

## Le zaï

### Fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso)

Éric ROOSE (1), Vincent KABORE (2) et Claire GUENAT (2)

(1) Laboratoire d'étude du comportement des sols cultivés (LCSC), centre Orstom, BP 5045, 34032 Montpellier cedex, France.

(2) Laboratoire des sols (IATE), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Suisse.

#### RÉSUMÉ

*Dans la zone soudano-sahélienne semi-aride, les techniques conventionnelles de réhabilitation des terres sont limitées et coûteuses. Il nous a donc paru intéressant d'étudier en détail le « zaï », une pratique traditionnelle mossi de récupération des terres dégradées par la culture ou le surpâturage, et de tester quelques améliorations des pratiques du zaï sur la production de sorgho (grain et biomasse) et sur la diversité des herbes (vingt-trois espèces) et arbustes fourragers (treize espèces) qu'elle permet de réintroduire progressivement. Le zaï est un système complexe de restauration de la productivité des terres faisant appel à un apport localisé de matières organiques, aux termites pour perforer la croûte de battance, à la capture des limons éoliens, à l'infiltration localisée du ruissellement, au travail profond du sol et à la culture en poquet du mil ou du sorgho, suivant que les sols sont perméables ou limono-argileux.*

*Des enquêtes au nord-ouest du Burkina ont montré l'intérêt, les limites (pluies de 400 à 800 mm/an) et la diversité des pratiques du zaï en fonction de la texture du sol et de la disponibilité en fumure organique et en main-d'œuvre.*

*L'expérimentation pendant deux ans sur deux sols de potentialités nettement différentes (sol ferrugineux tropical superficiel et sol brun profond) a permis de comprendre l'importance de la réserve hydrique et du travail du sol, ainsi que des apports d'eau et d'éléments fertilisants, organiques et minéraux. Par rapport à la technique traditionnelle, l'amélioration du zaï a également permis d'augmenter substantiellement la production en grain (de 150 à 1 700 kg/ha) et en paille (de 500 à 5 300 kg/ha) sur un sol brun profond, et de réintroduire une grande diversité de plantes utiles pour relancer les processus naturels de restauration des sols par la jachère. Mais, si la pratique du zaï a augmenté la production de biomasse, on n'a pu déceler aucune variation significative des propriétés liées généralement à la fertilité des sols (pH, matière organique, cations échangeables, P et N) au bout de deux années d'expérimentation. Paradoxalement, la restauration de la productivité du sol et la réhabilitation de la couverture végétale seraient donc plus rapides que la restauration des caractéristiques physico-chimiques du sol.*

**MOTS CLÉS :** Afrique — Zone soudano-sahélienne semi-aride — Restauration des sols dégradés — Réhabilitation du couvert végétal arbustif — Pratique paysanne : fonctionnement, améliorations, limites — Production de biomasse — Activité des termites.

## ABSTRACT

## THE ZAÏ: FUNCTIONING, LIMITS AND IMPROVEMENT OF A TRADITIONAL AFRICAN PRACTICE FOR THE REHABILITATION OF DEGRADED LANDS IN SEMI-ARID AREAS (BURKINA FASO)

*The authors describe a complex soil restoration system, named "zaï", which was studied in detail during their inquiries and experiments and tested in two situations (a superficial, poor alfisol and a deep brown tropical soil) during two years. Biomass production of sorghum is reported in relation to various improved zaï systems and also the wild grass and shrub species which appeared after 2 years of zaï cropping on a bare crusted degraded soil surface. For degraded soil productivity restoration and their green cover rehabilitation, it could be interesting to study and improve traditional systems, especially in Sudano-Sahelian areas where technical possibilities are limited. Such is the case of the zaï practice, a complex soil restoration system, using organic matter localization, termites boring channels in the crusted soils, runoff capture in micro-watersheds, seed hole cropping of sorghum in heavy soils or millet on sandy soils. This system might be useful not only to restore soil productivity but also to revegetate bare crusted surface by the seeds of 23 species of weeds and 13 species of forage shrubs included in dry dung manure (3 t/ha/year).*

*Investigations in many fields of the Mossi Plateau (northern region of Burkina) showed a range of variations in the zaï practice in relation to soil texture and labour and organic matter availability and its significance for agroforestry rehabilitation of these degraded crusted soils of the semi-arid area.*

*Experimental improvements of this zaï system on two soils confirmed the possibility not only to increase substantially the production of cereals grains (from 150 to 1,700 kg/ha/year) and straw (from 500 to 5,300 kg/ha/year) on deep brown soils, but also to reintroduce a great diversity of useful plants which might help the following processes of degraded soil restoration. The zaï practice increased substantially the biomass production without any significant change in soil properties after a 2 years experimentation. Paradoxically, the restoration of soil productivity seems to be more rapid than the improvement of soil fertility characteristics.*

**KEYWORDS :** Africa — Semi-arid area — Soil restoration — Bush cover rehabilitation — Biomass production — Termite activity — Functioning, limits, improvements of traditional practice.

## RESUMEN

## EL ZAÏ : FUNCIONAMIENTO, LIMITACIONES Y MEJORAS DE UNA PRÁCTICA TRADICIONAL AFRICANA DE REHABILITACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS TIERRAS DEGRADADAS DE LA REGIÓN SUDANO-SAHELIANA (BURKINA FASO)

*En la zona sudano-saheliana semi-árida, las técnicas convencionales de rehabilitación de las tierras son limitadas y costosas. Nos ha parecido interesante de estudiar detalladamente el « zaï », una práctica tradicional de recuperación de tierras degradadas por el cultivo o el sobrepastoreo, y probar algunas mejoras en la producción de sorgo (grano y biomasa) y en la diversidad de las hierbas (23 especies) y arbustos forrajeros (13 especies) que permite reintroducir progresivamente. El zaï es un sistema complejo de restauración de la productividad de las tierras, que utiliza las materias orgánicas localizadas, los termites para perforar la incrustación superficial, los limos eólicos capturados, la infiltración localizada de la arrollada, el trabajo profundo y el cultivo del mijo sobre el suelo permeable o del sorgo sobre tierras pesadas.*

*Las encuestas en el noroeste de Burkina han mostrado el interés, los límites (annual lluvias comprendidas entre 300 y 800 mm) y la diversidad de las prácticas del zaï con arreglo a la textura del suelo, y a la disponibilidad de abonados orgánicos y de mano de obra. La experimentación conducida durante dos años sobre dos suelos de potencialidades son netamente diferentes (suelo ferruginoso tropical superficial y suelo pardo profundo) ha permitido comprender la importancia de la reserva hídrica y del trabajo del suelo, los aportes de agua y de fertilizantes orgánicos y minerales. La mejora del zaï ha permitido aumentar sistemáticamente la producción de granos (de 150 a 1 700 kg/ha/año) y de paja (de 500 a 5 300 kg/ha/año) sobre el suelo pardo profundo y de reintroducir una gran diversidad de plantas utilizadas para reactivar los procesos naturales de restauración de suelos por el barbecho. Aunque si la concentración de las aguas de arrollo, el aporte de materias orgánicas y de nutrientes minerales complementarios en la depresión del zaï han aumentado la producción de biomasa, no se ha podido detectar una variación significativa de las propiedades de los suelos al cabo de dos años de experimentación.*

**PALABRAS CLAVES :** África — Zona semi-árida — Práctica tradicional — Restauración de suelos — Rehabilitación de la cobertura arbustiva — Actividades de termites — Producción de biomasa — Limitaciones, mejoras, funcionamiento de las prácticas tradicionales.

## INTRODUCTION

La restauration de la productivité des sols et la réhabilitation du couvert végétal sont des enjeux vitaux pour les populations paysannes de la zone soudano-sahélienne (fig. 1). Depuis un demi-siècle, de nombreux programmes de conservation des sols se sont succédé en Afrique, sur la base de solutions importées des régions tempérées, généralement mal adaptées aux conditions écologiques ou socio-économiques tropicales. Or, l'introduction des recettes des pays industrialisés, bien souvent au mépris du « savoir-faire » des populations locales, se heurte non seulement à des difficultés techniques d'adaptation mais aussi à des obstacles culturels qui conduisent les « bénéficiai-

res » au rejet des méthodes classiques de conservation des sols (CES et DRS). Le cas du programme du Groupe européen de restauration des sols (Geres) au Burkina, dans la province du Yatenga, en est un exemple bien connu (MARCHAL, 1983).

Des études récentes ont montré l'échec de ces méthodes modernes conventionnelles. Aussi la réactualisation de pratiques ancestrales pourrait-elle représenter, dans le domaine de la gestion durable des eaux et de la fertilité des sols, une approche intéressante dans la mesure où leurs limites sont analysées scientifiquement, les pratiques améliorées et adaptées en fonction de l'évolution démographique et socio-économique des régions concernées (HUDSON, 1992 ; CRITCHLEY *et al.*, 1992 ; ROOSE, 1994).

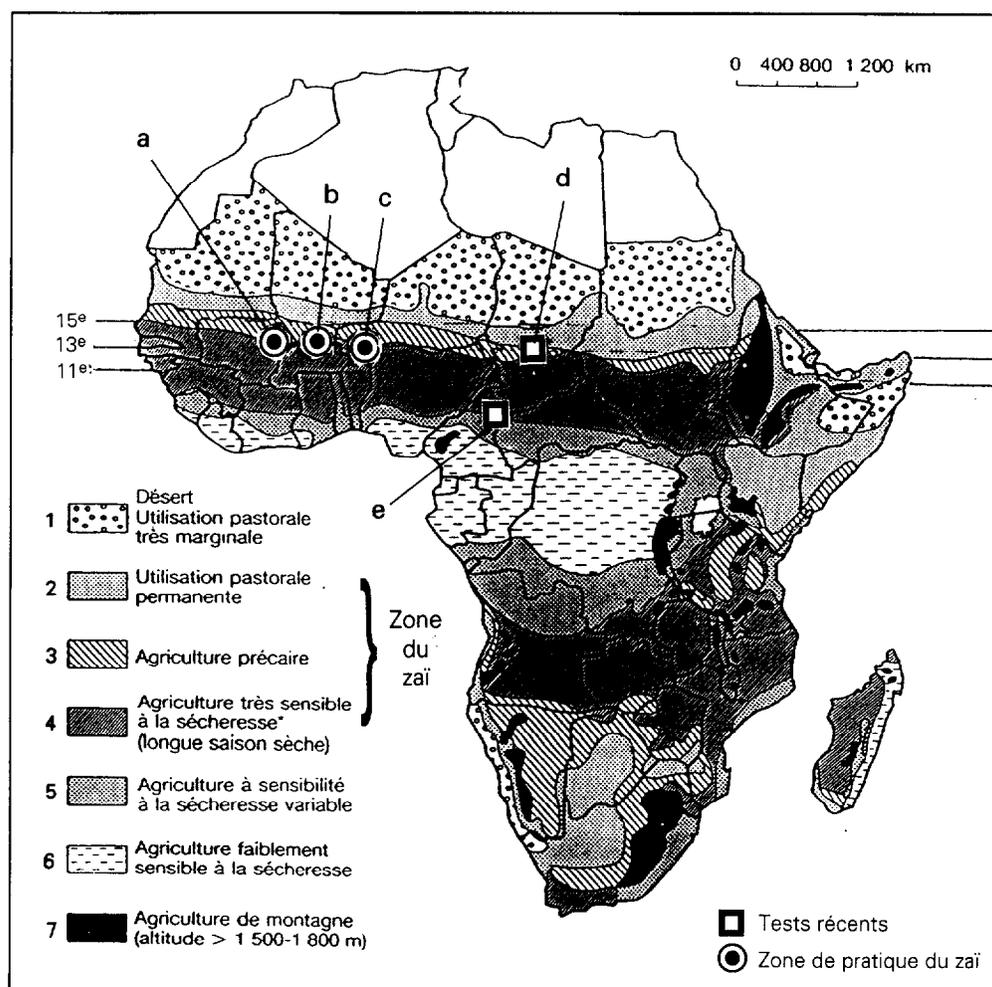


FIG. 1. — Les grandes zones agroclimatiques de l'Afrique (d'après l'ILTA, cité par PIERI, 1989). Les zones les plus propices à la technique du zaï sont situées en région semi-aride soudano-sahélienne à agriculture précaire (3), à agriculture très sensible à la sécheresse (4), et peut-être dans la zone sahélienne à utilisation pastorale (2). Les zones concernées par les recherches en cours sont également situées (a : Yatenga au Burkina ; b : pays dogon au Mali ; c : vallée de Keita au Niger ; d : monts Guera au Tchad (AICF près de Bitkine) ; e : Mbissiri au Sud-Est-Bénoué, Nord-Cameroun (Ira/Orstom). Enfin, on peut observer l'extension possible de l'application de cette pratique de restauration des sols en Afrique (parties hachurées n°s 2, 3 et 4).

*Geographical situation of zaï concerned areas in Africa. Position of trials and observations. Possible extension in Africa.*

Le « zaï » est un système complexe de restauration de la productivité des sols dégradés, une forme particulière de culture en poquet, concentrant les eaux de ruissellement et les matières organiques dans des microbassins. Cette pratique traditionnelle pourrait constituer une solution simple pour restaurer la productivité des « zipellés », sols encroûtés, tassés et blanchis par la battance des pluies et décapés par le ruissellement, littéralement « désertifiés », alors qu'il pleut 400 à 800 mm par an dans cette zone soudano-sahélienne ! En outre, elle permet de réhabiliter la couverture agroforestière de cette région semi-aride (ROOSE *et al.*, 1992 ; REIJ, 1994).

Nos travaux de recherche portent sur cette technique traditionnelle de récupération des terres, réapparue au Yatenga dans les années 1980 à la suite des périodes de sécheresse où les précipitations annuelles ont diminué de 30 % dans l'ensemble du Sahel (WRIGHT, 1982 ; BAGRE, 1988).

Dans cet article, nous rappellerons d'abord les causes de la dégradation de la productivité de ces sols cultivés et les moyens de les récupérer lentement par la jachère ou rapidement par des interventions complexes. Puis nous analyserons le milieu où l'on observe les zipellés, terres dégradées que les paysans mossis tentent de récupérer quand ils n'ont plus assez de terres pour survivre avec leurs troupeaux. Nous décrirons ensuite les pratiques complexes du zaï, dévoilées progressivement par les paysans au cours de nos enquêtes. Enfin, nous discuterons des résultats des expériences sur l'amélioration du zaï et ses effets sur l'augmentation de la production de sorgho (grain et paille) et sur la réhabilitation de la végétation herbacée et buissonnante, après deux années de culture en zaï sur deux sols de potentialités très différentes.

#### LES CAUSES DE LA DÉGRADATION DES SOLS CULTIVÉS ET LES MOYENS DE LES RÉCUPÉRER

Dans la zone soudano-sahélienne, la dégradation de la productivité des sols provient du déséquilibre du bilan des matières organiques et minérales induit par les feux répétés, le surpâturage, le défrichement et les travaux culturels. Ce déséquilibre est encore accéléré par l'érosion (ROOSE, 1980 ; BREMAN et UITHOL, 1986). La culture et le pâturage entraînent une simplification de l'écosystème et de la biodiversité, une réduction de la restitution des litières au sol et, par conséquent, une diminution des teneurs en matière organique du sol et des activités biologiques (en particulier de la mésofaune), et une dégradation de la structure des horizons superficiels. Il s'ensuit une augmentation des risques de ruissellement, d'érosion et de lixiviation des nutriments qui, à leur tour, accélèrent le désé-

quilibre et la dégradation. La réduction de la capacité du sol à stocker l'eau et les nutriments entraîne la baisse de rentabilité des travaux culturels devenus indispensables pour maintenir une porosité favorable à l'enracinement des cultures et pour lutter contre les adventices ; les sols épuisés sont abandonnés à la jachère.

Nombreux sont les pédologues qui pensent que les sols sont une ressource non renouvelable. En effet, il faut 100 000 ans pour altérer un mètre de granite tandis qu'il suffit d'un siècle pour l'éroder. C'est pourquoi les sols peu épais sur roches dures ou sur cuirasse ne sont plus récupérables à l'échelle humaine, une fois décapé l'horizon superficiel. De même, en zones arides, la restauration de la fertilité des sols est très lente car la production de biomasse et les activités biologiques sont faibles.

Cependant, il existe en région tropicale des sols profonds, mais encroûtés, qui ont perdu leurs horizons humifères, 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 Burkina, des « hardés » du Nord-Cameroun, des « naga » du Tchad, etc. Le mode traditionnel de restauration des sols par la jachère est très long : dix ans pour récupérer la fertilité initiale médiocre des sols sous les tropiques humides, trente à cinquante ans en zone soudanienne et plus encore en zone sahélienne (ROOSE, 1993).

De récentes expériences de terrain ont montré qu'il existe une voie rapide de restauration de la productivité des sols cultivés, qui exige la correction simultanée des principales déficiences des sols dégradés (ROOSE, 1994) :

- maîtriser le ruissellement et l'érosion, sans quoi les nutriments ne peuvent s'accumuler ;
- travailler profondément le sol pour restaurer un enracinement puissant des cultures ;
- stabiliser la structure en enfouissant des matières organiques, de la chaux ou du gypse ;
- revitaliser la couche superficielle du sol par apport de fumier ou de compost fermenté (plus de 3 t/ha) ;
- supprimer la toxicité aluminique et rétablir un pH supérieur à 5 en apportant du fumier et des cendres (des roches basiques broyées, du gypse ou de la chaux selon la disponibilité) ;
- corriger les principales carences du sol ou tout au moins fournir aux cultures les compléments minéraux indispensables pour une production optimale de biomasse.

La correction de l'ensemble des déficiences des sols dégradés permet une augmentation rapide de la production (en un à deux ans) et une lente amélioration du sol. Mais l'omission de l'une de ces règles entraîne un ralentissement de la restauration de la production de biomasse. Nous le verrons dans l'étude qui suit.

LE CONTEXTE DE L'ÉTUDE  
DE LA RESTAURATION DES ZIPELLÉS

Les recherches se sont déroulées dans les provinces du Yatenga et du Passoré situées au nord-ouest du Burkina (14° de latitude nord). Le climat soudano-sahélien est marqué par une longue saison sèche dont l'aridité est accentuée par l'harmattan, un vent sec soufflant du Sahara. La courte saison des pluies (quatre mois) connaît de fortes variations dans le temps et dans l'espace. Durant les vingt dernières années, les pluies annuelles (400 à 700 mm) ont diminué de 30 % par rapport aux années 1960. L'évapotranspiration potentielle dépasse 2 000 mm : même en sai-

son humide, les pluies peuvent manquer pendant deux à trois semaines. La répartition des pluies a presque autant d'importance que leur abondance pour la production des cultures.

La région (fig. 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 (1 à 3 %), d'abord gravillonnaire, puis sablo-limoneux sur carapace, enfin limono-argileux dans les bas-fonds très évasés. La succession « butte-glacis-bas-fond » contrôle la répartition des sols, de la végétation et l'utilisation de l'espace par l'homme.

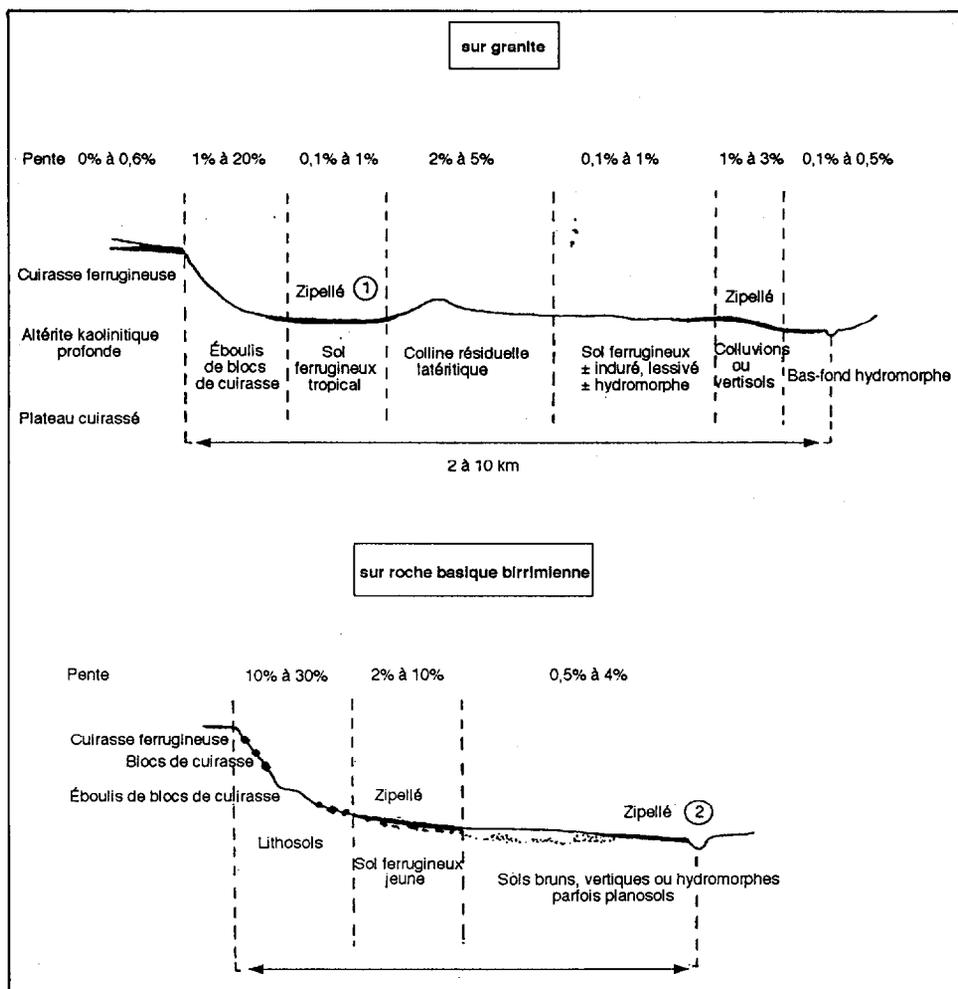


FIG. 2. — Toposéquences de sols typiques du plateau mossi au nord-ouest du Burkina. Localisation des zipellés sur la toposéquence de Pouyango (granite) et de Taonsongo (roche basique birrimienne).

Typical soil catenas of the Mossi plateau (Burkina). Positions of soil restoration trials of Pouyango (1) and Taonsongo (2).

Les sols de la zone ont été étudiés par BOULET (1976) et MARCHAL (1983). On distingue (fig. 2) :

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

- les sols ferrugineux tropicaux lessivés et indurés qui couvrent de vastes surfaces sur les glacis ;

- les sols hydromorphes dans les bas-fonds, peu étendus (moins de 10 %) ;

- les sols bruns tropicaux (deuxième toposéquence) qui se sont développés sur des matériaux argileux hérités de l'altération des roches vertes ferro-magnésiennes, également peu répandus.

Les sols ferrugineux, les plus cultivés, présentent de sévères limitations pour leur mise en valeur (ROOSE *et al.*, 1979 ; PIERI, 1989) :

- mauvaise stabilité structurale et forte érodibilité liées à leur richesse en limons et sables fins et à leur pauvreté en matière organique ;

- faible teneur en azote, phosphore et potassium ;

- faible capacité d'échange cationique et tendance à l'acidification ;

- profondeur exploitable souvent limitée par une cuirasse ferrugineuse ;

- faible réserve en eau utile, surtout sur les sols gravillonnaires (inférieure à 60 mm par mètre de profondeur). Malgré la diminution récente de la pluviosité, la pression foncière est telle que les cultures ont tendance à s'étendre jusque sur les sols gravillonnaires du sommet de la toposéquence.

Sur la figure 2, on peut noter la présence de zipellés sur l'ensemble de la toposéquence. À l'origine, il s'agit de sols limoneux dégradés, encroûtés et blanchis par érosion sélective en nappe. Suite à l'extension des surfaces cultivées, on trouve aujourd'hui des « zipellés rouges » sur les glacis gravillonnaire, des « zipellés blancs » sur les glacis limoneux et des « zipellés de bas de versant », encroûtés par sédimentation lors des inondations (MIETTON, 1988).

La capacité d'investissement des unités d'exploitation agricole est très réduite. La pénurie de main-d'œuvre s'est encore aggravée ces dernières années du fait de la migration des hommes valides de 20 à 40 ans (plus de 40 % sont partis ; BILLAZ, 1980), mais aussi en raison des sites aurifères qui mobilisent la main-d'œuvre en saison sèche au détriment des aménagements fonciers. Par ailleurs, les spéculations végétales restent marginales et ne constituent pas des cultures de rente : céréales, arachide, niébé (haricot noir) et sésame sont en majeure partie autoconsommés tandis que la culture de coton a pratiquement disparu en faveur des zones plus humides (DUGUÉ, 1989). Le processus de capitalisation repose essentiellement sur l'élevage et les revenus des migrants de moyenne durée (un à trois ans). Ces faibles ressources monétaires sont gardées en réserve pour l'achat de céréales de subsistance, afin de

compenser le déficit des mauvaises saisons. Les possibilités d'investissement foncier dans le secteur agricole sont donc très limitées, d'autant plus que cet investissement est risqué (sécheresse, prédateurs, mortalité du bétail, etc.) et peu rentable aux yeux des migrants (DUGUÉ, 1989). L'agriculture est donc orientée presque exclusivement vers la production céréalière extensive de subsistance familiale.

#### DESCRIPTION DES PRATIQUES DU ZAÏ : LE RÉSULTAT DES ENQUÊTES

Par les enquêtes et l'expérimentation, nous avons tenté de comprendre le fonctionnement d'une pratique traditionnelle, les raisons de ses variantes et de leur extension dans la zone semi-aride, ainsi que de leur réussite sur les plateaux mossi (Burkina) et dogon (Mali), dans la vallée de Keita (Niger), et de leur échec dans la zone soudanienne plus humide du Nord-Cameroun (engorgement du sol si la pluie dépasse 1 000 mm). L'analyse critique de ces pratiques devrait permettre de les améliorer, à l'aide de technologies modernes telles que la fertilisation minérale d'appoint et le compostage, les herbicides, les graines sélectionnées et la mécanisation des travaux les plus durs. Inversement, l'observation des pratiques traditionnelles peut nous aider à améliorer notre diagnostic sur l'environnement physique et humain (ROOSE, 1992).

En langue mooré, « zaï » vient du mot « zaïegré » qui signifie « se hâter pour préparer sa terre ». Il s'agit en effet de récupérer des terres abandonnées, dégradées par une succession de « cultures minières », désertifiées, décapées par l'érosion et tellement encroûtées que le ruissellement emporte les graines et les résidus organiques qui auraient pu réhabiliter la jachère. D'après MARCHAL (1986), ces terrains désertifiés, malgré 400 à 800 mm de pluie, se sont étendus de 11 % en vingt ans.

Le zaï aurait été utilisé jadis par les agriculteurs les moins nantis, ne disposant que de terres pauvres, de peu de bétail et de faibles moyens de production. Cette pratique exigeante en main-d'œuvre aurait été abandonnée à la suite de périodes de pluies abondantes (1950-1970), de l'éclatement des familles étendues, de la mécanisation de la préparation de nouveaux champs, de l'aménagement des bas-fonds, etc. (KABORE, 1995).

La méthode du zaï et sa variante agroforestière sont décrites en détail dans la figure 3 (ROOSE, 1994). Elle consiste à préparer très tôt dans la saison sèche une terre abandonnée, en creusant à la pioche, en quinconce, tous les 80 à 100 cm, des cuvettes de 20 à 40 cm de diamètre, 10 à 15 cm de profondeur, en rejetant la terre vers l'aval en croissant, pour capter les eaux de ruissellement. La surface non travaillée, encroûtée qui sert d'impluvium représente cinq à vingt-cinq fois la surface travaillée (WRIGHT, 1982 ; ROOSE et RODRIGUEZ, 1990). La taille des

### Décembre à avril

- Creusement tous les 80 cm d'une cuvette Ø = 40 cm, H = 15 cm terre posée en croissant en aval.
- L'Harmattan apporte des sables et des matières organiques.

### Avril à juin

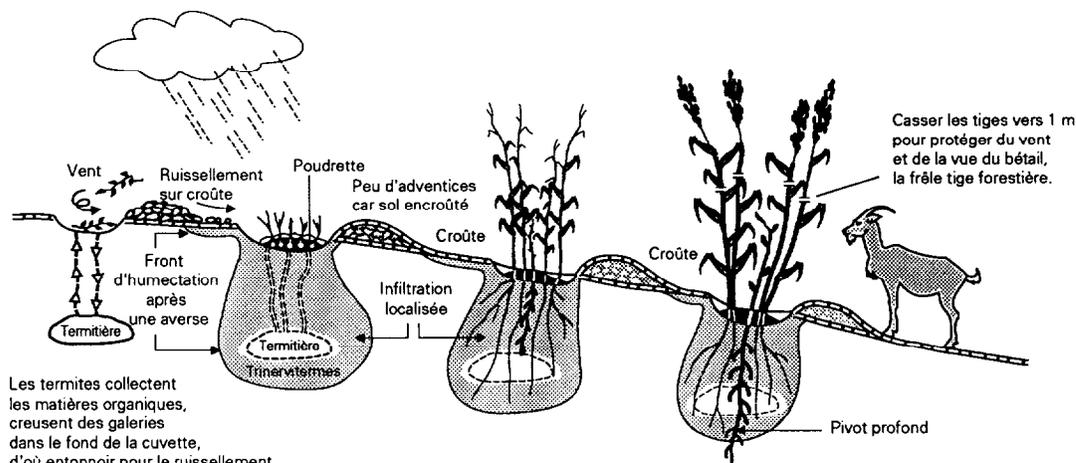
- Après la première pluie, apport de 2 poignées de poudrette (= 3 t / ha).
- Les termites y creusent des galeries enrobées d'excréments.
- Semis en poquet à la deuxième pluie.
- Eau infiltrée, stockée en profondeur à l'abri de l'évaporation directe.

### Juin-juillet

- Démarrage de la saison des pluies.
- Levée précoce.
- Enracinement profond.
- Sarclage limité aux poquets.
- Germination de graines forestières.
- Concentration de l'eau des nutriments.

### Novembre

- Récolte : des panicules et du fourrage.
- Coupe des tiges vers 1 m : cache les tiges forestières de la vue du bétail. ralentit le vent desséchant et l'érosion éolienne.



- Zaï (en Moore) signifie : se hâter pour creuser en saison sèche le sol tassé et encroûté.
- Il permet de récupérer des terres abandonnées et de produire environ 800 kg / ha de grain dès la première année et d'entretenir la fertilité du sol sur plus de 30 ans.
- Il concentre l'eau et la fertilité sous le poquet et permet d'associer à la culture des arbres fourragers bien adaptés (agroforesterie).
- Limites : la date de commencement des travaux est fixée par le chef de terre du village... après les fêtes, quelque fois trop tard.  
le Zaï exige 300 heures de travail très dur soit environ 3 mois pour un homme pour restaurer 1 ha.  
le Zaï demande 2 à 3 tonnes de matières organiques et les charettes pour transporter la poudrette et le compost. pour réussir il faut entourer le champ à restaurer d'un cordon de pierres pour maîtriser le ruissellement.
- Améliorations : soussolage croisé à 1 dent jusqu'à 12 - 18 cm, après la récolte, tous les 80 cm, ( 11 heures avec des boeufs bien nourris), creuser ensuite le Zaï en 150 heures.  
compléter la fumure organique par N et P qui manquent dans la poudrette exposée au soleil.  
introduire d'autres espèces forestières élevées en pépinière (3 mois de gagné).

D'après Roose et Rodriguez, 1990

FIG. 3. — Les pratiques du zaï au cours de la saison culturale en vue de la restauration de la productivité des sols et de la réhabilitation du couvert végétal.

The zaï practice during the cropping period, for soil restoration and greencover rehabilitation.

poquets augmente en zone gravillonnaire et diminue sur le glacis limono-argileux moins drainant (KABORE et VALDENNAIRE, 1991). Pendant la saison sèche, ces microbassins piègent des sables, des limons et des matières organiques emportés par les vents du désert. Dès les premières pluies d'avril (fig. 3), le paysan y dépose une ou deux poignées de poudrette (soit 1 à 3 t/ha de matière organique, réduite en poudre et séchée au soleil) formée d'un mélange de fèces, de litière, de compost, de cendres et autres résidus ménagers. Les termites du genre *Trinervitermes*, attirés par les matières organiques, creusent des galeries au fond des cuvettes qu'ils transforment ainsi en entonnoirs. Les eaux de ruissellement y pénétrant créent des poches d'humidité en profondeur, à l'abri de l'évaporation rapide. La pratique du zaï permet donc de concentrer dans les cuvettes l'eau de ruissellement et les nutriments contenus dans la poudrette transformée par les termites. Après un orage (ou même avant, si les pluies sont en retard), la famille sème dans chaque poquet une douzaine de graines de sorgho sur les terres lourdes (ou de mil sur un sol sableux ou gravillonnaire) : 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 réduisent l'importance du sarclage à celle des surfaces des poquets (moins de 20 % la première année) et permettent de produire, en fonction des pluies, de 5 à 10 q/ha de céréales et de 2 à 4 t/ha de paille, utilisée pour le bétail, l'artisanat et divers besoins ménagers. L'année suivante, les fermiers creusent de nouvelles cuvettes entre les précédentes et rajoutent des matières organiques. S'ils sont pressés ou manquent de fumier, ils arrachent à la houe la souche de sorgho de la campagne précédente et la posent sur la surface encroûtée, où elle sera consommée en une ou deux années par les termites ; ensuite ils grattent le fond de la cuvette et y sèment directement la céréale. Les rendements sont alors moins bons qu'après fumure. Curieusement, ce système d'exploitation intensif n'accélère pas l'épuisement du sol. Au contraire, au bout de cinq ans,

toute la surface a été remuée par le labour et par les termites qui perforent la croûte à la recherche de matières organiques. D'après les paysans (Gourga, Yatenga), ce système présente le grand avantage de conserver la fumure dans le poquet alors que dans les champs labourés ordinaires le ruissellement l'emporte lors des premiers orages.

Bien que l'allure générale du zaï ressemble à celle qui est décrite ci-dessus, l'enquête a montré que chaque paysan a ses propres recettes adaptées à l'environnement de son exploitation. Certains paysans, par exemple, ont observé, dans les poquets ayant reçu des poudrettes, la germination des graines d'une douzaine d'espèces d'arbustes fourragers. Durant le sarclage, ils ont l'habitude de préserver un jeune arbuste tous les cinq poquets (fig. 3). Pour protéger ces arbustes de la dent des chèvres, le fermier coupe les tiges de sorgho au-dessus du niveau des yeux de ce prédateur pour qu'il n'aperçoive pas les frêles tiges des arbustes au milieu des nombreuses tiges de sorgho. Ces plants forestiers profitent bien de l'apport d'eau et de fumier destiné à la céréale, de telle sorte que, au bout de cinq à dix ans, ces espèces de légumineuses fourragères recolonisent ces zones désertifiées et participent au maintien de la production de céréales entre leur perchis buissonnant.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

L'objectif de cette recherche est de préciser l'importance des potentialités initiales du sol et des apports de fumure organique et minérale quant à la possibilité de restaurer la productivité des sols dégradés et de réhabiliter la jachère arbustive sylvopastorale en région semi-aride.

En 1992-1993, les possibilités d'améliorer la production de biomasse d'une culture de sorgho (variété Irat 204) par creusement de cuvettes, capture des eaux de ruissellement et complément de fumure organique (feuilles vertes, poudrette ou compost) ou minérale ont été testées sur deux champs dégradés (fig. 2 et tabl. I) :

TABLEAU I

Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon labouré du sol ferrugineux de Pouyango et du sol brun tropical de Taonsongo, Burkina  
*Physico-chemical characteristics of the topsoils of the red ferruginous (at Pouyango) and the brown tropical soil (at Taonsongo), Burkina*

Types de sol	Ferrugineux tropical superficiel	Brun tropical profond
C organique (%)	1,1	0,7
N total (%)	0,07	0,06
P (ppm)	0,32	0,31
Ca <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	4,3	14,1
Mg <sup>++</sup> éch. (méq/100 g)	0,7	4,6
K <sup>+</sup> éch. (méq/100 g)	0,11	0,09
pH	5,5	5,9
CEC (méq/100 g)	5,7	20,3
Saturation (%)	89	93
Argile (%) (< 2 µ)	24,3	37,4
Limons (%) (2 à 50 µ)	38,4	37,0
Sables (%) (50 à 2 000 µ)	37,6	25,8

— un sol ferrugineux tropical superficiel reposant (vers 30 cm) sur une cuirasse ferrugineuse près du village de Pouyango (12° 48' de latitude nord, 2° 8' de longitude ouest), à 10 km au nord-est de la ville de Yako ;

— un sol brun tropical plus profond (plus de 120 cm) et plus fertile sur schiste vert, au village de Taonsongo (12° 48' de latitude nord, 2° 15' de longitude ouest), à 5 km au sud-est de Yako.

La distance entre les deux sites est inférieure à 10 km

à vol d'oiseau. Bien que la hauteur de pluie ait été inférieure de 150 mm sur le second site, l'effet de la sécheresse sur la culture y a été faible car le nombre d'averses a été plus important et la capacité de stockage en eau du sol brun profond est largement supérieure à celle du sol ferrugineux superficiel. De même, les pluies de 1993 sont inférieures de 100 mm à celles de 1992, mais leur distribution durant la saison fut meilleure. Les données pluviométriques sont mentionnées dans le tableau II.

TABLEAU II  
Hauteur de pluie et nombre de jours pluvieux en 1992 et 1993  
*Rainfall amount and rainy days number in 1992 and 1993*

Pluie	1992		1993	
	mm	Jours	mm	Jours
Sol ferrugineux	706	27	632	23
Sol brun tropical	563	40	466	34

Le dispositif expérimental compare six traitements avec six répétitions dans des blocs aléatoires :

— T : le témoin, semé traditionnellement, sans aucun aménagement ;

— C : sorgho semé en poquet dans les cuvettes sans fumier ;

— C + F : idem + enfouissement de 3 t/ha de feuilles fraîches de *Azadirachta indica* ;

— C + Co : idem + enfouissement de compost pailleux (3 t/ha) ;

— C + fert. min. : idem + enfouissement d'engrais minéral (N 35, P 20, K 10 kg/ha) ;

— C + Co + fert. min. : idem + compost (3 t/ha) et N 35 + P 20 + K 10 kg/ha.

La composition des feuilles fraîches et du compost est définie dans le tableau III. Les carences en phosphore et en azote sont très nettes.

TABLEAU III  
Teneur en carbone, azote, phosphore et potassium de quelques amendements organiques  
*Total carbon, nitrogen, phosphorus, and potassium of various organic manures*

	C total (%)	N total (%)	P total (%)	K total (%)	C/N	Ca éch. (%)	Mg éch. (%)	K éch. (%)
Compost	07,5	0,7	0,05	n. a.	10	0,3	0,06	0,04
Fumier	17,4	0,3	0,05	n. a.	47	0,1	0,04	0,60
Feuilles de <i>Azadirachta</i>	52,9	2,7	0,16	7,3	20	n. a.	n. a.	n. a.
<i>Piliostigma</i>	55,5	1,4	0,11	2,8	38	n. a.	n. a.	n. a.

## RÉSULTATS

### Production de biomasse sur le sol ferrugineux tropical superficiel

Les parcelles témoins ont produit 3 à 8 quintaux de paille et moins de 0,6 quintal de grain (tabl. IV).

Tous les traitements testés ont amélioré la production de paille (12 à 35 q/ha) et de grain (0,3 à 9 q/ha). Cependant, la seconde année, les rendements sont nettement moindres.

Le creusement des cuvettes a augmenté la disponibilité en eau, la production de grain et de paille, mais pas suffisamment pour être significatif statistiquement. Cela signifie que l'apport d'eau n'est pas le seul facteur limitant pour la production des céréales : la faiblesse de la capacité de stockage en eau et en nutriments est aussi une cause de la faible productivité de ces sols superficiels.

L'enfouissement de feuilles fraîches de *Azadirachta* a augmenté la production de grain et de paille, mais l'amélioration n'est devenue significative que la seconde année,

lorsque les nutriments des feuilles décomposées ont été libérés. Il semble que, la première année, les feuilles fraîches en train de fermenter ont fait obstacle à la germination des petites graines de sorgho.

TABLEAU IV  
Production de grain et de paille (kg/ha) sur le sol ferrugineux superficiel de Pouyango (Burkina) en 1992 et 1993  
*Grain and biomass production (kg/ha) on the superficial ferruginous soil in 1992 and 1993 at Pouyango (Burkina)*

a. GRAIN						
Traitement	1992			1993		
	X	± S.D.	Test Tukey-Kramer (0,05)	X	± S.D.	Test Tukey-Kramer (0,05)
Témoin	63	31,3	a	22	17,1	a
Cuvette (C)	150	119,9	a	29	22,8	a
C + feuilles	184	164,7	a	83	36,0	ab
C + compost (Co) 1,5	317	213,6	a	140	52,3	ab
C + Co 3	690	48,6	b	257	127,5	abc
C + fert. min.	829	203,9	b	408	217,4	bcd
C + Co 3 + fert. min.	976	173,2	b	550	265,3	cd

b. PAILLE						
Traitement	1992			1993		
	X	± S.D.	Test Tukey-Kramer (0,05)	X	± S.D.	Test Tukey-Kramer (0,05)
Témoin	857	326,6	a	292	91,8	a
Cuvette (C)	1 213	581,1	a	375	243,1	a
C + feuilles	1 368	493,9	a	1 000	309,6	ab
C + Co 1,5	2 192	470,7	b	1 167	357,2	ab
C + Co 3	1 665	387,2	b	1 542	651,8	abc
C + fert. min.	3 302	870,0	b	2 375	1 460,6	bc
C + Co 3 + fert. min.	3 545	505,0	b	3 167	1 514,9	c

Chaque année, l'enfouissement de compost a amélioré très significativement la production. Mais l'analyse du compost (tabl. I) montre qu'il est pauvre en phosphore et en azote. Dans le cas du zaï où l'eau est abondante, cette carence en N et P devient le facteur limitant pour la production de céréales sur ces sols superficiels.

L'apport d'une très petite dose d'engrais minéral (80 kg/ha de N 12-P 24-K 12 + 50 kg/ha d'urée) multiplie la production de grain et paille par deux à six : l'association de ce petit complément minéral à 3 t/ha de compost donne évidemment les meilleurs résultats pour les deux campagnes.

#### Production de biomasse sur le sol brun tropical profond

Les rendements sur le sol brun, profond mais dégradé en surface, sont évidemment bien meilleurs que sur le sol ferrugineux pauvre et superficiel (tabl. V). On retrouve

cependant des influences semblables des divers facteurs de production testés, mais des seuils de signification différents. Ainsi, en seconde année, seul l'apport d'engrais minéral avec ou sans amendement organique procure des rendements significativement différents du témoin.

La baisse générale des rendements en seconde année a été plus faible pour les traitements recevant des engrais minéraux que pour les autres : cela confirme les problèmes de disponibilité en nutriments minéraux, en plus du déficit hydrique.

#### Augmentation de la diversité végétale : réhabilitation de la jachère arbusive

Les pratiques du zaï augmentent l'activité biologique du sol, en ce sens qu'elles entraînent la colonisation des champs par diverses variétés végétales. En effet, nous avons observé que les tas de poudrette contiennent les graines d'une douzaine d'espèces de légumineuses arbus-

TABLEAU V  
Production de grain et de paille (kg/ha) sur le sol brun profond  
de Taonsongo (Burkina) en 1992 et 1993  
*Grain and biomass production (kg/ha) on the deep brown tropical soil  
in 1992 and 1993 at Taonsongo (Burkina)*

a. GRAIN						
Traitement	1992			1993		
	X	± S.D.	Test	X	± S.D.	Test
Témoin	150	154	a	3	0,6	a
Cuvette (C)	200	63	a	13	4,2	a
C + feuilles	395	151	ab	24	7,3	a
C + Co	654	145	abc	123	82,5	a
C + fert. min.	1 383	236	bc	667	256,3	b
C + Co + fert. min.	1 704	305	bc	924	346,8	b

b. PAILLE						
Traitement	1992			1993		
	X	± S.D.	Test	X	± S.D.	Test
Témoin	946	529	a	167	75	a
Cuvette (C)	1 329	549	a	292	49	a
C + feuilles	1 990	207	ab	875	172	ab
C + Co	2 843	945	abc	1 417	511	bc
C + fert. min.	4 839	1 105	bc	2 375	706	bcd
C + Co + fert. min.	5 333	1 490	bc	3 250	857	b

tives consommées par le bétail. Ces graines, préparées par les acides gastriques des ruminants, germent rapidement et bénéficient d'apports exceptionnels d'eau et de nutriments dans les cuvettes. Les plantules profitent ensuite de la protection contre les vents et les chèvres que leur offrent les grosses tiges de sorgho. Cette variante agroforestière du zaï peut réhabiliter un système agro-sylvopastoral arbustif de *Acacia albida* et autres *Acacia*, *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Calotropis procera*, *Combretum* spp., *Guiera senegalensis*, *Lannea microcarpa*, *Piliostigma reticulatum*, *Sclerocarya birrea*, *Ziziphus mauriciana*, etc. (ROOSE et RODRIGUEZ, 1990).

Le zaï peut aussi modifier considérablement la flore herbacée de ces terres dégradées. Bien que le sol soit initialement dénudé, on peut observer, après deux ans de culture, la présence d'une douzaine de légumineuses arbustives et de deux douzaines d'herbes. Les plus communes des herbes sont : *Dactyloctenium aegyptiacum*, *Ipomoea eriocarpa*, *Pennisetum pedicellatum*, *Schoenfeldia gracilis*, *Spermacoce stachidea* et *Zornia glochidiata*. On a aussi observé quelques plants de *Acanthospermum hispidum*, *Andropogon gayanus*, *Boerhavia diffusa*, *Bracharia ramosa*, *Cassia obtusifolia*, *Corchorus olitorius* et *tridens*, *Cyperus esculentus*, *Digitaria longipedicula*, *Eragrostis tremula*, *Euphorbia hirta*, *Kyllinga squamu-*

*lata*, *Mariscus cylindris trachyus*, *Mollugo nudicaulis*, *Panicum laetum*, *Roetbelia exaltata*, *Setaria pallide-fusca*. Toutes ces plantes sont tolérantes aux terres chimiquement pauvres.

Les graines seraient apportées par le vent, le ruissellement ou avec la poudrette. Même si le sol encroûté reste nu les premières années, la proximité des cuvettes augmente les chances de germination et de dissémination des graines, de telle sorte que le zaï a une influence très positive sur la revégétalisation des aires dégradées.

## DISCUSSION

### Importance du type de sol et de sa capacité de stockage

L'enquête (ROOSE *et al.*, 1992) et les résultats expérimentaux (KABORE, 1994 ; KAMBOU et ZOUGMORE, 1995) confirment la possibilité de restaurer la productivité des sols dégradés grâce aux pratiques complexes du zaï ; mais cette restauration a un coût (travail, engrais, matières organiques, transport) et l'efficacité de cet investissement dépend de la capacité du sol à stocker l'eau et les nutriments. Le zaï est bien plus rentable sur un sol brun riche et profond que sur un sol ferrugineux pauvre et peu profond (sommets de topographie).

### Influence de l'apport d'eau, de matières organiques et d'un complément minéral

La capture du ruissellement et de sa charge (solide et soluble) ne permet qu'une augmentation limitée de la production de biomasse tant que la déficience en nutriments n'est pas levée. L'apport de fumier (composté ou non, il n'y a pas de différence significative) pauvre en phosphore relève le seuil de production, mais ne supprime pas la carence en phosphore, facteur le plus limitant de ces sols (PIERI, 1989). Pour être efficace, il faut donc prévoir des compléments minéraux. Afin d'éviter l'insolubilisation du phosphore des engrais par le fer libre du sol, il est recommandé d'enfouir des phosphates calciques naturels broyés dans le fumier en voie de compostage : les acides organiques favoriseront sa disponibilité. Si la dose de fumier passe de 1,5 à 3 t/ha, la production de grain double lors des années humides, mais la production de paille change peu. L'apport de 2 tonnes supplémentaires de fumier en 1993 n'a pas amélioré significativement la production : lors d'une année sèche, l'eau disponible ne permet pas de valoriser une forte dose de fumier ni d'engrais sur les sols superficiels. Sur le sol brun profond, l'amélioration de la production est plus nette mais l'écart-type augmente beaucoup.

L'azote est le deuxième facteur chimique limitant la production de céréales. La jachère cultivée en légumineuses est une approche séduisante pour réduire cette déficience ; mais, en conditions naturelles, les légumineuses poussent très lentement sans phosphore. Comme le « fumier », dans la région, est généralement un mélange de déjections desséchées, d'un peu de paille, de cendres et de déchets familiaux, le tout exposé en plein soleil et aux pluies battantes, les pertes d'azote par gazéification et lixiviation sont élevées ainsi que le rapport C/N, de sorte qu'il faut prévoir un complément azoté pour obtenir une bonne rentabilisation des eaux disponibles. Il serait intéressant d'étudier la dose optimale des différents nutriments utiles en relation avec le risque d'échaudage si la saison des pluies se termine trop tôt. Il est probable que, grâce au captage du ruissellement par le zaï, on puisse augmenter largement la production potentielle des sols suffisamment profonds et réduire localement les risques de déficit alimentaire en cas de pluies déficitaires.

L'enfouissement de feuilles vertes n'augmente que légèrement la production de biomasse : la libération des nutriments dépendant de la vitesse de minéralisation, l'état initial de décomposition de la matière organique va déterminer l'efficacité de cette source de nutriments. Dans cet essai, les feuilles n'étaient pas bien décomposées à la fin de la saison : elles ont probablement fait obstacle (physique et sanitaire) à la levée des jeunes plantules. Cependant, leur influence positive sur les rendements augmente d'une année à l'autre. Les feuilles proviennent du neem (*Azadi-*

*rachta indica*), un arbre bien connu en Inde et importé en Afrique semi-aride. Dans le tableau III figure également l'analyse des feuilles de neem et d'une légumineuse arbustive bien connue en Afrique, *Piliostigma reticulatum*, traditionnellement utilisée par les paysans ne possédant pas de bétail pour « fumer » leur lopin de terre. Son influence positive sur les rendements étant moindre que celle des feuilles de neem, ce traitement fut supprimé en 1993. Le fumier, composté ou non, s'est montré bien plus efficace que les feuilles vertes, mais beaucoup moins que lorsqu'il est associé à des compléments d'engrais minéraux, même à faible dose (35 kg/ha au lieu de 60 kg/ha d'azote, 20 unités au lieu de 45 unités de phosphore et 10 kg/ha de potassium au lieu de 30 kg/ha, utilisés en station de recherche).

La réduction de production en seconde année d'expérimentation a été moins importante pour les traitements recevant un complément minéral que pour les autres. Les précipitations en 1993 ont été moins abondantes mais mieux réparties, de sorte qu'il n'y eut aucune semaine sans pluie. Comme, par ailleurs, les adventices furent plus développées, on peut penser que la concurrence vis-à-vis des nutriments disponibles a été la cause principale de la faible production de biomasse en 1993.

Après deux campagnes, on n'a pu distinguer aucune évolution significative des caractéristiques chimiques observées de l'horizon cultivé : tous les nutriments apportés ont été consommés par les plantes. Par ailleurs, l'échantillonnage et les méthodes d'analyse des sols ne sont pas assez sensibles pour faire ressortir les différences ténues de fertilité du sol que les adventices distinguent pourtant clairement. Paradoxalement, la production de biomasse s'améliore plus facilement sur les sols dégradés que les propriétés des sols, généralement liées à leur fertilité. Il serait donc plus correct de discuter de la « restauration de la productivité des sols » plutôt que de parler de « restauration des sols ». Pour optimiser la production de biomasse, nous devons assurer la disponibilité en nutriments en quantité suffisante pour les besoins des plantes en croissance, plutôt que de chercher à corriger les carences du sol, ce qui est souvent trop peu rentable (ROOSE, 1994).

Les résultats des expérimentations montrent nettement que l'approche mécanique du problème de la restauration de la productivité (labour et cuvette) n'est pas assez efficace pour réhabiliter ces sols dégradés à faible stabilité structurale. C'est l'ensemble des pratiques complexes du zaï (capture du ruissellement, enfouissement de fumier et d'un complément minéral, activités des termites perforateurs des croûtes et aménagement de l'état de surface du sol) qui nous a permis de produire jusqu'à 3 à 5,3 t/ha/an de paille et 1 à 1,7 t/ha/an de grain de céréale, alors que le témoin a produit moins de 0,3 t de paille et 0,2 t/ha/an de grain.

### Influence du zaï sur la biodiversité végétale

Les pratiques du zaï ont aussi une influence profonde sur la biodiversité, en particulier sur la population d'herbes et de buissons de ces terres désertifiées. Même s'il reste des zones dénudées pendant quelques années, l'environnement des cuvettes améliore les conditions de germination et de croissance des graines apportées par le vent, le ruissellement et les animaux. Le zaï accélère la dissémination des végétaux et la réhabilitation de la jachère.

### Les avantages du zaï

Les avantages principaux du zaï concernent la gestion du ruissellement, la conservation du fumier et des semences, la concentration des éléments fertilisants et de l'eau dans les cuvettes, à proximité immédiate des jeunes plantes, surtout au début et à la fin de la saison des pluies. En améliorant la rugosité de la surface du sol, le zaï permet de ralentir la vitesse du vent, de réduire la force du ruissellement, de capter des graines, des débris organiques et des particules fines, et de rétablir simultanément un système agro-sylvopastoral buissonnant. Enfin, le zaï permet d'étendre les cultures vivrières sur des terres dégradées, d'augmenter la production de céréales et d'assurer la production de la biomasse nécessaire pour le bétail.

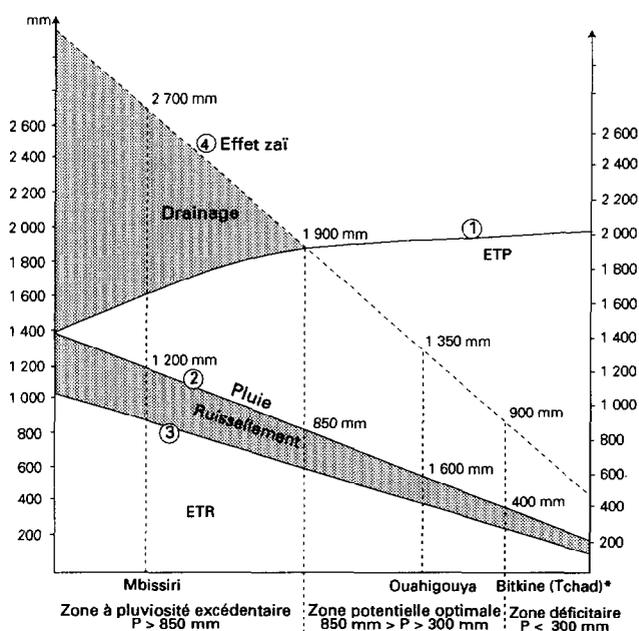
### Les limites du zaï

Cette technique a aussi ses limites (fig. 4). Grâce au zaï, on peut réduire l'impact d'une sécheresse durant deux à trois semaines si la capacité de stockage en eau du sol est suffisante (minimum : 50 mm). Le zaï ne peut résoudre les problèmes ni en zone saharienne (où les pluies sont trop peu fréquentes), ni en zone trop humide, comme en zone soudanienne, où les céréales semées en poquet dans une cuvette souffrent d'engorgement et de lixiviation des bases.

Les conditions optimales pour la réussite du zaï semblent réduites à la zone soudano-sahélienne (300 à 800 mm de pluie), mais cela devrait être précisé en fonction des cultures et des sols. En effet, les cuvettes capturent le ruissellement (estimé à environ 25 % des pluies) d'un impluvium correspondant à cinq fois leur surface. À chaque pluie de 40 mm, le sol de la cuvette pourrait stocker 90 mm d'eau, soit  $40 + (40 \times 5 \times 0,25)$ . Nous avons effectivement observé des poches d'humidité sous une cuvette atteignant un mètre de profondeur. Au niveau du bilan annuel, une région recevant 400 mm de pluie va concentrer, dans les cuvettes du zaï, 900 mm d'eau (soit  $400 + [400 \times 5 \times 0,25]$ ), donc largement assez pour faire face aux besoins en eau d'une céréale. Encore faut-il que la céréale supporte un engorgement temporaire, que la répartition des pluies soit correcte et que la saison ne se termine pas trop tôt pour assurer le cycle complet jusqu'au remplissage des grains. La pratique du zaï permet à la fois d'augmenter le volume d'eau disponible, de prolonger la

saison culturale et d'atténuer les effets des périodes sèches, d'autant plus que le sol a une bonne capacité de stockage de l'eau. En région soudanienne (comme à Mbissiri, au Cameroun), où les pluies dépassent 80 mm par jour et 1 200 mm par an, on observe dans les cuvettes des infiltrations très importantes (180 mm par jour et 2 700 mm par an) : les rendements en sorgho observés sur les cuvettes sont inférieurs à ceux des champs cultivés à plat, vu la fréquence de l'engorgement du sol et les risques de lixiviation des nutriments (Roose, *non publié*).

L'extension du zaï est aussi limitée par la disponibilité en fumier, en main-d'œuvre et en moyens de transport. Le zaï exige pour chaque hectare 300 heures de travail très dur à la pioche, le transport de trois tonnes de fumier



\*Lieux où on a observé la pratique du zaï ou calculé le bilan hydrique.

FIG. 4. — Schéma d'estimation de bilan hydrique à pas de temps annuel en zone semi-aride à une saison pluvieuse. Évapotranspiration potentielle (ETP) (1), pluie (2), ruissellement (estimé à 25 % de la pluie en culture sarclée) (3). Effet du captage du ruissellement au niveau de la cuvette du zaï sur un impluvium cinq fois plus étendu (4). D'après ROOSE, 1994.

On constate que le zaï ne peut se pratiquer dans des zones à pluviosité annuelle inférieure à 300 mm sans augmentation des risques d'échaudage, si le sol a une faible capacité de stockage de l'eau ou si les pluies sont mal réparties et s'arrêtent trop tôt (zone déficitaire). Par ailleurs, au-delà de 850 mm de pluie, les risques d'engorgement du sol et de lixiviation des nutriments augmentent rapidement (zone excédentaire).

*Draft of water balance in savannah and sahelian area of Africa. Limits of the zaï possible extension (after ROOSE, 1994).*

composté et l'aménagement de cordons pierreux tout autour du champ pour contrôler le ruissellement : il est donc souhaitable de disposer d'une charrette et d'une abondante main-d'œuvre. De plus, les engrais minéraux qui rentabilisent bien cet investissement ne sont pas toujours disponibles en brousse.

### Améliorations possibles du zaï

ROOSE et RODRIGUEZ (1990) ont proposé trois améliorations à la pratique traditionnelle du zaï. Un sous-solage croisé, tous les 80 cm, avec une dent pénétrant jusqu'à 15-18 cm sous la surface encroûtée du sol, après la récolte en décembre, lorsque la terre n'est pas trop durcie. L'opération nécessite onze heures de travail à l'hectare lorsque les bœufs sont bien nourris avec les résidus de culture disponibles à cette saison. Le temps nécessaire pour creuser les cuvettes en est réduit de moitié. Le paysan pourrait donc étendre la zone aménagée. Une autre amélioration consiste en un apport complémentaire d'azote et de phosphore minéral en fonction de leur faible disponibilité dans le « fumier » traditionnel (cf. tabl. I). Enfin, il est possible d'améliorer sérieusement la qualité et la quantité du compost produit (5 m<sup>3</sup> au maximum par ménage) en aménageant, à l'abri d'un bouquet d'arbres fruitiers près de l'habitation, une double fosse « compostière-fumière-poubelle » où sont accumulés les eaux usées et les déchets fermentescibles du ménage ainsi que les résidus de leurs activités artisanales (embouche, seccos, etc.). KABORE (1994) a montré qu'avec trois tonnes de fumier on pouvait produire 500 à 800 kg/ha de grain de sorgho, et même 1 500 kg/ha avec un faible complément minéral (N 35 + P 20 + K 10 kg/ha), là où la moyenne régionale est de l'ordre de 600 kg/ha. L'apport minéral seul permet déjà une production remarquable de 800 à 1 300 kg/ha.

### CONCLUSION

Dans cette zone soudano-sahélienne, la dégradation des sols trouve son origine dans le déséquilibre du bilan des nutriments et des matières organiques, suite à l'extension des cultures et au surpâturage des terres de parcours de plus en plus réduites. Sur ces sols facilement encroûtés, le ruissellement intensif balaye la surface lisse du sol, emporte les graines et matières organiques et empêche la réhabilitation de la jachère. Actuellement, les processus de désertification étendent ces clairières dénudées alors que la pluviosité y est de 400 à 800 mm.

L'étude a montré que les pratiques du zaï pouvaient restaurer la productivité du sol dès la première année, car elles appliquent les six règles de restauration rapide des sols : maîtriser le ruissellement, restaurer les macropores et les stabiliser, revitaliser l'horizon superficiel cultivé, supprimer les toxicités dues au pH inférieur à 5, corriger les carences minérales des plantes.

Les enquêtes au Yatenga ont permis de préciser la diversité et la complexité du « système zaï », lequel contribue à restaurer la capacité d'infiltration du sol, l'enracinement profond et les activités biologiques. Le zaï capte le ruissellement et concentre l'eau et les nutriments disponibles autour des touffes de sorgho. Le fumier apporte des micro-organismes et des graines. Il attire les termites et développe la croissance des céréales mais aussi des adventices et des arbustes fourragers. Un apport très réduit de matières organiques fermentées et de cendres permet la réhabilitation de la jachère. La variante « agrosylvopastorale », où les arbustes naturels sont préservés, permet d'établir un système d'aménagement durable de ces zones semi-arides fragiles.

L'expérimentation de diverses variantes du zaï sur deux sols, l'un pauvre et superficiel, l'autre relativement plus riche et plus profond, a démontré qu'en période de pluies déficitaires le zaï permet de cultiver des céréales sur des sols dégradés encroûtés et d'obtenir des rendements honorables pour la région. La capture du ruissellement ne suffit pas. Pour obtenir des rendements significatifs, il faut concentrer autour des poquets l'eau et les nutriments en quantité suffisante pour le développement des cultures.

L'amélioration des pratiques du zaï par l'apport combiné de fumier composté (3 t/ha/an) et d'une légère fertilisation minérale (N 10 + 25 + P 20 + K 10) permet d'améliorer nettement la production de céréales et de biomasse fourragère, de réduire l'insécurité alimentaire et la pression sur les terres cultivables trop fragiles. Ces apports sont trop modestes pour modifier de façon sensible les propriétés liées à la fertilité du sol. Les activités microbiennes du sol, réactivées par l'apport de fumier composté, mobilisent probablement une partie du stock considérable d'éléments nutritifs bloqués dans la masse minérale et organique du sol.

Des recherches complémentaires sont souhaitables pour aborder la dimension agro-économique de cette amélioration foncière, en particulier la rémunération du travail et la durabilité du système. Il devrait encore être possible d'améliorer le zaï, en relation avec le choix des sols (réserve hydrique minimale) et la mécanisation des techniques culturales, l'utilisation d'associations de plantes (divers haricots et céréales comme au Cap-Vert) adaptées à la culture au fond d'une cuvette. Enfin, l'amélioration et la durabilité des effets positifs du zaï passent par la production de fumier de qualité et l'apport d'un complément minéral optimal tenant compte du faible pouvoir d'achat des paysans, de la capacité réduite de stockage des sols et du risque climatique en région semi-aride.

### REMERCIEMENTS

Vincent Kabore exprime ses remerciements à la Direction de la Coopération suisse au développement et à l'aide humanitaire

(DDA), à Intercoopération à Berne et à Buco à Ouagadougou ainsi qu'à l'équipe EPFL, pour leur appui moral et financier. Éric Roose remercie également le ministère français de la Co-

opération et le Cirad qui lui ont permis d'effectuer ses observations au cours de missions d'encadrement du projet « recherche-développement » à Ouahigouya.

## BIBLIOGRAPHIE

- BAGRE (J.), 1988 — « Diguettes en pierres et poches d'eau : Rawana, Yatenga, Burkina Faso ». In : *Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences*, CILLS, PAC/GTZ : 221-238.
- BILLAZ (R.), 1980 — « Sabouna, un village du Yatenga : ses hommes, ses cultures ». In : *Les systèmes de culture*, Ouagadougou, IPD-AOS, 103 p.
- BOULET (R.), 1976 — *Notice des cartes de ressources en sols au 1/500 000 de la Haute-Volta*. Paris, ministère de la Coopération/Orstom, 97 p.
- BREMAN (H.), UITHOL (P.), 1986 — *Projet de production primaire au Sahel : survol du Centre de recherches agrobiologiques (Cabo)*. Wageningen, 115 p.
- CRITCHLEY (W.), REIJ (C.), TURNER (S.), 1992 — *Soil and water conservation in sub-saharan Africa. Towards sustainable production by the rural poor*. Amsterdam, IFAD/CDCS Free University, 110 p.
- DUGUÉ (P.), 1989 — *Possibilités et limites de l'intensification des systèmes de culture vivriers en zone soudano-sahélienne. Cas du Yatenga (Burkina Faso)*. Montpellier, Cirad, coll. Documents systèmes agraires, 350 p.
- HUDSON (N. W.), 1992 — *Land husbandry*. London, Batsford, 192 p.
- KABORE (V.), 1995 — *Amélioration de la production végétale des sols dégradés (zipellés) du Burkina Faso par la technique des poquets (zaï)*. Thèse doct., EPFL (n° 1302), Lausanne, 201 p.
- KABORE (V.), VALDENNAIRE (S.), 1991 — *Contribution à l'étude du zaï, pratique culturale réhabilitée au Yatenga*. Mémoire, EPFL, Lausanne, 57 p.
- KAMBOU (N.), ZOUGMORE (R.), 1995 — Évolution des états de surface d'un « zipellé » soumis à différentes techniques de restauration des sols (Yilou, Burkina Faso). *Bull. Réseau Érosion*, 16 : 19-32.
- MARCHAL (J.-Y.), 1983 — *Yatenga, Nord Haute-Volta. La dynamique d'un espace rural soudano-sahélien*. Paris, Orstom, coll. Travaux et documents, 167, 849 p.
- MARCHAL (J.-Y.), 1986 — Vingt ans de lutte antiérosive au Burkina Faso. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, 22 (2) : 173-180.
- MIETTON (M.), 1988 — *L'érosion en zone de savane du Burkina Faso. Dynamique de l'interface lithosphère-atmosphère*. Thèse, géographie, univ. Grenoble, 511 p.
- PIERI (C.), 1989 — *Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Paris, ministère de la Coopération et du Développement/Cirad, 433 p.
- REIJ (C.), 1994 — La conservation des eaux et des sols donne des résultats. *Haramata*, 25 : 11-13.
- ROOSE (E.), 1980 — *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale*. Thèse doct. ès sciences, univ. Orléans, 587 p.
- ROOSE (E.), 1992 — « Diversité des stratégies de conservation de l'eau et des sols ». In Le Floc'h (E.), Grouzis (M.), Cornet (A.), Bille (J.-C.), éd. : *L'aridité, une contrainte au développement*, Montpellier, Orstom, coll. Didactiques : 481-506.
- 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*, Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires : 233-244.
- ROOSE (E.), 1994 — Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull. Pédol. FAO*, 70, 420 p.
- ROOSE (E.), RODRIGUEZ (L.), 1990 — *Aménagement de terroirs au Yatenga. Quatre années de GCES : bilan et perspectives*. Montpellier, Orstom, 40 p.
- ROOSE (E.), ARRIVETS (J.), POULAIN (J.-F.), 1979 — *Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux issus de granite : Saria, 1971-1974*. Paris, Orstom, 123 p.
- ROOSE (E.), DUGUÉ (P.), RODRIGUEZ (L.), 1992 — La GCES, une nouvelle stratégie de lutte antiérosive appliquée à l'aménagement de terroir en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. *Bois et Forêts des Tropiques*, 233 : 49-61.
- WRIGHT (P.), 1982 — *La gestion des eaux de ruissellement*. Oxfam-ORD Yatenga (Burkina Faso), Projet agroforestier, 25 p.

## Restauration de la productivité des sols semi-arides par le zaï.

Village de Gourga, province du Yatenga, au Burkina Faso : 159-173

Photos : E. Roose

Sur une terre dégradée (zipellé = terre érodée, encroûtée, blanchie), l'Oxfam a testé la méthode traditionnelle mossi du zaï qui comprend une structure de gestion des eaux de ruissellement (fascine, cordon de pierres ou d'herbes), le creusement de cuvettes pour capter une partie du ruissellement et l'enfouissement localisé de fumier sous un poquet de sorgho ou de mil.



À la suite du défrichage, des labours et des cultures extensives minières se développent des clairières désertifiées au beau milieu de la savane-parc à karité (zipellé).

Pour récupérer ces terres dégradées, les paysans mossi ont installé une haie d'herbes et de branchages, et cultivé le sorgho dans des cuvettes qu'ils vont retravailler et fertiliser.



Certains paysans ont constaté que le fumier (poudre non fermentée) apporte des adventices mais aussi les graines d'une douzaine d'arbustes fourragers qu'ils ont protégés parmi les tiges de céréales. Cette méthode peu coûteuse permet de réinstaller un système agro-sylvo-pastoral durable en milieu semi-aride.

