvent être gérées (éléments nutritifs). Le logiciel, écrit dans le langage DELPHI et opérant sous MS-Windows, combine des modèles, la gestion de bases de données, et offre une vaste interface graphique. Comme pour la version originale de SARRA, les dates de semis peuvent être forcées ou simulées.

Pour le mil, SARRA-H a été calibré au Sénégal sur des expérimentations en stations de recherche et validé par des expérimentations en stations indépendantes et des enquêtes sur les rendements paysans, couvrant un gradient climatique nord-sud le long du pays, et en utilisant des données de rendements agrégées au niveau des régions administratives. Le modèle explique 78 % de la variabilité des rendements paysans, malgré un énorme écart inexplicé entre les rendements possibles et les rendements atteints (en brut, facteur 3, Baron *et al.*, 2003).

La figure 3 montre un résultat partiel de l'application du modèle visant à identifier les critères de décision appropriés pour les dates de semis du mil au Sahel, dans ce cas particulier à Niamey (Sultan, 2002). La règle locale de décision paysanne (semer après la 1<sup>re</sup> pluie  $\geq 20$  mm, re-semer après 20 jours si l'installation de la culture a échoué due à la sécheresse) a été comparée avec le semis à la date de début de la mousson défini par un indice régional par analyse comparative des dynamiques climatiques globales et ponctuelles provenant de réseau de pluviomètres au sol. Le rendement estimé par simulation pour chacune de ces définitions de date de semis a été comparé au rendement à la date « idéale » rétrospective (rendement estimé le plus grand) en faisant varier la date de semis pour chaque jour du 5 mars au 12 août. Cette analyse exclusivement basée sur des données climatiques et hydrologiques, suggère que sur une période de 32 ans, les dates de semis définies sur une approche locale en tant que critères paysans sont beaucoup plus variables que les dates définies par



**Figure 3. Dates de semis simulées pour le mil à Niamey de 1968 à 1990 utilisant 3 critères. Rouge : règle paysanne basée sur les pluies locales. Vert : règle météorologique régionale basée sur le début de la mousson. Noir : date idéale de semis donnant les rendements les plus élevés simulés. Sultan, 2002**

l'indice régional, et que ce critère régional donne des dates de semis plus proches de l'optimum simulé. Ceci se traduit par un rendement équivalent à  $75 \% \pm 26 \% \text{ SD}$  du rendement maximal (date optimale) en se basant sur l'indice régional, contrairement à  $56 \% \pm 36 \% \text{ SD}$  pour la règle paysanne. Cependant, le résultat doit être interprété avec précaution, parce qu'il ne prend pas en considération la disponibilité plus élevée de l'azote dans le sol en début de la saison des pluies, pouvant apparaître entre 1 à 2 mois avant le début de la mousson, ainsi que de la pression plus faible des adventices qui sont associés aux choix d'un semis précoce que traduit la méthode « classique ».

La version SARRA-H actuellement disponible est destinée aux céréales pluviales, mais des versions de prototype existent déjà pour l'arachide et l'huile de palme, et une gamme plus large de cultures est visée, parmi lesquelles le coton et le riz irrigué. Ces modèles peuvent être utilisés régionalement pour évaluer l'impact des variations climatiques à différentes échelles temporelles

et physiques, mais également au niveau des parcelles pour mesurer des écarts de rendements (rendements réels versus rendements possibles versus rendements potentiels) pour tester des règles de décision pour les dates de semis et le choix de types variétaux (par exemple le degré de sensibilité à la photopériode). SARRA-H est disponible sur la base d'une collaboration et est sujet à un contrat de licence ; des cours de formation sur les modèles et son environnement SARRAH sont donnés chaque année au CIRAD. Le modèle n'est actuellement disponible qu'en français (documentation sur CD-ROM). Pour plus d'information, contactez [vincent.bonnal@cirad.fr](mailto:vincent.bonnal@cirad.fr).

## Conclusion

Ce chapitre présente une série de modèles simples qui relient le climat au bilan hydrique des champs et le bilan hydrique à la performance de la culture. Bien que conçu pour et appliqué normalement à l'échelle régionale afin de prévoir les rendements, l'alerte précoce à la sécheresse et la prévision de l'impact climatique sur les cultures, ces outils peuvent également être utilisés à l'échelle des champs pour des buts diagnostiques.

---

## Références

- Affholder F., 1997. Empirically modelling the interaction between intensification and climatic risk in semiarid regions. *Field Crops Research* 52 : 79-93.
- Affholder F., Rodrigues G.C., Assad E.D., 1997. Modelo agroclimático para avaliação do comportamento do milho na região dos Cerrados (Agroclimatic model for evaluation of maize behavior in the cerrado region). *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 32 : 993-1002.

- Bacci L., Reyniers F.N. (Eds.), 1998. *Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride*. Actes du séminaire international, 27-30 avril 1998, Florence, Italie. Ed. CeSIA, Florence, Italie, CIRAD, Montpellier, France. 270 p.
- Baron C., Reyniers F.N., Clopes A., Forest F., 1999. Applications du logiciel SARRA à l'étude de risques climatiques. *Agriculture et Développement*, 24 : 89-97.
- Baron C., Clopes A., Perez P., Muller B., Maraux F., 1996. *Manuels d'utilisation de : SARRAMET 45 p, SARRABIL 35 p et SARRAZON 29 p*, CIRAD, Montpellier, France.
- Baron C., Sarr B., Bonnal V., Diouf O., Dingkuhn M., 2003. *SARRAH, a crop model for PROMISE*. Oral presentation on the conference "Monsoon environments: Agricultural and hydrological impacts of seasonal variability and climate change", ICTP, Trieste, Italy, 24-28 March 2003.
- Doorenbos J., Kassam A.H., 1979. *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome, Italy, 193 p.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1977. *Guidelines to predicting water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO, Rome, Italy, 179 p.
- Eagleman J., 1971. An experimental derived model for actual evapotranspiration. *Agric. Meteorol.*, 8 : 385-394.
- Forest F., Cortier B., 1991. Diagnostic hydrique des cultures et la prévision du rendement régional du mil cultivé dans les pays du CILSS. In *Soil water balance in the Sudano-Sahelian zone*, Sivakumar M.V.K., Wallace J.S., Renard C., Giroux C. (Eds.). Proceedings of the Niamey workshop, Niamey, Niger. Wallingford, IAH Press, pp. 547-557.
- Girard X., Baron B., Cortier B., 1991. *DHC version 4. Logiciel de Diagnostic Hydrique des Cultures. Manuel d'utilisation*. AGRHYMET, Niamey, Rep. Niger



- Goze E., 1990. *Modèle stochastique de la pluviométrie au Sahel. Application à l'agronomie. Générateur des pluies*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France.
- Maraux F., Baron C., Forest F., Imbernon J., Ouaidrari H., 1994. *Prévisions de rendement du mil en Afrique Sahélienne ; l'expérience du CIRAD*. FAO, Colloque, Villefranche sur mer, 24-27 octobre 1994.
- Samba A., 1998. Les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures. Prédiction des rendements du mil en zones soudano-sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest. *Sécheresse* 9 : 281-288.
- Samba A., Sarr B., Baron C., Gozé E., Maraux F., Clerget B., Dingkuhn M., 2001. La prédiction agricole à l'échelle du Sahel. In ANS *Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision*, Malézieux E., Trébuil G., Jaeger M. (Eds.), CIRAD et INRA, Montpellier, France, pp. 243-262.
- Sivakumar M.V.K., 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and soudanian climatic zones of West Africa. *Agric. Meteorol.*, 42 : 295-305.
- Sultan B., 2002. *Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection. Applications à la sensibilité des rendements agricoles*. Ph.D. thesis, University Paris-7, Décembre 2002. 283 p.
- Vaksmann M., Traoré S.B., Niangado O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement*, 9 : 13-18.

## CHAPITRE 10

### Évaluer les options pour le maintien du taux de carbone organique dans le sol en agriculture intensive en savane d'Afrique de l'Ouest à l'aide du modèle Rothamsted Carbone (\*)

*J. Diels<sup>1</sup>, K. Aihou<sup>2</sup>, E.N.O. Iwuafor<sup>3</sup>,  
R. Merckx<sup>4</sup>, B. Vanlauwe<sup>5</sup>*

*Pour plus d'information sur le modèle  
Rothamsted Carbone voir annexe 4*

---

### Introduction

La matière organique joue un rôle important dans le sol, elle influence entre autres l'approvisionnement en nutriments, la structure, la capacité de rétention en eau et l'activité biologique du sol. En Afrique sub-saharienne, la baisse du niveau de matière organique dans le sol constitue une menace pour la durabilité de

---

\*Étude de cas (révisée) de Diels J., Aihou K., Iwuafor E.N.O., Merckx R., Lyasse O., Sanginga N., Vanlauwe B., Deckers J., 2002. Options for soil organic carbon maintenance under intensive cropping in the West African Savanna. *In*: Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Merckx R. (Eds.), Integrated plant nutrient management in sub-Saharan Africa: From concept to practice. CAB International, Wallingford, Oxon, UK., p. 299-312.

<sup>1</sup>International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria. c/o Lambourn, Carolyn House, 26 Dingwall Road, Croydon, CR9 3EE, UK

<sup>2</sup>Institut national des recherches agricoles du Bénin, BP 884, Cotonou, Bénin

<sup>3</sup>Institute of Agricultural Research (IAR), PMB 1044, Zaria, Nigeria

<sup>4</sup>Laboratory of Soil and Water Management, Katholieke Universiteit Leuven, Kasteelpark Arenberg 20, 3001 Heverlee, Belgium

<sup>5</sup>Tropical Soil Biology and Fertility Institute of CIAT, PO Box 30677, Nairobi, Kenya

beaucoup de systèmes agricoles. Ceci est dû, d'une part, au taux élevé de décomposition de la matière organique dans le sol, à cause des températures élevées tout au long de l'année et d'autre part à une gestion défectueuse de la matière organique. Le brûlis des résidus de récolte, ainsi que la collecte et le stockage inappropriés du fumier animal causent de considérables pertes de nutriments dans les régions d'intégration agriculture-élevage. Les techniques d'amélioration de la teneur en carbone organique dans le sol, telles que l'agro-foresterie, la culture d'engrais vert, l'utilisation optimale du fumier animal ou le paillage sont largement vulgarisées sans que leur mise en œuvre atteigne les résultats escomptés.

Il est difficile de développer des connaissances empiriques sur l'évolution de la matière organique dans les sols, parce que les changements dans l'état organique d'un sol se produisent lentement, à l'échelle de nombreuses années. Heureusement, quelques essais de longue durée ont permis aux chercheurs de mieux comprendre les dynamiques de la matière organique dans le sol. Un ensemble d'expérimentations de ce type – les champs d'essais de longue durée de Rothamsted – a été utilisé pour développer et tester le modèle Rothamsted Carbone (RothC) (Jenkinson *et al.*, 1987 ; Jenkinson, 1990 ; Jenkinson *et al.*, 1991). D'autres expérimentations de longue durée, menées dans le monde entier sont décrites dans la base de données SOMNET (Smith *et al.*, 1996). Malheureusement, cette base de données contient peu d'expérimentations en Afrique tropicale où les conditions sont très différentes de celles des autres continents. Cependant, un certain nombre d'expérimentations de longue durée ont aussi été menées en Afrique.

L'objectif de cette étude était d'utiliser les données de ces expérimentations de longue durée et de les combiner avec le modèle RothC, pour évaluer des options de gestion de terroir qui ont pour but d'améliorer le taux de matière organique du sol.

Cette démarche peut aider à sélectionner une ou plusieurs des options les plus prometteuses dans des conditions variées, et ainsi économiser de précieuses ressources. Le modèle RothC a d'abord été testé avec les données de plusieurs expérimentations de longue durée menées en Afrique de l'Ouest et ensuite utilisé pour évaluer les effets de quelques systèmes de culture sur le taux de matière organique du sol dans le sud du Bénin.

### Test du modèle RothC

Le modèle RothC-26.3 (Coleman et Jenkinson, 1995) traduit l'information qualitative et quantitative concernant la litière, entrant dans le sol, en changements de la teneur en carbone organique du sol (SOC pour *soil organic carbon*) exprimée en mg C/ha. Le taux de décomposition de la litière  $y$  joue un rôle important ; il est influencé par la température, l'humidité du sol, la teneur en argile (ou CEC, capacité d'échange cationique) et la qualité de la litière.

Le modèle RothC a d'abord été testé avec les données obtenues dans plusieurs expérimentations de longue durée menées à Samaru et Ibadan (Nigeria) et Kumasi (Ghana) (Tableau 1).

Les ensembles de données retenus provenaient d'essais avec répétitions comprenant des paires de traitements : un traitement avec des taux élevés d'apports annuels de résidus de récolte ou de fumier, et un autre conduit de la même façon, mais sans amendements organiques. La différence entre les niveaux de SOC dans les 15 cm de couche arable à la fin de l'essai était une indication de l'accumulation de SOC résultant de l'apport annuel de ressources organiques.

La figure 1 compare les résultats simulés par le modèle RothC aux résultats mesurés. L'accumulation de SOC normalisée observée a été calculée comme suit :

**Tableau 1. Localisation, type et taux d'application d'amendements organiques, durée de l'expérimentation et référence bibliographique des données présentées dans la figure 1**

Localité <sup>(1)</sup>	Type d'amendement organique	Taux d'application (Mg MS /ha/an)	Durée de l'expérimentation (ans)	Référence
1. Samaru	Fumier	9,4	20	(Jones, 1971)
2. Samaru	Fumier	3,8	18	(Jones, 1971)
3. Samaru	Coques d'arachide	5,0	9	(Jones, 1971)
4. Ibadan	Tiges de maïs	12,0	5	(Juo <i>et al.</i> , 1995)
5. Ibadan	Tiges de maïs	5,5	10	(Kang, 1993)
6. Ibadan	<i>Leucaena</i> <sup>(2)</sup>	7,1	12	(Diels <i>et al.</i> , non publ.)
7. Ibadan	<i>Senna</i> <sup>(2)</sup>	5,5	12	(Diels <i>et al.</i> , non publ.)
8. Kumasi	Paillage d'herbe	5,0	19	(Ofori, 1973)

(1) Coordonnées géographiques: 11°2° N 7°6 E pour Samaru, 7°5 N, 3°9 E pour Ibadan et 6°7 N, 2°4 O pour Kumasi

(2) Produits d'élagage de *Leucaena leucocephala* Lam. (système de culture en bandes alternées) (de Witt), et de *Senna siamea* (Lam.) (haies vives) (H. Irwin et Barneby) respectivement

$$\frac{(\text{SOC}_{\text{OM}} - \text{SOC}_{\text{témoin}})}{(\text{taux d'application de matière organique annuel en mg C/ha})}$$

où

- $\text{SOC}_{\text{OM}}$  est la teneur en SOC (mg C/ha) dans le traitement avec des applications annuelles d'amendements organiques
- $\text{SOC}_{\text{témoin}}$  est la teneur en SOC du témoin sans amendement organique.

Les chiffres se réfèrent aux informations sur les essais listées dans le tableau 1.

Le modèle RothC a donné de bonnes prédictions de l'accumulation de SOC dans 6 des 8 séries de données ; 2 points seulement parmi les 8 diffèrent significativement de la droite 1:1 (Figure 1). Pour le point n° 5, la largeur de l'intervalle de confiance sug-

## Simulée

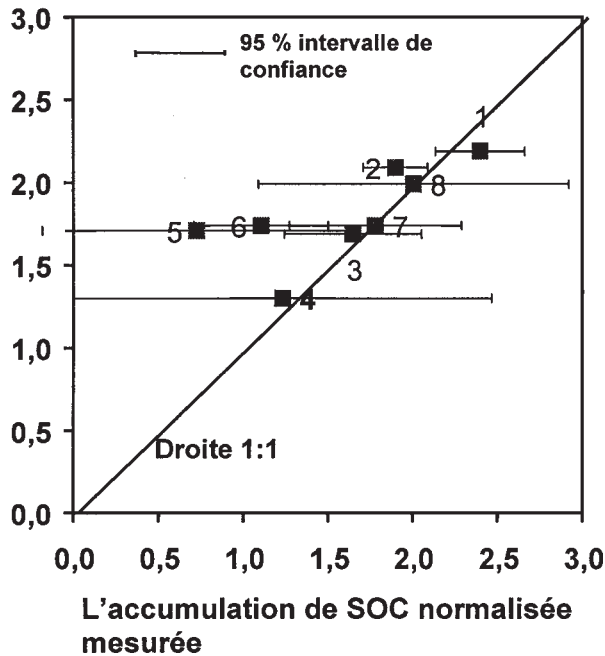


Figure 1. Les résultats simulés par le modèle RothC comparés aux résultats mesurés d'accumulation de SOC normalisée

gère que l'écart pourrait être dû à la variabilité dans la parcelle. Le point de données 6 venait du même essai de culture en bandes alternées que le point 7 (Tableau 1). La production totale de biomasse dans les systèmes agro-forestiers à *Leucaena leucocephala* et *Senna siamea* était à peu près égale et le modèle a calculé une accumulation égale de SOC dans les deux cas. Le fait que l'accumulation de SOC observée dans les systèmes *Leucaena* (n° 6) soit beaucoup plus faible que dans le système *Senna* (n° 7) pourrait être dû à la meilleure qualité de litière de *Leucaena*.

Il n'a pas été possible de tester la capacité du modèle à prendre en considération la qualité de la litière parce que les données sur la qualité de la litière et la longueur de la période végétative (conditions d'humidité optimales pour la décomposition) sont confondues : on ne disposait que de données sur des apports organiques plus résistants (fumier et coques d'arachides) pour la région sèche de Samaru alors que ces matériaux étaient absents dans les régions plus humides.

L'effet de la qualité de la litière est pris en compte dans le modèle en attribuant aux matières organiques entrant dans le système un ratio représentant le rapport entre le matériel décomposable (DPM : *decomposable plant material*) et le matériel résistant (RPM : *resistant plant material*). Ce ratio détermine le taux de décomposition à court terme. Les auteurs du modèle fournissent quelques indications concernant le ratio DPM/RPM pour plusieurs sortes de matériel végétal, p.ex. le ratio DPM/RPM pour les cultures et les pâturages améliorés est de 1,44. Cependant, il peut y avoir des différences entre les cultures et il serait utile de pouvoir distinguer entre cultures ayant des taux de décomposition différents. Un autre OAD pourrait être utile dans ce cas : la base de données sur les ressources organiques (Palm *et al.*, 2001, voir annexe 12). Les données concernant les caractéristiques de qualité et de décomposition de la plante, fournies par cet outil pourraient guider le choix d'un ratio DPM/RPM approprié.

### **Application de RothC**

Dans le sud du Bénin, les rotations maïs-niébé en continu et maïs-coton en culture dérobée sont courantes (Tableau 2). Plusieurs organisations ont développé des systèmes de culture qui recyclent plus de matière organique dans le sol : un système de culture dérobée de maïs-mucuna et un système de culture dérobée de maïs-coton avec mulch de *Senna siamea*. La question est de savoir dans quelle mesure ces systèmes alternatifs contribuent à l'accumulation de carbone organique dans le sol.

**Tableau 2. Quantité de résidus de récolte et d'adventices retournés dans les 15 cm de sol arable (en mg de matière sèche (MS) /ha/an)**

Système <sup>(1)</sup>	Tiges et racines de maïs	Racines et fanes de coton, mucuna ou niébé	Branches coupées de <i>Cajanus</i> ou <i>Senna</i>	Adventices	Total
Maïs /coton en culture dérobée (traditionnel)	2,4	0,2 <sup>(3)</sup>	0,0	5,4	8,0
Rotation maïs / niébé	0,2 <sup>(2)</sup>	2,1	0,0	4,3	6,6
Maïs / <i>Cajanus cajan</i> (ambrevade) en culture dérobée	2,4	0,0	5,5	4,1	12,0
Maïs / <i>Mucuna pruriens</i> en culture dérobée	2,4	7,3	0,0	2,8	12,5
Maïs / coton culture dérobée avec mulch <sup>(4)</sup> de <i>Senna siamea</i>	2,4	0,2 <sup>(3)</sup>	3,8	5,4	11,8

- (1) Chaque année on cultive ces deux cultures, en rotation ou en culture dérobée.
- (2) Les paysans brûlent les résidus de récolte de maïs et les adventices avant de planter la culture de niébé de la deuxième saison. Le brûlis n'est pas pratiqué dans les systèmes de cultures dérobées.
- (3) Les paysans brûlent les résidus des récoltes de coton et les adventices avant de planter le maïs.
- (4) Les arbres de *Senna siamea* plantés représentent 1600 m de haies par ha et sont taillés deux fois par an.

À l'aide du modèle RothC, l'effet cumulatif de SOC des deux systèmes de production conventionnels (maïs/niébé et maïs-coton, cultures dérobées) et de trois systèmes alternatifs (maïs/ambrevade en culture dérobée, maïs/*mucuna* en culture dérobée et maïs/coton en culture dérobée avec un paillage de *Senna siamea* en dérobée) à été examiné ex-ante.

On estime que le maïs reçoit 90 kg N, 30 kg P et 30 kg K d'engrais minéral par ha et le coton la dose recommandée d'engrais composé. Dans le système conventionnel, les résidus des



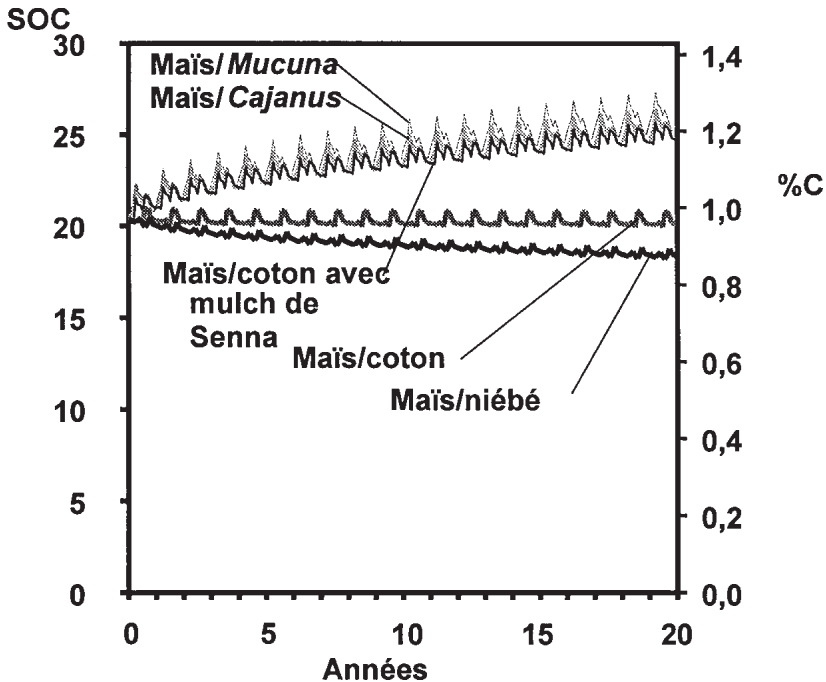


Figure 2. L'accumulation de SOC (Mg C/ha) et le % C dans les 15 cm de sol arable calculé par le modèle RothC pour différents systèmes culturaux dans la savane côtière du Bénin

cultures et des mauvaises herbes qui retournent dans le sol comptent pour 8,0 mg/Dm/ha/an (4 mg C/ha/an). Les systèmes alternatifs sont censés y retourner 12,0 mg/Dm/ha/an (6 mg C/ha/an) (Tableau 2).

La figure 2 montre que les systèmes alternatifs font augmenter le taux de matière organique dans le sol : après 20 ans, l'augmentation du niveau de SOC obtenue avec ces systèmes de « haute production de biomasse » est de l'ordre de 7 mg C/ha/an soit une augmentation de 0,33 % de C seulement dans les 15 premiers cm. La production potentielle de biomasse serait probablement

plus élevée dans les régions de forêt humide (cycle végétal plus long) mais certainement plus bas dans les régions plus arides. Les simulations montrent en outre que l'augmentation de matière organique dans le sol (*SOM : soil organic matter*) sera lente. L'augmentation en CEC et en eau disponible, qui sont liés à la teneur en SOC, sera donc faible les cinq premières années.

Cette étude de cas indique que le modèle RothC peut être utilisé pour estimer les effets de l'apport d'amendements organiques sur les niveaux SOM. Bien qu'il ne s'agisse que d'un modèle, il met en garde contre des attentes trop optimistes vis-à-vis de l'effet des systèmes alternatifs sur l'augmentation du niveau de matière organique dans le sol : il ne faut en effet pas s'attendre à ce que des quantités considérables de biomasse soient produites. L'amélioration des caractéristiques du sol, qui varient proportionnellement avec la teneur en SOC (CEC, pouvoir tampon du pH, capacité de rétention d'eau), sera donc lente. Avant que le paysan n'obtienne une petite augmentation de SOM, beaucoup d'années auront passé, et il faut se demander si cela vaut la peine de changer son système de culture. C'est sans doute l'une des raisons pour lesquelles ces systèmes de culture ne sont que très lentement adoptés en Afrique de l'Ouest.

Par ailleurs, il faut admettre que l'application de ressources organiques peut avoir d'autres effets bénéfiques pour le sol donc sur la productivité, et que ce sont des bénéfices que l'on n'a pas l'habitude de lier à l'augmentation de la teneur en SOC. On peut prendre pour exemple l'effet de mulch qui assure un bon départ à une culture grâce à des conditions d'humidité plus favorables, comme on l'a parfois constaté avec les résidus de mucuna. Le recyclage des résidus de récolte préserve les éléments nutritifs qui, autrement, seraient perdus. En outre, plusieurs études démontrent que l'application combinée de matière organique et d'engrais azoté peut mener à des interactions positives entre les deux sources d'azote durant la première saison après l'application (Vanlauwe *et al.*, 2001 ; Iwuafor *et al.*, 2002). Bien que ces

interactions ne soient pas encore bien comprises (Vanlauwe *et al.*, 2002), il est peu vraisemblable qu'elles soient liées à l'accumulation de SOC. Le modèle RothC ne fournit pas d'information directe sur les aspects qui ne sont pas directement liés à la teneur en SOC.

---

## Références

- Coleman K., Jenkinson D.S., 1995. RothC-26 3. *A model for the turnover of carbon in soil: model description and users guide*, Institute of Arable Crops Research (IACR), Rothamsted, Herts, UK, 30 p.
- Iwuofor E.N.O., Aihou K., Jaryum J.S., Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Lyasse O., Deckers J., Merckx R., 2002. On-farm evaluation of the contribution of sole and mixed applications of organic matter and urea to maize grain production in the savanna. In *Integrated plant nutrient management in sub-Saharan Africa: From concept to practice*, Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Merckx R. (Eds.), pp. 185-197, CAB International, Wallingford, Oxon, United Kingdom.
- Jenkinson D.S., 1990 The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Philosophical transactions of the Royal Society*, B. 329 : 361-368.
- Jenkinson D.S., Adams D.E., Wild A., 1991 Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming. *Nature*, 351(6322) : 304-306.
- Jenkinson D.S., Hart P.B.S., Rayner J.H., Parry L.C., 1987. Modelling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. *INTECOL Bulletin*, 15 : 1-8.
- Jones M.J., 1971. The maintenance of soil organic matter under continuous cultivation at Samaru, Nigeria. *Journal of Agricultural Sciences, Cambridge*, 77 : 473-482.

- Juo A.S.R., Franzluebbers K., Dabiri A., Ikhile B., 1995. Changes in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 56 : 9-18.
- Kang B.T., 1993. Changes in soil chemical properties and crop performance with continuous cropping on an Entisol in the humid tropics. In *Soil organic matter dynamics and the sustainability of tropical agriculture*. Mulongoy K., Merckx R. (Eds.), pp. 297-305, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom.
- Ofori C.S., 1973. Decline in fertility status of a tropical forest ochrosol under continuous cropping. *Experimental Agriculture*, 9 : 1-22.
- Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J., Cadisch G., Giller K.E., 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83 : 27-42.
- Smith P., Smith J.U., Powlson D.S., 1996. *Soil Organic Matter Network (SOMNET) : 1996 Model and Experimental Metadata*. GCTE Report 7, GCTE Focus 3, Wallingford, Oxon, 259 p.
- Vanlauwe B., Wendt J., Diels J., 2001. Combined application of organic matter and fertilizer. In *Sustaining Soil Fertility in West Africa*, Tian G., Ishida F., Keatinge J.D.H. (Eds.), pp. 247-279, SSSA Special Publication No. 58, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Vanlauwe B., Palm C.A., Murwira H.K., Merckx R., 2002. Organic resource management in sub-Saharan Africa: validation of a residue quality-driven decision support system. *Agronomie*, 22 : 839-846.

## CHAPITRE 11

### **Perspectives pour l'utilisation des outils d'aide à la décision en recherche- développement pour l'agriculture en Afrique sub-saharienne**

*T.E. Struif Bontkes<sup>1</sup> et M.C.S. Wopereis<sup>1</sup>*

Pour pouvoir fournir des réponses aux problèmes liés à la sécurité alimentaire et à la gestion durable des ressources en Afrique sub-saharienne, une approche intégrée pour la recherche et le développement agricole est indispensable. Izac et Sanchez (2001) ont décrit le changement de paradigme en cours dans la recherche internationale : après avoir mis l'accent sur le matériel génétique et le développement technologique pour augmenter la production on passe à une approche de la gestion intégrée des ressources naturelles (GIRN). La GIRN est « la gestion responsable, sur une large base, du terroir, de l'eau, de la forêt et du fonds de ressources biologiques (incluant les gènes) permettant une productivité agricole durable en évitant une dégradation éventuelle de la productivité potentielle » (Hagmann *et al.*, 2002).

Un point d'entrée essentiel de la GIRN est la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) parce que la fertilité des sols est un facteur clé pour la subsistance des familles paysannes en Afrique sub-saharienne. La GIFS est une approche qui essaie de faire le meilleur usage des stocks d'éléments nutritifs présents dans le sol, des amendements disponibles localement et des engrais minéraux de façon à augmenter la productivité du terroir en maintenant ou en renforçant la fertilité des sols au sens le plus large du

---

<sup>1</sup>Un Centre international pour la fertilité des sols et le développement agricole (IFDC) – Division Afrique, BP 4483, Lomé, Togo

terme, c'est-à-dire le sol avec ses caractéristiques nutritionnelles, biologiques et physiques.

Pour que la recherche agronomique soit efficace dans des environnements de production divers et relativement défavorables, il faut qu'en plus d'une approche plus intégrée, la recherche agricole ose sortir des voies traditionnelles du « transfert de technologies » où la recherche développe des technologies qu'elle transmet aux agents de vulgarisation, qui les transfèrent à leur tour aux paysans (Douthwaite *et al.*, 2002). Bien que cette approche de « tapis roulant » puisse bien fonctionner dans des environnements favorables à la production, relativement uniformes et pour des technologies relativement simples telles que les cultivars, la réalité quotidienne des petits exploitants agricoles en Afrique sub-saharienne est beaucoup trop mouvante et diverse pour une telle approche. Ces environnements demandent des approches d'apprentissage participatif et de recherche-action (APRA) par lesquelles les paysans et les autres acteurs du développement agricole apprennent à travers leurs expériences conjointes et modifient leurs activités en conséquence.

Les GIRN et GIFS suivent des cycles de diagnostic et de réflexion, de programmation des actions, d'expérimentation et d'évaluation qui doivent être mis en œuvre par tous les acteurs et qui abordent les questions socio-économiques et biophysiques intervenant à différentes échelles temporelles et spatiales. Ce guide a montré que les outils d'aide à la décision (OAD) peuvent jouer un rôle utile dans cette approche en permettant la combinaison des approches intégrées de recherche et développement agricoles avec des approches d'apprentissage participatif et de recherche-action.

Au cours de ces deux dernières décennies, de nombreux OAD ont été développés et beaucoup d'efforts sont actuellement déployés pour les améliorer, alors que d'autres OAD sont en déve-

loppement. C'est le signe que les chercheurs s'intéressent de plus en plus à la mise en pratique de leurs connaissances et aux réactions des utilisateurs en retour pour améliorer leurs OAD. Le goulot d'étranglement pour l'utilisation des OAD n'est pas du côté fournisseur mais plutôt du côté demandeur. C'est la raison pour laquelle il est important de bien spécifier les facteurs qui déterminent la demande pour de tels outils. Ceci peut également aider les développeurs à concevoir de nouveaux OAD ou à améliorer les OAD existants. Ce guide a tenté de contribuer à ce processus en présentant un certain nombre d'OAD et en illustrant leur utilisation à l'aide d'études de cas. Il faut cependant souligner que la liste des OAD présentés n'est pas exhaustive.

Ce guide se concentre sur des OAD pour une gestion intégrée de la fertilité des sols, bien que certains cas d'étude, tels que le cas de DSSAT (ch. 7) et celui de RIDEV (ch. 8) se trouvent quelque part sur le continuum entre la GIFS (gestion intégrée de la fertilité des sols) et la GIRN (gestion intégrée des ressources naturelles), alors que SARRA (ch. 9) traite des questions liées à l'approvisionnement en eau. Les annexes donnent un résumé des caractéristiques principales de ces outils.

Ce guide démontre que les OAD diffèrent considérablement en termes de complexité, allant de modèles de culture relativement complexes à des outils simples, comme les tableaux, les arbres de décisions et les figures, qui peuvent être utilisés directement par les agents de vulgarisation dans leurs discussions avec les paysans. On peut citer comme exemple l'arbre de décision qui facilite la sélection des légumineuses appropriées (Annexe 15) ou celui qui évalue l'effet des ressources organiques sur l'accroissement de fertilité des sols (ORD, annexe 12).

Les OAD simples sont souvent des adaptations des résultats obtenus grâce à des outils plus complexes tels que APSIM, DSSAT ou RIDEV. Ces outils simples et d'autres tels que les cartes de

flux de ressources (RFM) se prêtent à une utilisation combinée avec les approches d'apprentissage participatif et recherche-action. On en trouvera des exemples dans les chapitres 7 (DSSAT) et 5 (QUEFTS) pour le sud du Togo et au chapitre 8 (RIDEV), et dans les chapitres où des cartes de flux de ressources ont été utilisées (chapitres 2 : RFM, 3 : NUTMON et 6 : APSIM). Cependant, bien que la modélisation participative soit intéressante pour les processus sociaux, elle est encore rarement appliquée.

Dans le cas où on utilise des cartes de flux de ressources, l'accent est mis sur les aspects qualitatifs. Elles sont assez flexibles et permettent une implication directe des paysans dans la mise en œuvre de l'outil. Dessiner des cartes de flux de ressources qualitatives peut déjà fournir des connaissances utiles. Pour quantifier ces cartes, des données concernant les rendements, l'application d'engrais, de fumier, etc. restent nécessaires. Des estimations de la teneur en éléments nutritifs peuvent être obtenues à l'aide d'un outil comme NUTMON. Un autre outil qui facilite l'analyse qualitative est NuMaSS (chapitre 4), qui permet de diagnostiquer des problèmes à l'aide des plantes indicatrices ou des symptômes de déficience d'une culture.

D'un point de vue technique, les OAD sont souvent essentiels pour comprendre le comportement des systèmes qui sont souvent complexes du fait des interactions entre processus qui se déroulent avec des périodicités différentes. Certains processus peuvent être étudiés durant une saison végétative et pour d'autres il faut des années d'études. Dans la pratique, ces études ne sont possibles qu'à l'aide de simulations (cf. chapitre 10 pour le modèle RothC). Des modèles basés sur des processus peuvent en très peu de temps simuler une culture ou un système de culture virtuel sur plusieurs années (cf. chapitres 6, 7, 8 et 9), et sont donc rapides et relativement bon marché. Si de telles technologies ou approches sont suffisamment fiables, elles peuvent être utiles dans l'identification des domaines d'extrapolation, surtout



en combinaison avec des systèmes d'information géographique, comme indiqué dans les chapitres 7 (DSSAT), 8 (RIDEV) et 9 (SARRA-ZON).

Chaque outil ne concerne qu'un nombre limité d'aspects : il n'y a pas d'outil global qui traite la GIFS et encore moins la GIRN, et il est même douteux que de tels outils puissent être développés un jour. La recherche de modèles globaux est rendue difficile par la complexité et les besoins importants en données, et par le temps nécessaire pour développer, tester et valider ces outils. Il est intéressant de citer ici Sayer et Campbell (2001) qui vont jusqu'à plaider pour des « modèles jetables », c'est-à-dire des modèles développés en quelques jours sur ordinateur, pour résoudre un problème particulier et qui, après utilisation, ne seront plus utilisés. Les participants à l'atelier de clôture du projet COSTBOX – qui se trouve à la base de ce guide – disaient qu'ils étaient fatigués des développeurs de modèles qui continuent à affiner leurs outils sans jamais atteindre la phase d'application au monde réel (IFDC, 2003).

C'est la raison pour laquelle il est important de sélectionner l'outil approprié (ou une combinaison d'outils) pour résoudre un problème particulier. Les outils utilisant des données météorologiques comme DSSAT, APSIM, RIDEV ou SARRA sont utiles pour estimer les risques, une préoccupation très importante des paysans. Ces outils sont moins utiles pour estimer les besoins en engrais, parce qu'ils n'incluent en général que N. Pour estimer les besoins en engrais, d'autres outils comme QUEFTS (N, P et K) ou NuMaSS (N, P et acidité du sol) sont plus appropriés et d'autres outils calculant les bilans nutritifs peuvent également être efficaces (NUTMON, ResourceKIT). Pour des problèmes à plus long terme, APSIM ou la dernière version de DSSAT (Gijsman *et al.*, 2002), mais également le modèle RothC, peuvent être utiles. Ce dernier modèle permet d'estimer l'effet des amendements organiques à long terme. Afin de faciliter l'estima-

tion de certaines données nécessaires mais rarement mesurées, des outils existent qui estiment par exemple la conductivité hydraulique d'un sol à partir de sa texture (p.ex. SOLPAR).

Si le problème à résoudre dépasse la portée d'un outil, il faut envisager d'en combiner plusieurs ; ainsi Häfele *et al.* (2003) ont combiné QUEFTS et RIDEV avec un modèle de culture pour en déduire des recommandations pour la gestion de la fertilité des sols des systèmes de riz irrigué au Sahel.

Quand on sélectionne un OAD, il faut être conscient que le besoin en données est parfois énorme par rapport à l'objectif recherché. Malgré la large gamme d'outils disponibles et la mise en œuvre de plusieurs projets pour les promouvoir, les OAD ne sont guère utilisés pour la recherche-développement agricole en Afrique sub-saharienne. Le développement d'une boîte à outils OAD, à partir de laquelle l'outil le plus pertinent pour la résolution d'un problème particulier peut être choisi, semble encourageant. Cependant, la disponibilité de données fiables reste une des contraintes majeures dans l'utilisation des OAD quantitatifs. La collecte de données demande souvent beaucoup de temps et de moyens. Inclure des ensembles de données standard dans les outils peut réduire la collecte de données, mais ces données-là ne sont souvent pas suffisamment spécifiques pour les sites concernés. En outre, fournir des valeurs par défaut peut encourager la paresse : au lieu de chercher la vraie valeur, on risque de choisir des valeurs par défaut ce qui peut donner des résultats irréalistes. Il est donc toujours important d'évaluer de façon critique les résultats des OAD.

Kropff *et al.*, (2001) préconisent l'établissement de bases de données régionales, avec les données existantes des institutions internationales et nationales de recherche qui sont disponibles gratuitement. Le projet COSTBOX a développé une base de données géo-référencées pour les sols et le climat du Togo et du Bé-

nin basée sur les données existantes ; cette base de données a d'ailleurs été utilisée dans le cas de DSSAT, présenté au chapitre 7. Toutefois, certaines données avaient plus de 20 ans, certaines étaient de qualité douteuse et d'autres n'étaient pas utiles pour les besoins de l'outil, p.ex. les données sur le P assimilable dans les bases de données existantes étaient basées sur des méthodes analytiques qui ne sont plus utilisées. Jusqu'à quel point ce type de données devrait être accessible à tous, reste encore en discussion puisque la plupart des instituts considère la vente de données comme une source de revenu essentielle.

Pour assurer la qualité des données, les laboratoires nationaux d'analyse doivent être bien équipés en personnel formé et en instruments adéquats. Pour maintenir les normes de ces laboratoires, il faudrait qu'ils deviennent membres d'un des réseaux internationaux de contrôle de qualité, p.ex. WEPAL ([www.wepal.nl](http://www.wepal.nl)) ou SPALNA ([spalna@cgiar.org](mailto:spalna@cgiar.org)). Comme alternative aux analyses de laboratoires souvent coûteuses, il existe des boîtes de test pour le sol. Au cas où il y aurait des doutes concernant la qualité des analyses de sol ou l'applicabilité d'équations de régression liant des paramètres du sol, relativement faciles à mesurer, au stock des éléments nutritifs dans le sol, des tests soustractifs de nutriments peuvent être menés au niveau de l'exploitation. Dans de tels tests, la culture reçoit la quantité nécessaire de fertilisants minéraux, à l'exception de l'un des éléments nutritifs. Le rendement en grain ou l'absorption de l'élément nutritif omis peut être utilisé comme approximation de la capacité du sol à fournir l'élément nutritif manquant. Cette approche a été préconisée pour le riz inondé en Asie (Fairhurst et Witt, 2002) et en Afrique de l'Ouest (Wopereis *et al.*, 1999), mais peut aussi être prometteuse pour d'autres systèmes de production.

Les chercheurs africains se sont avérés très intéressés par ces outils et les études de cas montrent qu'il y a certainement des possibilités pour l'utilisation des OAD en Afrique sub-saharienne. Cependant, ceci demande une approche qui va au-delà des pro-

jets de courte durée, qui favorisent souvent un seul outil. Les instituts nationaux de recherche devraient établir des groupes-clé pour promouvoir l'utilisation des OAD par leurs collègues et les assister dans leur utilisation (Matthews et Stephens, 2002). Les membres de ces groupes doivent être bien formés et recevoir une formation initiale sur le tas. Ils devraient avoir la possibilité de travailler à plein temps sur cette tâche. Les membres du groupe clé doivent être soutenus dans cette approche ce qui devrait être coordonné par un centre africain spécialisé dans le développement et l'application d'OAD. Un tel centre devrait de préférence être implanté dans une université de façon à susciter et favoriser la familiarisation des étudiants avec l'utilisation de ces outils, avec l'analyse des systèmes et avec la modélisation qui est à la base de la plupart de ces outils. Une des tâches d'un tel centre serait de tester et d'ajuster – de préférence en collaboration avec les auteurs des différents OAD – les outils pour qu'ils soient adaptés aux différentes régions agro-écologiques.

L'étape suivante est de rendre cette information disponible pour les utilisateurs ultimes : le personnel de vulgarisation et les paysans. Cela demande une interaction étroite entre les instituts de recherche et de vulgarisation qui devrait être coordonnée par un département d'un institut de recherche étroitement lié au département de vulgarisation. L'information ainsi générée doit être transformée en information facile à utiliser et pertinente pour les utilisateurs ultimes. Pour que l'information soit pertinente, elle doit prendre en considération les particularités d'un problème et fournir au paysan des options alternatives pour résoudre son problème, p.ex. les recommandations de fertilisation doivent être adaptées au sol, à la culture et à la somme d'argent que le paysan veut, et peut, investir dans l'engrais, ou bien cette information doit donner la meilleure combinaison entre date de semis et variété, comme montré dans les cas de QUEFTS et DSSAT pour le sud du Togo (chapitres 5 et 7). La mise en place de structures de recherche et de vulgarisation qui ne travaillent pas en parallèle mais qui sont étroitement liées et répondent à la fois aux problè-

mes aigus et aux possibilités du terrain, en utilisant des approches APRA et des OAD là où cela est réalisable, serait un grand pas en avant pour améliorer le niveau de vie des populations pauvres, rurales et urbaines, en Afrique sub-saharienne.

---

## Références

- Douthwaite B., Keatinge J.D.H., Park J.R., 2002. Learning selection: an evolutionary model for understanding, implementing and evaluating participatory technology development. *Agricultural Systems*, 72 : 109-131.
- Fairhurst T., Witt C. (Eds.), 2002. *Rice. A practical guide to nutrient management*. Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI). 89 p + annexes.
- Gijssman A.J., Hoogenboom G., Parton W.J., Kerridge P.C., 2002. Modifying DSSAT crop models for low-input agricultural systems using a soil organic matter-residue module from CENTURY. *Agronomy Journal*, 94 : 462-474.
- Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Ndiaye M.K., Kropff M.J., 2003. A framework to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in West Africa. *Agricultural Systems*, 76 : 313-335.
- Hagmann J., Chuma E., Murwira K., Connolly M., Ficarelli P., 2002. Success factors in integrated natural resource management R&D: lessons from practice. *Conservation Ecology*, 5 : 29. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art29>.
- IFDC, 2003. *Atelier sur l'utilisation des modèles et des SIG dans l'agriculture*. 13 décembre 2002, Lomé, Togo.
- Izac A.M.N., Sanchez P.A., 2001. Towards a natural resource management paradigm for international agriculture: the

example of agroforestry research. *Agricultural Systems*, 69 : 5-25.

Kropff M.J., Bouma J., Jones J.W., 2001. Systems approaches for the design of sustainable agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 70 : 369-393.

Matthews R.B., Stephens W. (Eds.), 2002. *Crop-Soil Simulation Models: Applications in Developing Countries*. Cranfield University, United Kingdom, 304 p.

Sayer J.A., Campbell B., 2001. Research to integrate productivity enhancement, environmental protection, and human development. *Conservation Ecology*, 5 : 32. [online] URL: <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art32>.

Wopereis M.C.S., Donovan C., Nebié B., Guindo D., N'Diaye M.K., 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. Part I. Agronomic analysis. *Field Crops Research*, 61 : 125-145.

## ANNEXE 1 : QUEFTS

Nom : QUEFTS *Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils* (Évaluation quantitative de la fertilité des sols tropicaux)

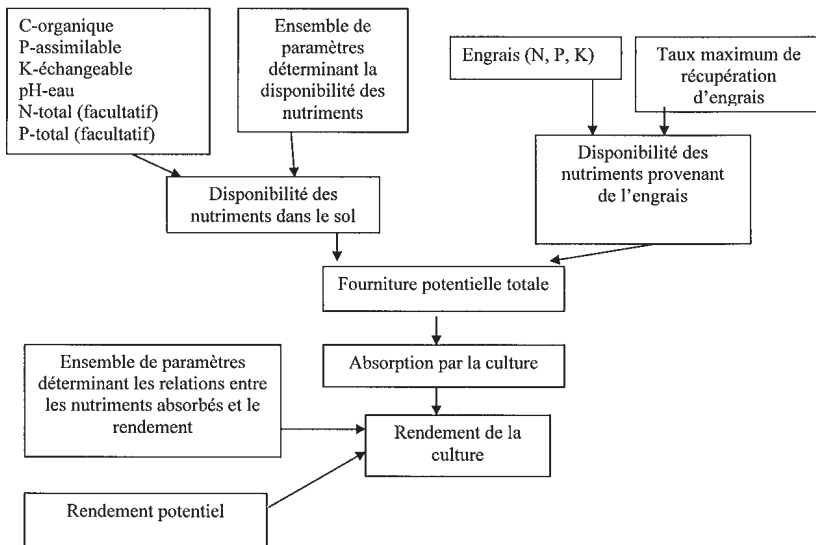
Auteurs : Janssen B.H., Guiking F.C.T., Eijk van der D., Smaling E.M.A., Wolf J. et Reuler van H.

Adresse : Université et centre de recherche de Wageningen, P.O. Box 8005, 6700 EC, Pays-Bas

E-mail : [Bert.Janssen@wur.nl](mailto:Bert.Janssen@wur.nl)

Disponibilité : le logiciel peut être obtenu au prix nominal à l'adresse email ci-dessus

Le modèle a été développé à l'université de Wageningen. C'est un modèle statique simple qui tourne sous MS-DOS. Il permet de calculer le rendement d'une culture sur la base de plusieurs



paramètres qui sont en général disponibles. Le modèle a été testé au Surinam pour le maïs et dans deux régions agro-écologiques au Kenya. Cependant, il est possible de l'utiliser pour d'autres cultures dans d'autres régions agro-écologiques en adaptant les paramètres.

En plus, le modèle permet d'exécuter une analyse économique simple sur la rentabilité de l'utilisation de l'engrais. Une des caractéristiques intéressantes de ce modèle est la détermination du rapport optimal entre les fertilisations N, P et K.

### **Données nécessaires**

- carbone organique ;
- P-assimilable ;
- K-échangeable ;
- pH-eau ;
- N-total (facultatif) ;
- P-total (facultatif) ;
- taux de recouvrement maximal des engrais ;
- rendement potentiel de la culture.

### **Références**

- Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Ndiaye M.K., Kropff M.J., 2003. A framework to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in West Africa. *Agricultural Systems*, 76 : 313-335.
- Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Ndiaye M.K., Barro S.E., Ould Isselmou M., 2003. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous soil nutrient supply of irrigated lowland rice in the Sahel and the Sudan Savanna. *Field Crops Research*, 80 : 19-32.
- Janssen B.H., Guiking F.C.T., Van der Eijk D., Smaling E.M.A., Wolf J., Van Reuler H., 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 46 : 299-318.



Janssen B.H., 1998. Efficiency use of nutrients: an art of balancing. *Field Crops Research*, 56 : 197-201.

Smaling E.M.A., Janssen B.H., 1993. Calibration of QUEFTS, a model predicting nutrient uptake and yields from chemical soil fertility indices. *Geoderma*, 59 : 21-44.

## ANNEXE 2 : DSSAT

- Nom : DSSAT *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (Système d'aide à la décision pour le transfert en agro-technologie)
- Auteurs : *International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer (IBSNAT)*
- E-mail : [icasa@icasa.net](mailto:icasa@icasa.net)
- Site Internet : <http://www.icasa.net/dssat/index.html>
- Disponibilité : le progiciel DSSAT 3.5 peut être commandé sur le site internet mentionné ci-dessus qui est celui du *International Consortium for Systems Applications in Agriculture (ICASA)*. Le progiciel coûte 495 \$ EU + frais d'expédition

Le DSSAT 3.5 est un progiciel basé sur MS-DOS qui intègre les effets du sol, du phénotype des cultures, du climat et des options de gestion. En simulant les effets probables des stratégies de conduite des cultures, le DSSAT donne aux utilisateurs des informations pour évaluer rapidement de nouvelles cultures et pratiques culturales.

Le DSSAT permet également de comparer des réponses simulées aux résultats observés et de lier les modèles de culture avec des systèmes d'information géographique (SIG).

Il traite des cultures suivantes :

blé	sorgho	arachide	mil	tomate
maïs	haricot sec	manioc	soja	tournesol
orge	pois chiche	pomme de terre	canne à sucre	pâturage
riz				

Il est aussi possible d'utiliser sous DSSAT d'autres modèles de culture s'ils suivent les standards ICASA.

Le DSSAT est utilisé comme outil :

- de formation et d'éducation du fait qu'il donne des réponses interactives aux questions du type « qu'est-ce qui se passe si ... » afin de mieux comprendre l'influence de la saison (climat), de la localité (site et sol) et de la conduite technique sur les processus de croissance des plantes ;
- de recherche, pour développer des recommandations sur la gestion des cultures et pour aborder les questions de durabilité et d'environnement ;
- économique, pour augmenter la rentabilité et améliorer la commercialisation des intrants ;
- politique, pour la prévision des surfaces cultivées et des rendements, et pour la planification de l'utilisation des terroirs.

La version actuelle est le DSSAT 3.5, mais au cours de l'année 2003 une version basée sur Windows (DSSAT 4) sera mise à la disposition des utilisateurs. Cette nouvelle version comprendra également : la banane, le chou, le coton, le niébé, la féverole, le poivre, l'ananas, le taro et le mucuna.

### **Données nécessaires**

- *site* : latitude et longitude ;
- *climat* : données journalières : radiation solaire, température maximum et minimum de l'air, pluviométrie ;
- *sol* : pour chaque horizon : profondeur, texture, densité apparente, carbone organique, pH et saturation en aluminium ;
- *conduite des cultures* : date de semis, dates des mesures de sol avant semis, densité de semis/plantation, écartement entre les lignes, profondeur de semis/plantation, cultivar, irrigation et pratiques de fertilisation ;
- *conditions initiales* dans le sol en ce qui concerne l'eau, la teneur en ammonium et en nitrate, informations sur les cultures précédentes.

Il existe sur Internet un réseau très actif pour les utilisateurs de DSSAT (et les autres) qui s'intéressent à la modélisation des

cultures, aux applications de ces modèles et aux systèmes d'aide à la décision (voir site Internet ci-dessus).

## Références

- Alagarswamy G., Singh P., Hoogenboom G., Wani S.P., Pathak P., Virmani S.M., 2000. Evaluation and application of the CROPGRO-Soybean simulation model in a Vertic Inceptisol. *Agricultural Systems*, 63 : 19-32.
- Hoogenboom G., Wilkens P.W, Tsuji G.Y. (Eds.), 1999. DSSAT v3 volume 4: *A Decision Support System for Agrotechnology Transfer*. 286 p. University of Hawaii, Honolulu, USA.
- Jagtap S.S., Abamu F.J., Kling J.G., 1999. Long-term assessment of nitrogen and variety technologies on attainable maize yields in Nigeria using CERES-Maize. *Agricultural Systems*, 60 : 77-86.
- Jones J.W., Hoogenboom G., Porter C.H., Boote K.J., Batchelor W.D., Hunt L.A., Wilkens P.W., Singh U., Gijsman A.J., Ritchie J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18 : 235-265.
- Jones J.W., Tsuji G.Y., Hoogenboom G., Hunt L.A., Thornton P.K., Wilkens P.W., Imamure D.T., Bowen W.T., Singh U., 1998. Decision support system for agrotechnology transfer: DSSAT v3. In: *Understanding options for agricultural production*, Tsuji G.Y. et al. (Eds.), pp. 157-177. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Singh U., Thornton P.K., Saka A.R., Dent J.B., 1993. Maize modeling in Malawi: a tool for soil fertility research and development. In: *Systems Approach for Agriculture Development*. F.P. de Vries et al. (Eds.), pp. 253-273. Proceedings of the International Symposium on Systems Approach for Agriculture Development, 2-6 December 1991, Bangkok, Thailand.
- Wafula B.M., 1995. Application of crop simulation in agriculture extension in Kenya. *Agricultural Systems*, 49 : 399-412.

## ANNEXE 3 : APSIM

- Nom : APSIM : *Agricultural Production Systems Simulator* (Simulateur des systèmes de production agricole)
- Auteurs : *Agricultural Production Systems Research Unit* (APSRU est une unité de recherche commune au Département des industries primaires de Queensland (*Queensland Departments of Primary Industries, DPI*), au Département des ressources naturelles et des mines (*Natural Resources and Mines Département, DNRM*) et à deux divisions du CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*) : celle des écosystèmes durables (*Divisions of Sustainable Ecosystems, CSE*) et celle des sols et de l'eau (*Land & Water, CLW*)
- Adresse : APSRU, PO Box 102, Toowoomba, Queensland, 4350, Australie
- E-mail : APSIMHelp@tag.sciro.au  
Michel.Robertson@tag.csiro.au
- Site Internet : <http://www.apsru.gov.au/Products/apsim.htm>
- Disponibilité : le logiciel APSIM ne peut être utilisé que par des utilisateurs disposant d'une licence, mais une version de démonstration peut être téléchargée sur Internet

L'APSIM est un environnement de modélisation qui utilise plusieurs modules pour simuler les systèmes de culture dans les tropiques semi-arides. Les modules peuvent être de type biologique, environnemental, économique ou de gestion et sont liés par le « moteur » APSIM.

L'APSIM peut simuler la croissance et le rendement d'une gamme de cultures en réponse à diverses pratiques de gestion,

associations de cultures et rotations, y compris des pâturages et de l'élevage. La simulation peut se faire à court et à long terme, permettant d'avoir une vue à long terme des tendances d'évolution de la productivité des sols dues à l'épuisement de la fertilité et à l'érosion.

Il contient des modules permettant la simulation des cultures – interactions avec les mauvaises herbes, déclin de la matière organique des sols, lessivage des nutriments, érosion du sol, dégradation de la structure du sol, acidification et phosphore du sol. Cependant, APSIM n'est pas en mesure de traiter actuellement des effets de la salinité, des parasites, des maladies, des insectes, ou de la réduction de biodiversité.

Les cultures suivantes peuvent être simulées avec APSIM :

maïs	soja	pois chiche	luzerne
sorgho	orge	ambérique	médic annuel
mil	arachide	lupin	<i>Pinus radiata</i>
blé	colza	mucuna	Eucalyptus sp.
canne à sucre	coton	chanvre	mauvaises herbes
féveroles	niébé	tournesol	

### Données nécessaires

- *site* : latitude, texture et profondeur du sol, longueur de pente ;
- *climat* : données quotidiennes : températures maximale et minimale, radiation solaire et pluviométrie ;
- *phénologie de la culture* : type de culture et cultivar, nombre de jours jusqu'à la floraison et la maturité ;
- *eau du sol, N et P* : humidités au point de flétrissement et à la capacité au champ par horizon, azote nitrique (NO<sub>3</sub>-N), carbone du sol par horizon, N total dans l'horizon supérieur, densité apparente par horizon, Passimilable et adsorbé par horizon ;
- *résidus en surface* : quantités et type de résidus de culture et de fumier, teneurs en C, N et P, N (sous formes NH<sub>4</sub> et NO<sub>3</sub>) et P-assimilable des fumiers, pourcentage de couverture du sol par les résidus et amendements organiques ;

– *conduite des cultures* : dates de toutes les opérations, profondeur du semis, densité de semis, type et quantité d’engrais, labour (type, profondeur, part des matériaux de surface incorporée).

### Références

- Keating B.A., Carberry P.S., Hammer G.L., Probert M.E., Robertson M.J., Holzworth D., Huth N.I., Hargreaves J.N.G., Meinke H., Hochman Z., McLean G., Verburg K., Snow V., Dimes J.P., Silburn M., Wang E., Brown S., Bristow K.L., Asseng S., Chapman S., McCown R.L., Freebairn D.M., Smith C.J., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18 : 267-288.
- McCown R.L., Hammer G.L., Hargreaves J.N.G., Holzworth D.P., Freebairn D.M., 1996. APSIM: A novel software system for model development, model testing, and simulation in agricultural research. *Agricultural Systems*, 50 : 255-271.
- Probert M.E., Dimes J.P., Keating B.A., Dalal R.C., Strong W.M., 1998. APSIM’s water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. *Agricultural Systems*, 56 : 1-28.

**ANNEXE 4 : Rothamsted Carbone**

- Nom : RothC-26.3 *Rothamsted Carbon Model* (Modèle Rothamsted Carbone)
- Auteurs : Coleman K. & Jenkinson D.S., 1999
- Adresse : IACR - Rothamsted, Harpenden, Herts, AL5 2JQ, UK
- E-mail : [Coleman@bbsrc.ac.uk](mailto:Coleman@bbsrc.ac.uk)
- Site Internet : <http://www.iacr.bbsrc.ac.uk/aen/carbon/rothc.htm>
- Disponibilité : le modèle est en accès libre sur Internet et peut être téléchargé

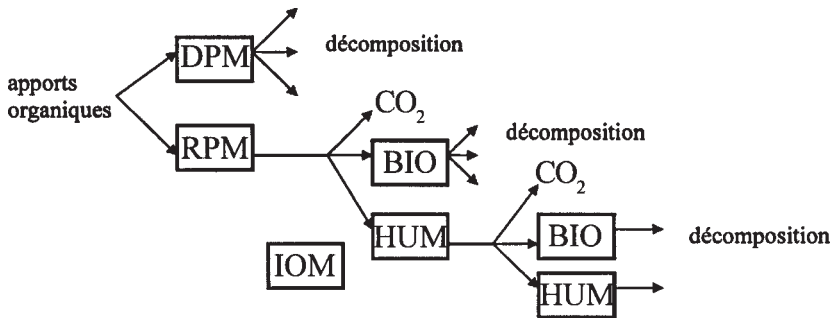
Le modèle Rothamsted Carbone permet de calculer l'effet de la gestion de la matière organique sur l'évolution du carbone organique du sol dans les horizons arables de sols bien drainés sur une période allant de quelques années à quelques siècles. Il prend en compte la qualité et la quantité des apports organiques, le type de sol, la température, l'humidité et la couverture végétale, dans les processus de transformation.

Le carbone organique du sol se répartit en quatre compartiments actifs et une petite quantité de matière organique inerte (IOM *Inert Organic Matter*). Les quatre compartiments actifs sont : le matériel végétal décomposable (DPM, *Decomposable Plant Material*), le matériel végétal résistant (RPM, *Resistant Plant Material*), la biomasse microbienne (BIO, *Microbial Biomass*), et la matière organique humifiée (HUM, *Humified Organic Matter*). Chaque compartiment se décompose par un processus de premier ordre avec son propre taux caractéristique. Le compartiment IOM est résistant à la décomposition.

Le DPM comme le RPM se décomposent en CO<sub>2</sub>, BIO et HUM. Le BIO et le HUM se décomposent à leur tour pour donner encore plus de CO<sub>2</sub>, BIO et HUM.



## Rothamsted Carbone (RothC)



RPM : matériel végétal résistant

DPM : matériel végétal décomposable

BIO : biomasse microbienne

HUM : matière organique humifiée

IOM : matière organique inerte

Figure 1. Structure du modèle Rothamsted Carbone

Le modèle utilise un intervalle de temps d'un mois pour calculer le carbone organique total (t/ha), le carbone de la biomasse microbienne (t/ha) et  $\Delta^{14}\text{C}$  (à partir duquel l'équivalent de l'âge radiocarbone du sol peut être calculé) sur une période qui va de quelques années à quelques siècles. On n'a pas besoin de beaucoup de données, et celles qui sont nécessaires sont facilement disponibles.

### Données nécessaires

- pluviométrie mensuelle (mm) ;
- évapotranspiration mensuelle (mm) ;
- moyenne des températures mensuelles ;
- pourcentage d'argile ;
- estimation du taux de décomposition du matériel végétal entrant, représenté par le rapport DPM/RPM ;
- couverture du sol : le sol est-il nu ou avec un couvert végétal ;
- l'apport mensuel de résidus végétaux (t C/ha), incluant le C

provenant des racines durant la croissance de la culture. Il est possible de calculer cette quantité en faisant marcher le modèle en mode « inverse » ;

- apport mensuel de fumier (t C/ha) ;
- profondeur du prélèvement de l'échantillon de sol (cm).

Pour plus d'information un manuel est disponible qui peut être téléchargé à partir du site Internet.

### Références

- Jenkinson D.S., 1990. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Philosophical transactions of the Royal Society, B*, 329 : 361-368.
- Jenkinson D.S., Coleman K., 1994. Calculating the annual input of organic matter to soil from measurements of total organic carbon and radiocarbon. *European Journal of Soil Science*, 45 : 167-174.
- Jenkinson D.S., Harkness D.D., Vance E.D., Adams D.E., Harrison A.F., 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, 24 : 295-308.
- Smith P., Smith J.U., Powlson D.S., McGill W.B., Arah J.R.M., Chertov O.G., Coleman K., Franko U., Frohking S., Jenkinson D.S., Jensen L.S., Kelly R.H., Klein-Gunnewiek, Komarov A.S., Li C., Molina J.A.E., Mueller T., Parton W.J., Thornley J.H.M., Whitmore A.P., 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81 : 153-225.

## ANNEXE 5 : RFM *Resource Flow Mapping*

- Nom : RFM *Resource Flow Mapping* (Cartographie des flux des ressources)
- Auteurs : Defoer T. *et al.*, 2000
- Adresse : ADRAO, le Centre du riz pour l'Afrique (avant : Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest) BP 320, Bamako, Mali
- E-mail : [T.Defoer@cgiar.org](mailto:T.Defoer@cgiar.org), [tdefoer@tiscali.fr](mailto:tdefoer@tiscali.fr)
- Site Internet : [www.kit.nl](http://www.kit.nl)
- Disponibilité : des exemples de RFM se trouvent dans le *Resource Guide* qui peut être commandé au site du KIT à 250 € par exemplaire

Les directives pour élaborer les RFM sont présentées sur des fiches plastifiées constituant la partie 3 du *Resource Guide on the Participatory Learning and Action Research approach for Integrated Soil Fertility Management*, développé par Defoer et Budelman (2000). Les instituts qui ont collaboré au développement de ce *Resource Guide* sont : l'Institut royal des tropiques (KIT) des Pays-Bas, le *International Institute for Environment and Development* (IIED), Royaume Uni et plusieurs instituts de recherche et de développement au Mali, au Kenya, en Tanzanie, en Éthiopie et au Bénin.

La méthode d'apprentissage participatif et de recherche-action (APRA) pour la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) commence par un diagnostic initial et se poursuit avec un cycle de planification, mise en œuvre /expérimentation et évaluation. Le cycle est basé sur les saisons et constitue le cœur d'un engagement à long terme entre le paysan et une équipe de terrain (c'est-à-dire l'équipe APRA) qui anime le processus.

La RFM est un des outils majeurs de l'APRA lors de la phase de diagnostic et de planification/évaluation et est normalement dessinée par le chef d'exploitation qui est assisté par au moins un des actifs de l'exploitation et appuyé par un ou deux membres de l'équipe APRA.

Une RFM représente un croquis de l'exploitation et les éléments clés de la gestion de la fertilité des sols, ainsi que les flux des ressources.

La « RFM-diagnostic » est utilisée pour discuter et analyser les pratiques culturales du paysan, l'utilisation des résidus et de l'engrais, l'intégration agriculture-élevage, etc. L'analyse peut aider les paysans à apporter des améliorations réalisables à leur système d'exploitation, comme le recyclage plus intensif des résidus de récolte, la limitation des pertes de ressources et la rationalisation de l'utilisation des intrants externes.

Lors de la phase de planification de l'APRA, les paysans font une « RFM-de-planification » pour visualiser ce qu'ils ont prévu d'améliorer et pour indiquer où ils feront les essais de techniques alternatives les saisons prochaines.

À la fin de la saison culturale, durant la phase d'évaluation de l'APRA, les paysans évaluent leurs activités, planifiées à l'aide de leur RFM-de-planification. Ils indiquent sur la carte ce qu'ils ont effectivement mis en œuvre et transforment ainsi la RFM-de-planification en une « RFM-de-réalisations ».

Des guides ont été élaborés pour aider l'équipe APRA à assister les paysans quand ils élaborent leurs RFM. Les guides présentent d'abord les objectifs, les résultats attendus, les participants impliqués, les préparations à faire, l'équipement et le temps requis. Ensuite, sont présentés le processus par étape et une liste de thèmes (données nécessaires) pour aider les paysans à établir les RFM.

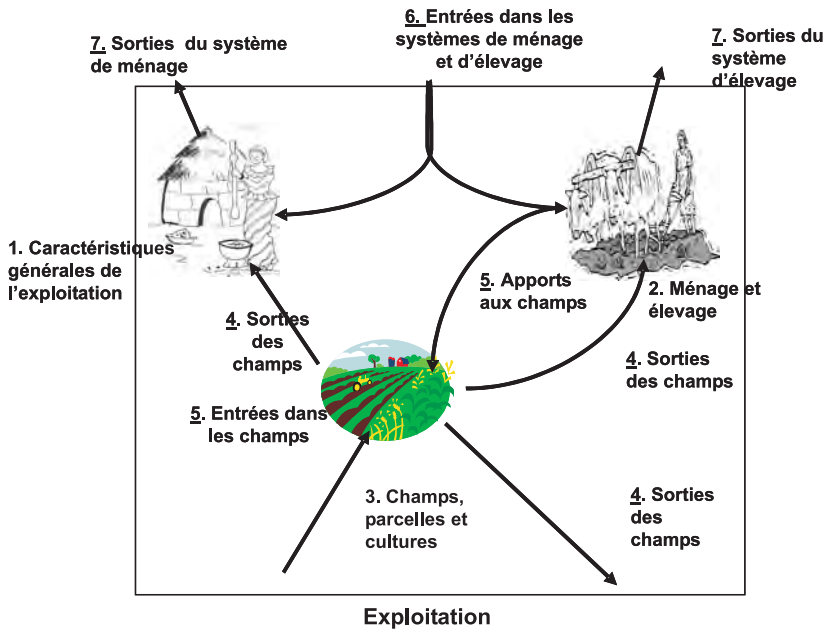


Figure 1. Flux de ressources d'une exploitation

### Données nécessaires

- *caractéristiques générales du ménage et de l'exploitation* : membres du ménage, membres actifs, main-d'œuvre externe, revenu des activités hors-exploitation, équipement agricole, processus de prise de décision, etc. (1) ;
- *champs, parcelles et cultures* : inventaire des champs/parcelles, superficies des parcelles, types et état des sols, cultures, rotations, etc. (2) ;
- *élevage et ménage* : inventaire du bétail, enclos à bétail, greniers à nourriture et fourrage, stockage de fumier et de compost, etc. (3) ;
- *ce qui sort des champs* : production de la saison précédente (quantités récoltées et destinations) et utilisation des résidus (quantités, destinations et proportions utilisées) (4) ;

- *ce qui entre dans les champs* : engrais organiques et minéraux (types/quantités, sources) (5) ;
- *produits de l'extérieur* entrant dans les systèmes de ménage et de production animale (donc, autres que les entrées dans les champs du 5): nourriture pour le bétail, herbe/ biomasse, nourriture pour les hommes, etc. (6) ;
- *sorties des systèmes de ménage et d'élevage* (donc autres que ceux sortant le champ, vus au 4) quittant l'exploitation : cultures et produits d'origine animale vendus, engrais organiques, etc. (7).

Toute l'information se trouvant dans les RFM peut être transférée sur des fiches d'enregistrement qui entrent dans le logiciel ResourceKIT (voir annexe 6).

### Références

- Defoer T., De Groote H., Hilhorst T., Kanté S., Budelman A., 1998. Farmer participatory action research and quantitative analysis: A fruitful marriage? *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 71 : 215-228.
- Defoer T., Budelman A. (Eds.), 2000. *Managing Soil Fertility in the Tropics: A Resource Guide for participatory learning and action research*. Cinq livres. Institut royal des tropiques (KIT), Amsterdam, Pays-Bas.

## ANNEXE 6 : ResourceKIT

Nom : ResourceKIT  
Auteurs : Jeroen Ticheler et Toon Defoer  
E-mail : [T.Defoer@cgiar.org](mailto:T.Defoer@cgiar.org); [tdefoer@tiscali.fr](mailto:tdefoer@tiscali.fr);  
[Jeroen.Ticheler@fao.org](mailto:Jeroen.Ticheler@fao.org)  
Site Internet : [www.kit.nl](http://www.kit.nl)  
Disponibilité : le ResourceKIT peut être commandé au site du  
KIT à 250 € l'exemplaire.

Le progiciel ResourceKIT est directement lié à la méthode APRA et aux RFM (Annexe 5). Le progiciel ResourceKIT permet le transfert de l'information des RFM (saisie dans les formulaires d'enregistrement) dans des flux et bilans nutritifs. Le ResourceKIT ne traite que des flux visibles, directement liés aux pratiques de gestion présentées sur les RFM des paysans. Par conséquent, les bilans nutritifs calculés sont « partiels ».

Les principes de la transformation sont expliqués dans les chapitres 4 et 7 de la première partie du *Resource Guide* (Defoer et Budelman, 2000). Les détails du ResourceKIT (Ticheler, 2000 et Ticheler *et al.*, 2000) se trouvent dans les quatrième (CD) et cinquième (livre) parties du *Resource Guide*. Les instituts qui ont collaboré au développement de ce *Resource Guide* sont : l'Institut royal des tropiques (KIT) les Pays-Bas, le *International Institute for Environment and Development* (IIED) Royaume-Uni et plusieurs instituts de recherche et de développement au Mali, au Kenya, en Tanzanie, en Éthiopie et au Bénin.

Le processus de transformation comprend les étapes suivantes :

1. Établir le schéma des éléments de base du système d'exploitation et de ses sous-systèmes (le système de production végétale, le système de production animale et le système domestique) avec des détails sur la superficie totale cultivée,

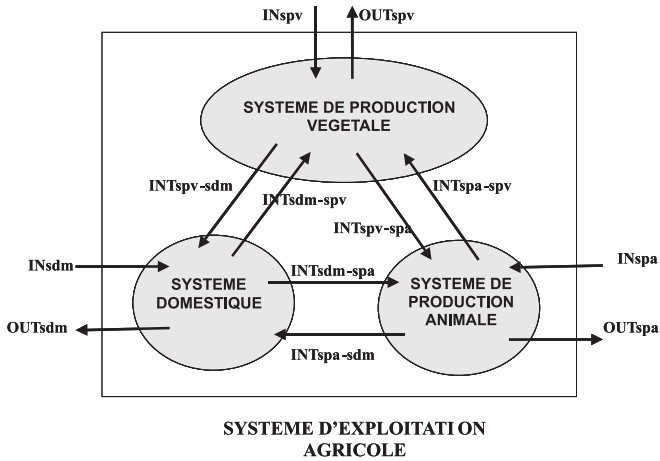
- le bétail, le ménage, les enclos, le stockage de la nourriture humaine et du fourrage, etc.
2. Présenter tous les flux de ressources possibles entre les sous-systèmes du système d'exploitation, regroupés en 3 types de flux d'entrée (IN), 3 types de flux de sortie (OUT) et 6 types de flux internes (INT).
  3. Traduire les flux de ressources en flux d'éléments nutritifs à l'aide d'estimations de la composition en éléments minéraux des cultures et résidus de récolte les plus importants. Le ResourceKIT se limite à N, P et K. On peut aussi entrer dans la base de données des données mesurées sur les éléments minéraux.
  4. Calculer des bilans nutritifs « partiels » pour différentes unités d'analyse : le système d'exploitation dans son ensemble et les sous-systèmes de production végétale, de production animale et domestique. Les bilans partiels peuvent être calculés pour tout le système ou par hectare.

### **Données nécessaires**

ResourceKIT nécessite les données des RFM (cartes des flux des ressources) les éléments de base des sous-systèmes du système d'exploitation, des sources et sens des flux, des quantités de produits, des proportions de résidus de récolte utilisés, des quantités d'engrais et autres intrants, et des quantités de produits de l'exploitation.

Le ResourceKIT contient des valeurs par défaut pour les teneurs en N, P et K des cultures, des résidus, des fourrages, du compost, des ordures ménagères, du fumier, etc. Le ResourceKIT inclut également des valeurs par défaut des paramètres de conversion des produits primaires en résidus, des taux de fixation d'azote par des arbres à enracinement profond, des taux des éléments nutritifs dans le sol, des paramètres de conduite d'élevage liés au pâturage libre des résidus, etc.





**Figure 1. Flux de nutriments dans le système d'exploitation agricole**

Pour chaque sous-système les flux entrant dans l'exploitation depuis l'extérieur sont présentés comme IN et ceux qui quittent l'exploitation comme OUT. Les liens entre les sous-systèmes de l'exploitation sont présentés comme INT (interne). La liste ci-dessous montre tous les types de flux possibles. Pour les flux internes, les liens entre les deux sous-systèmes de l'exploitation sont indiqués.

IN <sub>spv</sub>	Flux entrant dans le système de production végétale à partir de l'extérieur du système d'exploitation
OUT <sub>spv</sub>	Flux quittant le système de production végétale et le système d'exploitation agricole
IN <sub>spa</sub>	Flux entrant dans le système de production animale à partir de l'extérieur du système d'exploitation agricole
OUT <sub>spa</sub>	Flux quittant le système de production animale et le système d'exploitation agricole
IN <sub>sdm</sub>	Flux entrant dans le système domestique à partir de l'extérieur du système d'exploitation agricole
OUT <sub>sdm</sub>	Flux quittant le système domestique et le système d'exploitation agricole
INT <sub>spv-spa</sub>	Flux du système de production végétale vers le système de production animale

INTspa-spv	Flux du système de production animale vers le système de production végétale
INTspv-sdm	Flux du système de production végétale vers le système domestique
INTsdm-spv	Flux du système domestique vers le système de production végétale
INTspa-sdm	Flux du système de production animale vers le système domestique
INTsdm-spa	Flux du système domestique vers le système de production animale

---

## Références

- Defoer T., Budelman A., (Eds.) 2000. *Managing Soil Fertility in the Tropics: A Resource Guide for participatory learning and action research*. Quatre livres et un CD. Institut royal des tropiques (KIT), Amsterdam, Pays-Bas.
- Ticheler J. 2000. ResourceKIT for participatory learning and action research. CD-Rom, part 4 of Resource Guide. In: T. Defoer, A. Budelman (Eds.). *Managing Soil Fertility in the Tropics: A Resource Guide for participatory learning and action research*. Quatre livres et un CD. Institut royal des tropiques (KIT), Amsterdam, Pays-Bas.
- Ticheler J., Defoer T., Kater L., 2000. User's Guide to the ResourceKIT. Section 2 in part 5 of Resource Guide. In: T. Defoer, A. Budelman (Eds.). *Managing Soil Fertility in the Tropics: A Resource Guide for participatory learning and action research*. Quatre livres et un CD. Institut royal des tropiques (KIT), Amsterdam, Pays-Bas.

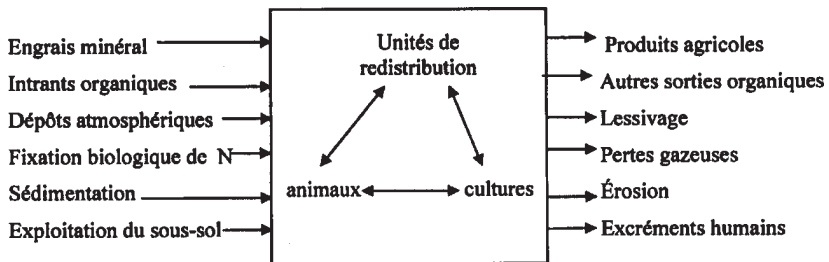
## ANNEXE 7 : NUTMON

- Nom : NUTMON *Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems* (Suivi des flux d'éléments nutritifs et de la performance économique des systèmes de production dans les tropiques)
- Auteurs : Vlaming J., Bosch van den H., Wijk van M.S., Jager de A., Bannink A., Keulen van H.
- Adresse : Alterra, Green World Research. P.O. Box 47, NL-6700 AA Wageningen, Pays-Bas. *Agricultural Economics Research Institute, LEI*. P.O. Box 29703, 2502 LS, La Haye, Pays-Bas
- E-mail : NUTMON-support@alterra.wag-ur.nl
- Site Internet : <http://www.nutmon.org/index.htm>
- Disponibilité : des copies du NUTMON-Toolbox (boîte à outils NUTMON) peuvent être obtenues auprès de ce site à 250 € par copie. Le Toolbox est gratuit pour les universités, les instituts nationaux de recherche et les ONG des pays en développement

Le Toolbox a été développé à l'université et centre de recherche de Wageningen dans les années 90 en collaboration étroite avec des institutions de recherche et développement au Kenya, en Ouganda et au Burkina Faso.

Le NUTMON est une méthodologie pluridisciplinaire intégrée, qui vise différents acteurs dans le processus de la gestion des ressources naturelles en général, et des nutriments des plantes en particulier. Le NUTMON-Toolbox est composé d'un questionnaire, d'un manuel et de différents modules de logiciel créés spécialement pour faciliter le suivi et l'analyse des flux des éléments nutritifs ainsi que la performance économique au niveau de l'exploitation.

Le logiciel permet d'exécuter des analyses quantitatives, qui génèrent d'importants indicateurs tels que les flux de nutriments, les bilans nutritifs, le cash flow, les marges brutes et le revenu de l'exploitation. Le NUTMON prend en considération les flux d'éléments nutritifs suivants :



### Données nécessaires

- *sol* : teneurs en C, N, P et K, densité apparente, pente, taux de minéralisation, profondeur d'enracinement, facteur d'enrichissement et érosivité ;
- *climat* : pluviométrie mensuelle, pouvoir érosif de la pluie (facteur USLE R) ;
- *culture* : type, surface, rendement (grains, paille), destination des produits, calendrier cultural ;
- *animaux* : type, croissance et composition, production, temps de parcage du bétail par mois ;
- *unités de redistribution* : taille et qualité des latrines, fosses à compost, tas de fumier, etc. ;
- *gestion* : apports internes et externes par champ, animal et unité de redistribution.

En outre, il faut des informations sur la teneur en éléments nutritifs de tous les produits, les prix, les besoins en fourrage, la production d'excréments humains et animaux, la production d'ordures ménagères, les pertes liés aux feux, etc., données pour lesquelles le NUTMON fournit des valeurs par défaut.

## Références

- De Jager A., Nandwa S.M., Okoth P.F., 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). I. Concepts and methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 71 : 37-48.
- De Jager A., Kariuki F.M., Matiri M., Odendo M., Wanyama J.M., 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). IV. Monitoring of farm economic performance in three districts in Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 71 : 81-92.
- Van den Bosch H., De Jager A., Vlaming J., 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON). II. Tool development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 71 : 49-62.
- Vlaming J., Van den Bosch H., Van Wijk M.S., De Jager A., Bannink A., Van Keulen H., 2001. *Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems (NUTMON); Part 1: Manual for the NUTMON toolbox*, Wageningen, The Netherlands.
- Vlaming J., Van den Bosch H., Van Wijk M.S., De Jager A., Bannink A., Van Keulen H., 2001. *Monitoring nutrient flows and economic performance in tropical farming systems (NUTMON); Annex*. Wageningen, The Netherlands.

## ANNEXE 8 : COTONS

Nom : COTONSIMBAD  
Auteurs : Eric Jallas, Philip Bauch, San Turner, Pierre Martin, Michel Cretenet et Ron Sequeira  
Adresse : CIRAD, Avenue d'Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France  
E-mail : [jallas@cirad.fr](mailto:jallas@cirad.fr) [cretenet@cirad.fr](mailto:cretenet@cirad.fr)  
Site internet : <http://www.cirad.fr/presentation/programmes/coton/projets/decision/simulation.html>

COTONS est un modèle qui simule les processus physiologiques de la croissance et du développement de la plante de coton. Le programme fonctionne sous Windows et est basé sur le modèle GOSSYM, développé durant les années 70. Il comprend un modèle de plante et un modèle de sol. L'information sur le climat, les pratiques culturales et les caractéristiques génétiques alimentent le modèle de plante. Le développement de la plante est limité par la disponibilité en eau et en azote dans le sol, ainsi que par le potentiel hydrique du sol. Le pas de calcul du modèle est journalier.

Une caractéristique spéciale du modèle est que le développement d'une ou plusieurs plantes est visualisé sur l'écran, montrant le développement des branches, feuilles, fleurs et racines. Cette visualisation est possible pour une plante moyenne, mais on peut également introduire une variabilité inter-plantes. Le modèle peut être utilisé dans plusieurs buts :

- évaluation de l'adaptabilité d'une variété à des conditions agro-écologiques bien définies ;
- évaluation de la réaction d'une variété aux dégâts causés par les insectes attaquant les feuilles et fruits ;
- identification des facteurs limitant la production, tels que des éléments nutritifs, l'alimentation hydrique ou la densité de peuplement ;

- évaluation des effets de l'entrave à la croissance racinaire ;
- prédiction des rendements.

### **Données nécessaires**

- *site* : latitude ;
- *climat* : précipitations quotidiennes, radiation, températures minimum et maximum et vitesse du vent, ;
- *sol* : profondeur des horizons de sol, texture, densité apparente, eau disponible à la capacité au champ, au point de saturation et au point de flétrissement, niveau de nitrates, hydroxyde d'ammonium, matière organique et eau par horizon ;
- *conduite de la culture* : variété, écartement, dates et quantités d'engrais, irrigation et régulateurs de croissance.

### **Références**

- Jallas E., 1998. *Improved Model-Based Decision Support by Modeling Cotton Variability and Using Evolutionary Algorithms*. PhD Dissertation, M.S.U., Mississippi.
- Jallas E., Sequeira R.A., Martin P., Turner S., Cretenet M., 1998. *COTONS, a Cotton Simulation Model for the Next Century*. Second World Cotton Research Conference, Athens, September 1998.
- Jallas E., Cretenet M., Sequeira R., Turner S., Gerardeaux E., Martin P., Jean J., Clouvel P., 1999. COTONS, une nouvelle génération de modèles de simulation des cultures. *Agriculture et Développement*, 22 : 35-46.

**ANNEXE 9 : NuMaSS**

- Nom : NuMaSS *Nutrient Management Support System* (Système d'appui à la gestion des éléments nutritifs)
- Auteurs : Osmond D.L., Smyth T.J., Yost R.S., Hoag D.L., Reid W.S., Branch W., Wang X., Li H., 2002. Nutrient Management Support System (NuMaSS) v.2. Soil Management Collaborative research Support Program, Technical bulletin No. 2002-02, North Carolina State University, Raleigh, NC
- Adresse : Soil Science Department, Box 7619, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695
- Site Internet : <http://intdss.soil.ncsu.edu/>
- E-mail : [numass@ncsu.edu](mailto:numass@ncsu.edu)
- Disponibilité : NuMaSS 2 peut être téléchargé gratuitement à partir du site Internet

Le NuMaSS est un progiciel compatible avec Windows 9x/NT/XP qui aide à prendre des décisions de conduite des cultures liées aux problèmes d'acidité des sols, et d'approvisionnement en azote et en phosphore dans les régions tropicales d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. Le progiciel comprend trois modules : le module de diagnostic, le module de prédiction et le module économique.

Le module de *diagnostic* aide à identifier la présence des problèmes d'acidité, d'azote ou de phosphore. Le diagnostic se base sur la localisation géographique, les conditions climatiques, le type de sol, les symptômes de carences en éléments nutritifs et les plantes indicatrices. Les données analytiques, du sol et de la culture, sont prises en compte si elles sont disponibles, mais elles ne sont pas indispensables.



Le module de *prédiction* donne des recommandations d'apports de chaux et d'éléments nutritifs pour corriger les problèmes liés à l'acidité du sol ou la disponibilité en N et P, qui pourraient compromettre l'obtention du rendement ciblé par l'utilisateur pour la culture sélectionnée. Les recommandations de chaulage et de fertilisation fournies par NuMaSS prennent en compte les écarts entre la disponibilité de ces ressources et les besoins de différentes espèces et cultivars, ce qui requiert de fournir un minimum de données analytiques du sol. Ces données peuvent être obtenues avec les analyses qui sont exécutées couramment par les laboratoires des sol.

En utilisant des données de prix des produits de base, de la chaux et des engrais, le module *économique* estime la rentabilité de l'utilisation de ces intrants. NuMaSS permet de comparer différents types d'engrais simples, d'engrais composés et d'apports organiques. Pour chaque combinaison de sources de nutriments, le NuMaSS estime la quantité d'intrants nécessaire pour obtenir soit le meilleur profit soit le meilleur rendement. Il est également possible d'estimer la rentabilité d'une quantité fixe d'engrais ou d'un certain montant d'argent à investir dans l'engrais et les coûts d'application. Pour chacun des scénarios sélectionnés par les utilisateurs, le NuMaSS estime dans quelle mesure les quantités d'azote et de phosphore appliquées suffiront ou pas.

L'intégration du diagnostic, de la prédiction et de la rentabilité de l'apport des éléments nutritifs dans NuMaSS, permet aux utilisateurs de comparer et choisir entre différentes conditions de terrain, stratégies culturales et sources alternatives d'éléments nutritifs. Le progiciel comprend une vaste base de données extraites de la littérature publiée et de la littérature grise sur des recherches en laboratoire et sur le terrain, menées en Afrique, Asie et Amérique latine, pour les cultures suivantes: voandzou (pois de terre), manioc, coton, niébé, arachide, haricot, maïs, ambérique, mil, pomme de terre, sorgho, soja, riz pluvial, blé,

igname, ainsi que des graminées et légumineuses fourragères. Un module pour l'arboriculture y est inclus, utilisant le palmier pêche pour la production de cœurs de palmiers comme culture témoin. Des détails additionnels sur le développement du progiciel sont disponibles sur le site Internet du projet.

### Données nécessaires

Les données nécessaires minimales varient selon le module et la contrainte nutritive :

Module	Élément contraignant		
	Azote	Acidité	Phosphore
<i>Diagnostic</i>	Localisation et domaine climatique Culture prévue		
		Seuil critique de saturation en Al de la culture	
<i>Prédiction</i>	Rendement ciblé Densité apparente Profondeur d'enfouissement de l'engrais		
	Ratio grain /paille -	% d'argile ou type de texture	
	Quantité et % N du grain et de la paille	Al échangeable	Taux de P assimilable dans le sol
	Taux de récupération d'engrais	Pouvoir d'échange cationique effectif	Méthode de test du P
	Quantité d'apports organiques		Méthode d'application d'engrais
<i>Économie</i>	Rendement maximum réalisable pour la région Prix du produit Ressource en engrais N et P ; prix de la chaux, de N et de P. Coûts d'application de la chaux et de l'engrais		

**Références** : voir site Internet

## ANNEXE 10 : RIDEV

- Nom : RIDEV *Rice Development* (Développement du riz)
- Auteurs : Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO) ou le Centre du riz pour l'Afrique
- Adresse : Abdoulaye Sow, ADRAO, BP 96 St.-Louis, Sénégal
- E-mail : [warda-sahel@cgiar.org](mailto:warda-sahel@cgiar.org) / [warda-sahel@sentoo.sn](mailto:warda-sahel@sentoo.sn)
- Disponibilité : le logiciel RIDEV est disponible gratuitement à l'ADRAO

Le RIDEV est un outil simple d'aide à la décision pour les systèmes de riz irrigué au Sahel.

Le modèle RIDEV simule la phénologie du riz et fournit un axe de temps, du stade germination au stade maturité qui dépend des températures quotidiennes minimales et maximales et des constantes variétales. Le pourcentage de stérilité des épillets causée par des températures extrêmes est simulé. Basé sur le cultivar utilisé, les données climatiques et la date de semis, RIDEV simule les dates de semis optimales (évitant la stérilité des épillets) et les périodes optimales pour l'apport de N, le sarclage, le dernier drainage avant la récolte et la récolte. L'assistance du modèle consiste donc à donner le moment opportun pour la mise en œuvre des interventions de conduite culturale dans les systèmes basés sur le riz irrigué.

La version originale était programmée en GWBASIC. L'interface utilisateur et les résultats sont en anglais. Une version plus récente, qui fonctionne sous Windows, est également disponible. Pour cette version, l'interface utilisateur et les résultats sont en français. Les caractéristiques photothermiques de 95 géotypes

de riz, incluant neuf cultivars communément utilisés par les paysans du Sahel, sont incluses dans le modèle. Des données météorologiques de 38 stations météorologiques sont également disponibles et couvrent les systèmes rizicoles importants du Sahel.

### **Données nécessaires**

- *site* : latitude ;
- *climat* : températures quotidiennes minimales et maximales ;
- *phénologie du riz* : nom du cultivar, lié à une base de données avec des constantes photothermiques ;
- *conduite de la culture* : date(s) de semis.

### **Références**

- Dingkuhn M., 1995. Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. III. Characterizing environments by simulating the crop's photothermal responses. *Agricultural Systems*, 48 : 435-456.
- Dingkuhn M., 1997. Characterizing irrigated rice environments using the rice phenology model RIDEV. DANS *Irrigated rice in the Sahel: Prospects for Sustainable Development*, Miézan K.M., Wopereis M.C.S., Dingkuhn M., Deckers J., Randolph T.F. (Eds), pp. 327-342, West Africa Rice Development Association (WARDA), Côte d'Ivoire.
- Häfele S.M., Wopereis M.C.S., Donovan C., 2002. Farmers' perceptions, practices and performance in a Sahelian irrigated rice scheme. *Journal of Experimental Agriculture*, 38 : 197-210.
- Poussin J.C., Wopereis M.C.S., Debouzie D., Maeght J.L., 2003. Determinants of irrigated rice yield in the Senegal River valley. *European Journal of Agronomy*, 19 : 341-356.

## ANNEXE 11 : PRDSS

Nom :	<i>Phosphate Rock Decision Support System</i> (Système d'aide à la décision pour l'apport de phosphate naturel)
Auteurs :	Singh U., Wilkens P., Henao J., Chien N., Hellums D. et Hammond L.
Adresse :	IFDC, PO Box 2040, Muscle Shoals, AL 35662, USA
E-mail :	usingh@ifdc.org

PRDSS est un système expert pour estimer l'efficacité agronomique des amendements en phosphate naturel fraîchement appliqués. C'est une base de données qui inclut un grand nombre de sources de phosphate naturel et évalue la faisabilité d'application sous différentes conditions de sols (texture, capacité d'échange de cations et pH), de cultures et de climats. Il prédit l'efficacité agronomique relative (RAE, P absorbé/P apporté) par rapport aux engrais phosphatés solubles (TSP, phosphate super-triple) au cours de la première année de l'application. La version actuelle de PRDSS n'évalue pas l'effet résiduel du phosphate naturel.

### Données nécessaires

- *site* : longitude, latitude ;
- *climat* : pluviométrie annuelle et précipitations au cours du cycle de culture ;
- *sol* : pH, texture, P Bray I, matière organique et CEC.

### Références

Singh U., Wilkens P.W., Henao J., Chien S.H., Hellums D.T., Hammond L.L., 2003. An expert system for estimating agronomic effectiveness of freshly applied phosphate rock, In *Proceedings of the International Workshop on Direct Application of Phosphate Rock and Related Technology: Latest Developments and Practical Experiences*. Kuala Lumpur, Malaysia.

**ANNEXE 12 : ORD**

Nom :	ORD <i>Organic Resource Database</i> (Base de données sur les ressources organiques)
Auteurs :	Tropical Soil Biology and Fertility Programme and Wye College, University of London
Adresse :	TSBF, PO Box 30592, Nairobi, Kenya
E-mail :	tsbfinfo@tsbf.unon.org
Site Internet :	<a href="http://www.wye.ac.uk/BioSciences/soil/">http://www.wye.ac.uk/BioSciences/soil/</a>
Disponibilité :	la base de données ORD peut être téléchargé de l'Internet et est gratuite

La base de données sur les ressources organiques (ORD) contient des informations sur des paramètres de qualité de ressources organiques, dont la teneur en macro-éléments, en lignine et en polyphénol dans les feuilles fraîches, la litière, les tiges et/ou les racines, d'environ 300 espèces des agro-écosystèmes tropicaux. Des données sur le sol et le climat des régions d'origine du matériel sont également incluses, ainsi que les taux de décomposition et de libération d'éléments nutritifs de beaucoup d'intrants organiques.

- Il peut être utilisé par exemple pour :
- aider à sélectionner des ressources organiques dans un but particulier ;
  - élaborer des hypothèses sur les taux de décomposition des ressources organiques basés sur les ratios C/N, teneur en lignine et polyphénol ;
  - constituer une base de données utile pour d'autres modèles et outils d'aide à la décision.

**Référence**

Palm C.A., Gachengo C.N., Delve R.J., Cadisch G., Giller K.E., 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83 : 27-42.

## ANNEXE 13 : SOILPAR

Nom :	SOILPAR <i>Soil Parameters estimate</i> (Estimation de paramètres de sol)
Auteurs :	Marcello Donatelli et Marco Acutis
Adresse :	Research Institute for Industrial Crops, Via di Corticella 133, 40128 Bologna, Italie, tél. + 39 051 6316843, fax + 39 051 37485
E-mail :	<a href="mailto:isci-crop@iol.it">isci-crop@iol.it</a>
Site Internet :	<a href="http://www.isci.it">www.isci.it</a>
Disponibilité :	le logiciel est gratuit pour les organisations sans but lucratif

SOILPAR2.00 est opérationnel sous Windows 98/2000/XP et évalue les paramètres physiques et hydrologiques du sol en utilisant différentes méthodes. Les paramètres hydrologiques peuvent être estimés à partir d'un nombre variable de données de sol communément disponibles (selon la méthode d'estimation) telles que la texture du sol, le carbone organique, le pH du sol et la capacité d'échange en cations (CEC). Différentes méthodes permettent l'estimation de paramètres hydrologiques utilisant des fonctions ou des points de pédotransfert. La courbe caractéristique représentant la relation entre le potentiel matriciel et le contenu en eau du sol peut également être estimée. Les programmes permettent la conversion entre différentes classifications de texture. Une base de données de sol géo-référencées tenue à jour inclut des données estimées et mesurées sur les profils pédologiques. Les sites de ces profils peuvent être visualisés sur un fichier ArcView/ArcInfo.

### Données nécessaires

– paramètres de sol communément disponibles tels que la texture du sol, le carbone organique, le pH du sol et la CEC.

**ANNEXE 14 : Soil Water Characteristics**

- Nom : *Soil Water Characteristics* (Caractéristiques d'eau d'un sol)
- Auteur : K. E. Saxton, USDA/ARS, Pullman, WA 99164-6120
- E-mail : [ksaxton@wsu.edu](mailto:ksaxton@wsu.edu)
- Site Internet : <http://www.bsyse.wsu.edu/saxton/soilwater/>
- Disponibilité : *Soil Water Characteristics* peut être téléchargé de l'Internet et est gratuit

Ce logiciel graphique est utilisé pour estimer les caractéristiques de rétention et de transport d'eau d'un horizon du sol. La variation de la tension hydrique et de la conductivité en fonction de la teneur en eau et les caractéristiques de rétention d'eau qui y sont liées, sont estimées à partir de la texture du sol définie à l'aide d'un triangle graphique de texture du sol. Les caractéristiques de la rétention en eau sont estimées par des équations dérivées et publiées par Saxton *et al.*, 1986.

**Référence**

Saxton K.E. *et al.*, 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50 : 1031-1036.



## ANNEXE 15 : DST Légumineuses

Nom : DST légumineuses : un arbre de décision sur la faisabilité des cultures de légumineuses en Afrique

Auteurs : Breman H. et Reuler H. van

Adresse : IFDC, Africa Division, BP 4483, Lomé, Togo

E-mail : [hbreman@ifdc.org](mailto:hbreman@ifdc.org)

Site Internet : [www.ifdc.org](http://www.ifdc.org)

Disponibilité : les auteurs fournissent cet OAD gratuitement

Cet arbre de décision évalue la faisabilité de la culture des légumineuses sous des conditions biophysiques et socio-économiques qui prévalent en Afrique sub-saharienne. L'arbre de décision prend en considération les facteurs suivants : la prévalence de la déficience en N dans les sols, la déficience en protéines, le rapport de prix entre l'engrais N et P, et l'utilisation prévue pour les légumineuses.

### Référence

Breman H., Reuler H. van, 2002. Legumes: when and where an option? In Integrated plant nutrient management in sub-Saharan Africa: From concept to practice, Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Merckx R. (Eds.), pp. 285-298, CAB International, Wallingford, Oxon, United Kingdom.

**ANNEXE 16 : SARRA-H**

Nom :	SARRA-H Système d'analyse régional des risques agro-climatiques (version habillée)
Auteurs :	Baron C., Bonnal V., Dingkuhn M., Maraux F., Sarr M.
E-mail :	<a href="mailto:vincent.bonnal@cirad.fr">vincent.bonnal@cirad.fr</a>
Site Internet :	pas encore disponible
Disponibilité :	SARRA-H est disponible sur une base de collaboration sous contrat de licence. Chaque année le CIRAD donne des cours de formation. Le modèle n'est actuellement disponible qu'en français (documentation sur CD-ROM sur demande)

SARRA-H est un modèle de culture qui simule le rendement et la production de biomasse en situation d'eau et de rayonnement limitants, et ce, en fonction de la densité de semis et de la photopériode. Le modèle a été développé pour les zones semi-arides d'Afrique de l'ouest. Le logiciel, écrit en langage DELPHI, opère sous MS-Windows, combine des modèles et des bases de données, et offre une vaste interface graphique. Il permet de trouver des dates de semis optimales mais il est également possible d'imposer les dates de semis.

La version SARRA-H, actuellement disponible, est destinée aux céréales pluviales, mais des versions prototype existent déjà pour l'arachide et le palmier à huile, et une gamme plus large de cultures est prévue à terme, parmi lesquelles le coton et le riz irrigué. Ces modèles peuvent être utilisés au niveau régional pour évaluer l'impact des variations climatiques à différentes échelles temporelles et physiques, mais également au niveau des parcelles pour mesurer des écarts de rendements (rendements réels ↔ rendements possibles ↔ rendements potentiels) pour tester des règles de décision pour les dates de semis (basées sur les précipi-

tations locales observées, les signes régionaux de l'arrivée de la mousson, ou toute autre type de règle) et pour le choix des types variétaux (p.ex. le degré de sensibilité à la photopériode).

SARRA-H est la version « habillée » de SARRA, un modèle beaucoup plus simple du bilan hydrique des cultures, utilisé pour le zonage agro-écologique et la caractérisation des stress de la culture au niveau de la parcelle.

### **Données nécessaires**

#### ***Pour SARRA :***

- précipitations quotidiennes, évapotranspiration potentielle ;
- durée des différentes phases de croissance en jours ;
- valeur maximale du coefficient de culture  $K_c$  (max).

#### ***Pour SARRA-H :***

- précipitations quotidiennes, évapotranspiration potentielle, radiation solaire et température ;
- capacité de rétention en eau du sol dans la zone racinaire ;
- peuplement initial ou densité de semis ;
- paramètres de culture pertinents pour des cultures/variétés qui diffèrent du calibre prédéfini (p.ex. températures cardinales, sensibilité à la photopériode, durée thermique de la phase juvénile, surfaces foliaires spécifiques minimales et maximales, efficacité maximale de l'utilisation de radiation).

### **Références**

- Affholder F., 1997. Empirically modelling the interaction between intensification and climatic risk in semiarid regions. *Field Crops Research*, 52 : 79-93.
- Baron C., Reyniers F.N., Clopes A., Forest F., 1999. Applications du logiciel SARRA à l'étude de risques climatiques. *Agriculture et Développement*, 24 : 89-97.

- Baron C., Clopes A., Perez P., Muller B., Maraux F., 1996. *Manuels d'utilisation de : SARRAMET 45 p, SARRABIL 35 p et SARRAZON 29 p*, CIRAD, Montpellier, France.
- Girard X., Baron C., Cortier B., 1991. *DHC version 4. Logiciel de Diagnostic Hydrique des Cultures. Manuel d'utilisation*. AGRHYMET, Niamey, Niger.
- Maraux F., Baron C., Forest F., Imbernon J., Ouaidrari H., 1994. *Prévisions de rendement du mil en Afrique Sahélienne; l'expérience du CIRAD*. FAO, Colloque Villefranche sur mer, 24-27 octobre 1994.
- Samba A., 1998. Les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures. Prédiction des rendements du mil en zones soudano-sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest. *Sécheresse*, 9 : 281-288.
- Samba A., Sarr B., Baron C., Gozé E., Maraux F., Clerget B., Dingkuhn M., 2001. La prévision agricole à l'échelle du Sahel. In *Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision*, Malézieux E., Trébuil G, Jaeger M. (Eds.), pp. 243-262., CIRAD et INRA, Montpellier, France.



### **Ecoregional fund (Fonds éco-régional)**

Le Fonds d'appui méthodologique aux programmes éco-régionaux appuie les initiatives éco-régionales qui visent le développement et la mise en œuvre d'une agriculture durable et productive, le développement rural et la gestion des ressources naturelles. Cela passe par l'appui (1) à des méthodologies de recherche sur le thème de l'éco-régionalité et (2) à la mise en œuvre de nouvelles méthodes de gestion des ressources naturelles et de développement rural dans un cadre éco-régional. Depuis sa création en 1995, le Fonds a appuyé 10 projets en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie. Le Fonds éco-régional est géré par le Service international pour la recherche agricole nationale (*ISNAR, International Service for National Agricultural Research*) et est accessible par Internet à l'adresse suivante : [www.cgiar.isnar.org](http://www.cgiar.isnar.org).

### **IFDC**

L'IFDC (un Centre international pour la fertilité des sols et le développement agricole) est un organisme public, international, fondé en 1974 pour contribuer à la recherche en vue d'une sécurité alimentaire globale. La mission de ce Centre à but non lucratif est d'accroître la productivité agricole à travers le développement et le transfert de technologies de nutrition des plantes, efficaces et respectueuses de l'environnement, et l'expertise en commercialisation agricole.

### **CTA**

Le Centre technique de coopération agricole et rurale a été créé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les états du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et les états membres de l'Union européenne. Depuis 2000, le CTA exerce ses activités dans le cadre de l'Accord de Cotonou ACP-CE.

Le CTA a pour mission de développer et de fournir des services qui améliorent l'accès des pays ACP à l'information pour le développement agricole et rural, et de renforcer les capacités de ces pays à produire, acquérir, échanger et exploiter l'information dans ce domaine. Les programmes du CTA sont conçus pour : fournir un large éventail de produits et services d'information et mieux faire connaître les sources d'information pertinentes ; encourager l'utilisation combinée de canaux de communication adéquats et intensifier les contacts et les échanges d'information, entre les acteurs ACP en particulier ; renforcer la capacité ACP à produire et à gérer l'information agricole et à mettre en œuvre des stratégies de gestion de l'information et de la communication, notamment en rapport avec la science et la technologie. Le travail du CTA tient compte de l'évolution des méthodologies et des questions transversales telles que le genre et le capital social.

Ce livre a été réalisé pour aider les chercheurs en agriculture et les agents de vulgarisation à choisir et à utiliser des outils qui facilitent la prise de décision pour améliorer la gestion de la fertilité des sols et la productivité agricole. Ces outils peuvent utilement compléter les méthodes traditionnelles de recherche et de développement, car ils prennent mieux en compte la diversité et la dynamique des systèmes de production et peuvent aisément être utilisés pour fournir des diagnostics et des analyses adaptés aux conditions locales et pour identifier les meilleures options de gestion.

Ce livre présente une large gamme d'outils, de la cartographie relativement simple des flux de nutriments à des modélisations de culture plus complexes. Les études de cas, pour la plupart en Afrique sub-saharienne, donnent des exemples pratiques de l'utilisation de ces outils. Un chapitre introductif aide le lecteur à trouver l'outil qui convient à un sujet particulier. Les annexes fournissent des informations plus détaillées sur chacun des outils, en particulier une brève description et les coordonnées des personnes qui l'ont développé.

Ce livre est un produit du projet COSTBOX (*A Client-Oriented Systems Tool Box for Technology Transfer Related to Soil Fertility Improvement and Sustainable Agriculture in West Africa* : une gamme d'outils systèmes au service des utilisateurs pour le transfert de technologies liées à l'amélioration de la fertilité des sols et à l'agriculture durable en Afrique de l'Ouest), conduit par l'IFDC de 1999 à 2002 et financé par le Fonds éco-régional d'appui aux initiatives méthodologiques (*Ecoregional Fund to Support Methodological Initiatives*). La publication a été cofinancée par le Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE (CTA).

