

## 15

### **Le zai, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso)**

E. ROOSE <sup>1</sup>, V. KABORE <sup>1</sup>, C. GUENAT <sup>2</sup>

1. *ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 1, France*

2. *Laboratoire de Pédologie, IATE, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse*

La lutte contre la dégradation des sols et la réhabilitation de leur couverture végétale représente un enjeu capital pour les populations du Sahel. Elle se traduit depuis plusieurs décennies par le déploiement de projets de conservation des eaux et des sols dans l'ensemble de la région soudano-sahélienne. La plupart de ces projets se sont développés sur la base de solutions importées, sans grande considération des réalités régionales, et parfois même au mépris des "savoir-faire" des populations locales. Or, l'introduction de ces "recettes", importées le plus souvent des pays tempérés industrialisés, se heurte non seulement à des difficultés techniques d'adaptation, mais aussi à des obstacles culturels et économiques qui conduisent, à plus ou moins long terme, au rejet des méthodes classiques de conservation des sols (CES et DRS).

Face à une telle situation, confirmée par plusieurs études [1-3], certaines techniques ancestrales pourraient représenter, dans le domaine de la gestion conservatoire des eaux et des sols, une alternative, dans la mesure toutefois où ces pratiques sont analysées scien-

tifiement, améliorées et réactualisées en fonction de l'évolution démographique et socio-économique des régions semi-arides.

Il en est ainsi du *zai*, forme particulière de culture en poquets dans des micro-bassins, dont l'application aux *zipellés*, surfaces pédologiques encroûtées fortement dégradées, pourrait constituer une solution simple de restauration de la productivité des terres dégradées et de réhabilitation agroforestière de leur couverture végétale dans la zone soudano-sahélienne.

Nos travaux de recherches portent sur cette technique de culture traditionnelle réapparue au Yatenga dans les années 1980 à la suite des périodes de sécheresse connues dans l'ensemble du Sahel. Dans cette communication, nous présentons d'abord les causes de la dégradation des sols cultivés et les six règles à respecter pour restaurer leur productivité. Ensuite, nous décrivons la technique complexe du *zai* telle qu'elle nous est apparue lors des enquêtes et des observations de terrain. Enfin, nous donnons les résultats de deux expérimentations agronomiques visant à tester l'efficacité des composantes de cette pratique sur l'amélioration de la productivité des terres dégradées.

## Les causes de la dégradation des sols

Sur la Figure 1, on peut constater la nature profonde de la dégradation des terres cultivées : il s'agit du déséquilibre du bilan des matières organiques et minérales, induit par le défrichement et les travaux culturaux et accéléré par le ruissellement, l'érosion et la lixiviation par les eaux de drainage.

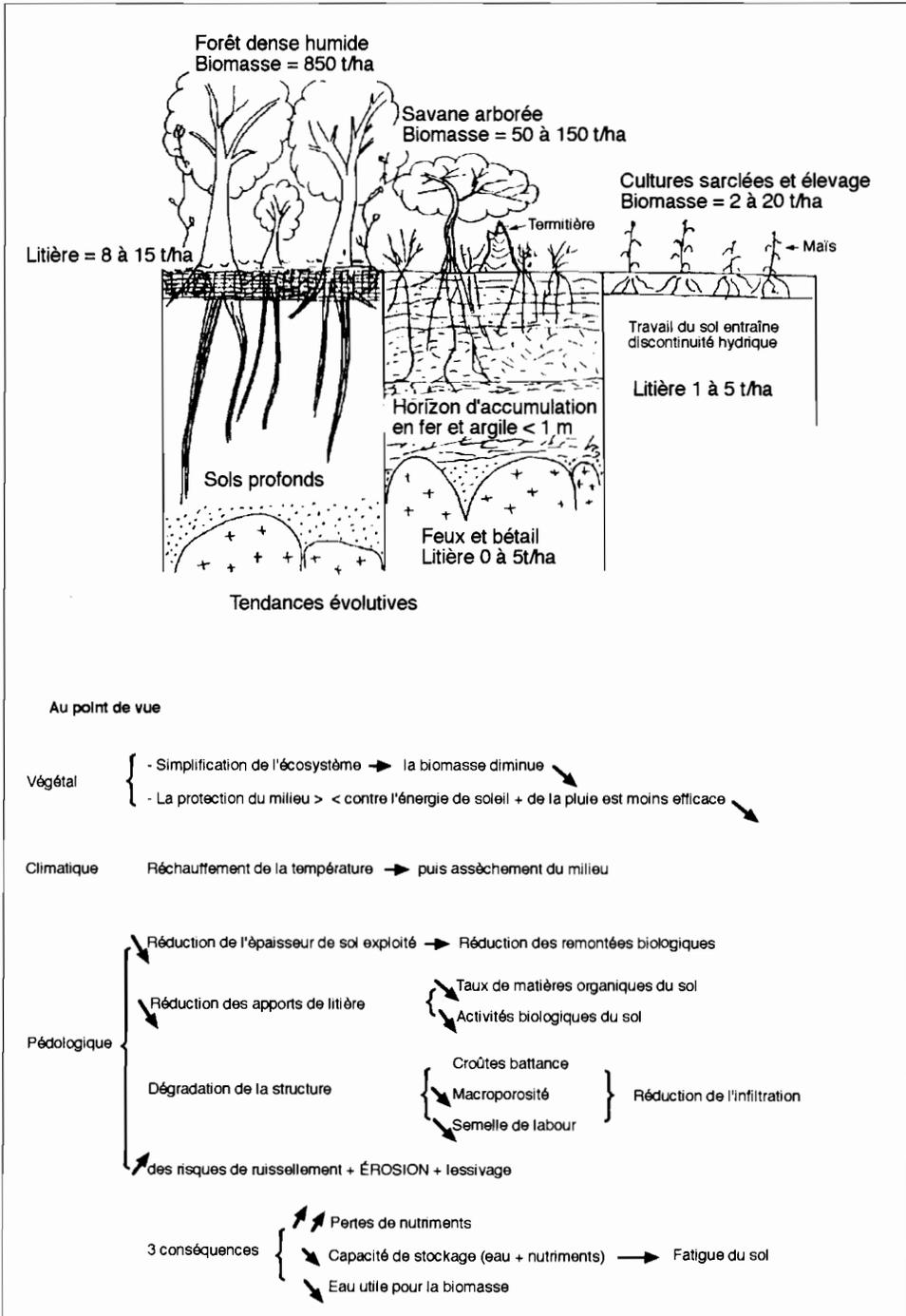
La culture entraîne nécessairement une simplification de l'écosystème, une réduction de production de la biomasse, en particulier des litières et, par conséquent, la réduction du taux de matières humiques du sol, des activités biologiques de la mésofaune et de la structure des horizons superficiels. Il s'ensuit une augmentation des risques de ruissellement, d'érosion et de lixiviation des éléments nutritifs.

Le déséquilibre organique et minéral entraîne la dégradation de la structure, la réduction de la capacité du sol à stocker l'eau et les nutriments, une augmentation des coûts de production et une baisse de la rentabilité des travaux culturaux devenus nécessaires pour maintenir la porosité et lutter contre les adventices : les sols "fatigués" sont abandonnés à la jachère.

## Les sols dégradés sont-ils récupérables ?

Beaucoup de pédologues disent que "les sols sont une ressource non renouvelable". En effet, il faut 100 000 ans pour altérer un mètre de granite en région tropicale, tandis qu'il suffit de 100 ans pour l'éroder. De plus, les sols peu épais sur roche dure ou sur cuirasse ne sont plus récupérables, à l'échelle humaine, une fois que l'horizon superficiel est décapé. Enfin, en zone aride, la restauration de la fertilité des sols est très lente.

Cependant, il existe de nombreux sols profonds sur la terre qui ont perdu leur horizon humifère, qui sont exposés à l'ardeur du soleil et à la battance des pluies, et sur lesquels rien ne pousse : c'est le cas des *zipellés* du plateau Mossi, des *hardés* du Nord Cameroun, etc.



**Figure 1.** Nature des problèmes : le déséquilibre du milieu "aménagé" entraîne la dégradation des sols, puis l'érosion s'accélère. (D'après Roose, 1994, Bull. Pédologique FAO n° 70).

La voie traditionnelle de la jachère est très longue : 10 ans pour récupérer la faible fertilité initiale des sols sous les tropiques humides, 30 à 50 ans en zone soudanienne et plus encore en zone sahélienne [4].

Mais il existe aussi des voies rapides qui respectent les “six règles pour restaurer la productivité agricole des terres” :

1) maîtriser le ruissellement et l'érosion, sans quoi les fertilisants sont entraînés par les eaux ;

2) restaurer la macroporosité et l'enracinement profond des cultures (travail profond) ;

3) stabiliser les macropores en enfouissant des matières organiques, de la chaux ou du gypse ;

4) revitaliser la couche superficielle du sol par l'apport de 3 à 10 t/ha de fumier ou compost fermenté ;

5) rétablir un pH supérieur à 5 pour supprimer les toxicités aluminiques, manganiques, etc. ;

6) corriger les carences du sol, ou plutôt, fournir aux cultures les compléments minéraux indispensables pour une production optimale de biomasse.

On retrouve ces six règles dans la pratique traditionnelle du *zai* présentée ci-après.

## Présentation du contexte de l'étude

L'étude se déroule dans les provinces du Yatenga et du Passoré situées dans la partie septentrionale du Burkina Faso. Cette région connaît un climat soudano-sahélien marqué par une longue saison sèche dont l'aridité est encore accusée par un vent saharien : l'harmattan.

La saison pluvieuse courte (de juin à septembre) est caractérisée par une forte variabilité inter-annuelle qui se manifeste aussi bien dans le temps que dans l'espace. Les moyennes pluviométriques des dix dernières années se situent entre 400 et 700 mm/an et l'évapotranspiration potentielle à plus de 1 900 mm.

La morphologie régionale (Figure 2) présente une surface ondulée, dominée par des collines et des buttes cuirassées, un court escarpement de blocs et un long glacis à pente faible (3 % à 1%) d'abord gravillonnaire, puis sablo-limoneux sur carapace, enfin limono-argileux dans les bas-fonds très évases. De façon générale, la succession butte-glacis-bas-fond contrôle la répartition des sols, de la végétation naturelle, et l'utilisation de l'espace par l'homme.

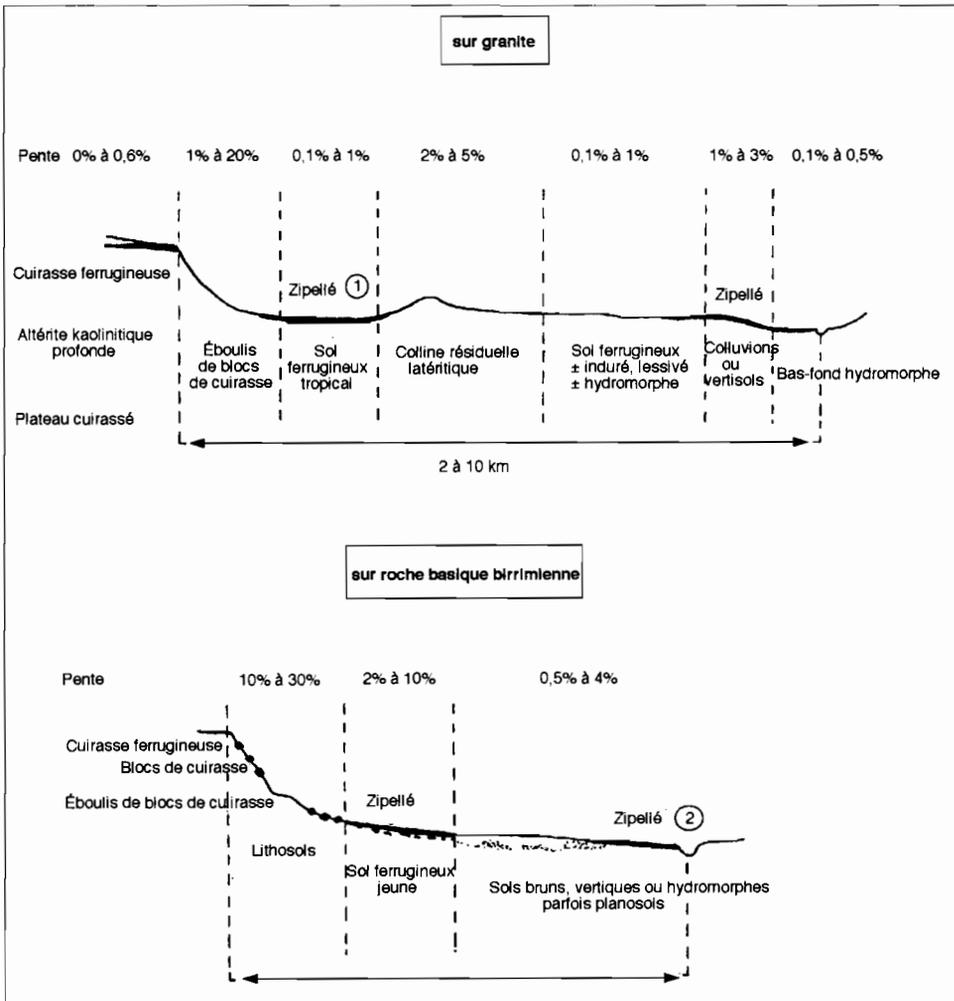
Les sols de la zone concernée ont été étudiés par l'ORSTOM [5]. Les grands types de sols répertoriés sont les suivants :

- les sols minéraux bruts occupent les sommets des collines, les affleurements cuirassés et les parties supérieures des hauts glacis ;

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés, indurés, couvrent de vastes superficies sur les glacis ;

- les sols hydromorphes dans les bas-fonds, peu étendus ;

- les sols brunifiés se sont développés sur les matériaux argileux à argilo-sableux hérités de l'altération des roches vertes, également peu répandus.



**Figure 2.** Deux toposéquences typiques sur le plateau Mossi. Deux positions des *zipellés* : au pied de la colline sur le glacis gravillonnaire ou limono-sableux (croûte de colluvion ou érosion) ; près du bas-fond avec des croûtes de sédimentation lors du débordement des marigots.

Plusieurs études réalisées au Burkina [6] décrivent les principales contraintes agronomiques liées aux caractéristiques des sols ferrugineux de la zone concernée. Il s'agit de :

- la mauvaise stabilité structurale des horizons superficiels liée à leur richesse en limons et sables fins et à leur faible teneur en matière organique ;
- leur profondeur exploitable limitée souvent par une cuirasse ferrugineuse ;
- leur faible teneur en azote, phosphore et potassium ;
- leur faible capacité d'échange cationique et leur tendance à l'acidification ;
- leur faible réserve en eau utile, surtout sur sol gravillonnaire (inférieure à 60 mm/m).

Ces contraintes sont d'autant plus marquées qu'elles sont associées à des sécheresses périodiques, à des techniques culturales rudimentaires et à l'extension des cultures sur les sols superficiels du sommet de la toposéquence.

Concernant la capacité d'investissement des unités agricoles, on peut noter l'aggravation ces dernières années de la pénurie de main-d'œuvre liée non seulement aux migrations (Billaz [7] estimait en 1980 que, pour la tranche d'âge de 20 à 40 ans, plus de 40 % des hommes sont partis), mais également en raison des sites aurifères qui mobilisent l'essentiel de la main-d'œuvre en saison sèche au détriment des aménagements fonciers. Dans certaines unités, la majorité de la force de travail est actuellement constituée d'actifs féminins (plus de 60%), d'hommes âgés (plus de 45 ans) et d'enfants de moins de 16 ans [8]. Par ailleurs, les spéculations végétales restent marginales dans la zone d'étude et ne constituent pas à proprement parler des cultures de rente : céréales, arachide, sésame, niébé sont en grande partie autoconsommés ; la culture du coton est quasi inexistante. Le processus de capitalisation repose donc essentiellement sur l'élevage et les revenus des migrants de moyenne durée (1 à 3 ans). Cependant, ces ressources monétaires sont souvent mobilisées pour l'achat de céréales de subsistance afin de compenser les déficits des mauvaises saisons. Les possibilités d'investissement dans le secteur agricole sont donc très limitées, d'autant plus que ces investissements apparaissent, aux yeux des paysans et surtout des migrants, peu rentables et souvent risqués (sécheresse, mortalité du bétail...) [8]. En règle générale, l'agriculture est tournée presque exclusivement vers la production céréalière extensive de subsistance familiale.

## Description de la pratique du *zai*

Il ne s'agit pas ici d'admirer, à la façon de J.J. Rousseau, des techniques ancestrales abandonnées de nos jours, car elles ne sont plus adaptées aux conditions actuelles (population 5 fois plus dense, salaires plus élevés en ville, etc.). Il s'agit de comprendre le fonctionnement des pratiques traditionnelles, les raisons de leur diversité, de leur extension à la zone soudano-sahélienne, de leur réussite en pays Mossi (Burkina), en pays Dogon (Mali) et dans la vallée de Keita (Niger) et ailleurs, de leur échec (engorgement du sol si la pluie dépasse 1 000 mm par an en zone soudanienne du Cameroun). L'analyse fine de ces pratiques devrait permettre de les améliorer en y injectant des technologies modernes telles que la fertilisation minérale d'appoint, les herbicides, les graines sélectionnées et la mécanisation des travaux durs. Inversement, l'observation des pratiques traditionnelles peut nous aider à améliorer notre diagnostic sur l'environnement physique et humain.

En langue Mooré, *zai* vient du mot "zaiégré" qui veut dire "se lever tôt et se hâter pour préparer sa terre". Il s'agit en effet de récupérer des terres abandonnées, dégradées par une succession de cultures, complètement dénudées, décapées et encroûtées où le ruissellement est si fort qu'il emporte les graines et les résidus organiques qui pourraient régénérer la jachère. D'après Marchal (1986), ces zones désertifiées malgré 400 à 700 mm de pluie ont crû de 11 % en 20 ans.

Le *zai* aurait été utilisé anciennement par les agriculteurs les moins nantis, ne disposant que de terres pauvres et peu de moyens de production. Cette technique aurait été abandonnée à la suite de périodes d'abondance (1950-1970), de l'éclatement des familles, de la mécanisation de la préparation des nouveaux champs, de l'aménagement des bas-fonds, etc.

La Figure 3 décrit en détail la méthode du *zai* et une variante agroforestière. Cette pratique consiste à préparer la terre très tôt dans la saison sèche, en creusant tous les 70 à 100

cm des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre, de 10 à 15 cm de profondeur en rejetant la terre en croissant vers l'aval, en vue de capter les eaux de ruissellement. La surface restante est encroûtée et sert d'impluvium dont le rapport de surface varie de 10 à 25 [9] (Roose, 1990).

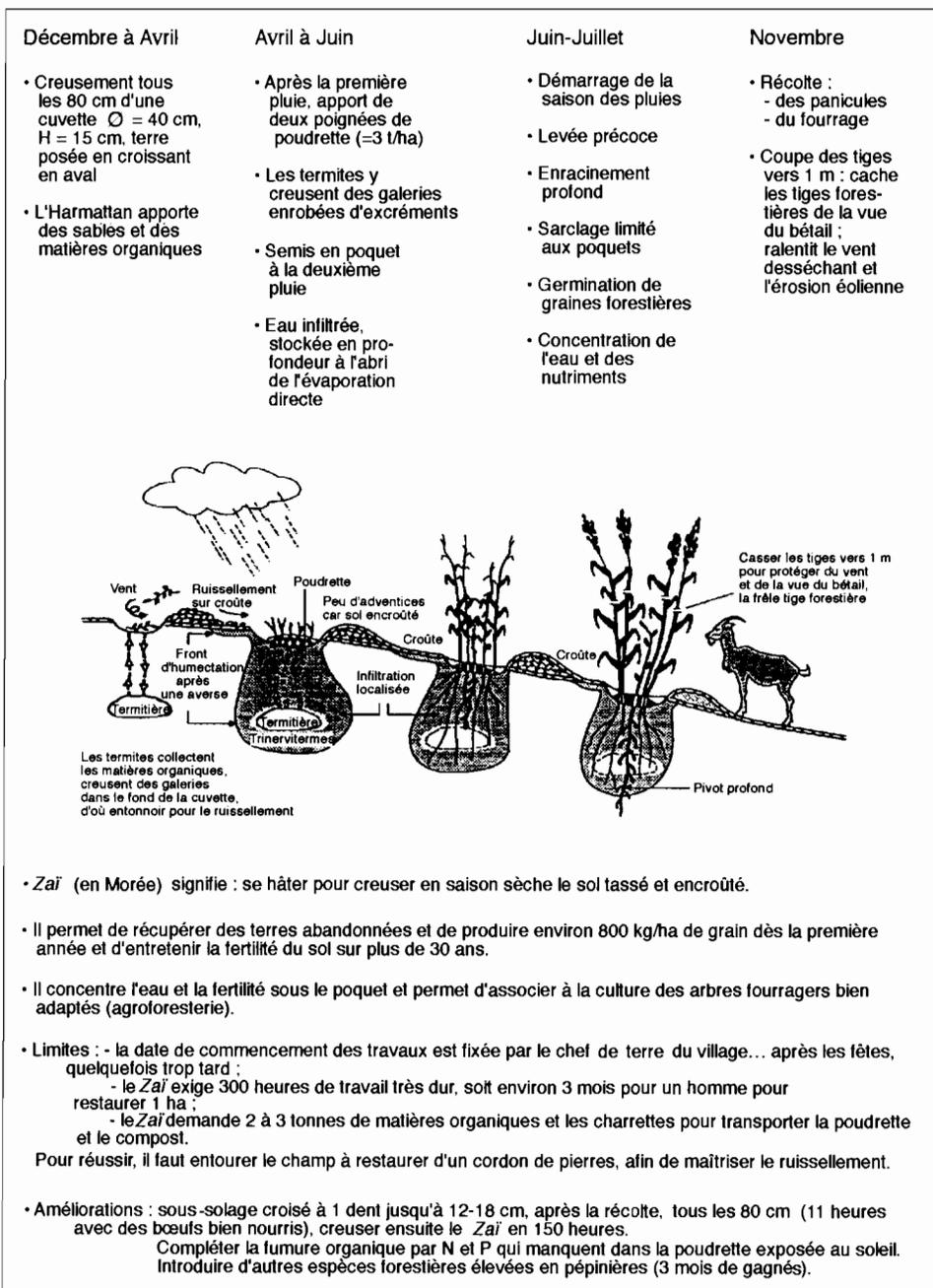


Figure 3. Le zaï : méthode traditionnelle de restauration des sols. (D'après Roose et Rodriguez 1990.)

La taille des poquets augmente en zone gravillonnaire et diminue sur le glacis limono-argileux moins drainant [10]. Ces micro-bassins piègent des sables, des limons et des matières organiques emportés par les vents du désert. L'ensemble du champ est entouré d'un cordon de pierres pour maîtriser le ruissellement très violent sur ces terres encroûtées.

Dès les premières pluies du mois d'avril, le paysan y dépose une ou deux poignées de poudrette (soit environ 1 à 3 t/ha de matières organiques sèches) formée d'un mélange mal décomposé de fèces, de litières, de compost, de branchettes, de cendres et d'autres résidus ménagers. Les termites du genre *Trinervitermes*, attirées par les matières organiques, creusent des galeries au fond des cuvettes qu'elles transforment en entonnoirs. Les eaux de ruissellement s'y engouffrent et créent des poches d'humidité en profondeur, à l'abri de l'évaporation rapide. La pratique complexe du *zai* permet donc de concentrer localement l'eau enrichie par le ruissellement et les nutriments transformés par les termites.

Après un orage, la famille y sème en poquets, une douzaine de graines de sorgho sur les terrains lourds, ou du mil dans les terres sableuses ou gravillonnaires : leur force réunie permettra aux petites graines de soulever la croûte de sédimentation qui se dépose au fond des cuvettes. Ces techniques de préparation des terres dégradées (*zipellé* veut dire terre encroûtée, blanchie et stérile) réduisent l'importance du sarclage à la surface des poquets (tout au moins la 1<sup>re</sup> année) et permettent de produire de 500 à 1 000 kg de céréales et autant de paille en fonction des pluies. Les années suivantes, ou bien le paysan ouvre de nouveaux trous entre les premiers et y dépose une nouvelle dose de poudrette, ou bien s'il est pressé ou manque de fumier, il arrache la souche de sorgho, la pose sur la surface encroûtée voisine (où elle va être attaquée par les termites), remue le fond de la cuvette et sème directement la culture de son choix, en poquets.

Ce système n'accélère pas la dégradation des sols. Au contraire, au bout de 5 ans, l'ensemble de la surface a été cultivée ou améliorée par les termites qui perforent les croûtes à la recherche des résidus organiques de telle sorte que l'ensemble du champ peut être labouré et soumis aux rotations traditionnelles. Il permet de maintenir dans le poquet la fumure organique (surtout si le paysan la recouvre d'une poignée de terre) qui a tendance à être emportée par le ruissellement.

En réalité, chaque paysan a sa propre version du *zai* qu'il adapte aux conditions locales. Certains paysans astucieux ont observé une douzaine d'espèces de graines forestières dans les poudrettes : ils conservent lors du sarclage un poquet sur cinq colonisé de plantules forestières qui durant la première année sont protégées de la vue des chèvres par les tiges de mil ou de sorgho, coupées au-delà de la hauteur du bétail. Ces arbustes fourragers, généralement des légumineuses fixatrices d'azote, arrivent en une dizaine d'années à recoloniser les zones désertifiées, tout en entretenant la production de céréales entre les arbres menés en perchis.

Les avantages du *zai* concernent principalement la capture des eaux de ruissellement, la préservation des semences et de la fumure organique, la concentration de la fertilité et des eaux disponibles au début de la saison des pluies (plantation précoce) et en fin de saison (remplissage des grains). L'augmentation de la rugosité de la surface du champ permet de ralentir le ruissellement et le vent au ras du sol, de capturer au fond des cuvettes les débris organiques et les particules fines transportées en suspension et de protéger les jeunes plantules. La pratique du *zai* apporte encore un regain des activités biologiques du sol : avance de croissance des plantules qui profitent de la minéralisation du fumier apporté en fin de

saison sèche, perforation de la croûte par les termites et régénération de la végétation ligneuse. Les poudrettes, en effet, contiennent les graines de diverses espèces consommées par le bétail qui, préparées par les acides gastriques des ruminants, germent rapidement et profitent de l'apport exceptionnel d'eau et de nutriments ainsi que de la protection des tiges de céréales, pour réinstaller un taillis agro-sylvo-pastoral à base de *Balanites aegyptiaca*, divers *Acacias* et *Combretum* sp., *Piliostigma reticulatum*, *Sclerocarya birrea*, *Adansonia digitata*, *Lannea acida*, etc. (Roose, 1990). Enfin, le zaï permet d'augmenter les surfaces cultivées et les rendements des céréales, sauf lors des années exceptionnellement sèches, ou les années où les pluies sont bien réparties, mais dans la majorité des années où les cultures ont à subir le stress de périodes déficitaires pendant les périodes sensibles de leur cycle (tallage, épiaison, floraison, remplissage des grains). Le zaï peut donc réduire l'impact négatif des aléas climatiques et sécuriser la production.

Cependant, la pratique du zaï connaît aussi des limites. Elle peut réduire l'impact d'une sécheresse de 2 à 3 semaines si le sol peut stocker suffisamment d'eau (ce qui n'est pas le cas des sols trop superficiels ou trop caillouteux), mais le zaï ne peut fonctionner de façon satisfaisante s'il ne pleut pas assez (minimum 400 mm avec une capacité de stockage du sol de 50 mm). De même, s'il pleut trop, la culture va souffrir d'engorgement au fond des cuvettes et les nutriments vont être lixiviés (observé au Cameroun). La zone optimale d'application du zaï semble limitée à la zone soudano-sahélienne (entre 400 et 800 mm) mais cela devrait encore être précisé en fonction des plantes et des sols. Même dans la zone soudano-sahélienne, l'extension du zaï est limitée par la disponibilité en main d'œuvre et en fumier.

Le zaï exige 300 heures de travail très dur à la pioche traditionnelle (manche court et angle trop fermé entre le fer et le manche), soit environ 3 mois pour aménager un hectare (à raison de 4 heures pendant 25 jours par mois). Il demande en outre la fabrication et le transport de 3 t/ha de "poudrettes", ainsi que la confection d'un cordon de pierres autour du champ pour maîtriser le ruissellement (donc nécessité d'une charrette et d'une abondante main d'œuvre).

Roose et Rodriguez [11] ont proposé deux améliorations. D'une part, un sous-solage croisé, tous les 80 cm, avec une dent pénétrant jusqu'à 12 à 18 cm sous la croûte, juste après la récolte : ceci prend 11 heures/ha avec des boeufs bien nourris grâce aux résidus de récolte disponibles à cette époque ; dans ce cas, le temps nécessaire au creusement du zaï est réduit de moitié. Mais rares sont les paysans qui possèdent une paire de bœufs en bon état en saison sèche, et le coût du tracteur est prohibitif. Une autre amélioration possible est d'apporter un complément minéral. La poudrette en effet est très pauvre en azote et en phosphore (voir Tableau I). En maintenant plus longtemps le bétail à l'étable, à l'ombre sur sa litière, on améliore la qualité du "fumier" qui fait cruellement défaut dans cette zone semi-aride.

Les résultats exposés au chapitre 17 montrent qu'un petit complément minéral (N40 + P10) permet de doubler la production de biomasse. Cependant, très peu de paysans ont recours aux engrais minéraux en raison de leur prix, du risque de tout investissement monétaire en zone aride, mais aussi par crainte de brûler les cultures si les pluies s'arrêtent. Pour parer à ce risque, on peut attendre que la saison soit bien installée et n'appliquer la fumure minérale en petites doses complémentaires qu'aux moments critiques de la culture (épiaison, floraison). L'amélioration de la fumure organique par enrichissement en phosphate tricalcique naturel broyé est plus sécurisant.

**Tableau I.** Résultats d'analyse des amendements organiques.

	C <sub>T</sub> (%)	N <sub>T</sub> (%)	K <sub>T</sub> (%)	P <sub>T</sub> (%)	C/N	C/P	C <sub>a</sub> <sup>++</sup> (mEq/100g)	M <sub>g</sub> <sup>++</sup> (mEq/100g)	K <sup>+</sup> (mEq/100g)	Na <sup>+</sup> (mEq/100g)
Compost	7,5	0,7		0,05	10,3	150,8	14,9	5,3	1,2	0,6
Fumier	17,4	0,3		0,05	47	248	6,5	3,3	16,2	2,3
Feuilles de <i>Piliostigma</i>	55,5	1,4	2,8	0,11	38	505,2				
Feuilles de <i>Azidarachta</i>	52,9	2,7	7,3	0,16	19,6	331				

## Le *zai* et la production agricole des sols dégradés

L'expérimentation agronomique menée pendant deux ans cherche à tester les possibilités d'améliorations de la productivité agricole des sols dégradés par la technique du *zai*. L'effet du *zai*, notamment le travail du sol (creusement de poquet) et l'apport d'amendements organiques et minéraux, sur la production agricole est apprécié au travers des mesures de rendements (biomasse et graines) d'une culture pluviale de sorgho (variété IRAT 204). L'impact sur la revégétalisation est évalué au travers d'un inventaire, lors de la deuxième année, des différentes espèces d'herbacées apparues dans les parcelles.

### Matériel et méthodes

Les essais ont été menés sur deux sites (*zipellés*) correspondant à deux types de sols représentatifs des sols dégradés de la région : un sol ferrugineux tropical lessivé, tronqué sur cuirasse à 30 cm, et un sol brun eutrophe profond de plus de 120 cm, peu évolué sur schistes verts et colluvions (Tableau II).

**Tableau II.** Caractéristiques physico-chimiques des deux types de sol.

Types de sol	C <sub>T</sub> (%) (Casumat)	N <sub>T</sub> (%) (Kjeldahl)	P <sub>(ppm)</sub> (Bray I)	Cations échangeables (Extraction KCl) (mEq/100g)		
				Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>
Sol ferrugineux	1,1	0,07	0,32	4,3	0,7	0,11
Sol brun	0,7	0,06	0,31	14,1	4,6	0,09

Types de sol	pH eau	T=CEC (mEq/100g)	S (mEq/100g)	Granulométrie (%)		
				Argile	Limon	Sable
Sol ferrugineux	5,5	5,7	5,1	24,3	38,4	37,6
Sol brun	5,9	20,3	18,8	37,4	37	25,8

Les données pluviométriques sont mentionnées sur le Tableau III.

Le dispositif expérimental utilisé est une "randomisation simple". Il comporte six traitements et six répétitions constituant des blocs. Chaque bloc est constitué de six parcelles correspondant aux six traitements suivants :

- T : témoin semé selon la méthode traditionnelle ;
- P : creusement de poquets uniquement ;
- F : enfouissement de 3 t/ha (100 g/poquet) de matière organique fraîche (feuille de *Azadiracta indica*) ;
- C : compost dosé à 3t/ha (100 g/poquet) ;
- E : engrais minéral NPK (12-24-12) dosé à 80 kg/ha ;
- CE : compost dosé à 3 t/ha + engrais minéral NPK (12-24-12) dosé à 80 kg/ha.

**Tableau III.** Pluviométrie et nombre de jours de pluies enregistrés en 1992 et 1993.

Sites	1992		1993	
	Hauteur de pluie (mm)	Nbre de jours	Hauteur de pluie (mm)	Nbre de jours
Sol ferrugineux	706	27	632	23
Sol brun	563	40	466	34

## Résultats et discussions

### *Impact sur les rendements*

Les résultats qui sont présentés ne concernent que la production en grains de sorgho. Les graphiques des rendements en biomasse aérienne ont approximativement la même allure.

#### *Cas du sol ferrugineux*

Le Tableau IV et la Figure 4 illustrent les rendements en grains sur le sol ferrugineux lors des deux années d'expérimentation. D'une manière générale, on constate au niveau des moyennes que :

- tous les traitements ont entraîné une augmentation des rendements par rapport au témoin aussi bien en 1992 qu'en 1993 ;
- ces rendements ont chuté en 1993 de l'ordre de 50 % par rapport à 1992 pour tous les traitements y compris le témoin ;
- le "poquet simple" (P) a permis en première année de doubler les rendements par rapport au témoin, mais lors de la deuxième année, le rendement issu de ce traitement n'est pas significativement différent de celui du témoin ;
- l'enfouissement de feuilles qui, en première année, n'a pas permis une augmentation significative des rendements par rapport au "poquet simple", s'est révélé plus efficace lors de la deuxième année, avec une moyenne de rendements deux fois supérieure ;

- l'apport de compost a entraîné une amélioration significative des rendements, aussi bien en 1992 qu'en 1993. La moyenne de 1992 est même supérieure à la moyenne régionale (600 kg/ha) obtenue sur des terres habituellement cultivées ;

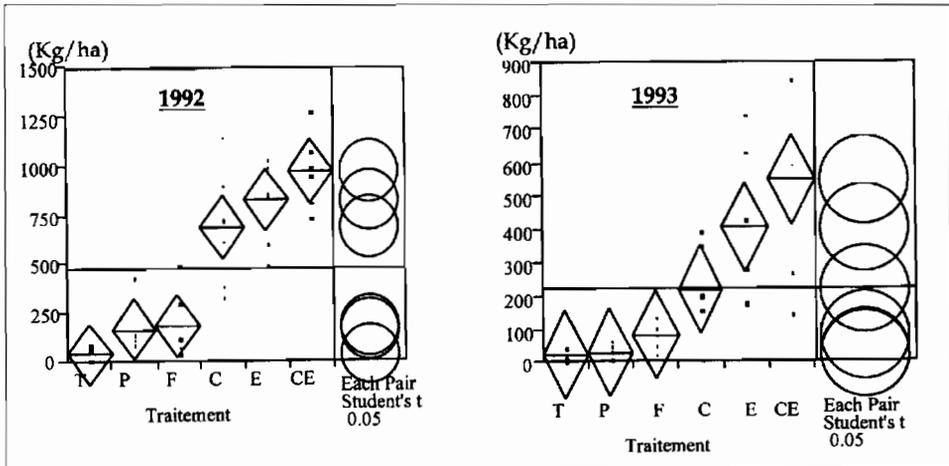
- l'apport d'engrais minéral a permis des augmentations spectaculaires des rendements lors des deux années, et son association à l'amendement organique produit le rendement le plus élevé de tous les traitements.

**Tableau IV.** Rendements en grains du sorgho sur le sol ferrugineux en 1992 et 1993.

Traitements	Rendement en grains (kg/ha)			
	1992		1993	
	X	$\Delta$	X	$\Delta$
T	63	31,30	22	17,11
P	150	119,94	29	22,80
F	184	164,69	83	35,98
C	690	48,57	257	127,54
E	829	203,92	408	217,38
CE	976	173,25	550	265,35

X = Moyenne

$\Delta$  = Ecart type



**Figure 4.** Rendement en grains du sorgho sur le sol ferrugineux en 1992 et 1993.

Cas du sol brun

Les rendements en grains sur le sol brun sont illustrés par le Tableau V et la Figure 5.

On peut y percevoir une certaine similitude avec ceux traduisant les rendements sur le sol ferrugineux. Nous nous limiterons donc dans ce commentaire à relever essentiellement les différences.

Dans l'ensemble, les rendements sont bien meilleurs sur le sol brun profond que sur le sol ferrugineux superficiel.

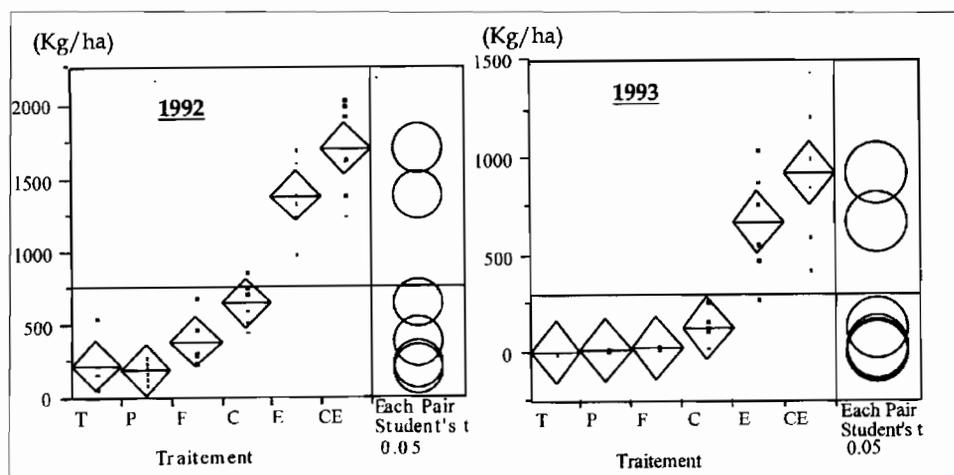
En première année, l'apport d'amendement organique a permis d'obtenir des rendements nettement supérieurs au témoin, tandis qu'en deuxième année, seul l'apport d'engrais minéral avec ou sans amendement organique a procuré des rendements significativement différents de celui du témoin.

**Tableau V.** Rendements en grains du sorgho sur le sol brun en 1992 et 1993.

Traitements	Rendement en grains (kg/ha)			
	1992		1993	
	X	$\Delta$	X	$\Delta$
T	150	154,03	3	0,58
P	200	62,78	13	4,19
F	395	151,06	24	7,27
C	654	144,77	123	82,48
E	1383	235,97	667	256,29
CE	1704	304,95	924	345,82

X = Moyenne

$\Delta$  = Ecart type



**Figure 5.** Rendements en grains du sorgho sur le sol brun en 1992 et 1993.

La baisse générale des rendements en deuxième année a été plus forte pour les traitements sans engrais minéral (au minimum 5 fois moins qu'en première année) que pour les traitements avec engrais minéral (rendements au maximum 2 fois inférieurs à ceux de la première année). Comme il n'y a pas eu une semaine sans pluie la deuxième année, on peut conclure à une forte carence en nutriments, encore renforcée par le développement des adventices en 1993.

On constate également que l'accroissement des rendements moyens s'accompagne systématiquement d'une augmentation de la variabilité traduite par les écarts types.

L'ensemble des résultats obtenus sur les deux types de sols, après deux années d'expérimentation, confirme clairement la possibilité de mise en culture des *zipellés* par la pratique du *zai*. Tous les traitements ont entraîné sur les deux types de sols un excédent de rendement par rapport au témoin.

Ces résultats sont conformes aux observations sur les essais de fertilisation organique de nombreux auteurs [12-15] qui ont conclu à une augmentation des rendements consécutive aux apports de substrats organiques. Conformément aux observations de Sédogo (1986, [14]), on note une meilleure valorisation de l'engrais minéral et de l'amendement organique s'ils sont associés dans le poquet/cuvette.

Le "simple poquet", ne permettant qu'une faible augmentation des rendements par rapport au témoin, indique que l'amélioration des conditions d'alimentation hydrique des plantes reste insuffisante pour une augmentation significative des rendements, tant qu'on n'améliore pas le faible niveau initial de fertilité chimique des *zipellés*.

L'enfouissement de feuilles vertes dans le poquet ne relève que faiblement le niveau de fertilité chimique du sol : cela se traduit par une légère augmentation des rendements en biomasse et en grains. Cette augmentation reste cependant statistiquement non significative. La mise à disposition d'éléments nutritifs pour les plantes se faisant par minéralisation progressive de la matière organique, le niveau de décomposition initial de cette matière organique va déterminer la rapidité de libération des éléments nutritifs. Dans nos essais, nous avons pu constater que la biomasse enfouie n'était pas totalement décomposée en fin de campagne agricole. On est donc enclin à penser que l'augmentation des rendements pourrait être améliorée par un enfouissement plus précoce des feuilles. Ceci paraît d'autant plus admissible que le compost qui correspond à une transformation partielle du substrat organique avant son utilisation permet d'obtenir de meilleurs résultats.

L'effet du compost apparaît meilleur sur le sol ferrugineux. Ce substrat riche en calcium et magnésium permettrait de relever le taux de ces bases dans ce sol.

Il convient cependant de rester prudent sur ces aspects, dans la mesure où nous ne connaissons pas le niveau exact de minéralisation de chaque substrat dans les deux contextes assez différents : les conditions de dégradation de la matière organique (humidité, activités biologiques...) seraient probablement différentes dans les deux types de sols.

L'augmentation spectaculaire des rendements par l'apport d'engrais minéral (E) confirme non seulement que ces sols sont tous carencés en azote, phosphore et potassium, mais également que le poquet créerait des conditions permettant une valorisation effective de l'engrais minéral (maintien de l'humidité, développement du système racinaire...).

L'association de l'engrais minéral à la fumure organique permettrait d'éviter les risques d'acidification souvent constatés avec l'amendement minéral seul [14]. De plus, l'engrais minéral assurerait la mise à disposition relativement rapide d'éléments nutritifs suffisants

pour les plantes dès leur levée. La minéralisation progressive de la matière organique complèterait alors l'alimentation minérale des plantes jusqu'à la fin du cycle végétatif. Les transferts sol-plantes seraient également stimulés par l'augmentation de la CEC liée à l'apport de matière organique.

D'une manière générale, le rôle de la matière organique sur la production qui transparaît de nos résultats confirme les observations faites par d'autres chercheurs dans diverses situations, cités par Sédogo [14], en particulier Pichot (1979, 1981), Hien (1990), Hien *et al.* [16]...

La baisse des rendements observée lors de la deuxième année de culture est également conforme à de nombreuses observations faites aussi bien en zones semi-arides qu'en zone humide (Pichot *et al.*, 1981 ; [14]).

Sédogo (1993) constate, à partir des résultats de l'essai "entretien de la fertilité" de Saria (station de recherche agronomique située dans le plateau central du Burkina Faso) mis en place depuis 1960, une baisse générale des rendements dès la deuxième année de mise en culture. Cet auteur met en avant le processus d'acidification qui intervient après la mise en culture. Dans notre cas, cette diminution des rendements pourrait être également attribuée partiellement à la faible pluviométrie enregistrée sur les deux sites lors de la deuxième année d'expérimentation et au développement des adventices.

### **Impact sur la végétalisation des zipellés**

Pour étudier cet aspect, nous avons procédé à un inventaire des herbacées qui sont apparues sur les parcelles expérimentales lors de la deuxième année de culture. Cet inventaire visait à déterminer l'importance de la végétalisation par la pratique du zaï. En outre, il permettrait de répertorier les différentes espèces, et leur contribution spécifique dans le système.

Les résultats indiquent l'apparition, dès la deuxième année de culture, d'une vingtaine d'espèces herbacées dont les principales sont : *Dactyloctenium aegyptium*, *Spermacoce stachydea*, *Schoenefeldia gracilis*, *Ipomea eriocarpa*, *Pennisetum pedicellatum*, *Zornia glochidiata*, *Andropogon* sp.

D'une manière générale, la pratique du zaï crée des conditions favorables à la revégétalisation des zipellés. Les herbacées qui recolonisent naturellement ces zones proviendraient essentiellement des environs immédiats des sites. Les semences seraient disséminées par le vent et l'eau de ruissellement.

Les poquets constituent des pièges qui retiennent les semences et favorisent leur germination dans de bonnes conditions d'humidité. Certaines semences seraient aussi contenues dans l'amendement organique apporté dans les poquets.

Les résultats de l'inventaire des herbacées confirment les observations de Roose et Wright sur les avantages du zaï pour la revégétalisation des zones dénudées. La quasi totalité des espèces inventoriées sont peu exigeantes en éléments nutritifs, ce qui justifie leur présence sur toutes les parcelles traitées sans différenciation nette de la quantité ou de la qualité des apports d'amendements.

## Conclusions

1) Dans la zone étudiée, la dégradation des terres provient du déséquilibre du bilan des matières organiques et des nutriments suite à l'extension des cultures et au surpâturage. Sur ces terres encroûtées, le ruissellement violent empêche la régénération de la jachère. Le *zai*, pratique traditionnelle complexe, permet de restaurer dès la première année la productivité des terres abandonnées en appliquant les six règles de la restauration rapide des sols.

2) Les enquêtes dans le Yatenga ont précisé la diversité des pratiques du *zai*, lesquelles contribuent à restaurer la macro-porosité du sol et les activités biologiques des *zipellés* (fumier, termites, céréales, herbes et arbustes fourragers), à capter les eaux de surface et les nutriments et à les concentrer dans la cuvette autour des céréales. Une variante forestière permet d'installer un système agro-sylvo-pastoral bien adapté à la valorisation durable de ces terres semi-arides.

3) L'expérimentation de variantes du *zai* sur deux sols, l'un pauvre et superficiel, l'autre profond et plus riche, a montré qu'en année normale ou légèrement déficitaire, le *zai* permet de remettre en culture des terres dégradées et d'obtenir des rendements honorables. Le simple piégeage des eaux de surface améliore peu la production de grains : il faut le combiner avec un apport de matières organiques. L'apport de feuilles d'arbustes séchées est insuffisant, il faut au moins 3 tonnes/ha de compost/fumier pour atteindre 500 à 800 kg/ha de grains. Une faible fumure minérale (N40-P10-K10) donne des rendements largement supérieurs à la moyenne nationale, mais l'association de la capture des eaux de surface à une fumure organique et à un complément minéral même réduit, comme dans la pratique du *zai*, permet d'améliorer largement la production agricole.

Le développement de cette technique en région soudano-sahélienne pourrait constituer une solution au problème d'insuffisance de terres cultivables et contribuer à la résolution de l'insécurité alimentaire des populations. Dans cette perspective, une poursuite des recherches est nécessaire pour permettre la mise au point de référentiels techniques solides, améliorer les pratiques traditionnelles et cerner l'impact à moyen terme de cette technique sur la fertilité intrinsèque des sols.

## Références

1. Hudson N.W. (1992). *Land husbandry*. Batsford, London (192 p).
2. Critchley W., Reij C., Turner S. (1992). *Soil and water conservation in sub-saharan Africa. Towards sustainable production by the rural poor*. IFAD/CDCS Free University, Amsterdam (110 p).
3. Roose E. (1989). Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols. Influence du milieu physique et humain en région soudano-sahélienne d'Afrique occidentale. In : *L'aridité, une contrainte au développement*. ORSTOM, Montpellier (France) : 481-506.
4. Roose E. (1993). Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne. In : *La jachère en Afrique de l'Ouest*. ORSTOM, Paris (France) : 233-244.
5. Marchal J.Y. (1983). Yatenga, Nord Haute-Volta : dynamique d'un espace rural soudano-sahélien. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 167, ORSTOM Paris.

6. Guillobez S. (1979). Les milieux vertiques du bassin de la Volta Blanche dans la région de Bagré (Haute-Volta). *Agronomie Tropicale* ; 34 (1) : 23-39.
7. Billaz R. (1980). *Sabouna, un village du Yatenga: ses hommes, ses cultures. Les systèmes de cultures*. IPD-AOS, Ouagadougou (103 p).
8. Dugue P. (1989). Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivrières en zone soudano-sahélienne. Cas du Yatenga (Burkina Faso). Documents Systèmes Agraires ; 9 (257 p).
9. Wright P. (1982). *La gestion des eaux de ruissellement*. OXFAM/ ORD Yatenga.
10. Kabore V., Valdenaire S. (1991). Contribution à l'étude du zaï, pratique culturale réhabilitée au Yatenga, Burkina Faso. Première approche de ses avantages et limites en tant qu'alternative pour les cultures en milieu sahélien. Mémoire, EPFL, Lausanne (Suisse) (57 p).
11. Roose E., Dugue P., Rodriguez L. (1992). La G.C.E.S. Une nouvelle stratégie de lutte anti-érosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques* ; 233 : 49-61.
12. Arrivets J. (1972). Fertilisation des variétés locales de sorgho sur les sols ferrugineux tropicaux du plateau mosi en Haute-Volta. IRAT, Ouagadougou (47 p).
13. Feller C., *et al.* (1983). Étude de la matière organique des différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). Cahiers ORSTOM, série Pédologie ; 20 (3) : 223-238.
14. Sédogo M.P. (1993). Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture: incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de doctorat, Faculté des sciences et techniques de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire (343 p).
15. Cissé L.M. (1986). Étude des effets d'apport de la matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur sol sableux dégradé du centre-nord du Sénégal. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, INPL, Nancy (184 p).
16. Hien *et al.* (1991). Étude des effets des jachères de courte durée sur la production et l'évolution des sols dans différents systèmes de culture du Burkina Faso. Communication, Atelier ORSTOM sur la Jachère en Afrique de l'Ouest. Montpellier 3-4 décembre 1991 (30 p).