

Intensification agricole en région sahélo-soudanienne

2. Productivité et risques économiques

Marc Piraux ⁽¹⁾, André Buldgen ⁽²⁾, Patrick Steyaert ⁽²⁾, Abdoulaye Dieng ⁽³⁾

⁽¹⁾ Adresse actuelle : CIRAD-SAR (Systèmes agroalimentaires et ruraux). Rue J-F Breton, 73. F-34090 Montpellier (France). ⁽²⁾ Unité de Zootechnie, Faculté universitaire des Sciences agronomiques. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). ⁽³⁾ Département des Productions animales, École nationale supérieure d'Agriculture (ENSA). Route de Khombole, BP 296. Thiès (Sénégal).

Reçu le 12 décembre 1996, accepté le 5 avril 1997.

Cette deuxième partie est consacrée à l'analyse de la productivité de la terre et du travail au sein d'un système agricole traditionnel et de deux systèmes améliorés, expérimentés en station dans la partie centre-ouest du Bassin arachidier sénégalais. Les systèmes intensifiés associent des activités agricoles et d'élevage et utilisent des moyens de mécanisation à traction bovine ou motorisés. Les résultats montrent que les rendements des cultures croissent systématiquement avec l'intensification. Cette dernière augmente aussi les quantités de sous-produits valorisables en alimentation animale. Par ailleurs, l'amélioration de la fertilité des sols stabilise les rendements. Cependant le risque économique lié à l'intensification dépend fortement du contexte climatique. Le seuil de 400 mm de précipitations annuelles apparaît déterminant pour assurer une nette augmentation de la productivité de la terre et du travail, justifiant une opération d'intensification qui conjugue labour, amendements calcaire et organique, et fumure minérale. Dans la zone à risque climatique, comme celle où s'est déroulée l'expérimentation, la diversification des activités agricoles augmente et stabilise les revenus. Des productions telles que le manioc ou le bissap et l'insertion d'une culture fourragère pérenne offrent des perspectives de développement intéressantes. Les contraintes qui entravent la diffusion de ces innovations sont liées aux conditions de marché, à la faisabilité des temps de travaux, à la gestion de la fertilité des sols et au contexte institutionnel. Des adaptations tactiques sont également analysées en vue de minimiser les risques.

Mots-clés. Diversification, Bassin arachidier, productivité, rendement des cultures, risque climatique, Sénégal.

Intensification of farming in the Sahelian-Sudanese region. 2. Productivity and economic risks. This second part concerns the analysis of land productivity and labour results within a traditional farming system and two improved systems experimented on a site in the center-west part of the Senegalese groundnut basin. Intensified farming systems associate farming and livestock and use motorized or draft cultivation (oxen) as means of mechanization. Results show that intensification systematically increases crop yields and gives rise to larger amounts of by-products fitting well for use as animal feed. Furthermore, yields stabilize with soil fertility improvement. The economic risk linked to intensification strongly depends on the climatic context. A 400 mm annual rainfall appears as a threshold to insure a net increase of land and labour productivity, justifying an intensification operation that combines plowing, liming material, organic and mineral fertilizer applications. In the climatic risk zone like that where the experimentation took place, the diversification of farming activity increases and stabilizes income. Therefore, productions as cassava or bissap and the integration of a perennial forage crop offer interesting development perspectives. The constraints limiting the adoption of intensified and diversified farming systems are linked to market conditions, time-labour feasibility, soil fertility management and institutional context. To minimize the risks, tactical adjustments are also analyzed.

Keywords. Diversification, groundnut basin, productivity, crop yield, climatic risk, Senegal.

INTRODUCTION

Les années de sécheresse et l'augmentation de la pression démographique ont provoqué des évolutions profondes au sein du système agraire du Bassin arachidier sénégalais. Les systèmes culturels actuels, qui se basent sur des cultures continues de mil et d'arachide, assurent des niveaux de production de plus en plus faibles. D'après Piéri (1989), les rendements de l'arachide baissent inexorablement à la fois pour des

raisons climatiques et à cause d'une véritable dégradation de l'environnement. Par contre, les rendements moyens de la culture de mil, établis sur les vingt dernières années, peuvent être considérés comme stables si on élimine les effets des répartitions annuelles et interannuelles très hétérogènes des précipitations. Cette relative stabilité des rendements est liée à l'utilisation de fumures organique et minérale, même si cette dernière est limitée. Elle résulte également d'un recours systématique à la traction

équine ou asine qui permet des interventions culturales plus rapides, principalement les semis et les sarclages. Les stratégies privilégiées par les agriculteurs sont cependant insuffisantes pour limiter les écarts de production en années sèches. Au Sénégal, cette situation engendre régulièrement des périodes de disette alimentaire (Lombard, 1989) qui sont également décrites par plusieurs chercheurs pour l'ensemble de la sous-région (Tourte *et al.*, 1971 ; Wey *et al.*, 1987 ; Dugué, 1989 ; Piéri, 1989 ; Grousiz et Albergel, 1989).

La diffusion de nouvelles techniques de production visant à augmenter et à stabiliser les rendements céréaliers et les revenus peut être à l'origine de nouvelles contraintes qu'il s'agit d'évaluer. Ces contraintes concernent surtout l'organisation du travail et l'économie des productions. Plusieurs auteurs affirment en effet que les charges générées par l'intensification des cultures accroissent les risques économiques liés aux perturbations climatiques (Munzinger, 1982 ; Martin, 1991 ; Faure, 1994). Au Sénégal, la politique de désengagement de l'État instaure, elle aussi, un contexte économique moins favorable au développement agricole. Comme le précise Faure (1994), la stagnation des prix accordés aux productions agricoles face à une augmentation des coûts de production est peu favorable au remboursement des crédits et provoque, entre autres, de très faibles investissements agricoles. La récente dévaluation du franc C.F.A. (FCFA) a permis au pays de renouer avec la croissance mais il ne faut pas s'attendre à des conditions de vie nettement meilleures des populations et à des capacités importantes de réinvestissement dans l'agriculture en raison des conditions climatiques et économiques défavorables qui ont caractérisé les années précédant la dévaluation (Goreux, 1995). Dans ce contexte difficile, il est urgent d'adapter les systèmes de production afin qu'ils assurent à la fois une augmentation des rendements, une sécurisation des productions et la sauvegarde de l'environnement. L'expérimentation menée à l'ENSA (École nationale supérieure d'Agriculture) de Thiès au cours de cinq campagnes agricoles a été réalisée dans cette optique et a permis d'évaluer le risque climatique et les contraintes économiques liées à l'intensification et à la diversification des productions végétales.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Résumé des conditions expérimentales

Les conditions expérimentales et les itinéraires techniques qui ont été suivis sont décrits dans la première partie de cet article (Piroux *et al.*, 1997). En

résumé, l'expérimentation visait à comparer les techniques de production traditionnelles de la région (SET ou système extensif traditionnel, appliqué à 3 ha) à deux autres systèmes caractérisés par des moyens de mécanisation plus importants et basés sur une intégration de l'animal à l'exploitation, à savoir, le SITA (système intensifié par la traction animale, appliqué à 7 ha) et le SIM (système intensifié par la motorisation, appliqué à 10 ha). Cette expérimentation a été conduite en station pendant cinq années consécutives. Le protocole s'est orienté vers une adaptation continue des techniques et des rotations culturales en fonction des conditions climatiques, en veillant à introduire des éléments de diversification au sein de chacun des systèmes. Les différentes campagnes agricoles, marquées par des conditions de pluviosité très variables, caractérisent bien la zone à risques climatiques identifiée par Buldgen *et al.* (1994) dans la partie centre-ouest du Bassin arachidier sénégalais. En fonction des quantités et de la répartition des pluies, les années peuvent être classées comme suit : très bonne (1989), moyennes (1988 et 1990), mauvaise (1992), très mauvaise (1991).

Les calculs financiers

La productivité du travail et le ratio exprimant le rapport entre la valeur des produits et le coût de la production ont été analysés pour chaque culture afin d'évaluer les performances économiques des différents systèmes. La productivité du travail est définie à partir du rapport entre les profits (sans comptabiliser les frais de main-d'œuvre) et les temps de travaux. Par ailleurs, les prix des produits et des matériels n'ont pas été modifiés malgré la dévaluation du FCFA en janvier 1994 car les itinéraires techniques qui ont été suivis sont étroitement liés au contexte économique de l'époque (1988 à 1992). La consommation d'engrais, notamment, n'aurait certainement pas été la même si les prix avaient augmenté. Les répercussions de la dévaluation seront toutefois analysées plus loin (p. 215 et suivantes).

Les coûts horaires en traction équine et bovine sont déterminés à partir du rapport entre le coût annuel de la traction et le nombre d'heures de travail nécessaire pour cultiver une superficie agricole moyenne de l'exploitation traditionnelle de la région. Celle-ci a été fixée à 8,3 ha. Elle correspond aux données de la littérature (ICRA, 1982 ; Benoît-Cattin, 1982 ; Orsini *et al.*, 1985 ; Garin, 1991) et aux résultats d'une enquête dans la région centrale du Bassin arachidier (Piroux *et al.*, 1996).

Les prix des matériels agricoles adoptés pour calculer le coût horaire en traction équine (SET) sont ceux pratiqués en hors-taxe au Sénégal en 1990. Les taxes n'ont pas été comptabilisées car l'intensification a

été envisagée sur la base d'un financement étranger. Les coûts d'entretien et les durées d'amortissement correspondent aux normes établies pour la région par Havard (1987). Comme les chevaux ne bénéficient pas d'une valeur de réforme en boucherie, le prix d'achat de l'animal (60 000 FCFA) est entièrement amorti sur une période de 10 ans. Le coût annuel du cheval ainsi que le prix de la charrette ont été réduits de moitié pour tenir compte de leur utilisation à des fins non agricoles. Le calcul aboutit ainsi à un coût horaire de 250 FCFA.

Une démarche similaire a permis de déterminer le coût horaire en traction bovine. Les animaux de trait permettent toutefois de dégager une plus-value liée à l'accroissement de poids au cours de leur carrière. Les coûts et les produits engendrés par ce mode de traction ont été affectés à raison de 70 % aux cultures car, en dehors des productions végétales, les activités de transport sont relativement réduites. Le coût horaire de la traction bovine s'élève ainsi à 580 FCFA.

Dans le SIM, les calculs sont basés sur les normes du Centre d'Étude de la Mécanisation en Agriculture (Ministère belge de l'Agriculture, 1984), en veillant toutefois à adapter les coûts spécifiques au matériel et à son entretien aux prix en vigueur au Sénégal.

Dans les systèmes améliorés, les autres frais amortis sur les cultures sont les suivants : les frais d'épandage du carbonate de calcium (4 000 FCFA par ha et par an en SITA et 9 000 FCFA en SIM) sont répartis sur une période de trois ans ; les charges relatives à l'installation des cultures pluriannuelles sont amorties sur l'ensemble des années de culture, soit quatre ans pour l'*Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* et deux ans pour le manioc. Les coûts relatifs à la fumure organique (valeur de la poudrette de parc et épandage) sont répartis sur deux ans car cette opération est bisannuelle. Le prix du kilo de poudrette est fixé à 2 FCFA. Ce prix constitue un compromis entre les valeurs monétaires de la littérature, 4 FCFA selon Bosma et Jager (1992) pour du fumier, le prix de revient calculé à partir de la valeur financière des matières fertilisantes de la poudrette (2,5 FCFA) et sa valeur marchande en milieu villageois, qui est pratiquement nulle. Ce prix n'a toutefois guère d'importance dans la rentabilité globale du système puisqu'il constitue une charge pour les cultures et un bénéfice pour les productions animales.

En principe, les prix des différents produits des cultures varient en fonction de l'offre sur le marché. Celle-ci est fortement influencée par le déroulement de la saison des pluies précédente. En moyenne, les prix ont été de 72 FCFA par kg pour le mil et le sorgho, de 80 FCFA pour le maïs et de 160 FCFA pour le niébé. Le prix de vente du fourrage d'*Andropogon gayanus* a été calqué sur celui de la fane d'arachide, soit 40 FCFA par kg de MS en moyenne. D'autres produits, moins

sensibles aux fluctuations du marché, ont bénéficié de prix de vente constants pendant toute la durée expérimentale, à savoir

- graines d'arachide : 70 FCFA/kg ;
- pailles de céréales et son de mil : 10 FCFA/kg ;
- graines de bissap : 50 FCFA/kg ;
- pétales séchés de bissap : 500 FCFA/kg ;
- manioc : 100 FCFA/kg ;
- tiges de manioc (boutures) : 15 FCFA par tige.

Le coût des engrais a subi de 1988 à 1992 une hausse de 20 % pour l'engrais composé 8-18-27 (de 83,5 à 100 FCFA par kg) et de 36 % pour l'urée (de 70 à 95 FCFA par kg).

LES RENDEMENTS

Les rendements en grains, en fourrage et en sous-produits obtenus pour les différentes cultures au sein des trois systèmes sont présentés au **tableau 1** pour les cinq années d'expérimentation.

D'une manière globale, les résultats indiquent que les rendements croissent avec l'intensification. Les résultats qui ne suivent pas cette tendance résultent de problèmes techniques qui se sont posés lors de la mise en œuvre des systèmes expérimentaux. Par ailleurs, les écarts-types caractérisant les moyennes sont généralement importants et témoignent de la variabilité climatique interannuelle. L'intensification augmente aussi les productions en sous-produits valorisables par les activités d'élevage. Mises à part les cultures fourragères, c'est surtout la paille de mil qui contribue à augmenter les capacités d'accueil en bétail dans les systèmes intensifiés par la traction bovine ou la motorisation. L'influence de la pluviosité et la réponse à l'intensification se marquent différemment en fonction de la longueur du cycle des diverses plantes.

Les cultures traditionnelles

Les résultats obtenus pour le mil et l'arachide montrent une nette diminution des productions en SET et en SITA, lorsque la pluviosité est inférieure à 400 mm. Pour exemple, les rendements de la culture d'arachide (gousses et fanes) en SET chutent d'environ 85 % au cours des deux dernières années qui sont moins favorables. Par contre, la diminution de production est plus réduite pour la culture de mil, même si les quantités de pluie des deux dernières années sont inférieures aux besoins en eau de la variété de mil Souna III, estimés à 420 mm (Dancette, 1983). Le **tableau 1** montre que les rendements en mil obtenus au sein du système traditionnel sont quadruplés dans le SITA et multipliés par six dans le SIM. Toutefois, le

Tableau 1. Rendements en grains, en kg par ha, et en pailles, en kg de matière sèche par ha (nombres entre parenthèses) obtenus pour les cultures de céréales, de légumineuses et diversifiées (bissap, manioc, sésame et cultures fourragères) durant les cinq années expérimentales au sein des trois systèmes de production — *Grain yields, in kg per hectare and straw yields, in kg dry matter per hectare (numbers inside parentheses), yields for cereals, legumes and diversification crops (bissap, cassava, sesame and fodder crops) during the five experimental years in the three farming systems.*

Années	1988	1989	1990	1991	1992	Moyennes ± écarts-types	
Pluviosité annuelle (mm)	515	571	437	249	365		
Cultures traditionnelles						Moyennes ± écarts-types	
Mil	SET	134 (496)	150 (600)	628 (2340)	112 (300)	138 (1500)	232 ± 198 (1047 ± 767)
	SITA	442 (1635)	1398 (3000)	920 (3500)	645 (3000)	632 (3250)	807 ± 332 (2877 ± 648)
	SIM	1115 (4120)			589 (3650)	692 (2900)	799 ± 228 (3557 ± 502)
Maïs	SITA		2460 (2000)	454 (1400)			1457 ± 1003 (1700 ± 300)
	SIM		2908 (1500)				2908 (1500)
Sorgho	SITA		1132 (4000)	280 (2000)			706 ± 426 (3000 ± 1000)
	SIM		3826 (2600)				3826 (2600)
Arachide	SET	340 (254)	360 (696)	360 (770)	30 (140)	55 (150)	229 ± 153 (402 ± 274)
	SITA	422 (1260)	288 (440)				355 ± 67 (850 ± 410)
	SIM	679 (1850)	475 (970)				577 ± 102 (1410 ± 440)
Niébé	SET		423 (279)				423 (279)
	SITA		174 (142)		135 (320)		155 ± 20 (231 ± 89)
Cultures de diversification						Moyennes ± écarts-types	
Bissap (pétales secs)	SET			244	236	120	200 ± 59
	SITA			368	145		257 ± 112
	SIM					218	218
Manioc (tubercules)	SET			635	1180		908
	SITA			750	1281		1016
Sésame	SET					0	0
	SITA			435	268		352 ± 84
<i>A. gayanus</i>	SITA		(1250)	(4250)	(1425)	(1250)	(2044 ± 1276)
	SIM	(1125)	(10921)	(6020)	(2520)	(2500)	(4617 ± 3543)
Cultures fourragères annuelles	SIM	mil (6280)	mil (6683)	maïs (3045)	sorgho (1520)		(4216 ± 2204)
				sorgho (3550)			

SET : système extensif traditionnel ; SITA : système intensifié par la traction animale ; SIM : système intensifié par la motorisation.

niveau de production moyen de la culture est relativement faible dans le SET. Sans tenir compte des pluviosités défavorables, ceci résulte d'infestations régulières de *Striga hermonthica* (Del.) qui caractérisent les sols sableux très dégradés. Par ailleurs, de tels écarts de production en système traditionnel sont rapportés par de nombreux auteurs (Benoît-Cattin, 1981 ; Piéri, 1989 ; Wey *et al.*, 1987 ; Dugué, 1989 ; Forest *et al.*, 1991 ; Bosc, Garin, 1993). L'amélioration de la fertilité du sol a aussi un effet stabilisateur sur les rendements en mil. Le coefficient de variation des rendements annuels est en effet égal à 96 % dans le

système traditionnel (SET) alors qu'il s'élève seulement à 46 % dans le SITA et à 35 % dans le SIM.

Les effets de l'intensification sur les rendements des légumineuses sont nettement moins prononcés. Il est probable que les variétés actuelles, sélectionnées pour leur précocité et leur adaptation aux sols dégradés de la région, ne permettent pas d'obtenir des rendements suffisamment élevés lorsqu'elles sont cultivées dans des conditions intensives. Par ailleurs, la culture de niébé, adaptée à des conditions de faible pluviométrie, est très sensible aux attaques parasitaires. Quand la date de semis est retardée, comme c'est le cas par exemple

dans le système en traction bovine, les pucerons provoquent d'importants dégâts. Eu égard à leur faible réponse à l'intensification, les légumineuses ont d'ailleurs été abandonnées dans les systèmes améliorés au cours des trois dernières années expérimentales.

Les cultures de diversification

Le **tableau 1** montre que certaines cultures de diversification introduites dans les systèmes semblent intéressantes. Tel est le cas pour le bissap (*Hibiscus sabdarifa* L.) et le manioc. De plus, ces productions réagissent favorablement à l'intensification car les rendements sont équivalents en SET et en SITA, malgré le labour de début de cycle qui entraîne inévitablement un retard d'installation de la plante en SITA. Par ailleurs, le nombre de tiges destinées à la production de boutures de manioc augmente également en SITA.

D'autres cultures de diversification (sorgho, maïs, sésame) ont été expérimentées au sein des systèmes améliorés. Cependant, ces cultures ne sont pas arrivées à maturité lors de conditions climatiques difficiles, ce qui explique les faibles rendements moyens obtenus. Cette affirmation doit cependant être nuancée pour la culture de sorgho car les mauvais résultats enregistrés sont en partie liés aux semences médiocres et à la variété (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, race *caudatum*, var. CE 151-90). La faible qualité des lots de semences sélectionnées a en effet provoqué une forte hétérogénéité de la levée. Par ailleurs, cette variété est très sensible aux moisissures du grain (Luce, 1994). Enfin, si la production obtenue pour la culture du sésame (350 kg) correspond à sa moyenne en Afrique de l'Ouest (Schilling, Cattan, 1991), la culture souffre lorsque la pluviosité annuelle est inférieure à 400 mm. Les rendements des cultures

fourragères obtenus au sein des systèmes améliorés au cours des cinq années expérimentales indiquent que les quantités de fourrage récoltées à partir de la culture d'*Andropogon gayanus* chutent, en SITA, dès la troisième année. Ceci résulte à la fois de la faible pluviométrie enregistrée en 1991 et des problèmes de surexploitation des parcelles. Les recherches réalisées au sein du Centre d'application de l'ENSA ont toutefois montré l'intérêt de cette culture (Dieng, 1991). Dans les conditions climatiques de la région, ces travaux indiquent que la jachère à *Andropogon gayanus* produit quatre à cinq fois plus que la jachère naturelle. En SIM, les résultats montrent que seule la culture de mil destinée à l'ensilage est intéressante car elle a permis de récolter plus de 6 tonnes de MS par ha. Cette culture a toutefois été réalisée au cours d'années climatiques qui l'ont fortement avantagée.

LES TEMPS DE TRAVAUX

Par rapport au système traditionnel, les temps moyens de traction et de main-d'œuvre (**Tableau 2**) augmentent avec l'introduction de la traction bovine et diminuent avec la motorisation. C'est généralement le cas pour l'ensemble des cultures, excepté toutefois pour les légumineuses en ce qui concerne les temps de main-d'œuvre. En SITA, l'augmentation des temps de travaux résulte, d'une part, des opérations culturales supplémentaires telles que le travail du sol en sec, le labour et le hersage et, d'autre part, des temps de récolte plus importants. Par contre, les temps requis pour les opérations de semis et de sarclage diminuent avec l'intensification. Le semis réalisé sur trois ou quatre rangs en traction bovine est en effet plus rapide malgré la plus faible vitesse de progression des bœufs par rapport au cheval. Par ailleurs, eu égard à l'efficacité du labour dans la lutte contre les adventices, il faut en

Tableau 2. Temps moyens de traction (en heures par ha) et de main-d'œuvre (en jours par ha) pour les différentes cultures au sein des trois systèmes de production — *Average times of traction (hours per ha) and labour (days per ha) for the different crops in the three farming systems.*

Cultures	SET		SITA		SIM	
	Temps de traction (h/ha)	Temps de main-d'œuvre (d/ha)	Temps de traction (h/ha)	Temps de main-d'œuvre (d/ha)	Temps de traction (h/ha)	Temps de main-d'œuvre (d/ha)
Mil	16,6	38	42,8	51	13,4	24
Arachide	35,6	51	46,8	32		
Niébé	28,5	48	43,8	27	12,9	14
<i>A. gayanus</i>			40,5	33	13,9	7
Bissap	24,7	116	64,5	121	11,4	81
Manioc	17,0	36	21,0	40		
Maïs			49,8	68	12,1	55
Sorgho			50,0	37	22,3	22

SET : système extensif traditionnel ; SITA : système intensifié par la traction animale ; SIM : système intensifié par la motorisation.

moyenne quatorze heures de traction par ha pour la réalisation du sarclage en SET alors que six heures suffisent en SITA. En SIM, les temps de sarclage sont encore plus faibles (1,5 h). Pour cette opération, les temps moyens de main-d'œuvre diminuent également de 60 % en moyenne en SITA (8 jours en moyenne par ha) par rapport au SET (18 jours), soit une économie de 10 jours par ha.

En SET, l'arachide est la culture la plus exigeante en temps de traction en raison de la mécanisation de la récolte. Les heures de traction sont les plus importantes pour le bissap en SITA mais cette situation est très artificielle car un labour a systématiquement précédé cette culture. Les temps globaux de main-d'œuvre dépendent fortement des temps de récolte. La culture de bissap, par exemple, nécessite 35 jours de travaux en moyenne pour la récolte de 100 kg de pétales. Elle occasionne les temps de main-d'œuvre globaux les plus importants, dans les trois systèmes. Si la récolte se mécanisait en SIM, les temps de main-d'œuvre pourraient être nettement inférieurs.

Les conditions climatiques, qui déterminent le niveau des rendements et l'importance du développement des adventices, font subir aux temps de travaux une importante variation au cours des années. Ces fluctuations sont nettement moins prononcées dans les systèmes plus intensifiés. La culture de l'arachide en SET enregistre, par exemple, une diminution de moitié des temps de main-d'œuvre et de plus de 40 % des temps de traction lorsque la pluviosité est inférieure à 400 mm. Ceci résulte d'une diminution des temps de sarclage et de récolte (en traction et en main-d'œuvre) atteignant respectivement 50 % et plus de 70 %.

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

Évaluation économique des productions

Rapport entre charges et recettes des cultures. Les charges financières des cultures correspondent aux coûts engendrés par la traction, la main-d'œuvre et les intrants (coûts des semences, des engrais minéraux et organiques ainsi que des produits phytosanitaires éventuels). Si l'on tient compte de tous les sous-produits valorisables sur le marché local, les résultats montrent que les charges et les recettes moyennes globales des cultures augmentent avec l'intensification et la pluviosité.

Les différentes charges moyennes enregistrées au sein des trois systèmes sont représentées à la **figure 1**. La main-d'œuvre a été comptabilisée à 1 000 FCFA/jour. Lorsque le niveau d'intensification croît, les charges en intrants et en traction augmentent régulièrement alors que les charges en main-d'œuvre

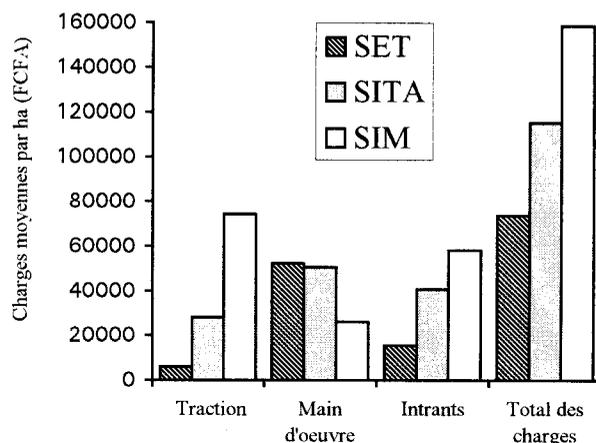


Figure 1. Évolution des charges par ha pour les cultures dans les trois systèmes — *Evolution of global costs per ha for crops in the three systems.*

SET : système extensif traditionnel ;
SITA : système intensifié par la traction animale ;
SIM : système intensifié par la motorisation.

diminuent (surtout dans le SIM). Ces dernières sont les plus importantes dans les systèmes en traction animale (SET et SITA) si la main-d'œuvre est rémunérée à plus de 500 FCFA par jour. Dans le SIM, la part des coûts de traction est prépondérante.

En général, les productions qui assurent les meilleures recettes sont aussi celles dont les charges de cultures sont les plus élevées. Le niébé constitue la seule exception à cette règle. Il en est ainsi pour le bissap et le manioc en SET et en SITA (recettes de 100 000 et 115 000 FCFA par ha respectivement) et pour les cultures fourragères ensilées dans le SIM (recettes de 175 000 FCFA par ha). L'importance des charges culturales est liée à plusieurs facteurs : le coût des boutures du manioc, le labour réalisé systématiquement avant l'installation du bissap et du manioc en SITA et les opérations totalement mécanisées pour les cultures fourragères ensilées en SIM.

Lorsque la pluviosité augmente, l'accroissement des charges est lié, d'une part, en matière de traction et de main-d'œuvre, à l'importance des récoltes et, d'autre part, aux plus grandes quantités d'intrants utilisées. Lorsque les conditions climatiques sont meilleures, les résultats montrent aussi que les recettes augmentent dans des proportions plus grandes que les charges dans tous les systèmes agricoles et en particulier dans les systèmes améliorés. Lorsque la pluviosité est faible, le

Tableau 3. Revenus moyens obtenus sans comptabiliser les coûts de main-d'œuvre (en FCFA/ha) et productivités moyennes du travail (en FCFA par jour de travail) pour les différentes cultures dans les trois systèmes de production, avant et après dévaluation du FCFA — *Average incomes obtained without including labour costs (FCFA/ha) and average labour productivities (FCFA per working day) for the different crops in the three farming systems before and after devaluation of FCFA.*

Cultures	Système	Avant dévaluation du FCFA		Après dévaluation du FCFA	
		Revenu	Productivité du travail	Revenu	Productivité du travail
Arachide	SET	9 500	190	6 500	290
	SITA	- 10 400	- 320	- 46 400	- 1 450
	SIM	- 22 000	- 1 370	- 99 700	- 4 000
Mil	SET	20 300	530	22 800	600
	SITA	27 800	540	14 800	290
	SIM	- 1 000	- 40	- 56 640	- 2 360
Niébé	SET	35 600	740	42 510	890
	SITA	- 17 100	- 630	- 41 370	- 1 530
	SIM	- 135 100	- 9 650	- 249 450	- 17 820
Maïs	SITA	23 100	340	32 990	490
	SIM	94 000	1 700	134 790	2 450
Sorgho	SITA	- 5 500	- 150	- 38 060	- 1 030
	SIM	- 14 700	- 670	- 94 140	- 4 280
Bissap	SET	86 500	750	101 950	880
	SITA	55 700	460	37 520	390
	SIM	42 600	530	2 830	40
Manioc	SET	53 200	1 480	57 910	1 600
	SITA	46 800	1 170	41 380	1 040
Sésame	SITA	- 36 500	- 1 100	- 73 440	- 2 230
<i>A. gayanus</i>	SITA	29 200	880	3 900	120
	SIM	2 000	290	- 35 000	- 5 000

SET : système extensif ; SITA : système intensifié par la traction animale ; SIM : système intensifié par la motorisation.

rapport des recettes sur les charges des cultures est nettement supérieur en SET. Dans une région où la fréquence des déficits pluviométriques est élevée, le rapport recette sur coût des cultures favorise donc le système traditionnel, surtout lorsque les charges en main-d'œuvre ne sont pas comptabilisées.

Revenu et productivité du travail. Les valeurs obtenues pour le revenu et pour la productivité du travail des cultures réalisées dans les trois systèmes sont présentées au **tableau 3**. À titre de comparaison, la valeur du SMIG à l'époque était de 1 000 FCFA par jour, mais la main-d'œuvre était souvent rémunérée à raison de 500 FCFA par jour en milieu rural.

Les résultats varient fortement selon les productions. L'arachide assure le moins bon résultat parmi les cultures réalisées dans le SET et sa productivité du travail apparaît également négative dans les systèmes améliorés. Au sein de ces systèmes,

la culture de niébé fournit des résultats similaires. Les résultats économiques peu encourageants des cultures de sésame et de sorgho confirment les remarques qui ont été formulées à propos des rendements de ces cultures. Les résultats de la culture du mil sont supérieurs car la productivité du travail dépasse 500 FCFA par jour, du moins en SET et en SITA. Le bissap et le manioc assurent les revenus et les productivités du travail les plus importants. En SIM, seules les cultures fourragères, le bissap et le maïs sont rentables. Les bonnes performances économiques du maïs dans le SIM résultent en grande partie des excellents rendements enregistrés en 1989.

Les résultats de la productivité du travail obtenus pour chacune des productions sont conditionnés par les temps de travaux. C'est ainsi que la culture du bissap, qui assure le meilleur revenu dans les systèmes en traction animale mais qui consomme énormément de temps de récolte manuelle, valorise moins bien la

main-d'œuvre que la culture du manioc. Celle-ci constitue en effet la production la plus intéressante dans les deux systèmes (1 480 FCFA/jour de travail en SET et 1 170 FCFA/jour en SITA). Elle précède nettement la culture du bissap en SET (770 FCFA/jour) et celle d'*Andropogon gayanus* en SITA (880 FCFA/jour). Enfin, les prix de revient au kg de foin d'*A. gayanus* et du mil fourrager inférieurs à 40 FCFA démontrent l'intérêt de ces cultures.

D'une manière globale, les résultats du **tableau 3** indiquent que la fréquence élevée des années à faible pluviosité favorise les cultures réalisées en SET plutôt qu'en SITA. C'est pourquoi la productivité du travail est analysée au **tableau 4** pour les systèmes en traction animale en considérant plus et moins de 400 mm de précipitations annuelles. Il faut toutefois rappeler que les résultats de l'expérience ont été obtenus avec un minimum de 250 mm de pluie et un maximum de 570 mm. Lorsque le seuil de 400 mm est franchi, la productivité du travail augmente pour toutes les cultures dans les deux systèmes et surtout pour l'arachide en SET ainsi que pour l'*Andropogon gayanus* et le bissap en SITA. D'une manière générale, les performances économiques sont légèrement supérieures en SITA, excepté pour l'arachide qui réagit mal à l'intensification. En dessous de cette pluviosité, les cultures en SET sont plus performantes.

Incidence de la dévaluation. La dévaluation du FCFA en janvier 1994 a considérablement modifié les données économiques des systèmes de production. En effet, le prix des engrais a fortement augmenté : le prix de l'urée est passé de 95 à 192 FCFA/kg et celui de l'engrais composé 8-8-10 de 75 à 115 FCFA/kg. Le prix des produits phytosanitaires a doublé. Les coûts

de la main-d'œuvre ont augmenté de 20 % et ceux des différents matériels en traction ont subi une hausse moyenne de 63 %. Dans ces conditions, les coûts horaires de traction s'élèvent à 340 FCFA en traction équine et à plus de 1 000 FCFA en traction bovine, soit 36 % et 88 % d'augmentation respectivement. Les prix des produits agricoles ont bénéficié d'une hausse moyenne de 40 % (Goreux, 1995). Toutefois, le prix des fourrages n'a augmenté que de 20 %.

Ce nouveau contexte économique favorise les cultures conduites de manière extensive au sein du système traditionnel. Les résultats obtenus en SET (**Tableau 4**) augmentent systématiquement après la dévaluation, excepté pour l'arachide lorsque la pluviosité est inférieure à 400 mm. Ceci n'est pas le cas dans le SITA.

En vue d'identifier des stratégies d'intensification vulgarisables au sein des exploitations du Bassin arachidier, les bilans économiques dressés ci-avant ont été simulés en fonction de plusieurs itinéraires techniques et selon diverses conditions climatiques et économiques.

Simulations des performances économiques des systèmes

Les simulations ont été réalisées uniquement pour différents systèmes utilisant la traction animale. Elles sont basées sur une superficie agricole utile moyenne de 8,3 ha par exploitation. L'expérimentation a en effet montré que, dans une zone à risque climatique, la motorisation n'est pas intéressante eu égard aux investissements en matériel et en intrants qu'elle nécessite. L'évolution de la productivité du travail en fonction de différents assolements peut être analysée au

Tableau 4. Évolution de la productivité du travail des cultures dans le SET et dans le SITA (en FCFA par jour de travail) en fonction de la pluviosité annuelle avant et après dévaluation du FCFA — *Evolution of the labour productivity for the crops in SET and SITA (FCFA per working day) according to the annual rainfall before and after devaluation of FCFA.*

Pluviosités	Avant dévaluation du FCFA		Après dévaluation du FCFA	
	< 400 mm	> 400 mm	< 400 mm	> 400 mm
Cultures				
Arachide SET	- 220	330	- 340	500
Arachide SITA		- 320		- 1 220
Mil SET	470	570	680	830
Mil SITA	500	590	270	320
<i>A. gayanus</i> SITA	580	1 960	80	270
Bissap SET	750	840	910	1 180
Bissap SITA	270	850	200	640

SET : système extensif traditionnel ; SITA : système intensifié par la traction animale

tableau 5 au travers de différentes conditions climatiques et économiques. La simulation intitulée “système en traction bovine”, basée sur un modèle intensifié, comporte une sole à *Andropogon gayanus* et une rotation céréales-cultures à cycle court qui permet théoriquement un labour des terres tous les 2 ans.

Deux autres scénarios, basés sur la diversification des productions agricoles, ont été développés : le “système traditionnel (ST) diversifié” où l'assolement cultural prévoit une culture de bissap et de manioc à la place de celle de l'arachide et “le système traditionnel (ST) fourrager” où l'arachide est remplacée par une culture fourragère à *Andropogon gayanus*.

Dans les conditions économiques réelles de l'expérimentation (avant la dévaluation du FCFA), les résultats montrent que le système basé sur l'intensification assure une productivité du travail supérieure aux autres systèmes, excepté lorsque la pluviosité annuelle est inférieure à 400 mm auquel cas la diversification présente un léger avantage. Par ailleurs, le système traditionnel est moins intéressant quelles que soient les conditions de pluviosité. Ceci résulte des faibles performances de la culture de l'arachide en SET.

De la même manière que pour chacune des cultures, les résultats du **tableau 5** montrent que la dévaluation du FCFA est défavorable au système intensifié en raison des investissements et des quantités supérieures d'intrants requis. Dans ces conditions, ce système assure en effet de moins bonnes valeurs de productivité

du travail que le SET, excepté en dessous de 400 mm de précipitations annuelles. La diversification du système traditionnel offre toujours des résultats intéressants qui résultent en grande partie des faibles charges d'exploitation des cultures de bissap, de manioc et d'*Andropogon*.

Les calculs basés sur les quantités de fourrages disponibles indiquent également que le nombre de bovins présents par exploitation est respectivement multiplié par trois et par cinq dans le système en traction bovine et dans le système fourrager, comparativement au système traditionnel. Il faut cependant préciser que la diversification agricole (bissap ou manioc), qui permet d'améliorer considérablement le revenu, autorise l'achat d'une quantité importante de sous-produits valorisables en alimentation animale, aboutissant également à un net accroissement du cheptel dans l'exploitation. À ce propos, si l'on considère les résultats des opérations d'embouches ovine et bovine réalisées à l'ENSA ou en milieu villageois (Buldgen *et al.*, 1990, 1992, 1993), les valeurs obtenues pour le revenu ou la productivité du travail apparaissent nettement plus favorables pour les productions animales par rapport aux productions végétales, quel que soit le contexte climatique. Dans la zone à risque climatique, le rapport des recettes sur les coûts de production atteint généralement une valeur de 1,5 pour l'élevage lorsque la main-d'œuvre n'est pas comptabilisée, ce qui est inférieur aux valeurs obtenues pour le système agricole traditionnel diversifié ou non.

Tableau 5. Évolution de la productivité du travail (en FCFA par jour) pour plusieurs systèmes agricoles utilisant la traction animale et dans diverses conditions de pluviosité annuelle avant et après dévaluation du FCFA — *Evolution of the labour productivity (FCFA per day) for several agricultural systems using animal traction and in several annual rainfall conditions before and after devaluation of FCFA.*

Hypothèse économique	Avant dévaluation du FCFA			Après dévaluation du FCFA		
	Zone à risque (1)	< 400 mm	> 400 mm	Zone à risque	< 400 mm	> 400 mm
Systèmes agricoles (2)						
Système traditionnel (ST)	420	250	490	610	350	720
ST fourrager	640	500	1 020	560	490	650
ST diversifié	720	660	760	1 030	950	1 090
Système en traction bovine	750	600	1 120	470	410	560

(1) Zone où la probabilité d'obtenir 100 mm de pluie de moins que la moyenne pluviométrique (400 – 500 mm) est supérieure à 30 %, soit plus d'une année sur trois.

(2) Assolements des systèmes simulés :

Système traditionnel (ST) = système extensif traditionnel (5,6 ha de mil ; 2,7 ha d'arachide) ;

ST fourrager = assolement du SET avec culture d'*Andropogon gayanus* à la place de celle de l'arachide ;

ST diversifié = assolement du SET avec cultures de bissap et de manioc à la place de celle de l'arachide ;

Système en traction bovine = système intensifié par la traction bovine (2,3 ha d'*Andropogon gayanus* ; 3 ha de mil ; 1,5 ha de bissap ; 1,5 ha de manioc).

Ceci est lié à l'importance du coût engendré par l'achat des animaux. Par ailleurs, l'élevage des ruminants, consommateurs de sous-produits agro-industriels dont les prix ont peu augmenté, a été favorisé par la dévaluation du FCFA. Ceci est d'ailleurs confirmé par de récents essais effectués à l'ENSA (Buldgen, 1996).

DISCUSSION

Dans une zone à risque climatique telle que la région où l'expérimentation a eu lieu, la diversification des productions agricoles et l'intensification des systèmes d'élevage offrent des perspectives intéressantes de développement. Cependant, de nombreuses contraintes entravent l'adoption de systèmes diversifiés et intensifiés au niveau des exploitations.

Le risque lié à l'intensification. Eu égard aux efforts d'investissement qu'il nécessite, le système basé sur la traction bovine engendre un risque économique tel que sa diffusion n'est envisageable que dans les zones où la pluviosité est élevée et régulière d'année en année. Dans les conditions de pluviosité qui ont régné pendant les cinq années expérimentales, la productivité du travail a été supérieure dans les systèmes diversifiés. Que ce soit pour l'élevage ou pour les productions végétales, la diversification permet d'augmenter et de stabiliser les résultats économiques au travers des aléas climatiques. Le rapport recette/coût varie cependant fortement en fonction du type de production. Pour exemple, les frais d'installation de la culture de manioc et d'*Andropogon* sont plus élevés que ceux nécessaires à la culture de bissap. Les frais d'installation de la culture fourragère pourraient toutefois diminuer dans le cas où les paysans produiraient eux-mêmes leurs semences. L'achat des animaux d'embouche constitue aussi un investissement important pour les petits exploitants agricoles dont le pouvoir d'achat est très limité.

Contraintes à l'adoption de la diversification au niveau des exploitations. Les contraintes à l'adoption des diverses propositions énoncées ci-avant sont liées aux conditions de marché, à la faisabilité des temps de travaux et à la gestion de la fertilité des sols.

Dans la région de Thiès, la diversification des productions et l'écoulement des produits agricoles sont favorisés par une pression démographique élevée, par un taux d'urbanisation soutenu et par un réseau de voies de communication très développé. En outre, la dévaluation du FCFA, qui a diminué le pouvoir d'achat des populations, a toutefois revalorisé les productions locales. A moyen terme, la consommation alimentaire des populations urbaines devrait donc accroître la demande en viande, en mil et en manioc. Les cultures de mil et de manioc pourraient alors constituer de

réelles cultures de rente pour les paysans. Il faudra toutefois veiller à une éventuelle chute des prix qui pourrait résulter d'un excédent de production, surtout pour la viande et le manioc qui sont des produits essentiellement orientés vers un marché national. C'est moins le cas pour le bissap qui profite d'un marché rémunérateur à l'exportation (utilisé notamment comme boisson ou comme colorant dans les cosmétiques naturels). Ce produit pourrait ainsi contribuer à diversifier les exportations du pays, principalement axées sur l'arachide.

Une des principales contraintes liées à la diversification des productions végétales en milieu rural concerne la gestion des temps de travaux. Marchal (1989) considère que c'est surtout les disponibilités en main-d'œuvre aux bons moments, en fonction du rythme des averses, qui importent. Des logiciels particuliers permettent d'analyser ces contraintes au niveau de chaque exploitation dans des conditions différentes de climat, d'assolement et de disponibilité en moyens de production. Notre étude, qui n'est pas destinée à de telles évaluations, fournit quelques éléments relatifs à la modification des temps de travaux engendrée par l'intensification ou la diversification des productions. À ce propos, les temps de main-d'œuvre du système traditionnel diversifié augmentent de plus de 30 % par rapport au SET. Cette augmentation est largement conditionnée par la récolte de bissap. Celle-ci s'effectue toutefois tardivement dans la saison, sans gêner considérablement le déroulement des autres travaux champêtres. Dans le cas d'une extension de la culture de bissap, la récolte modifiera le calendrier de travail des femmes car cette opération leur est traditionnellement dévolue. Le revenu intéressant de cette culture peut toutefois engendrer des changements dans les règles sociales (récolte assurée par les hommes notamment). L'augmentation des temps de travaux nécessaires à la culture fourragère et au manioc est plus limitée car ces cultures remplacent l'arachide qui est une production exigeante en main-d'œuvre. Enfin, les productions animales entrent peu en concurrence avec les travaux culturaux. Comme elles occupent la main-d'œuvre familiale durant la saison sèche, elles contribuent également à diminuer l'exode rural.

La gestion rationnelle de la fertilité des sols est une condition indispensable à un développement durable. Les activités d'élevage, productrices de matières fertilisantes, y contribuent largement. Par ailleurs, la diversification agricole, qui introduit des plantes exigeantes comme le manioc et le bissap, ne peut se concevoir sans une synergie avec les productions animales. L'utilisation d'engrais minéraux est également nécessaire. Pour limiter les risques d'acidification liés à cette pratique, un amendement calcaire devra être

appliqué périodiquement. En principe, l'augmentation des revenus devrait permettre de telles dépenses. Une fois cette augmentation de revenu réalisée, un travail en sec des terres sensibles à l'érosion pourrait être envisagé ainsi qu'un labour beaucoup plus espacé (tous les 6 ou 8 ans) dont les effets sur la fertilité physique des sols ne sont pas négligeables (Piéri, 1989). Dans cette optique, eu égard à la faible utilisation d'une paire de bœufs dans les exploitations situées au sein de la zone à risque climatique, on pourrait envisager son acquisition en commun pour plusieurs unités de production.

CONCLUSION

L'expérimentation conduite à l'ENSA a permis d'évaluer les risques climatiques et micro-économiques de plusieurs innovations et d'apprécier les contraintes liées à leur diffusion. Elle a ainsi conduit à proposer des alternatives pour l'amélioration des systèmes de production actuels tant au niveau stratégique que tactique. Dans une zone à risque climatique, la diversification agricole et l'intensification de l'élevage augmentent et stabilisent les revenus. Elles assurent également un degré d'autosuffisance alimentaire supérieur et conduisent à une meilleure protection de l'environnement. L'intégration d'une jachère améliorante constitue un élément capital conduisant à une augmentation de la capacité d'accueil en animaux d'embouche au sein des exploitations. À moyen terme, ceux-ci engendrent une amélioration appréciable des revenus. L'accroissement et la diversification des revenus donnent en outre accès à des moyens de production plus importants (animaux de trait et matériel agricole) et permettent le développement d'activités para-agricoles, notamment commerciales, dont l'importance est loin d'être négligeable en milieu villageois (Piroux *et al.*, 1996).

Les risques engendrés par la diversification agricole et l'intensification de l'élevage, que subiront incontestablement les producteurs, sont liés aux aléas climatiques, à la difficulté de maîtriser les temps de travaux et les cours du marché des produits agricoles. Pour limiter les effets de ces risques, il est nécessaire d'adapter le système de production aux conditions particulières de chaque année, en considérant toutefois que la marge de manœuvre est relativement faible. D'une manière idéale, les assolements devraient pouvoir être choisis annuellement en fonction des prix des produits agricoles sur le marché et à partir de la disponibilité en main-d'œuvre dans l'exploitation. La notion de gestion des temps de travaux apparaît donc très pertinente et devrait être approfondie. Lors d'années climatiques défavorables, le nombre d'animaux destinés aux opérations d'embouche doit

également être adapté au potentiel fourrager de l'exploitation pour ne pas conduire à une surexploitation des ressources naturelles. Les investissements d'élevage (culture fourragère, animaux d'embouche) engendrent cependant un risque de non-remboursement des crédits. Pour éviter ces pertes, une typologie des exploitations est indispensable afin d'adapter les modalités d'intervention et de crédit à chaque situation (Piroux *et al.*, 1996). Enfin, aucune de ces propositions ne portera ses fruits si les politiques agricoles n'instaurent pas des conditions favorables au développement, notamment par la stabilisation des prix des produits agricoles et par l'organisation de l'écoulement de ceux-ci. Dans cette optique, il apparaît également nécessaire de créer des conditions institutionnelles favorisant l'émergence d'associations paysannes susceptibles d'assurer, en partie du moins, l'organisation et la commercialisation de la production.

D'un point de vue méthodologique, il serait judicieux de poursuivre des recherches en milieu contrôlé. Ces études seraient destinées à comparer divers systèmes de production dont le schéma expérimental s'orienterait davantage vers les possibilités d'adaptation et de diversification des productions en fonction des risques climatiques et économiques. Les simulations réalisées à partir des résultats de telles expériences permettraient d'aboutir à des référentiels technico-économiques intéressants pour le développement d'une fonction de conseil auprès des exploitations agricoles et pour la mise en place de programmes d'appui appropriés.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet intitulé : "Appui au Département des Productions animales à l'ENSA (Thiès, Sénégal)". Les auteurs remercient l'Administrateur général de la Coopération au Développement en Belgique et le Directeur de l'ENSA qui ont encouragé cette recherche.

Bibliographie

- Benôit-Cattin M (1981). "Les unités expérimentales du Sénégal", pp. 1-500. (ISRA/CIRAD/FAC, eds). CIRAD, Montpellier, France.
- Bosc PM, Garin P (1993). Le mil. In "Le développement agricole au Sahel. Tome II: Recherches et techniques" (P.M. Bosc, V. Dollé, P. Garin, J.M. Yung, eds.), pp. 15-34. Documents Systèmes Agraires. CIRAD-SAR, Montpellier, France.

- Bosma R, Jager B (1992). Le fumier : production dans les parcs et valeur. Rapport de recherche. Ministère du Développement Rural et de l'Environnement, Mali.
- Buldgen A, Piraux M, Delêtre JL, Compère R (1990). Embouche de taurillons de race Gobra en milieu villageois. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 25, 357-372.
- Buldgen A, Detimmerman F, Piraux M, Compère R (1992). Les techniques d'embouche de moutons en région sahélo-soudanienne sénégalaise. *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop.* 45, 321-328.
- Buldgen A, Piraux M, Dieng A, Compère R (1993). Mise au point de techniques d'embouche bovine villageoise dans le Bassin arachidier sénégalais. *Rev. Mond. Zootech.* 76, 27-34.
- Buldgen A, Piraux M, Compère R (1994). Sécheresse dans le Bassin arachidier sénégalais. Analyse SIG des nouvelles zones agro-écologiques et de certaines productions à risque. *Sécheresse* 1 (5), 51-56.
- Buldgen A (1996). Projet d'appui au Département des Productions animales de l'École Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) de Thiès. Rapport n° 6. Administration Générale de la Coopération au Développement, Bruxelles.
- Dancette C (1983). Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. *Agron. Trop.* 38 (4), 267-280.
- Dieng A (1991). Introduction de la culture fourragère temporaire d'*Andropogon gayanus* Kunth. var. *bisquamulatus* dans la ferme intensifiée du Bassin arachidier sénégalais. Thèse Doct. Sci. agron., Fac. univ. Sci. agron., Gembloux, Belgique.
- Dugué P (1989). "Possibilité et limites de l'intensification des systèmes de culture vivrières en zone soudano-sahélienne. Le cas du Yatenga. (Burkina Faso)", pp. 1-259. Documents Systèmes Agraires n° 9. CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- Faure G (1994). Mécanisation, productivité du travail et risques : le cas du Burkina Faso. *Écon. Rur.* 219, 3-11.
- Forest F, Reyniers FN, Lidon B (1991). Prendre en compte le risque climatique et le coût de l'intensification pour analyser la faisabilité de l'innovation : cas de la zone soudano-sahélienne. In "Savanes d'Afrique, terres fertiles. Montpellier, 10-14 décembre 1990" (C. Piéri, ed.), pp. 531-542. CIRAD, Montpellier, France.
- Garin P (1991). Évolution des pratiques agricoles depuis 20 ans et leur adaptation à la sécheresse dans un village du Siné au Sénégal. Doc. DSA/ISRA. CIRAD-SAR, Montpellier, France.
- Goreux M (1995). "Les premières conséquences de la dévaluation du FCFA". Banque mondiale, Washington.
- Grousiz M, Albergel J (1989). Du risque climatique à la contrainte écologique. Incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au Burkina Faso. In "Le risque en agriculture" (M. Eldin, P. Milleville, eds.), pp. 243-254. ORSTOM, Paris.
- Havard M (1987). "Principales caractéristiques et contraintes de gestion du parc de matériels de culture attelée au Sénégal". ISRA, Département Systèmes et Transfert, Dakar.
- ICRA (1982). "Le système de production en pays sèrer au Sénégal" (D. Boughton, M. Fall, H. Maehl, eds.). ICRA Bulletin, Wageningen, Pays-Bas.
- Lombard J (1989). La gestion des réserves vivrières en pays sèrer. In "Le risque en agriculture" (M. Eldin, P. Milleville, eds.), pp.165-173. ORSTOM, Paris.
- Luce C (1994). Influence des conditions de production des semences de sorgho sur la levée au champ. *Agric. Dév.* 1, 43-46.
- Marchal JY (1989). En Afrique soudano-sahélienne : la course contre le temps. Rythmes des averses et forces de travail disponibles. In "Le risque en agriculture" (M. Eldin, P. Milleville, eds.), pp. 255-268. ORSTOM Paris.
- Martin F (1991). "Budgets de culture au Sénégal". Études et documents, vol. 4, n° 5. ISRA, Dakar, Sénégal.
- Ministère belge de l'Agriculture (1984). "Indicateur des performances et des coûts d'utilisation de l'équipement agricole". Centre d'étude de la mécanisation en agriculture (CEMAG), Gembloux, Belgique.
- Munzinger P (1982). "La traction animale en Afrique". GTZ, Eschborn, Allemagne.
- Orsini JPG, Lhoste P, Boucher A, Faye A, Niang L (1985). Une typologie d'exploitations agro-pastorales au Siné-Saloum, Sénégal. *Rev. Élev. Méd. Vét. Pays Trop.* 38 (2), 200-210.
- Piéri C (1989). "Fertilité des terres de savanes". Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris, France.
- Piroux M, Buldgen A, Drugment F, Fall M, Compère R (1996). Adaptations des stratégies paysannes aux risques climatiques et à la pression démographique en région sahélo-soudanienne sénégalaise. *Cah. Agric.* 5, 99-108.
- Piroux M, Buldgen A, Steyaert P, Dieng A (1997). Intensification agricole en zone sahélo-soudanienne. 1. Itinéraires techniques dans un contexte à risque. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 1 (3) 196-208.
- Schilling R, Cattani P (1991). La culture de sésame en Afrique tropicale. *Oléagineux* 46 (3), 125-133.
- Tourte R (1971). Thèmes légers, thèmes lourds, systèmes intensifs : voies différentes ouvertes au développement agricole du Sénégal. *Agron. Trop.* 26 (5), 632-671.
- Wey J, Siband P, Oliver R, Egoumenides C, Ganry F (1987). Essai de régénération d'un sol de la zone arachidière du centre-nord du Sénégal. *Agron. Trop.* 42 (4), 258-268.