PN-AAV-261 45743

PURDUE UNIVERSITY
International Education and Research
International Programs in Agriculture

IE&R

IPIA

IDENTIFICATION DES CONTRAINTES AU NIVEAU FERMIER ET EVALUATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES EN HAUTE VOLTA

Présenté au:
Symposium de la Recherche sur les Systèmes de Production Agricole
Université de Kansas State, Manhattan, Kansas

Par: Mahlon Lang, Ronald Cantrell et John Sanders

Semi Arid Food Grain and Development Program (SAFGRAD)
Cellule de Systèmes de Production Agricole
(Contrat AFR-C-1472)

Octobre 1983

IDENTIFICATION DES CONTRAINTES AU NIVEAU FERMIER ET EVALUATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES DANS LE PROJET DE SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE DE L'UNIVERSITE DE PURDUE EN HAUTE-VOLTA

Mahlon Lang, économiste agraire
Ronald Cantrell, agronome
John H. Sanders, économiste agraire

Présenté au

ymposium de la Recherche sur les Systèmes de Production Agricole
Université de Kansas State
Manhattan, Kansas

31 octobre 1983
Revu: décembre 1983

Traduction: Patrick A. Jomini

Financé par
le contrat AFR-C-1472

entre

l'Agence pour le Développement International (AID)
et
l'Université de Purdue

IDENTIFICATION DES CONTRAINTES AU NIVEAU FERMIER ET EVALUATION DES NOUVELLES TECHNOLOGIES INTRODUITES PAR LE PROJET DE SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE EN HAUTE-VOLTA

Mahlon Lang, Ron Cantrell, et John H. Sanders*

Sur le Plateau Central en Haute-Volta, la pression exercée par la population - pression reflétée par une densité démographique élevée - diminue la période de jachère (voir fig. 1). Sans l'adjonction de substituts chimiques pour restituer la fertilité liée à une longue jachère, les rendements céréaliers décroissent (Ruthenberg, 1980; World Bank, 1981, p. 13; Saunders, 1980, p. 15).

* Novembre 1983. Les deux premiers auteurs sont respectivement économiste et agronome pour le projet SAFGRAD-FSU (Semi-Arid Food Grain Research and Development Program - Farming Systems Unit). [NdT : Programme de développement de la recherche sur les céréales alimentaires dans les régions semi-arides - Cellule de recherche sur les systèmes de production agricole.] Sanders est le conseiller technique pour ce projet à l'Université de Purdue. Tous trois sont professeurs à l'Université. Nous remercions Bill Jaeger et Jan Broekhuyse pour leurs commentaires.

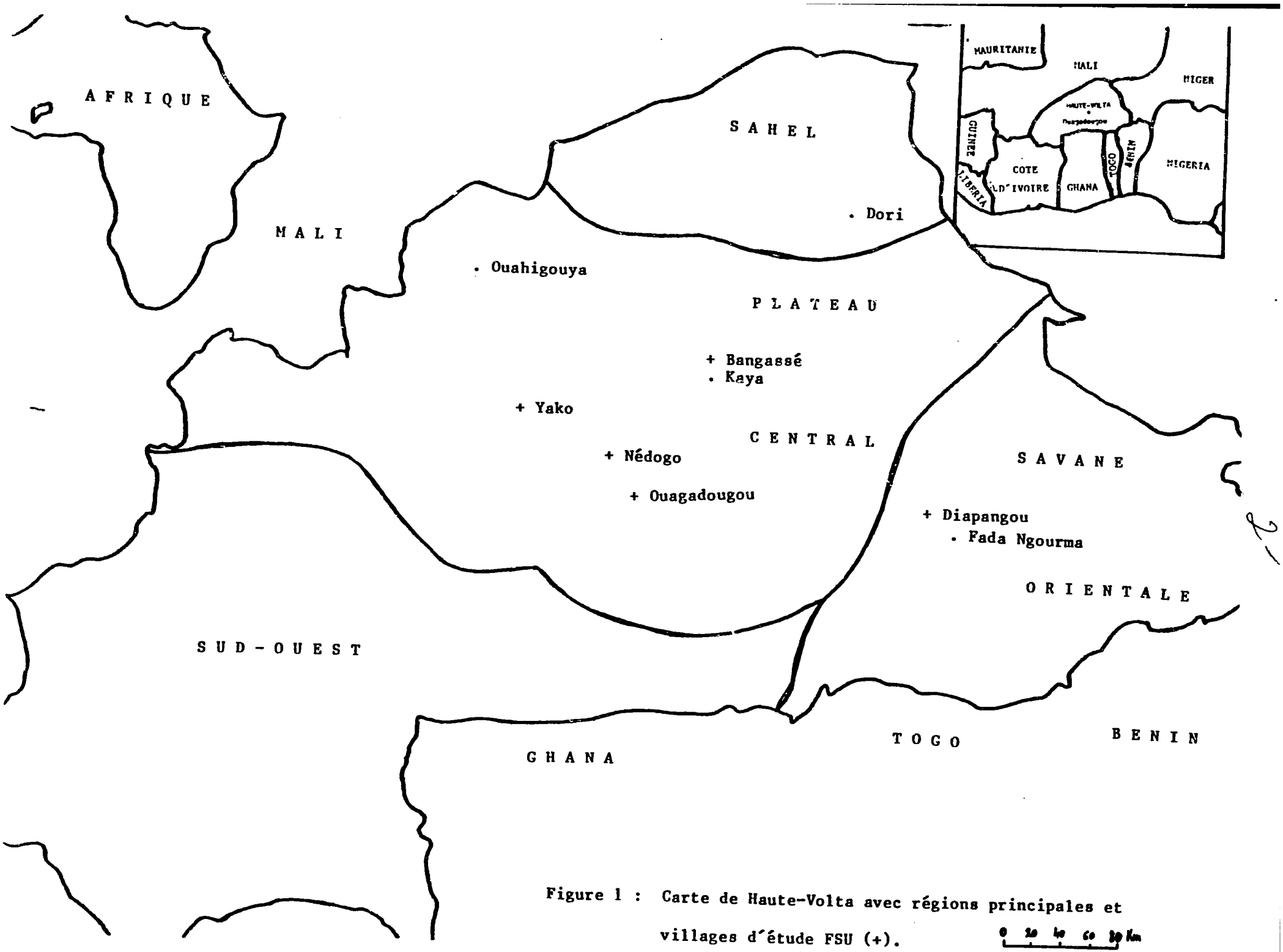


Figure 1 : Carte de Haute-Volta avec régions principales et villages d'étude FSU (+).

L'intensification des cultures - et l'érosion qui lui est associée - ont dégradé les sols sablonneux et limoneux[1] de cette région. Hormis les pertes en matériaux organiques (d'où une capacité de rétention d'eau et de substances nutritives réduite), les sols sablonneux forment souvent une croûte dure qui empêche l'infiltration de l'eau, et ainsi augmente le ruissellement et aggrave la pression due à la sécheresse et à l'érosion (United Nations, 1977, p. 13, 14, 20, 31). Les fermiers Mossi ne peuvent pas préparer les lourds sols argileux des basses terres avec les moyens de traction dont ils disposent (Jan Broekhuyse, conversation, 1983). D'autres régions du pays disposent d'un plus grand potentiel agricole - des précipitations plus importantes et des sols plus fertiles; il en résulte une migration du Plateau Central vers ces régions du sud. Pourtant, certaines de ces régions fertiles du sud sont affectées par d'autres problèmes tels ceux associés à la maladie et à la difficulté de préparation des sols argileux. L'Organisation Mondiale de la Santé et la Banque Mondiale attribuent aux maladies la plus grande part de la différence de densité démographique entre le Plateau Central et le sud. "Plus de la moitié de la population du pays vit sur moins d'un quart du territoire national - le

---

[1]NdT: l'auteur se réfère dans ce document à la classification américaine des sols. Cette classification distingue trois textures de sols et utilise le mot "loam", précédé d'un qualificatif, pour décrire les sols contenant les trois types de base dans des proportions différentes. Ici, le terme sablonneux décrit un sol dominé par les sables, contenant des argiles et des limons en faible quantité; le terme limoneux décrit un sol toujour dominé par les sables, mais contenant plus de limons que le précédent.

Plateau Central - qui est la région la plus démunie en ressources" (Kamarck, 1976, pp. 71, 72). Kamarck attribue cette concentration démographique principalement au problème de la cécité des rivières ("onchocerciasis") dans les régions alluviales du sud; il remarque que les vallées fluviales des trois branches de la Volta sont pratiquement désertes en dépit d'une haute fertilité potentielle des sols. Près de 700.000 Voltaïques - ou 25% de la population active - travaillent à l'étranger, notamment au Ghana et en Côte d'Ivoire. Puisque les émigrants sont principalement de jeunes hommes, un fort taux de dépendance apparaît dans des régions telles que le Plateau Central (pour plus d'information historique sur les migrations Mossi, voir Skinner, 1965).

Le but de ce projet SAFGRAD-FSU est d'accroître les rendements agricoles dans la région du Plateau Central - un secteur caractérisé par une forte concentration démographique et peuplé de petits paysans - afin d'enrayer les migrations vers le sud rural, les centres urbains, ou l'étranger.

Après avoir énoncé dans la première partie les hypothèses opérationnelles de la recherche sur les systèmes de production agricole, nous décrirons les systèmes existants sur le Plateau Central et présenterons les résultats les plus importants des essais réalisés à la ferme par les fermiers et les agronomes. Une troisième partie donne des indications quant à la recherche future et identifie les points clefs dans l'interaction entre agronomes et économistes. Une conclusion synthétise ces différentes parties.

PRINCIPALES HYPOTHESES ET PHASES DU PROGRAMME DE RECHERCHE SAFGRAD SUR LES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE EN HAUTE-VOLTA

La recherche sur les systèmes de production agricole est définie comme 'institutionalisation de la liaison entre le centre de recherches et les ermiers. Au centre, on définit et évalue les différents constituants d'une ouvelle technologie. Ces parties constituantes sont alors associées dans 'analyse du fonctionnement des nouveaux systèmes de production dans les champs es paysans. Les essais sur le terrain, la description des systèmes de roduction et des objectifs des fermiers, ainsi que l'analyse économique ermettant d'évaluer les essais agronomiques constituent les objectifs du résent travail. Les principales hypothèses sous-jacentes sont:

a) le premier objectif d'un développement agricole est d'accroître le revenu du fermier, améliorant ainsi le niveau du bien-être social à travers le fonctionnement du mécanisme de marché;
b) la principale source de nouvelle technologie est le centre de recherches;
c) une nouvelle technologie agricole qui fonctionne au stade expérimental ou dans des fermes sélectionnées, fonctionne souvent mal dans les conditions auxquelles le fermier est soumis, ou rencontre des contraintes imprévues (Sanders and Lynam, 1982; Sanders and Johnson, 1982);
d) les moyens de communication réciproque entre fermiers (particulièrement les plus petits) et centres de recherche sont peu développés dans les pays en voie de développement;

e) les programmes de formation en recherche sur les systèmes de production agricole sont moins utiles pour les chercheurs et les preneurs de décisions que ne sont le rassemblement de l'information et l'analyse de la performance de la nouvelle technologie dans l'environnement rural. Ainsi, les chercheurs du centre et les preneurs de décisions dans la capitale pourront mieux comprendre les contraintes auxquelles les fermiers sont soumis dans l'accroissement de la production agricole.

En somme, l'objectif principal de SAFGRAD-FSU en Haute-Volta a été d'identifier la production des centres de recherches et des essais régionaux qui étaient prêts à être essayés sur le terrain, afin d'évaluer ces nouvelles technologies sur les plans agronomique et économique. Cela a permis de poursuivre la recherche sur le fonctionnement des systèmes de production agricole et sur un environnement économique favorable à l'introduction de nouvelles technologies agricoles.

La recherche sur les systèmes de production agricole est conduite en trois phases:

1) la collection de données socio-économiques, provenant des fermiers, sur les contraintes liées à l'introduction de nouvelles technologies;
2) les essais à la ferme, conduits par les agronomes;
3) les essais à la ferme, sous conduite des paysans.

Dans la partie suivante, nous présentons une version simplifiée des systèmes de production agricole sur le Plateau Central.

LES SYSTEMES DE PRODUCTION AGRICOLE DANS LE PROJET SAFGRAD-FSU EN HAUTE-VOLTA

L'analyse des précipitations durant la campagne (mai-octobre) 1982 indique que Nédogo se trouve sur une isohyète intermédiaire entre Bangassé et Diapangou.

Tableau 1: Précipitations durant la campagne 1982 (mai-octobre)

Bangassé	494 mm
Nédogo	583 mm
Diapangou	719 mm

Source: R. Swanson, "Rainfall Variability, Labor Time Allocation, and Agricultural Production in Upper Volta," polycopié non-publié, août 1983, p. 11.

Dans ces trois régions, la culture des céréales constituait la principale activité, couvrant 90% des surfaces cultivables (tableau 2). A Diapangou, les précipitations légèrement plus abondantes favorisaient l'association d'une légumineuse avec le mil ou le sorgho. Dans toutes ces régions les arachides couvraient 5 à 6% des surfaces cultivables, principalement comme cultures de rapport. En dépit des variations dans les précipitations, il y avait peu de différence dans la proportion des terres consacrées à la culture de l'arachide. Les fermiers considèrent l'arachide nécessaire au paiement des impôts, mais disent qu'elle détourne de la main-d'oeuvre qui pourrait être consacrée à la culture du mil (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 13). Etant donné que la valeur économique espérée de l'arachide était plus élevée que celle du mil, la

Tableau 2. Utilisation moyenne des terres, par culture, sur trois sites fermiers.

Culture	Bangassé	Nédogo	Diapangou
		(%)	
sorgho	26	28[a]	7
mil	55	64	16
mil ou sorgho associé avec une légumineuse[b]	8	négligeable	65
maïs	1,7	2,4	3,2
riz	1,5	0,3	1,2
total des céréales	92,2	94,7	92,4
arachide	6	5	5
pois de terre	1,2	0,7	0,6
soja	---	---	1,6
niébé	---	---	1,3

a dont 36% de sorgho rouge, destiné principalement au brassage de la bière.

b 75 à 90% de ces surfaces en mil, le reste en sorgho associé à une des légumineuses.

Note: Les arrondis font que les sommes en colonnes ne donnent pas 100%.

Source: D'après SAFGRAD-FSU, 1983, p. 16.

préférence pour cette dernière culture indique une volonté de constituer des réserves de céréales. Cette préférence favorise aussi la minimisation de la probabilité de ruine avec la culture du mil, au lieu de la maximisation des revenus monétaires associée à l'extension des surfaces plantées en arachides. La variabilité des rendements de l'arachide s'est montrée significativement plus élevée (F > 0,99) que celle associée aux rendements du mil (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 21). Le riz occupe les bas-fonds qui présentent des problèmes de drainage. La surface moyenne cultivée par ménage semble dépendre du type de traction utilisée; elle est comprise entre 4,6 et 8,6 ha (SAFGRAD-FSU, 1983, pp. 39, 40).

La figure 2 illustre un modèle simple de l'allocation des terres sur une ferme, qui prend en compte les différentes résistances à la sécheresse des trois céréales principales. Le maïs est le plus sensible à la sécheresse et à la faible fertilité des sols; le mil est le plus résistant. Dans ce modèle, la petite parcelle située près du village, appellée champ de case, est utilisée comme décharge pour les matières fécales, le fumier animal, les résidus et autres matières organiques. Sur cette très petite parcelle (0,1 à 0,2 ha), dotée d'une fertilité accrue et d'une meilleure capacité de rétention d'eau due à la fertilisation organique, on cultive le maïs avec des rendements relativement élevés de 0,6 à 1,4 t/ha. La régression linéaire indique que la surface plantée en maïs est significativement corrélée (F > 0,99) avec la taille de la famille (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 18). Le sorgho est alors planté sur les terres plus basses où il y a une accumulation d'eau légèrement supérieure, une fertilité plus élevée, et une concentration en sols sablonneux et limoneux (Stoop et al., 1982, p. 519). Le mil est cultivé sur les parcelles les plus pauvres (pour plus de détails, voir Matlon, 1980, pp. 16-18, 49).

PLATEAU CENTRAL - Pression élevée du rapport population / terre cultivable

Disparition de la jachère

450-750 mm de précipitations, concentrés sur 2,5 - 4 mois

	RENDEMENTS (kg/ha)	
MIL	300-600	Sans fumure
SORGHO	400-800	Niébés associés à une ou plusieurs céréales
MAIS	650-1400	
NIEBE	200-400	

village

Maïs
Champs de case
Décharge des déchets

Sorgho
Sols sableux ou limoneux
Sols légèrement plus fertiles ou ayant une meilleure capacité de rétention d'eau

Mil
Culture principale
Planté sur une surface aussi large que possible, étant donné les disponibilités en travail, après les semailles du sorgho et du maïs sur les sols de meilleure qualité.

FIGURE 2 : TYPOLOGIE DES SYSTEMES FERMIERS SUR LE PLATEAU CENTRAL

La surface totale consacrée au mil était corrélée de manière significative (F > 0,99) au nombre de travailleurs disponibles dans le ménage. En somme, la culture du maïs est très risquée, mais les variétés à croissance rapide et l'utilisation du champ de case réduisent ce risque. En outre, le maïs est préféré lorsqu'il est consommé frais. Le mélange sorgho-mil dépend alors de la qualité de la terre et des disponibilités en main-d'oeuvre.

Une certaine quantité de mil et de sorgho est commercialisée (1 à 13% du mil et du sorgho blanc, 27% du sorgho rouge à Nédogo, SAFGRAD-FSU, 1983, p. 10), mais la plus grande partie de ces céréales de base est engrangée entre les périodes de moisson pour l'auto-consommation. Les fermiers voltaïques achètent aussi souvent des céréales durant les mauvaises années à l'aide des revenus monétaires occasionnés par la vente de bétail, d'articles artisanaux ou dus au commerce. L'épargne consacrée à l'achat de ces céréales provenait principalement de la vente de bétail; cette activité fournissait, entre 1972 et 1981, 60 à 80% de ces revenus monétaires (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 11). Ainsi le bétail constitue une "réserve de valeur", et une assurance permettant d'acheter des grains dans les mauvaises années. Malheureusement la valeur du bétail baisse substantiellement durant les années de sécheresse, puisque de nombreux fermiers essaient de vendre en même temps.

Mises à part les différences dans la capacité de résistance aux conditions adverses, les deux céréales de base (sorgho et mil) montrent des différences dans leur aptitude à être stockées. Les fermiers affirment que le sorgho peut être conservé deux fois plus longtemps que le mil (SAFGRAD-FSU, 1983, pp. 14, 19, 20). Ainsi la plus grande sensibilité du sorgho aux conditions adverses est partiellement compensée par les avantages qu'il offre au moment de

l'engranger. Dans un climat caractérisé par une grande variabilité des précipitations - donc des risques accrus - les fermiers utilisent les disponibilités en terres et en matières organiques pour réduire ce risque et pour produire les trois céréales de base (maïs, sorgho et mil), ainsi que - sur de petites parcelles - des arachides et du niébé.

La surface plantée en maïs est très petite et semble dépendre de la quantité de matière organique disponible pour améliorer la fertilité du sol. Les fermiers semblent consacrer à la culture du mil le reliquat de main-d'oeuvre familiale disponible après les semailles du maïs sur le champ de case et après celles du sorgho sur les "terres à sorgho".

A Bangassé et Nédogo, dans la région caractérisée par des pluies plus faibles, les fermiers ont mis l'accent sur le problème de la subsistance. Ils ont insisté sur le fait que leur principal objectif était la constitution de réserves de céréales suffisantes pour permettre la survie. Certains fermiers à Diapangou ont cependant affirmé que leur principal objectif était l'accumulation de la richesse sous forme de troupeaux de bovins (SAFGRAD-FSU, 1983, pp. 9, 10). Les objectifs des fermiers en Afrique semblent donc varier avec l'intensité des pluies au début de la campagne (Balcet and Candler, 1981), et l'on peut s'attendre à une importance décroissante accordée à l'objectif de subsistence avec l'augmentation future des revenus (Norman, 1982, pp. 641, 642).

En somme, le problème de recherche primordial dans ces trois régions consiste dans l'augmentation - par de nouvelles technologies - des productions du sorgho, du mil, du maïs et, par la suite, des légumineuses. Les problèmes

posés par l'alimentation et la nutrition semblent être encore suffisamment sérieux en Haute-Volta rurale et urbaine pour que l'objectif primordial associé à l'obtention de meilleurs rendements céréaliers reste l'amélioration de la nutrition humaine. Toutefois, l'élasticité-prix de la demande pour ces céréales reste un problème empirique important; une thèse de doctorat sur la consommation alimentaire en milieu urbain (dans la capitale de la Haute-Volta) est en cours de préparation à l'Université de Purdue. Un accroissement substantiel et soutenu de la production céréalière pourrait permettre, dans un avenir plus ou moins lointain, son utilisation comme fourrage. Les aspects économiques de l'emploi des céréales comme fourrage devraient être évalués.

CONTRAINTES, INTERACTIONS ET RESULTATS AGRONOMIQUES

L'identification des contraintes part en général de la formulation d'une fonction de production assumée du type suivant:

$$Y = f(A, L, K_A, K_L)$$

Y: production

A: terre

L: main-d'oeuvre

K_A: capital substituable à la terre

K_L: capital substituable à la main-d'oeuvre

Durant le sondage des fermes voltaïques, les fermiers ont fréquemment cité en tant que contraintes les plus strictes, les besoins saisonniers en main-d'oeuvre au premier sarclage et aux semailles, ainsi que, dans certaines

contrées, la mauvaise qualité des sols (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 21 sv.). De plus, une grande partie de la litérature sur le développement de nouvelles technologies en Afrique sub-saharienne relève l'importance de ces contraintes saisonnières liées à la main-d'oeuvre (voir par exemple Helleiner, 1975, pp. 29, 30). Pourtant, une définition étroite de la terre et de la main-d'oeuvre peut conduire à oublier deux évidences. Par définition, dans toute région semi-aride, la contrainte la plus stricte est celle imposée par l'eau. Si les disponibilités en eau pouvaient être accrues, la rente aux autres facteurs de production augmenterait substantiellement.

L'irrigation des régions semi-arides tend à être relativement intense en capital, ce qui rend cette opération difficilement réalisable du point de vue technique et économique. Des méthodes améliorant la capacité de rétention d'eau par une meilleure préparation des sols - telles que le buttage cloisonné - ont néanmoins été étudiés dans les centres de recherches en Afrique à partir des années soixante (Dagg and Macartney, 1968; Lawes, 1966). L'avantage du buttage cloisonné est fonction de l'application simultanée d'autres intrants. Il y aura tout d'abord une hausse de la demande de main-d'oeuvre pour construire les buttes cloisonnées, qui peuvent être construites à différentes périodes de l'année. Lors des pointes saisonnières de demande de main-d'oeuvre, il sera peut-être nécessaire de remplacer le travail manuel par la traction asine ou bovine (voir Jaeger, 1983).

D'autre part, sur le Plateau Central (sites de Bangassé et Nédogo) - caractérisé par sa forte pression démographique et ses rendements céréaliers à la baisse - la fertilité du sol deviendra contraignante dès que suffisamment d'eau aura été fournie. Une meilleure rétention d'eau augmentera la

probabilité d'une rente à la fumure. Ainsi la disponibilité accrue de l'eau diminue le risque qu'encourt le fermier lorsqu'il achète des engrais inorganiques. La rentabilité de différents niveaux de fumure dépendra d'autres facteurs stochastiques indépendants du contrôle du fermier - tels les pluies, invasions d'insectes ou maladies - ainsi que des facteurs dépendants de son contrôle ou pouvant être connus avant l'épandage, notamment la fertilité initiale du sol et les pratiques de gestion. De plus, l'environnement économique, constitué par les prix de la production et de l'engrais, sera aussi important dans la détermination de la rentabilité et dans l'adoption d'une nouvelle technologie pour la production du sorgho. Toutefois, les simples impératifs techniques et agronomiques font qu'il faut s'attendre à devoir utiliser simultanément les deux intrants - meilleure rétention d'eau et fumure inorganique - durant de nombreuses années, avant d'accroître substantiellement les rendements du fermier.

Le tableau 3 résume les résultats moyens dérivés de quatre essais sur la "terre à sorgho" en buttage cloisonné (à deux différentes périodes, avec deux niveaux de fumure) pour le sorgho. Ces essais, effectués par les agronomes, ont utilisé le sorgho local. Deux niveaux de fumure ont été testés. Le premier essai, reflétant les pratiques des fermiers, n'utilisait pas de fumure, alors que le second comportait 100 Kg/ha d'"engrais coton" (14-25-15 de NPK) disponible <u>localement</u> et 50 kg d'urée. Ce dernier niveau de fumure, équivalent à environ 36 unités d'azote et 25 unités de phosphore, est encore très bas, étant donné les carences en nutriments montrées par la plupart des sols du Plateau Central. D'après les normes internationales, le rendement absolu du sorgho est encore très bas (1,1 t/ha), même avec le buttage cloisonné et le faible niveau de fumure. Il est à relever tout de même que la combinaison

Tableau 3. Effets moyens du buttage cloisonné réalisé à deux différentes périodes, avec deux niveaux de fumure, sur le rendement du sorgho[a] Essais sous conduite des agronomes, sur quatre[b] fermes différentes en Haute-Volta en 1982 (en kg/ha).

		Conservation de l'eau	
Fumure	Sans buttage cloisonné	Buttage cloisonné précédant les semailles	Buttage cloisonné 30 jours après les semailles
Sans fumure inorganique	385[c]	580	561
Avec fumure inorganique[d]	759	949	1130

a Le sorgho était semé sur les terres des fermiers définies comme "terr à sorgho". Voir la discussion de la partie précédente et la figure 2.

b Mis à part les trois sites de Bangasse, Nédogo et Diapangou, le quatrième site de Yako a été sélectionné dans la région la plus sèche. Voir la carte, figure 1.

c Ce traitement doit être considéré comme une approximation des pratiqu des fermiers sur les trois sites.

d 100 kg/ha de (14-25-15 NPK) et 50 kg/ha d'urée.

Note: Le l.s.d. au niveau 95 pourcent de probabilité était 79 kg/ha. [NdT : l.s.d. - "least significant difference"; la moindre différence significative: technique statistique basée sur le test t (de Student) et utilisée en agronomie pour l'analyse de variance.]

Source: D'après le rapport SAFGRAD-FSU, 1983, p. 63.

buttage cloisonné / faible fumure inorganique multiplie les rendements actuellement obtenus par les fermiers par 2,5 ou 2,9, suivant la période à laquelle le buttage cloisonné est réalisé (une parcelle de contrôle est représentative des pratiques actuelles). Il est surprenant de voir que l'effet du buttage cloisonné sur le rendement est plus important lorsqu'il est réalisé après les semailles. Ce résultat est surprenant car l'effet de la sécheresse durant la germination a souvent pour conséquence un mauvais taux de germination ou une faible vigueur des jeunes pousses. Le buttage cloisonné tardif semblerait avoir un effet positif sur la qualité du travail de la terre; il se pourrait d'autre part que les buttes cloisonnées réalisées avant les semailles se détériorent avec le temps et que cela affecte les cultures.

Les effets du buttage cloisonné et de la fertilité étaient tous deux statistiquement très significatifs ($F > 0,99$). Les effets interactifs étaient aussi très significatifs. La hausse de rendement maximum de 745 kg/ha est suffisamment impressionante pour avoir été remarquée par les services de vulgarisation et les fermiers. De plus l'analyse de budget partiel montre que la combinaison de ces deux pratiques serait très rentable pour le fermier (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 62). Avant de considérer d'autres composantes de la nouvelle technologie du sorgho, il est utile de comparer ces résultats avec ceux concernant le maïs.

Sur les petits champs de case semés de maïs, les pratiques des fermiers donnent des rendements respectables de 2,2 t/ha (tableau 4). Des essais variétaux sur le maïs ont aussi indiqué des rendements absolus relativement élevés (de 1,9 à 2,6 t/ha) sur les champs de case à Bangassé et Diapangou. Les rendements à Nédogo étaient nettement plus bas (à 550-1100 kg/ha). La

Tableau 4. Effets moyens du buttage cloisonné realisé à deux différentes périodes sur le rendement du maïs en champ de case. Essais pratiqués par des agronomes sur trois sites différents (en kg/ha).

Conservation de l'eau

Sans buttage cloisonné	Buttage cloisonné précédant les semailles	Buttage cloisonné 30 jours après les semailles
2220[a]	2911[a]	2749

[a] Ce traitement a été considéré comme une approximation des pratiques des fermiers.

Note: Le l.s.d. était de 262 kg/ha. [NdT : voir tableau 3, note.]

Source: D'après le rapport SAFGRAD-FSU, 1983, p. 59.

différence était apparemment due à une intensité plus grande de la sécheresse à Nédogo, étant donné qu'il n'y a pas eu de réponse à l'accroissement du niveau de fumure (SAFGRAD-FSU, 1983, pp. 68, 69). L'effet du buttage cloisonné était très significatif (à 99%) et l'augmentation de la variation du rendement de 529 à 691 kg/ha (tableau 4) est favorablement comparable à l'effet sur le rendement du sorgho de la combinaison buttage cloisonné / fumure sur la "terre à sorgho". La pratique du buttage cloisonné sur les petites parcelles de maïs ne nécessiterait pas beaucoup plus de main-d'oeuvre, même aux pointes saisonnières de la demande; cela rend cette activité hautement rentable. Le problème de l'évaluation de la main-d'oeuvre familiale durant les pointes saisonnières de demande sera examiné plus loin. Etant donné les bons rendements du maïs sur champ de case - et les mauvais rendements du sorgho sur la "terre à sorgho" - il faudrait connaître la réaction du maïs cultivé sur la "terre à sorgho" avec buttage cloisonné et fumure.

Puisque le maïs est plus sensible à la sécheresse et au manque de fertilité du sol, l'analyse de ses résultats est plus compliquée. Le tableau 5 indique de très mauvais rendements moyens pour le maïs à Nédogo (625 kg/ha). Le niveau de précipitations plus élevé rend la production de maïs moins risquée à Diapangou. Les fermiers, d'autre part, disent que plus de "nouvelles terres" y sont disponibles. A Diapangou, le système de culture itinérante sur de nouvelles terres est régulièrement pratiqué. Dû aux précipitations plus importantes et à la meilleure fertilité du sol, Diapangou semble bénéficier d'un meilleur potentiel pour accroître la production sur la "terre à sorgho". Sur les deux sites à Diapangou les rendements moyens pour le maïs étaient très élevés (1,9 à 3,1 t/ha) en comparaison avec les rendements moyens du sorgho sur la "terre à sorgho". L'un des sites appartenait à un Foulani possédant un

Tableau 5. Rendements moyens du maïs sur la "terre à sorgho", donnés par trois différentes expériences à la ferme (tous traitements).

	Rendements du maïs (kg/ha)
Nédogo	625
Diapangou I	1891
Diapangou II	3143

Source: SAFGRAD-FSU, 1983, p. 61.

grand troupeau de bovins qui pâturait sur le champ, de telle sorte que la fertilité de ce dernier était en fait comparable à celle du champ de case. Même dans les sites de fertilité plus basse à Diapangou, le maïs local semble avoir un meilleur rendement potentiel que les variétés locales de sorgho. Pourtant, dans des conditions telles que celles rencontrées à Nedogo, les rendements du maïs étaient plus bas. Puisque le maïs tend à être plus sensible que le sorgho à la sécheresse et à la faible fertilité des sols (d'où un risque accru), de plus amples recherches sont nécessaires afin de déterminer les niveaux de précipitations et de fertilité du sol dans les régions où le maïs peut favorablement être substitué au sorgho.

Le tableau 6 résume les rendements moyens du maïs sur les différents sites de "terre à sorgho" avec buttage cloisonné et fumure. La comparaison avec les deux parcelles de contrôle sur "terre à sorgho" montre que les rendements du maïs (1,5 t/ha) étaient beaucoup plus élevés que ceux de sorgho (385 kg/ha). Les variétés de maïs à cycle végétatif court ont sans doute été introduites plus récemment que les variétés de sorgho traditionnelles, et peuvent mieux réagir à des conditions relativement favorables, dans des régions où la sécheresse n'est pas aussi sérieuse. Sur les deux autres sites, caractérisés par des précipitations plus basses, la substitution du maïs sur la "terre à sorgho" sera probablement plus risquée. Néanmoins, les rendements absolus très bas du sorgho - rendements bas même dans de meilleures conditions de rétention d'eau et de fumure (1,1 t/ha) - soulignent la nécessité d'une recherche sur de nouvelles variétés de sorgho ou de maïs sélectionnées de manière à répondre aux conditions des différents régimes des pluies sur la "terre à sorgho".

Tableau 6. Effets moyens du buttage cloisonné réalisé à deux différentes périodes, avec deux niveaux de fumure, sur le rendement du maïs en "terre à sorgho". Essais conduits en 1982 à la ferme par les agronomes sur deux sites en Haute-Volta (en kg/ha).

	Conservation de l'eau		
Fumure	Sans buttage cloisonné	Buttage cloisonné précédant les semailles	Buttage cloisonné 30 jours après les semailles
Sans fumure inorganique	1506[a]	1609	1915
Avec fumure inorganique[b]	2091	2087	2110

a Ce traitement doit être considéré comme une approximation du traitement des fermiers.

b 100 kg/ha d'"engrais coton" (14-25-15 NPK) et 50 kg/ha d'urée.

Source: SAFGRAD-FSU, 1983, p. 61.

Sur les trois sites (deux à Diapangou et un à Nédogo) le buttage cloisonné du maïs sur la "terre à sorgho" n'a pas eu un effet significatif sur les rendements. A Diapangou il y avait apparemment suffisamment de pluie pour le maïs sans la technique d'amélioration de la rétention d'eau. A Nédogo la sécheresse a été trop intense aux deux différentes périodes pour que le buttage cloisonné ait pu avoir un effet quelconque. La fumure du maïs a eu une grande influence, surtout à Diapangou, sur le site typique de la "terre à sorgho". Le traitement à basse fumure y a augmenté le rendement de 600 kg/ha, et s'est révélé très rentable. Il faut contraster ce résultat avec l'échec de la fumure sur le champ de case dans l'évaluation variétale sur ce même site, et sur l'autre site de Diapangou, caractérisé par une meilleure fertilité initiale (SAFGRAD-FSU, 1983, pp. 61, 69). La réaction à l'amélioration de la fertilité dépend évidemment autant de la fertilité initiale du sol que des disponibilités en eau aux périodes critiques du développement végétal.

En somme, le buttage cloisonné et la fumure ont eu un effet important sur les rendements du sorgho. Même avec ces deux technologies, le rendement absolu du sorgho est resté très bas, à 1,1 t/ha. Ces faibles rendements absolus soulignent la nécessité d'une recherche portant sur l'identification d'une variété de sorgho qui puisse mieux réagir à l'établissement d'un environnement plus favorable. Il n'y a pas de raison de s'attendre à ce que les variétés locales de sorgho, sélectionnées généralement pour la stabilité de leur rendement dans des conditions adverses, soient capables de bonnes performances dans un environnement moins sec et plus fertile. La génétique constitue donc la clé à la prochaine hausse importante de rendements. Le tableau 7 résume les quatre composantes menant à l'amélioration des rendements du sorgho. Les interactions entre la rétention d'eau et la meilleure fumure se sont montrées

Tableau 7. Principaux obstacles à l'accroissement de la production du sorgho sur les sites de recherche en Haute-Volta.

1. L'eau, aux stades critiques du développement végétal.

2. Lorsque l'eau est disponible, la fertilité du sol devient limitative.

3. Lorsque la disponibilité de l'eau et la fertilité du sol sont améliorées, de nouvelles variétés doivent être développées pour profiter de l'environnement plus clément.

4. La disponibilité de la main-d'oeuvre pour l'une ou l'autre des opérations les plus critiques - telles que le sarclage ou la préparation de la terre - peut devenir une barrière à l'expansion des surfaces mises en culture. La traction animale avec les outils aratoires appropriés peut se révéler nécessaire pour venir à bout des goulots d'étranglement saisonniers.

Sources: Les idées qui ont permis l'établissement d'un ordre de priorité dans ces contraintes et de mettre en évidence leur complémentarité sont issues d'entretiens avec John Dillon dans le nord-est du Brésil et Ron Cantrell, membre du projet SAFGRAD-FSU en Haute-Volta. Voir aussi H. RUTHENBERG, Farming Systems in the Tropics, 3rd edition, Oxford University Press, Clarendon, 1980.

hautement significatives et sont des innovations rentables. Les diverses combinaisons de ces intrants constituent la partie critique de la recherche sur les systèmes de production agricole. L'eau, puis une amélioration de la fertilité du sol, et enfin de nouvelles variétés qui puissent profiter du nouvel environnement favorable, semblent être requis pour pouvoir atteindre des améliorations conséquentes dans les rendements. La traction animale sera probablement aussi nécessaire, pour surmonter le goulot d'étranglement saisonnier de main-d'oeuvre lors du buttage cloisonné.

L'introduction de nouvelles technologies dans la production du maïs pourrait être plus facile, car la variété locale semble disposer d'un important potentiel de rendement lorsqu'elle n'est pas soumise à des conditions trop sèches. En 1982, le déplacement de la culture du maïs sur la "terre à sorgho" a été couronné de succès et s'est révélé rentable à Diapangou. Le risque potentiel associé à ce déplacement de culture recommande cependant une prudence accrue dans l'interprétation des résultats d'une seule campagne. De plus, il faudrait considérer les problèmes de commercialisation, puisque le maïs n'est traditionnellement produit que sur de petites parcelles pour la consommation immédiate du fermier.

Mise à part la recherche décrite ci-dessus concernant les céréales, les expériences à la ferme conduites par les agronomes ont aussi essayé :

a) d'évaluer une technologie améliorée pour cultiver les légumineuses, et
b) de déterminer l'impact technique et économique de l'utilisation d'un minerai de phosphate local peu onéreux.

Les légumineuses[2] ont fourni des densités plus élevées que celles obtenues par les fermiers, et la principale contrainte, le thrips, a été contrôlée avec trois pulvérisations. Pourtant, les rendements absolus en monoculture sont restés très bas (375-700 kg/ha). Avec de tels rendements, le coût encouru pour l'utilisation des produits chimiques ne peut être couvert (SAFGRAD-FSU, 1983, p. 57). Le phosphate local a été utilisé pour la fumure des légumineuses et sur d'autres essais concernant le sorgho et le mil. Lors de ces derniers essais, différents niveaux de phosphate voltaïque n'ont pas eu d'effet sur les rendements du mil et du sorgho; ceci était apparemment dû à la lenteur de la libération du phosphate par la roche voltaïque. L'utilisation de la roche voltaïque dans les essais à la ferme semble d'abord nécessiter l'identification de nouveaux traitements chimiques au centre de recherches, qui permettent de la rendre plus soluble. Ce résultat est surprenant car les expériences précédentes de FSU à la ferme et celles du centre de recherches de l'IRAT avaient indiqué que l'utilisation de la roche phosphatique pouvait être rentable pour la production du sorgho (Christensen, 1981).

Une attention accrue devra probablement être accordée à l'augmentation des rendements de légumineuses si l'objectif d'une meilleure nutrition humaine et animale doit être atteint. Le cas de l'arachide, qui permet de répondre à des besoins d'ordre monétaire, est spécial, mais pourrait aussi bénéficier de futurs efforts de recherche. De plus, une rotation incluant des légumineuses

---

[2] NdT: dans ce travail, l'auteur se réfère aux légumineuses pouvant être utilisées pour la consommation humaine (haricots, niébés, etc.).

ou la culture associée contribueraient à ameliorer la fertilité du sol. Des rendements de légumineuses de 1,5 t/ha ont été obtenus régulièrement avec des pratiques agronomiques peu coûteuses dans d'autres régions (Sanders and Johnson, 1982). Le bas niveau des rendements absolus en Haute-Volta indique qu'il existe un bon potentiel pour améliorer ces rendements. Mis à part le phosphore, il semble nécessaire d'améliorer la rétention d'eau et la fixation de Rhizobiums. Les insectes peuvent avoir un effet dévastateur sur le niébé dans les greniers voltaïqes, même avec les pratiques traditionnelles de conservation. Toutefois, il a été démontré en Colombie qu'un traitement peu coûteux avec de l'huile végétale pouvait être efficace dans la conservation de haricots (Phaseolus vulgaris) (Schoonhoven and Cardona, 1979, p. 396). Une série d'innovations techniques portant sur la production et l'engrangement des légumineuses seront nécessaires lorsque les rendements céréaliers auront augmenté. Cette diversification dans les cultures associées et en rotation pourrait améliorer la fertilité du sol et fournirait une base de fourrage pour les boeufs qui constitueraient ainsi une source de traction améliorée. Mis à part le développement du niébé et de l'arachide, l'introduction d'une légumineuse mieux adaptée à la sécheresse, telle que le pois cajan, pourrait se montrer intéressante.

Les essais conduits par le fermier ont confirmé la viabilité technique et la rentabilité du buttage cloisonné et de la fumure dans la production du sorgho. Ils ont aussi indiqué la nécessité d'une source de phosphate plus soluble que la roche voltaïque.

En résumé, l'analyse socio-économique a aidé à identifier les objectifs du paysan et la rationalité sous-jacente aux variations dans les pratiques

culturales suivant les types de terrains. Les essais agronomiques ont montr que le fait de surmonter une ou plusieurs contraintes permettait d'accroîtr les rendements du sorgho et du maïs. D'autres améliorations de rendement so attendues de la sélection d'un sorgho mieux adapté à un environnement moins s et plus fertile. Les essais sur ferme menés par les agronomes ont aussi mis évidence une série de problèmes pouvant faire l'objet de recherches futures. Ces problèmes sont considérés dans la partie suivante.

ORIENTATION FUTURE DES RECHERCHES DU PROJET SAFGRAD-FSU

Les résultats les plus importants dans l'orientation des recherches futures viennent des essais conduits sur la ferme par les agronomes. D'habitude, les résultats des essais conduits par les fermiers ont de tels coefficients de variation que ni les chercheurs ni les preneurs de décisions peuvent en tenir compte. Une innovation due au projet SAFGRAD-FSU permet, dan les essais sous conduite du paysan, de s'accomoder à des fortes variations d fertilité dans un même champ en accroissant substantiellement la taille du champ par rapport à la taille des parcelles du centre de recherches.

La source primordiale de nouvelle technologie agricole est le centre de recherches. La principale fonction des essais sur ferme conduits par les agronomes est d'analyser les effets de ces paquets de technologies dans les conditions auxquelles est soumis le fermier. De même, l'analyse socio-économique est un complément nécessaire à la résolution des problèmes identifiés lors des essais conduits par les agronomes.

Le stade suivant dans cette analyse socio-économique doit inclure une analyse économique détaillée des résultats agronomiques les plus prometteurs.

Après avoir identifié la viabilité technique de la technologie à la ferme, de simples calculs de rentabilité ont été effectués (fig. 3). Pour cette campagne, se sont révélés rentables en Haute-Volta:

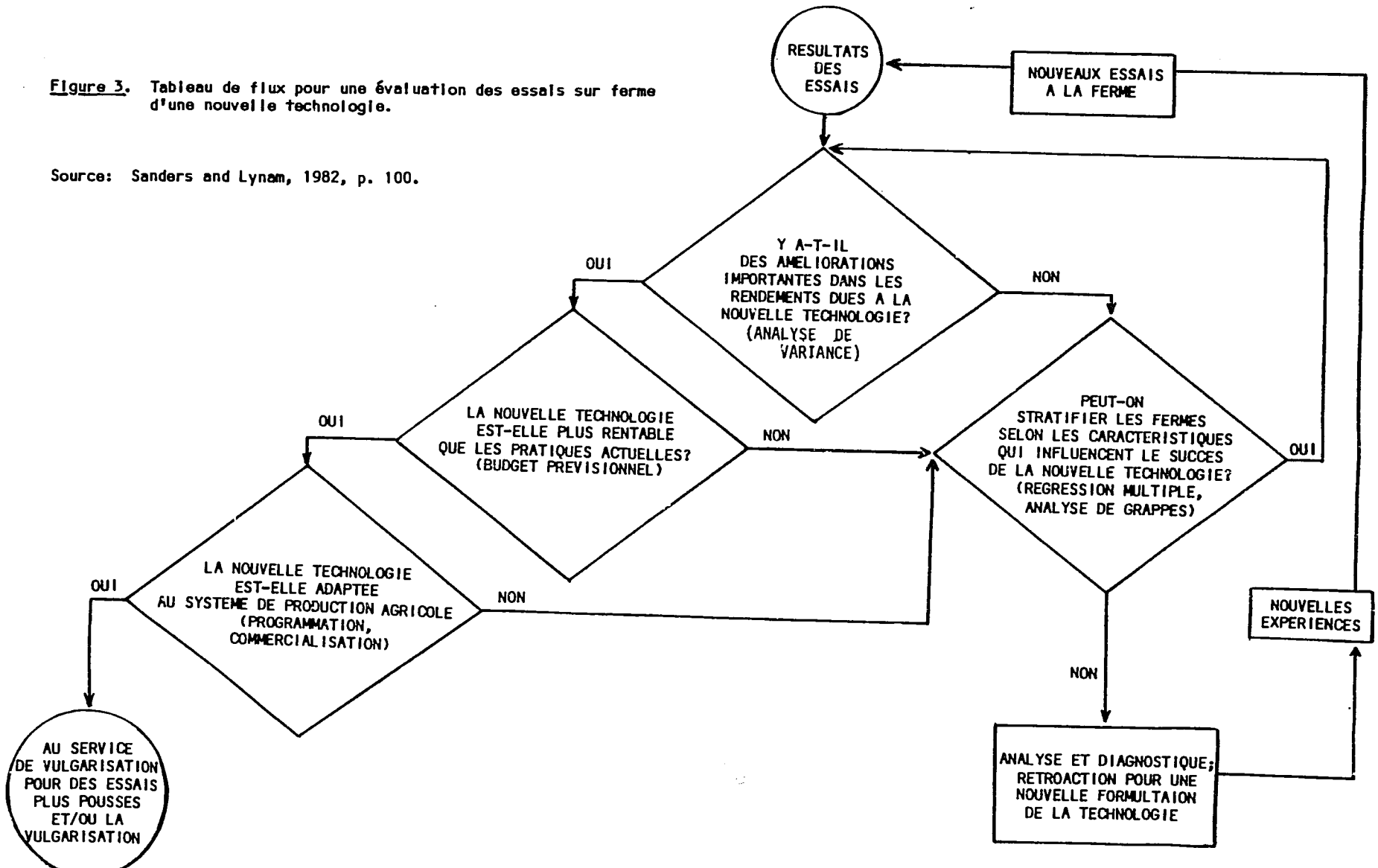
1) le buttage cloisonné et la fumure du sorgho sur la "terre à sorgho";
2) le buttage cloisonné du maïs sur champ de case;
3) la fumure du maïs sur la "terre à sorgho" dans les régions légèrement plus humides.

Le simple budget prévisionnel ne suffit pas à évaluer l'adéquation d'une technologie aux systèmes de production du fermier. Le stade suivant de l'analyse est constitué par la programmation linéaire qui permettra, à travers les prix implicites, d'identifier la productivité marginale en valeur du travail durant les différentes périodes auxquelles le buttage cloisonné pourrait être appliqué aux cultures du sorgho et du maïs sur champ de case. La viabilité économique de l'utilisation d'une source de traction alternative pour cette opération peut aussi être étudiée par ce moyen. La substitution du sorgho par le maïs sur la "terre à sorgho" est un autre sujet important qui doit être analysé par le biais de la programmation linéaire (PL).

Puisque les pluies sont si variables et constituent l'un des principaux déterminants du rendement, l'analyse par la PL de la maximisation du profit doit être étendue de manière à tenir compte de ces variations de rendements. La méthode la plus simple requiert l'utilisation de la variante MOTAD de PL. Une thèse de doctorat qui utilise cette technique dans une étude sur le terrain a été entreprise en Haute-Volta. Le travail a été organisé tout spécialement de manière à évaluer le choix entre rentabilité et risque dans une série de stratégies de fumure sur les cultures de sorgho et de maïs sur différents types

Figure 3. Tableau de flux pour une évaluation des essais sur ferme d'une nouvelle technologie.

Source: Sanders and Lynam, 1982, p. 100.



de terrains. Pour gagner plus d'argent, le fermier doit prendre plus de risques. La quantité de risques pris par le fermier augmentera probablement avec le temps, plus il verra la nouvelle technologie à l'oeuvre dans des conditions similaires à celles auxquelles il est soumis; l'augmentation des revenus du fermier aura le même effet incitatif (Goodwin et al., 1980, p. 739). Les scientifiques ne devraient pas faire d'hypothèse quant à l'attitude des fermiers face au risque. Ils doivent plutôt évaluer une série de nouvelles technologies et quantifier le potentiel de rentabilité et de risque liés à chaque alternative.

Il a été montré que l'observation de la variance de données simultannées (cross-section) constituait une mauvaise approximation de la variance temporelle, celle qui est pertinente (Evenson, 1978, p. 14). La variance de rendements qui préoccupe le fermier dépend des précipitations, des infestations d'insectes et des maladies; elle ne doit pas comporter d'éléments statiques tels que les qualités variables des sols ou des pratiques de gestion reflétées par les données simultannées. En bref, de plus amples efforts sont nécessaires pour quantifier le risque attaché aux différentes nouvelles technologies. La décision ultime quant aux niveaux de revenu espéré et de risque appropriés appartient au fermier.

Tout système agricole est en transition. Sur le Plateau Central, la situation se détériore avec la baisse des rendements céréaliers. Toutefois, les niveaux de risques que les fermiers prennent, ou disent maintenant pouvoir supporter, ne correspondent pas aux niveaux qu'ils pourront supporter lorsque les qualités des nouvelles variétés auront été démontrées dans des conditions semblables à celles de leur propre environnement. D'autre part, le fait qu'une

nouvelle technologie - techniquement au point, potentiellement rentable, et adaptée au système de production du fermier (voir fig. 3) - soit disponible, permettrait au gouvernement voltaïque d'appliquer une politique de prix, d'introduire une assurance couvrant les risques agricoles, ou d'autres modifications dans l'environnement économique qui puissent faciliter l'introduction de la nouvelle technologie.

La recherche agronomique sur le sorgho et le maïs a suffisamment avancé pour que des modèles légèrement plus sophistiqués - telle la programmation linéaire avec MOTAD - puissent être employés. Ce sont de simples innovations dans le domaine de la recherche qui ont des applications pratiques très immédiates; elles sont en cours d'installation sur les micro-ordinateurs du Ministère de l'Agriculture de la Haute-Volta, avec l'aide de l'Université de Purdue. La recherche sur le mil et les légumineuses n'a pas suffisamment progressé pour justifier l'utilisation de ces modèles plus sophistiqués.

Il faut encore s'adresser à un problème concernant la recherche sur les systèmes de production agricole qui est plus fondamental et plus général. Les agronomes ont l'habitude d'accorder beaucoup d'attention à l'établissement des données statistiques, de vérifier les résultats sur une période de plusieurs années et d'utiliser une série de techniques statistiques, telle l'analyse de variance, qui ont pour but de contrôler la qualité des données. Les dirigeants du pays ont besoin de nouvelles technologies à proposer rapidement. Les fermiers sont plus intéressés par la rentabilité et le degré d'adéquation à leur exploitation d'un ou deux nouveaux systèmes de production; peu leur importe le niveau de signification statistique des différents traitements et de leurs interactions. L'économiste peut utiliser les résultats des chercheurs

agronomiques, et avec des modèles simples, parfois des estimations synthétiques de variance, répondre aux besoins des gouvernements et des fermiers en nouvelles technologies applicables. La contribution de l'économiste doit comporter une certaine connaissance agronomique et des techniques simples de modélisation. Une collaboration interdisciplinaire efficace requiert une interaction permanente entre l'agronome et l'économiste, non seulement lors de l'analyse des données, mais aussi dans l'élaboration des expériences et même l'établissement du nombre de répétitions. Une interaction efficace demande une connaissance approfondie mutuelle de chacune des spécialités, y compris les principales techniques statistiques utilisées. Une autre composante importante de cette interaction réside dans la volonté de répondre rapidement aux problèmes réels associés à la génération et à l'évaluation de technologies, même lorsque l'information utilisable est primaire et synthétique. Des résultats préliminaires peuvent toujours être raffinés et améliorés avec des expériences et/ou la collection et l'analyse de données complémentaires.

D'autre part, dans les essais conduits par les agronomes, il a été démontré qu'il était essentiel pour l'évaluation de nouvelles technologies d'effectuer de nombreuses répétitions sur plusieurs champs de fermiers. L'efficacité des engrais dépendra de la fertilité initiale du sol. La performance d'une variété résistante au striga dépendra de l'existence d'une attaque de striga. Une stratification des essais sur les fermes sera souvent nécessaire pour identifer les facteurs associés au succès ou à l'insuccès de l'application d'une nouvelle technologie sur différentes fermes. Pour la réalisation de ces essais, les chercheurs du CIAT et de l'IRRI impliqués dans la recherche appliquée sur la ferme ont indépendamment développé une règle générale semblable d'environ 15 fermes par région agro-climatique (Sanders and

Lynam, 1982; Gomez et al., 1979). Cette recommandation rencontre souvent la désapprobation des agronomes qui souhaiteraient un plus grand nombre de répétitions sur chaque site. Toutefois, lors d'expériences menées en Colombie, la variance des rendements sur chaque ferme s'est montrée nettement moins importante que la variance mesurée entre les fermes. De plus, l'objectif des essais à la ferme n'est pas, comme au centre de recherches, de minimiser la variance associée aux rendements obtenus sans traitement, mais plutôt d'évaluer d'une manière systématique les sources de variance entre les fermes qui influencent la performance de la nouvelle technologie.

CONCLUSIONS

Les essais sur ferme indiquent qu'il est possible d'accroître les rendements et les revenus des petits fermiers avec l'introduction de nouvelles technologies dans la culture du sorgho et du maïs. Etant donné le faible niveau et l'irrégularité des pluies, ainsi que la faible fertilité du sol dans la région du Plateau Central, ceci constitue une réussite importante. Les régions du sud, et plus particulièrement le sud-ouest, ont un potentiel agricole plus élevé qui est dû aux pluies plus importantes et à la meilleure fertilité du sol. Pourtant, même dans la région du Plateau Central si démunie de ressources, l'effet combiné de l'amélioration de la rétention d'eau et de la fumure des sols a presque triplé les rendements de sorgho. L'application des résultats scientifiques obtenus au centre de recherches est donc un outil puissant pour les essais sur la ferme lorsque des composantes ayant des résultats positifs sont combinées.

L'accroissement des rendements du mil, du niébé et de l'arachide sur la ferme sont encore à venir. De plus, l'introduction de nouvelles variétés de

sorgho adaptées à un nouvel environnement amélioré grâce au buttage cloisonné et à la fumure constitue un espoir important. La prochaine étape de l'analyse économique implique l'utilisation de la programmation linéaire dans l'analyse de la ferme, tout en tenant compte des effets dus au risque à l'aide de la variante MOTAD. L'estimation de la rentabilité espérée et de la variance des revenus associées aux différents niveaux de fumure pour différents types de terres constitue un sujet de recherche prioritaire, puisque la contrainte de la fertilité des sols deviendra de plus en plus patente avec l'amélioration de la rétention d'eau.

Enfin, tout programme de développement agricole élaboré pour le Plateau Central doit se préoccuper de la dégradation à long terme des sols. L'élimination de la brousse, le raccourcissement ou l'élimination de la période de jachère, et le labourage des sols sablonneux et limoneux diminue la teneur en matières organiques et provoque le durcissement du sol; la fertilité de la terre et la capacité de rétention d'eau des sols en sont diminuées d'autant. Une recherche sur les sols et le potentiel technique et économique de la substitution de la fumure organique par la fumure inorganique est nécessaire et urgente pour ces régions. De plus, la recherche sur les systèmes de production agricole doit être adaptée au développement agricole du pays. En Haute-Volta, il pourrait y avoir un effort de développement accru dans le sud-ouest et le sud-est. Les meilleurs rendements du maïs observés à Diapangou soulignent les différences qui existent entre le Plateau Central et la savane orientale. La région du Sahel, à la pluviométrie marginale, située au nord du Plateau Central, constitue la région agricole la plus difficile. La concentration des efforts de ce projet sur le Plateau Central constitue le choix le plus difficile parmi les trois autres régions; en dépit de cette difficulté, des

gains appréciables y ont été obtenus. De plus amples efforts de recherche appliquée permettront sans doute d'obtenir d'autres gains sur le Plateau Central et dans les deux autres régions (fig. 1).

BIBLIOGRAPHIE

BALCET, J.C. and CANDLER, W., 1981. Farm Technology Adoption in Northern Nigeria. World Bank. Washington, D. C.

CHRISTENSEN, P., 1981. "Rock Phosphate Fertilizer in Upper Volta", SAFGRAD-FSU-USAID-Purdue, Ouagadougou, Upper Volta, mimeo, 36 pages.

DAGG, M. and J.C. MACARTNEY, 1968. "The Agronomic Efficiency of the NIAE Mechanized Tied Ridge System of Cultivation", Expt. Agric. 4:279-94.

EVENSON, R.E., J.C. O'TOOLE, R.W. HERDF, W.R. COFFMAN, and H.E. KAUFFMAN, 1978 "Risk and Uncertainty as Factors in Crop Improvement Research", IRRI Research Paper Series No. 15, International Rice Research Institute, Manila, Philippines, 19 pages.

GOMEZ, K.A., R.W. HERDT, R. BARKER, and S.K. DeDATTA, 1979. "A Methodology for Identifying Constraints to High Rice Yields on Farmers' Fields", in Farm Level Constraints to High Rice Yields in Asia: 1974-77, International Rice Research Institue, Los Banos, Philippines, pp. 395-411.

GOODWIN, J.B., J.H. SANDERS, and A.D. de HOLLANDA, 1980. "Ex Ante Appraisal of New Technology : Sorghum in Northeast Brazil", American Journal of Agricultural Economics 62:737-741.

JAEGER, W.K., 1983. "Animal Traction and Resource Productivity : Evidence from Upper Volta," Paper presented at the Third Annual Farming Systems Reserach Symposium, Kansas State University, Manhattan, Kansas, mimeo, 36 pages.

KAMARCK, A.M., 1976. The Tropics and Economic Development, International Bank for Reconstruction and Development (IBRD), Johns Hopkins Press, Washington, D.C.

LAWES, D.A., 1966. "Rainfall Conservation and the Yields of Sorghum and Groundnuts in Northern Nigeria", Expt. Agric. 2:139-146.

LELE, U., 1981. "Rural Africa : Modernization, Equity, and Long Term Development", Science 211:547-553.

MATLON, P.J., 1980. "Local Varieties, Planting Strategies and Early Season Farming Activites in Two Villages of Central Upper Volta", ICRISAT, Ouagadougou, Upper Volta, 53 pages.

MATLON, P.J., 1983. "Farmer Participation in Technology Evaluation - Five Case Studies from ICRISAT/West Africa", Paper presented at the Workshop on Farmers' Participation in the Development and Evaluation of Agricultural Technology", ICRISAT/SAFGRAD/IRAT; Ouagadougou, Upper Volta, mimeo, 42 pages.

NORMAN, O.W., 1982. "Socioeconomic Considerations in Sorghum Farming Systems", in Sorghum in the Eighties, Vol. 2, ICRISAT, Andhra Pradesh, India, pp. 633-646.

RUTHENBERG, H., [1956] 1980. Farming Systems in the Tropics, 3rd ed., Cambridge : Oxford University Press.

SAFGRAD-FSU, 1983. Farming Systems Reasearch in Upper Volta. 1982. SAGFRAD/FSU Annual Report, Ouagadougou, Upper Volta.

SANDERS, J.H. and J. LYNAM, 1982. "Evaluation of New Technology on Farms : Methodology and Some Results from Two Crop Programs at CIAT", Agricultural Systems 9:97-112.

SANDERS, J.H. and D.V. JOHNSON, 1982. "Selecting and Evaluating New Technology for Small Farmers in the Colombian Andes", Mountain Research and Development 2:307-316.

SAUNDERS, M.O., 1980. "The Mossi Farming System of Upper Volta", Working Paper No. 3, Farming Systems Research Unit, Purdue University, West Lafayette, Indiana, mimeo, 31 pages.

SCHOONHOVEN, A.V. and C. CARDONA, 1979. "Insects and Other Bean Pests in Latin America", Chapter 20 in H.F. SCHWARTZ and G.E. GALVEZ, eds., Bean Production Problems, Disease, Insect, Soil, and Climatic Constraints of Phaseolus vulgaris, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, pp. 363-413.

SKINNER, E.P., 1965. "Labor Migration Among the Mossi of the Upper Volta", edited by H. KUPER, Urbanization and Migration in West Africa, University of California Press, Berkeley, pp. 60-84.

SRIVASTAVA, K.L., S.M. VIRMANI, and T.J. WALKER, 1983. "Farming Systems Research in a Watershed Framework : Experience Relative to Vertisol Management in Semi-Arid Tropical India", Paper presented at the Third Annual Farming Systems Research Symposium, Kansas State University, Manhattan, mimeo, 28 pages.

STOOP, W.A., C.M. PATTANAYAK, P.J. MATLON, and W.R. ROOT, 1982. "A Strategy to Raise the Productivity of Subsistence Farming Systems in the West African Semi-Arid Tropics", in Sorghum in the Eighties, Proceedings of the International Symposium on Sorghum, Vol. 2, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Andhra Pradesh, India, pp. 519-526.

UNITED NATIONS, 1977. Desertification : Its Causes and Consequences, Pergamon Press, Elmsford, New York.

WORLD BANK, 1981. Accelerated Development in Sub-Saharan Africa, An Agenda for Action, Washington, D.C.

WORLD BANK, 1983. Progress Report on Development Prospects and Programs, International Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C., 32 pages.