

Regards sur l'élaboration de la production agricole en agriculture paysanne tropicale.

Problèmes de méthode.

P. Milleville ^a

G. Serpantié ^a

1 Introduction

Dans les stations expérimentales, la recherche agronomique est outillée pour apprécier un potentiel variétal, connaître l'impact d'une variation de conditions ou de facteurs élémentaires sur l'état du milieu, la croissance ou le développement d'une culture. L'indicateur le plus utilisé est celui qui sert aussi comme critère de jugement économique d'une mise en culture, à savoir le rendement de la terre en produit utile. Les comparaisons sont souvent faites par rapport à un témoin qui représente le système de culture paysan local, ou tout du moins l'interprétation, parfois superficielle qui en est faite : système très peu artificialisé sur milieu défavorable.

Ce travail expérimental est généralement réalisé à partir d'un dispositif en parcelles répétées et randomisées, sur un terrain dont l'hétérogénéité est maîtrisée. Pour éviter que l'effet recherché ne soit masqué par des impondérables, des précautions sont prises pour que des facteurs limitants non étudiés, des accidents de végétation ou des ravages ne puissent s'exprimer. On procède de même à une homogénéisation du milieu ou au choix d'un sol comportant une grande régularité dans ses caractères physicochimiques. Ces conditions expérimentales appelées contrôlées reviennent en fait peu à peu à constituer un nouveau système de culture, particulièrement artificialisé et optimal. Certes, il est utile pour déterminer des courbes de réponse potentielle, des besoins "absolus", des potentiels variétaux.

Mais lorsqu'on se place dans le cadre de la pratique agricole, on s'aperçoit qu'une petite part seulement des systèmes de culture pratiqués pourra tirer un profit direct de cette information. La plupart des systèmes paysans en sont éloignés et les processus de production qu'ils présentent réclament une connaissance spécifique : élaboration de la production, consommation en eau, dynamique de l'enracinement, phénomènes particuliers, réaction à des variations élémentaires de l'état du milieu, liées aux pratiques et alternatives techniques. Les connaissances acquises en station expérimentale permettent rarement de prédire un rendement en situation paysanne. Les techniques du bilan hydrique, du diagnostic foliaire, des bilans minéraux par exemple restent de précieux outils pour les systèmes de cultures à optimiser. Le diagnostic cultural et les propositions techniques pour un système de culture peu artificialisé sont pour le moment tributaires d'un suivi empirique et de tests culturaux. Mais de plus en plus agronomes et sélectionneurs

^aORSTOM UR MAA "Dynamique des systèmes de production" Laboratoire d'études agraires

ressentent la nécessité d'ajouter des expérimentations spécifiques, de nouveaux indicateurs et de nouvelles techniques d'analyse aux suivis et tests pratiqués sur ces systèmes paysanux.

Quels sont les principaux problèmes que rencontre l'agronome confronté à la connaissance de l'élaboration de la production en situation de la pratique agricole ? On peut les ranger dans trois catégories :

- la variabilité physique et biologique des champs tropicaux due au matériel végétal et son interaction avec le milieu,
- le processus d'élaboration du rendement particulier aux systèmes peu artificialisés et aux milieux défavorables qui crée des problèmes spécifiques peu connus (retards de développement, accidents d'épiaison,...) et présentent des réponses spécifiques (rusticité, résistance aux stress, phénomènes de compensation...),
- la variabilité liée aux pratiques elles-mêmes, aux moyens d'intervention et aux stratégies des agriculteurs.

2 L'hétérogénéité physique et biologique des champs tropicaux

Nous l'illustrerons par les systèmes paysans de culture du Mil, *Pennisetum typhoides* (céréale à grande tige et principale culture de la région soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest) mais le même problème existe dans d'autres cas tel celui de l'igname en région de savanes préforestières. Il faut différencier plusieurs niveaux spatiaux de perception de l'hétérogénéité.

2.1 Les différentes échelles d'hétérogénéité

Le mil est cultivé en touffes ou poquets à la densité de 5000 à 15000 par ha. Chaque touffe est constituée d'un nombre variable de pieds élémentaires dont le type génétique est variable du fait du caractère allogame de la fécondation. Ce n'est qu'à partir d'un nombre de pieds suffisant que l'on peut parler d'une variété, en fait population présentant des caractères moyens (réponse aux facteurs de production, taille de la plante, forme de l'épi, type d'induction de la floraison).

Cette variabilité intrapoquet contribue à la variété des touffes, (variabilité interpoquet) qui est accrue d'une part par la sensibilité des plantules aux conditions fréquemment défavorables de début de cycle. Elles induisent une discrimination voir une sélection entre poquets : vents de sable, sécheresse ou engorgements, ruissellements localisés, excès de pieds levés qui favorisent une compétition épuisante. D'autre part les conditions variables qui prévalent entre chaque poquet (profondeur du front d'humectation du sol, micro-hétérogénéités d'états de surface, de répartition de l'argile, de porosité du sol), réduisent ou accroissent les conséquences de ces agressions.

La réponse que donne l'agronome à cette variabilité est la même que celle apportée au problème de la compétition interpieds dans toute autre culture : choisir un nombre de poquets jointifs suffisants pour d'une part suivre non pas des plantes isolées mais un peuplement de plantes en concurrence pour des facteurs répartis

dans l'espace (lumière, nutriments, eau dans une certaine mesure) le tout présentant une architecture épigée et hypogée particulière, d'autre part absorber la variabilité. Sur un peuplement moyen de 5000 poquets/hectare, Milleville (1980) a mesuré une bonne concordance entre les poids moyens d'épis produits par poquet mesurés sur 100 m² et sur les 20 poquets centraux. Pour des peuplements plus denses où la compétition interpoquet est plus active (cas du Yatenga, 15000 pieds/ha), la placette de 20 poquets contigus (soit 12.5 m², cercle de 2 m de rayon) peut suffire pour décrire un peuplement particulièrement homogénéisé (cas des essais agronomiques). En champ paysan, les fréquents retards de resemis induisent une hétérogénéité de peuplement qu'il est bon de compenser par un doublement du nombre de poquets (station de 28 m², cercle de 3 m de rayon). Un sous échantillonnage à $\frac{1}{2}$ peut être opéré pour la mesure de certaines variables (telles que les caractères phénologiques).

L'échelle d'hétérogénéité la plus contraignante est certainement l'échelle métrique à décamétrique. Des variations microtopographiques et de la porosité du sol (chemins de passage, aires de stockage et de repos, anciennes termitières), jointes à celles de l'état de surface lié à l'érosion imposent une structure non homogène au ruissellement, poste important du bilan hydrique dans ce type de milieu. Les variations d'infiltration qui en découlent s'ajoutent au caractère souvent localisé de la fertilité du sol (concentrations d'argile par les termitières, concentration de feces par le bétail durant la vaine pâture, arbustes de la jachère, mode de défriche et de nettoyage créant des concentrations de cendres, hétérogénéité des résultats des précédents culturaux...). On peut ajouter l'impact fréquemment localisé du parasitisme et des compétiteurs (adventices, Striga, borers, sautériaux, oiseaux granivores). Cette hétérogénéité est difficile à caractériser autrement que par ses effets. En effet tous les paramètres du milieu ne sont pas quantifiables, ou exigent un type d'échantillonnage difficile à mettre en oeuvre (cas des attaques de ravageurs).

2.2 Le problème de l'échantillonnage

Il existe deux moyens de s'affranchir de cette variabilité. On peut disposer un plan d'échantillonnage ou de répétitions formel (pour une expérimentation par exemple). L'autre façon est de mettre en place une placette d'observation seulement une fois que l'on peut juger de sa représentativité, puis contrôler celle-ci jusqu'à la récolte. Cette technique moins formelle est utilisée dans le cadre d'enquêtes ou de diagnostics culturaux.

Pour un paramètre donné, la variabilité habituelle sur un réseau de placettes, estimée par le coefficient de variation ($cv =$ rapport de l'écart-type d'échantillonnage sur la moyenne) appartient à l'intervalle 10-35%. Le chiffre de 25% est ce que l'on rencontre habituellement pour le rendement en grain, que l'on soit en situation pauvre ou très fertilisée. Comme résultante d'un processus d'élaboration du rendement, ce chiffre est appelé à varier dans de fortes proportions. Ainsi la figure 1 qui représente les résultats globaux d'un essai d'aménagement du ruissellement sur de grandes parcelles (Lamachère, Serpantié, 1991) montre l'accroissement de la variabilité du rendement lors d'une année de sécheresse. Les traitements eux mêmes modifient la variance.

Lorsqu'on s'intéresse aux composantes intermédiaires du rendement, on peut observer soit une progression soit une décroissance de la variabilité : la figure 4 montre la diminution progressive de la variabilité du nombre de tiges au fur et à

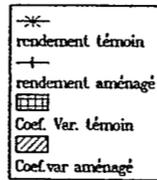
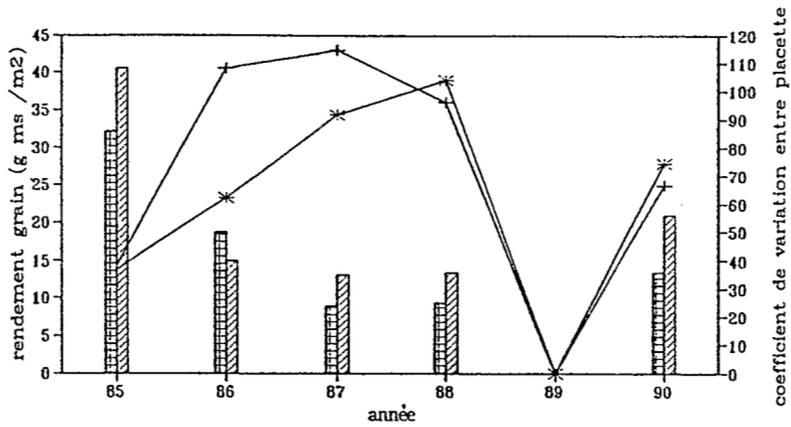


Figure 1: Evolution du rendement et de sa variabilité sur 2 parcelles en culture de Mil à faible artificialisation

mesure qu'elles deviennent des composantes de la récolte définitives (effet de sélection par compétition). Il peut arriver au contraire une discrimination progressive du peuplement (en cas de parasitisme localisé par exemple). L'hétérogénéité biologique d'une culture est donc une donnée non stable, résultante complexe de petites variations locales et d'un processus d'élaboration du rendement très progressif. Elle apparaît donc peu prévisible et la variabilité observée une année donnée ne suffira pas à définir un plan d'échantillonnage "économique". Il faudra le plus souvent effectuer un nombre excédentaire d'observations pour être en mesure de mettre en évidence des différences significatives entre traitements tant sur les résultats finaux que les caractères intermédiaires. En utilisant le test de la loi normale réduite, on peut prévoir qu'il faut 25 observations pour différencier de 10% deux résultats compte tenu d'un risque de 5% et d'un cv de 25% ; il en faudrait 100 pour la même opération si le cv est de 100%. En corollaire seules les variations importantes (>20%) seront significatives pour des échantillonnages de 8 à 12 placettes (soit un taux spatial 1/10 sur des parcelles de 1000m²) et à condition que la variabilité n'excède pas 25%.

Un telle variation de 20% sur un rendement moyen de 4 qx/ha représente peu de chose apparemment et peut sembler dérisoire, eu égard au potentiel variétal "virtuel" qui est de 47 qx/ha. Pourtant dans l'économie de l'exploitation agricole, cet accroissement permet d'atteindre l'objectif de production. Les paysans ne se réfèrent pas à un rendement potentiel absolu mais cherchent tout de même à maximiser le rendement de chaque système de culture mis en oeuvre, sachant que les systèmes ayant un rendement potentiel faible sont largement plus représentés dans l'assolement que les systèmes dits intensifs. D'autre part certains changements dans les pratiques ne visent pas qu'une amélioration du rendement mais aussi d'autres objectifs : réduction des risques ou des coûts, maintien des qualités du milieu, préparation à d'autres changements techniques, minimisation de la perturbation des systèmes de production, amélioration de l'organisation du travail. Ces indicateurs doivent trouver leur place dans l'analyse agronomique.

3 L'élaboration du rendement en situation globalement défavorable.

Mettre en évidence des différences de résultats ne suffit pas. Il est nécessaire de prédire les résultats qu'on obtiendrait dans d'autres situations culturales. Les essais réalisés servent à amorcer un modèle puis le tester. Pour cela, l'agronome procède au suivi concomitant du peuplement végétal et de l'état du milieu. La décomposition de la récolte en ses différentes composantes éclaire sur la qualité de la réalisation des différentes phases culturales. Là encore il est nécessaire de maximiser le nombre d'observations pour dévoiler les différences entre composantes. Sur l'essai d'aménagement en grandes parcelles (1988), on compare les peuplements de mil de 3 parcelles de 2500m². Il faut 24 placettes de 12.5m² pour mettre en évidence une différence significative entre traitements sur le nombre d'épis par m², mais on n'a pas pu y parvenir avec 8 placettes 3 fois plus grandes. (figure 2).

3.1 Diagnostic de l'élaboration du rendement

Une autre difficulté est de relier la qualité de réalisation des différentes phases culturales au rendement final et aux causes : soit à un déséquilibre entre une

	24 stations 12.5 m ²			8 stations 38m ²		
seuil 0.05	48 obs. test U (u0.95=2.03)			test T ddl=14 (t0.975=2.145)		
couples de parcelle	12	23	13	12	23	13
rdt grain total g/m		*				
ms totg/m ²			*			
%grain/ms tot	*	*		*		
grain hybride g/m ²						
grnormal g/m ²		*				
episnormaux/m ²	*	*				
%episutiles/epis norm						
n grain/epi utile						
p1000g						
rendement reconstitué						
poq/m ²		*	*	*		
epi normal /poq						
paille sec g/m ²	*		*	*		*
%episcomplets%norm						
n grain/epi comp			*		*	

Figure 2: Test de rejet de l'hypothèse d'égalité de deux moyennes entre deux parcelles suivant deux modalités d'échantillonnage.

demande (quantité d'organes à nourrir par exemple, compétiteurs) et une offre en nutriments (C,N), soit à l'absence d'une condition nécessaire (l'humidité disponible par exemple, la température), soit enfin à des causes accidentelles (ravageurs, coulures de fleurs...).

En station expérimentale, on cherche souvent des liaisons statistiques entre traitements et résultats : relation entre teneur du sol en azote et rendement (courbes de réponses), entre rendement et termes du bilan hydrique (Forest, Lidon, 1984), entre composantes du rendement (Siband, 1980). Les résultats obtenus par régression multiple ou analyse de variance sont hautement significatifs et satisfont généralement les objectifs de ces recherches.

Nous avons voulu rechercher de telles liaisons pour expliquer la variabilité des rendements observés sur un champ ayant subi des précédents culturels et un itinéraire technique homogène (essai Bidi-Samni, 1988, Yatenga, Burkina faso, système peu artificialisé sur terrain sableux). Sur ce champ de 5000m², est installé un réseau de 48 placettes de suivi du peuplement et du milieu. Le peuplement et le milieu sont suivis du semis à la récolte. Le terrain de chaque placette est d'autre part caractérisé par sa place dans la parcelle (haut, sols de 1m de prof.; bas, sols de 2m) et sa situation par rapport à des cordons de rétention du ruissellement présents seulement sur la moitié du champ.

3.2 Analyse des données

Pour décrire globalement le tableau de données obtenu (48 individus, 32 variables quantitatives, 2 variables qualitatives), nous avons choisi de procéder à une ACP sur variables centrées réduites (figure 3). Les deux variables de situation sont mises en identificateurs d'individus. Seuls les caractères du peuplement sont placés en variables actives (mesures à 30j, à 55j, composantes de la récolte). Sont données comme variables supplémentaires, les résultats globaux (rendement en grain, biomasse sèche totale) mais aussi les variables d'états du milieu (tel que

l'enherbement, le taux de comptages de ravageurs etc).

Après suppression de 4 placettes particulièrement médiocres (sol érodé), et de composantes qui ne participent à aucun des trois premiers axes (poids de 1000 grains par exemple, densité de poquets), on obtient pour les trois premiers axes une explication de 66% de l'inertie totale. L'ensemble des variables contribue médiocrement à l'axe 1, corrélé fortement aux variables de production (le rendement est expliqué à 70% par cet axe) mais aucune ne se détache, comme si toutes les variables actives contribuaient à égalité. Mais on remarque que le poids de 1000 grains, la densité de poquets, la biomasse végétative et le nombre de tiges montées ne contribuent pas ou peu à cet axe. Cette analyse succincte suggère donc que l'ensemble de placettes se structure à partir d'un lien peu marqué existant entre caractères du peuplement et rendement, la variabilité de ce dernier étant surtout due à des composantes fixées de la montaison à la fécondation (phase reproductive), beaucoup moins à des composantes déterminées aux extrémités du cycle (peuplement de tiges montées, pieds par poquet, biomasse végétative, poids de 1000 grains), alors qu'apparemment ces extrémités de cycle ont subi un climat sec en 88 qui aurait pu favoriser des contrastes dans l'élaboration du rendement. Le climat de la phase reproductive est caractérisé par un excédent hydrique qui peut être responsable des hétérogénéités spatiales observées sur les composantes de la floraison.

L'axe 2 représente "l'effet parcelle" qui a joué sur le type de peuplement (plus de pieds par poquet laissés dans la parcelle 1 par les sarclours, donc plus de tiges épiées -brins maîtres-, meilleur rapport grain sur paille, qui s'opposent dans la parcelle 2 à un tallage et une croissance végétative meilleure. Mais ces différences de type de peuplement n'ont pas entraîné de différence de rendement.

L'axe 3 oppose les variables de paille (nombre de tiges et biomasse foliaire) aux variables d'épis. Cette opposition traduit une compensation entre ces variables.

Les variables d'état de milieu (et caractères secondaires du peuplement), mises en variables supplémentaires sont très mal représentées sur l'axe 1. Il n'y a donc pas de liaison entre la structure des variables de peuplement et ces variables. Le plan des individus dont l'identificateur permet d'introduire deux variables qualitatives de situation montre que la localisation "diguette" correspond souvent systématiquement à une meilleure production mais ce classement s'inverse dans une parcelle voisine labourée dont les placettes ont été mises en individus supplémentaires.

Les hétérogénéités de résultats à la récolte ne sont donc pas facilement reliables à l'une ou l'autre des composantes de la récolte ni explicables par les critères d'états utilisés. Un bruit important noie les tentatives d'analyse. On peut aussi faire d'autres interprétations :

- soit il n'est pas pertinent d'utiliser les composantes brutes, un meilleur indicateur étant le taux de réalisation d'un potentiel ;
- soit il existe des liaisons mais elles ne sont pas linéaires sur l'ensemble de la gamme de variation de la variable explicative (courbes à maximum par exemple, courbes à seuil, ...) ;
- soit les caractères facilement mesurables du milieu ne sont pas les facteurs réels de l'hétérogénéité, ou représentent mal le niveau réel du facteur (cas des notes d'attaques de ravageurs).

Description des variables :

Individus actifs : 46 parcelles
 Variables actives = mesures du peuplement
 Mesures à 30 j : HAT hauteur
 Mesures à 55j : HAU hauteur ; TG nbre de tiges montées/poq
 Mesures à la récolte : EPN épis/m² ; USN % épis utiles ;
 NGP nombre de grains par épi utile
 EPP épis/poquet ; PAI biomasse végétative /m²
 GRP grain sur paille ; EES %épis complets ; NGE nbre de grains/épi comp.
 PIE pieds/poquet après démarriage ; TMM tiges de mil montées/poquet

Variables supplémentaires = résultats globaux et variables d'état de milieu

Résultats : RDM grain/m² ; MSN biomasse totale/m²

Etat du milieu : CHE taux d'attaques de chenilles mineuses ;
 BOR taux d'attaques de foreurs ; FMS taux de présence de mil hybride ;
 REC recouvrement adventice à 30j
 LRH logarithme du biovolume d'adventices à 30j
 AD2 rec.d'adventices au deuxième sarclage

Composantes du rendement secondaires

FEU : feuilles sur le brin-maître à 30 jns
 POQ poquets/m² ; P10 poids de mille grains

	VALEUR PROPRE	CUMULE	HISTOGRAMME
1	3.834	31.95	31.95 *****
2	2.285	19.04	50.99 *****
3	1.888	15.73	66.72 *****
4	1.058	8.02	75.54 *****
5	0.782	6.52	82.05 *****
6	0.743	6.19	88.24 *****
7	0.567	4.72	92.97 *****
8	0.425	3.54	96.51 *****
9	0.181	1.50	98.01 ***
10	0.121	1.01	99.02 **

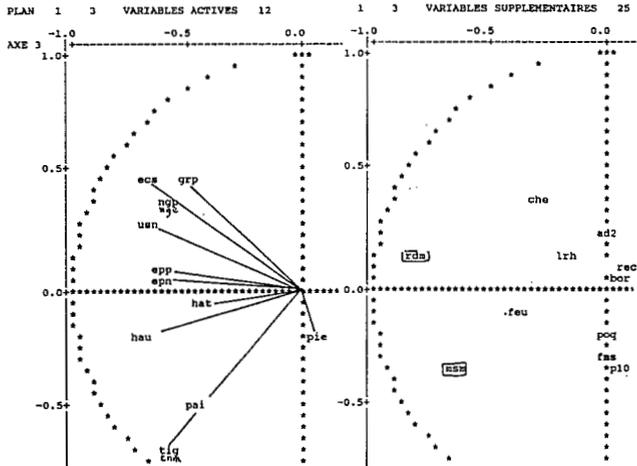
1ere colonne : COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES =
 CORRELATIONS ENTRE LES VARIABLES ET LES AXES PRINCIPAUX
 2eme colonne : 100*(COORDONNEE*2)
 (% de la variabilité de la var expliquée par le facteur)
 QLT : QUALITE DE LA REPRESENTATION D'UNE VARIABLE SUR LES AXES
 SELECTIONNES (somme sur ces facteurs de la 2eme colonne)

VARIABLES ACTIVES	QLT	FACTEUR 1	FACTEUR 2	FACTEUR 3
hat	40.2	-0.4499 * 20.24	0.4421 * 19.54	-0.0636 * 0.40
epn	68.3	-0.6260 * 39.18	-0.5282 * 28.97	0.0381 * 0.15
uan	62.3	-0.6749 * 35.54	0.2724 * 7.42	0.3062 * 9.38
ngp	54.3	-0.5929 * 35.15	0.1933 * 3.74	0.3923 * 15.39
epp	63.6	-0.6233 * 38.85	-0.4838 * 23.41	0.1169 * 1.37
pai	64.5	-0.4696 * 25.05	0.4615 * 21.30	-0.4600 * 21.16
grp	86.5	-0.4972 * 24.72	-0.6110 * 17.33	0.4941 * 24.41
ece	72.2	-0.6015 * 46.15	0.2072 * 4.29	0.4636 * 21.49
hau	71.9	-0.7112 * 35.58	0.4199 * 17.63	-0.1924 * 3.70
tig	80.4	-0.5802 * 33.67	-0.1811 * 3.28	-0.6395 * 13.73
pie	56.2	0.0633 * 0.40	-0.7265 * 12.78	-0.1751 * 3.06
tmm	60.1	-0.5150 * 26.53	-0.2962 * 8.77	-0.6690 * 14.76
TOTAL/100		3.83	2.28	1.89

a) Description des variables

c) Coordonnées des variables sur les axes

b) Valeurs propres



d) Cercles des corrélations

Figure 3: Résultats de l'ACP sur données centrées réduites. Tableau de données : placettes de Mil des parcelles d'essai 1988

- soit, enfin, il existe une interdépendance entre variables (l'enherbement est le signe de fertilité du sol et c'est aussi une source de compétition par exemple).

Il est nécessaire d'opérer une analyse plus fine en faisant appel aux théories de l'élaboration du rendement. L'approche statistique donne souvent des résultats plus clairs en situations très artificialisées car on identifie plus facilement les bons facteurs limitants à mesurer, d'une part, d'autre part on se déplace le long de courbes de potentiel (courbes enveloppes, courbes de réponse), mettant ainsi en évidence des relations linéaires entre composantes et facteurs.

3.3 Approche alternative adaptée aux milieux peu artificialisés

Une des théories de l'élaboration du rendement des céréales consiste à considérer le cycle de la culture comme une succession de phases dont le degré de réalisation remet en cause l'état obtenu après la phase précédente. (Franquin, 1980). Par contre pour des cultures telles que les cultures fourragères, le rendement final s'explique par l'accumulation progressive de matière sèche, les phases successives dépendant peu les unes des autres.

Partant d'un potentiel variétal pour un climat donné, on considèrera ainsi que la première phase conduit à mettre en place un couvert photosynthétique dont les qualités (solde photosynthétique) sera le premier facteur limitant du nombre de sites d'accumulation de matière utile (nombre des épis), la taille potentielle de l'épi et du grain étant une caractéristique variétale. Ainsi de suite, le rendement sera le produit de ce potentiel initial et du taux de réalisation de chacune des phases, sans possibilité de rattrapage. Des possibilités de compensation peuvent exister néanmoins dans le domaine de l'effet des facteurs disponibles : la rareté de l'un deux dans le milieu causera une forte chute d'un taux de réalisation d'une des phases en cas de réussite des phases précédentes. Mais le même état de milieu n'aura pas d'effet sensible sur un peuplement déjà raréfié (cas de l'humidité à la fructification). A l'inverse, certains facteurs trouveront un terrain d'action favorable dans les peuplements médiocres (cas des ravageurs).

La décomposition de la récolte en ses composantes permet dans une certaine mesure de remonter à ces taux de réalisation mais ne sont que des indicateurs :

- la biomasse végétative observée à la récolte ne décrit que partiellement l'état du couvert photosynthétique qui expliquerait le potentiel de sites fructifères. Une culture de cycle court comme le Mil réduit cette différence.
- le nombre de grains des épis complets n'est qu'une estimation du potentiel de taille d'épis mis en place entre l'initiation florale et l'épiaison.

Le rendement variétal potentiel virtuel est construit à partir des peuplements les plus favorables observés. Pour la population de Mil de Bidi (Yatenga, Burkina Faso), on a observé en 1987 dans un même champ, mais sur des placettes différentes, jusqu'à 13 épis par m^2 , 3600 grains par épi complet, 10 g par millier de grains, soit un rendement potentiel virtuel de 47 qx/ha sur placette. La figure 4 présente la notion de courbe enveloppe ou rendement potentiel (ici de la biomasse végétative pour l'élaboration du nombre de tiges montées), et montre la décroissance progressive du nombre d'épis final par rapport au potentiel initial. On peut

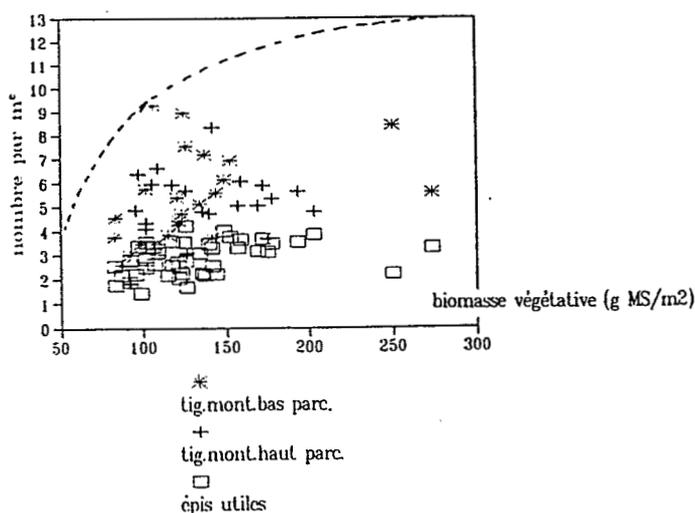


Figure 4: Nuage de distribution des variables d'épiaison en fonction de la biomasse végétative. Le pointillé marque la courbe-limite obtenue à BIDI.

ainsi constater que la biomasse est rapidement non limitante de la production de tiges.

La figure 5 donne la correspondance entre stades phénologiques, phases de l'élaboration du rendement et taux de réalisation de chaque phase. Elle permet de comparer les diagrammes d'évolution du potentiel de rendement dans deux situations : une situation optimale de champ fertilisé et labouré qui aboutit sur une placette au rendement de 27 qx/ha (maïs en moyenne 18 qx/ha), une situation optimale de champ de brousse (1987) qui produit sur une placette 8.5 qx/ha (maïs en moyenne 6.8 qx/ha), enfin la situation du même champ en 1988. Chaque taux de réalisation a été estimé à partir des composantes de la récolte et du suivi de la culture.

Dans la situation optimale, chaque phase est réalisée à 95% en moyenne, et on imagine l'impact sur le rendement et la facilité que l'on aurait eu à interpréter la cause de la réalisation d'une phase de 75% seulement. Aussi une telle situation requière-t-elle technicité, suivi et moyens d'intervention pour prévenir des chutes de rendement spectaculaires. Dans une telle situation, l'impact sur le rendement moyen de l'hétérogénéité pour un facteur limitant peut être particulièrement grave.

Dans la situation observée en champs paysans en 88 (situation classique), chaque phase ne se réalise qu'à 75% environ. Un effort technique coûteux appliqué à l'amélioration d'une phase n'est donc pas très payant en rendement absolu, car il sera fortement amoindri par les phases suivantes ou subira un potentiel limité par les phases précédentes. Par contre une amélioration globale ayant une incidence sur toutes les phases contribuera à un accroissement sensible, ce qui consiste finalement à changer de système de culture (cas des paquets technologiques) ou de milieu (cas des amendements et aménagements). Mais le diagnostic par phase est plus difficile à réaliser car les différences portent sur des taux déjà faibles. Il peut être avantageux, pour éviter de travailler sur des valeurs faibles, de considérer pour chaque système de culture un rendement potentiel propre, des taux de réalisation maxima propres et de discuter de la réalisation des phases par rapport à eux.

potentiel variétal virtuel : 470 g/m² ; 13 épis/m² ; 3600 grains/épis ; 10 g pour 1000 grains

Phases culturales	N° Composantes mesurables et Taux de réalisation du potentiel précédent	placette	placette	champ	champ
		optimale	optimale	optimal	1988
		intensif	extensif	extensif	extensif
	potentiel variétal de tiges	1	1	1	1
Végétative	1 potentiel de tiges du couvert photosynthétique	1	1	0.88	0.77
Reproduction	2 nombre de tiges montées (taux de réalisation)	0.91	0.8	0.7	0.65
"	3 nombre d'épis (taux d'épiaison)	0.95	0.85	0.8	0.65
"	4 nombre d'épis utiles (taux d'épis utiles)	0.89	0.66	0.73	0.75
"	potentiel variétal de nombre de grains/épi	1	1	1	1
"	5 nombre de grains des épis complets (taux de réalisation)	0.98	0.86	0.67	0.57
Fructification	6 nombre de grains de l'épi utile (taux de fécondation/nouaison)	0.85	0.64	0.73	0.72
"	potentiel variétal de poids de grain	1	1	1	1
"	7 poids d'un grain (taux de remplissage)	0.9	0.8	0.78	0.83
	rendement mesuré (g/m ²)	274	85	68	44

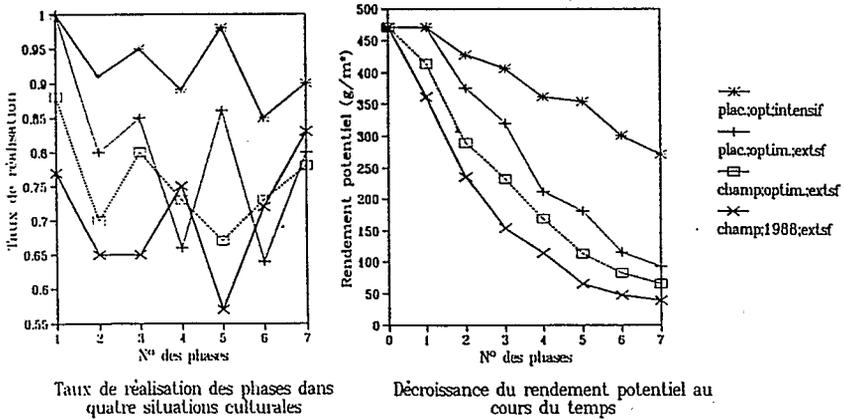


Figure 5: Paramètre chronologiques de l'élaboration du rendement dans quatre situations culturales.

Compte tenu de la multiplicité de facteurs limitants, l'hétérogénéité du milieu joue différemment sur les phases successives ce qui contribue à rendre difficile la recherche de liens entre hétérogénéité du milieu et hétérogénéité du peuplement.

Ainsi la figure 4 montre que la biomasse végétative n'a été que rarement limitante du nombre de tiges montées par m^2 vu la courbe potentielle de la variété de BIDI. La décroissance la plus importante enregistrée entre le potentiel de tiges et le nombre de tiges montées s'observe pour de fortes biomasses, ce qui est anormal. Ce fait est lié à l'occurrence d'une période d'engorgement à l'initiation florale, qui a été marquée là où le sol était peu profond (haut de la parcelle), lieux correspondant aussi à un sol chimiquement plus riche qui avait favorisé auparavant la biomasse végétative. Cette interprétation a nécessité bien sûr une confrontation avec les analyses de sol et le suivi des états hydriques.

Cette méthode d'analyse phase par phase (travail sur graphiques croisés et nuages de distribution) est plus laborieuse qu'une analyse multivariée mais elle est plus fertile car elle fait appel d'une part à plus de théorie sur l'élaboration du rendement que la précédente, d'autre part invite à rechercher les causes des différences dans d'autres domaines que ceux couverts par les variables prises en compte a priori.

4 La variabilité des modes de conduite des parcelles.

Une des préoccupations de l'agronome consiste à interpréter des niveaux de rendement, en considérant le résultat final comme le produit de l'histoire des interactions qui s'exercent, durant le cycle de la culture, entre le milieu et le peuplement végétal, sous l'action de techniques. Ces dernières sont organisées selon une suite logique et ordonnée, "l'itinéraire technique" (Sébillotte, 1974 et 1978, Milleville 1984). Le rendement global est quant à lui réductible en un certain nombre de "composantes" dont les niveaux se trouvent plus particulièrement fixés à certaines phases du développement de la culture. L'examen de la succession, au cours du temps, des "états" du milieu et du peuplement végétal, constitue l'outil d'analyse privilégié de l'agronome, lui permettant d'appréhender l'incidence de l'itinéraire technique et d'expliquer le niveau de rendement atteint. Pour ce fait, il importe de pouvoir observer des "situations culturelles" (Jouve, 1984) aussi homogènes que possible. Cette condition est recherchée, et généralement remplie de manière satisfaisante, dans les dispositifs expérimentaux, à l'échelle de chaque parcelle élémentaire caractéristique d'un "traitement" bien spécifié. Mais il est loin d'en être de même dans le contexte de la pratique agricole, tout particulièrement en zones tropicales lorsque les agriculteurs ne disposent pas de moyens techniques susceptibles d'artificialiser profondément le milieu tout en assurant le traitement de grandes surfaces dans un bref laps de temps.

Ce phénomène a été mis en évidence au niveau de la parcelle de culture elle-même, et nous l'illustrerons à partir d'une étude conduite sur la production arachidière en Moyenne Casamance (Sénégal) au début des années 1970 (Milleville, 1972 et 1974). Dans cette région caractéristique de la zone sud-soudanienne (1000-1200 mm de pluviométrie annuelle) les techniques culturelles demeurent alors presque exclusivement manuelles, et une densité démographique encore limitée (30 à 40 habitants au km^2) ne constitue pas un frein à l'extension des surfaces cultivées.

L'arachide, qui représente plus de 60% des superficies consacrées aux cultures pluviales, a pour fonction d'assurer aux agriculteurs l'essentiel de leur revenu monétaire, et l'on peut estimer que chacun cherche à obtenir de sa parcelle d'arachide la production la plus élevée possible.

L'enquête entreprise pour expliciter les causes de variabilité du rendement a débouché tout naturellement sur la mise en évidence et l'interprétation d'un phénomène particulièrement marqué dans ce type d'agriculture, celui de l'hétérogénéité intraparcélaire. On peut succinctement en rendre compte dans les termes suivants :

- Les agriculteurs s'accommodent volontiers d'une forte hétérogénéité de milieu sur la parcelle (figure 6). C'est tout particulièrement vrai en culture manuelle, car des "accidents" tels que la présence d'arbres, de souches résiduelles, de termitières plus ou moins arrasées, de ruptures topographiques, ne constituent pas d'obstacles majeurs à la mise en oeuvre des techniques.
- Le phénomène le plus marquant est celui d'une hétérogénéité produite par la pratique agricole elle-même. Le semis, sur une parcelle de deux à trois hectares, est couramment étalé sur un mois ou plus, et réalisé sur des types variés de préparation du sol (figure 7). Dès les premières pluies utiles, l'agriculteur peut effectuer un semis direct sur un sol propre, mais cette possibilité ne dure pas car la levée des plantes adventices impose assez vite de travailler le sol pour éviter en début de cycle une trop forte compétition des mauvaises herbes sur les plantules d'arachide. Plusieurs techniques de préparation du sol sont alors utilisées, la plus répandue étant celle du billonnage réalisé à la houe. Opération exigeante en travail et donc étalée dans le temps, tout comme le semis qui est effectué au fur et à mesure de la progression du travail du sol. L'agriculteur poursuivra l'implantation de la culture sur sa parcelle jusqu'à une date au delà de laquelle il jugera que les risques d'échec (lié à la satisfaction des besoins en eau en fin de cycle) sont trop importants. Plus précisément, cette date correspond à la perception que le surplus de production que l'on peut espérer d'une poursuite des semis sera moindre que celui qui résultera du sarclage des zones semées précocement. Une fois l'implantation de la culture terminée, tout l'effort porte donc sur le travail d'entretien, en premier lieu des parties semées sans travail du sol préalable, sur lesquelles l'enherbement est déjà massif, et qui nécessiteront deux sarclages successifs.

La parcelle de culture rassemble donc, dans de telles conditions de culture, une multiplicité d'itinéraires techniques correspondant à des surfaces traitées de manière homogène, les "sous-parcelles", caractéristiques de "situations culturales" bien spécifiées. A cette hétérogénéité de traitement technique répond une hétérogénéité du rendement de la culture qui peut être considérable. Dans le cas évoqué, à partir des mesures de rendement effectuées au niveau de stations de prélèvement de 25 m² environ, nous avons montré par analyse de variance que la variabilité intraparcélaire du rendement était du même ordre de grandeur que la variabilité interparcélaire (pour laquelle le coefficient de variation est de 50% environ). Sur la parcelle, il est fréquent d'enregistrer ponctuellement des rendements quasi nuls (parties abandonnées en cours de culture, ou semées trop tardivement), alors que les rendements les plus élevés se situent entre 2000 et 2500 kg/ha. Le

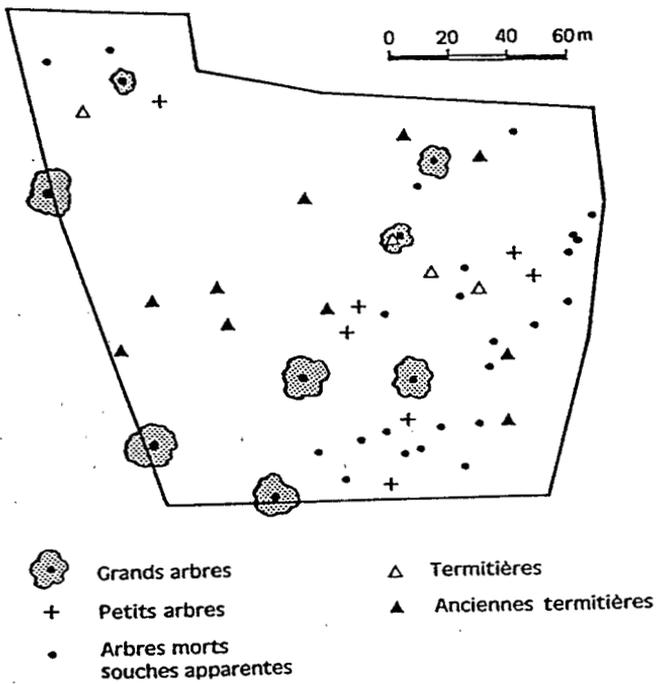
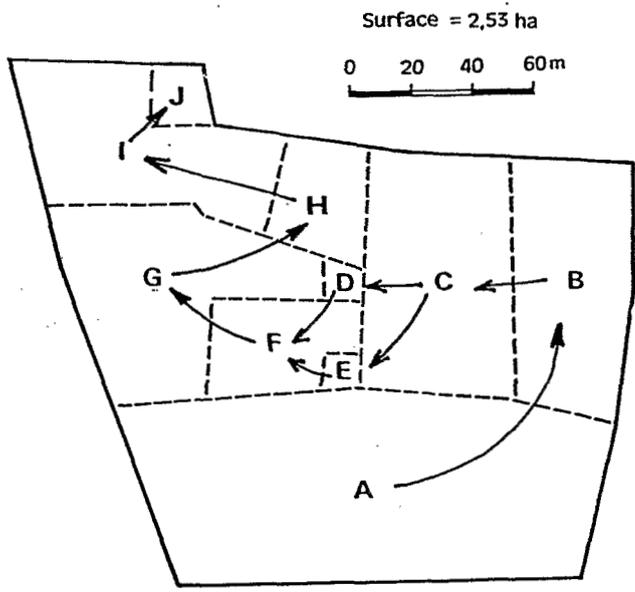


Figure 6: Hétérogénéités apparentes de terrain sur une parcelle d'arachide après 40 ans de culture.



<i>Sous-parcelle</i>	<i>Type de travail du sol</i>	<i>Date labour</i>	<i>Date semis</i>	<i>Variété</i>	<i>Date resemis partiel</i>
A	Néant	—	17-19/6	28-206	5/7
B	Billonnage	22/6	23/6	28-206	7/7
C	Lab. à plat	24/6	25/6	28-206	—
D	Billonnage	25/6	25/6	28-206	—
E	Lab. à plat	25/6	25/6	28-206	—
F	Billonnage	11-12/7	11-12/7	28-206	—
G	Billonnage	16/7	16-17/7	28-206	—
H	Billonnage	16/7	17/7	burkuso	—
I	Billonnage	25-26/7	25-26/7	28-206	—
J	Billonnage	26/7	26/7	burkuso	—

Figure 7: Exemple de l'hétérogénéité d'implantation d'une culture d'arachide.

rendement moyen des parcelles (800 kg/ha environ) est quant à lui très médiocre, eu égard aux conditions pédoclimatiques locales.

Ce phénomène d'hétérogénéité intraparcellaire soulève deux grandes catégories de questions. La première concerne la signification de la notion de rendement en rapport avec l'échelle d'appréhension de ce critère. Il devient en effet difficile, voir impossible, "d'expliquer" le rendement moyen de la parcelle dès lors qu'il résulte d'une pondération entre des rendements relatifs à des itinéraires techniques diversifiés. Pour ce faire, il faudrait en effet pouvoir mettre en correspondance ce rendement moyen avec un itinéraire technique "moyen" et des états moyens du milieu et du peuplement végétal à différentes étapes du cycle de la culture, ce qui souvent sera impossible ou même n'aurait aucun sens. Le rendement à l'échelle de la parcelle constituera alors davantage un indice de valorisation du facteur terre pour le type de système de culture considéré qu'une variable agronomiquement explicable. Pour qu'elle en ait ce statut, il est nécessaire d'appréhender les faits à l'échelle de la sous-parcelle ou, de façon plus opératoire, au niveau ponctuel de "stations" sur lesquelles on peut être assuré d'une bonne homogénéité des conditions de milieu et des techniques appliquées.

L'autre série de questions qui se posent à l'agronome est d'une toute autre nature, l'incitant à comprendre les raisons et les conséquences de cette hétérogénéité et donc ce qui détermine les décisions techniques des agriculteurs. Il apparaît alors que ce phénomène résulte en grande partie des contraintes liées à la lenteur de réalisation des opérations techniques en culture manuelle, en même temps qu'à la prise en compte du risque par l'agriculteur. La logique de ce dernier s'exprime à travers un objectif de production (plus que de rendement) et la mobilisation de moyens, c'est-à-dire de facteurs de production. Lorsque la terre ne constitue pas encore une contrainte majeure, la recherche d'un accroissement de production passe souvent par la mise en culture de surfaces étendues liée à la saturation d'emploi du facteur rare, le travail et les jours disponibles pour celui-ci. Il peut en résulter une hétérogénéité considérable des itinéraires techniques pratiqués sur la parcelle et qui se trouve exacerbée par les compromis que l'agriculteur doit adopter compte tenu des travaux à réaliser sur les autres parcelles de l'exploitation. On le voit, le raisonnement et les choix techniques de l'agriculteur s'expriment en "univers dimensionné", et le rendement d'une parcelle ne peut constituer l'indice exclusif, voire principal, de l'efficacité de son comportement technique.

Par ailleurs, tout se passe comme si la diversité des itinéraires techniques sur la parcelle constituait le gage d'une certaine sécurité. L'obtention d'un rendement relativement médiocre à l'échelle de la parcelle, qui résulte de la variabilité de rendements ponctuels correspondant à des situations culturales à niveaux de productivité très contrastés, réduit en fait les risques de résultat catastrophique comme d'une excessive variabilité interannuelle du rendement de la parcelle (et donc aussi de sa production). Ce qui signifie également que la performance (en terme de rendement) de certains itinéraires techniques effectivement mis en oeuvre est souvent très proche des potentiels révélés en conditions expérimentales. De telles observations doivent inciter l'agronome à la prudence quant au jugement porté sur "l'efficacité" des pratiques paysannes.

5 Conclusion

Les phénomènes évoqués ici concernant la variabilité biologique au champ ainsi que l'hétérogénéité créée par l'application des techniques sur les parcelles montrent que les conditions dans lesquelles l'agronome est conduit à observer l'élaboration de la production chez les agriculteurs peuvent différer très sensiblement des conditions expérimentales habituelles. En expérimentation, on cherche à juger des effets de la variation d'un facteur ou d'un nombre limité de facteurs sur une variable résultat, qui est souvent le rendement de la culture. L'ensemble des autres paramètres reste fixé au même niveau dans les différents traitements, et constitue "l'invariant" de l'essai expérimental. De telles conditions se retrouvent rarement en enquête, compte tenu de la multiplicité des causes de variation et de l'interdépendance des variables. L'agronome ne peut donc alors interpréter l'effet d'un facteur en le considérant "toutes choses égales par ailleurs". De plus, il est habituel que l'invariant de l'expérimentation corresponde à des conditions jugées proches de l'optimum agronomique, et susceptibles d'exprimer au mieux les potentiels de réponse de certains traitements. L'impact d'une variation du facteur considéré est directement tributaire de cet invariant, et l'on peut estimer que l'on se situe alors très près de la "courbe enveloppe", qui exprime ce potentiel de réponse. Il en va différemment dans les conditions de la pratique agricole qui sont plus ou moins fortement "sous-optimales", défavorables, et les liaisons entre variables peuvent alors être bien différentes. En d'autres termes, cela signifie que l'on se trouve souvent, en situations agricoles, hors du champ de validité des références agronomiques établis dans le contexte expérimental. Il y a là, si l'on n'y prend garde, une source manifeste d'erreur possible lorsque l'on prétend interpréter une situation agricole à partir de ces seules références expérimentales, ou les utiliser pour élaborer des propositions d'action. Le fameux "gap" trouve l'essentiel de son origine ici. Ces références restent bien entendu précieuses et nécessaires, mais très insuffisantes. L'analyse des phénomènes d'élaboration du rendement et de la production au sein même de situations agricoles doit ainsi permettre de concevoir de nouvelles formes d'expérimentation, tant dans leurs objectifs que dans leurs procédures et leur interprétation.

Références bibliographiques

- Forest (F.), Lidon (B.), 1984. Influence du régime pluviométrique sur la fluctuation du rendement d'une culture de Sorgho intensifiée. in "Agrometeorology of sorghum and Millet", ed. ICRISAT
- Franquin (1980). Production de masse, production de nombre et rendement. in Cahiers ORSTOM, Sér. Biol., n° 42, 3-7.
- Jouve (P.), 1984 -Le diagnostic agronomique, préalable aux opérations de recherche développement. in Les Cah. de la Rech. Dév., n° 3-4, 65-75.
- Lamachère (J.M.), Serpantié (G.)-1991- Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en Mil en zone soudano-sahélienne. in "Utilisation rationnelle de l'eau de petits bassins-versants en zone aride" AUPELF ed, coll. A.S. pp 165-177.
- Milleville (P.), 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne Casamance. in Cahiers ORSTOM, Sér. Biol., n° 17, 23-37.
- Milleville (P.), 1974. Enquête sur les facteurs de la production arachidière dans trois terroirs de moyenne Casamance. in Cahiers ORSTOM, Sér. Biol., n° 24, 65-99.
- Milleville (P.), 1980. Les systèmes de production de l'OU DALAN. I. Le système de culture. multi. ORSTOM. 100 p.
- Milleville (P.), 1984. Acte technique et itinéraire technique : une méthode d'enquête à l'échelle du terroir villageois. in Les Cah. de la Rech. Dév., n° 3-4, 77-83.
- Sébillote (M.), 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. in Cahiers ORSTOM, Sér. Biol., n° 24 (1), 3-25.
- Sébillote (M.), 1978. Itinéraire technique et évolution de la pensée agronomique. in C.R. Acad. Agri. Fr, 64, 906-914.
- Siband (P.), 1981. Croissance, nutrition et développement du Mil. Essai d'analyse de son fonctionnement en zone Sahélienne. Thèse USTL, 300 pp.