

LA CULTURE PIONNIERE DU MAÏS SUR ABATTIS-BRULIS (*HATSAKY*) DANS LE SUD-OUEST DE MADAGASCAR.

2. EVOLUTION ET VARIABILITE DES RENDEMENTS

Pierre MILLEVILLE¹, Michel GROUZIS¹, Samuel RAZANAKA²,
Michel BERTRAND³

1. IRD, B.P. 434 - 101 Antananarivo ; 2. CNRE, B.P. 1739 - 101 Antananarivo ;
3. INRA-IRD, B.P. 434 - 101 Antananarivo

Résumé :

Dans les systèmes de culture sur abattis-brûlis du sud-ouest malgache, le rendement du maïs est affecté d'une forte variabilité spatio-temporelle. Les enquêtes agronomiques réalisées sur les parcelles des agriculteurs au cours de trois campagnes successives, dans la forêt des Mikea et sur le plateau calcaire de Belomotra, ont permis de caractériser l'évolution des rendements en fonction de l'ancienneté de la mise en culture. Les rendements les plus élevés sont obtenus en première et seconde année, et peuvent alors dépasser 20 q/ha. Ils décroissent ensuite régulièrement, pour se situer à des niveaux inférieurs à 5 q/ha après cinq ans de culture. Cette décroissance résulte de la baisse concomitante de plusieurs composantes : nombre d'épis par plante, nombre de grains par épi, poids moyen du grain. Les rendements dépendent par ailleurs fortement des conditions particulières de chaque campagne : pluviosité, date de semis, attaques de criquets. La baisse des rendements au cours du temps peut être reliée à la pression croissante de l'enherbement, ainsi qu'à la dégradation des paramètres physico-chimiques de la fertilité des sols. Un essai conduit en 1998-99 sur des parcelles cultivées depuis 2, 3, 5 et 7 ans sur sables roux, montre qu'un apport modéré d'engrais NPK permet de relever très significativement les niveaux de rendement du maïs, quel que soit l'âge de la parcelle. L'influence respective de ces deux catégories de facteurs reste à préciser.

Mots clés : abattis-brûlis, maïs, rendement, adventices, fertilité, nutrition minérale

Abstract :

In the South Western regions of Madagascar, making use of slash and burn cultivation, maize crop yield is affected by a high variability in space and time. Agronomic surveys carried out in farmers fields during three successive crop years in the Mikea forest and on the calcareous plateau of Belomotse have made it possible to characterise the evolution of crop yields in connection with how long the land has been cultivated. The highest crop yields are obtained during the first two years and can then even reach 20 q per ha or more. Crop yields decrease regularly from then on, and can reach rather low levels (below 5 q per ha) after five years of cultivation. This is the result of the simultaneous decline of several yield components factors : the number of cobs per plant, the number of grains per cob, the average weight of a grain. Besides, these crop yields are highly dependent on the specific conditions of each crop year : rainfalls, date of sowing, locusts damages. The decline of yields with time has to be linked to the increasing weeds pressure, as well as to the deterioration of physical and chemical parameters of soil fertility. A field trial carried out in 1998-1999 on plots that had been cultivated for 2, 3, 5 and 7 years on red sands, shows that a moderate supply of NPK fertiliser can very significantly increase the levels of maize yields, whatever the age of the plot. The respective influence of these two categories of factors is still to be determined.

Key words : slash and burn, maize, crop yield, weeds, soil fertility, mineral nutrition

INTRODUCTION

Tout système de culture sur abattis-brûlis repose sur la substitution d'un agrosystème à un écosystème forestier préexistant. Une fois passée la phase brutale du défrichage et du brûlis de la biomasse ligneuse, les techniques de culture apparaissent très peu perturbatrices. Elles s'adaptent aux conditions de milieu tout en les transformant progressivement au cours de la phase culturale, mais sans être en mesure d'artificialiser le milieu cultivé pour en rendre durable l'exploitation. Cette phase se caractérise par des processus complexes de désorganisation/ réorganisation écologiques, qui affectent à la fois la végétation et le sol, et dans lesquels interfèrent des effets de mémoire et de recomposition, avec l'apparition et l'intervention de nouvelles composantes, telle la flore adventice. Le rendement de la culture résulte de ces dynamiques locales du milieu, en interférence avec les conditions climatiques de l'année et les techniques culturales.

Cette communication s'attache à rendre compte des niveaux de rendement de maïs obtenus par les agriculteurs. Ils ont été évalués, au cours de trois années consécutives, dans les deux situations déjà présentées : forêt des Mikea (Analabo) et plateau calcaire de Belomotra (Antsapana). Il s'agissait d'apprécier, d'une part l'évolution des rendements au cours de la phase culturale, depuis la première mise en culture après défrichage jusqu'à l'abandon de la parcelle, et d'autre part leur variabilité, tant spatiale qu'interannuelle. En complément de cette évaluation globale, quelques résultats seront exposés concernant le rôle des principaux facteurs en cause. Cette recherche à but explicatif devra être poursuivie, au cours des prochaines années, à travers diverses procédures expérimentales.

METHODE ADOPTEE

Dans une zone donnée, un échantillon de parcelles a été constitué chez des agriculteurs, afin de disposer d'une gamme assez étendue d'ancienneté de mise en culture. Dans la plupart des cas, trois «stations» d'observation circulaires de 50 m² ont été implantées dans chaque parcelle retenue, en s'assurant d'une homogénéité satisfaisante de chacune d'entre elles. L'objectif n'était pas de constituer un échantillon statistiquement représentatif de la population de parcelles présentes dans une zone donnée, mais de disposer, pour différentes durées de culture, de sous-échantillons de tailles suffisantes. Lors de la récolte, certaines stations ont dû être abandonnées, pour différentes raisons : dégâts massifs occasionnés par les criquets, semis trop tardifs ayant conduits à un rendement nul, récolte déjà réalisée par l'agriculteur. Le tableau I indique la constitution des échantillons définitivement retenus pour ces trois années.

Tableau I : Constitution des échantillons (nombre de stations) C_i = cultivé depuis i années

Année	Site	C1	C2	C3	C4	C5 et +	Total
1997	Analabo sables	8	4	6	4	6	28
1998	Analabo sables	8	11	10	13	19	61
1998	Analabo calcaire	7	13	0	0	0	29
1999	Antsapana calcaire	11	11	11	11	8	49

Les observations et mesures ont été réalisées sur ces stations, mises en place lors du semis ou de la levée, sauf en 1996-97 où elles n'ont pu l'être qu'au moment de la récolte. Dans la mesure du possible, plusieurs passages ont été réalisés en cours de cycle, afin d'apprécier

les états du peuplement cultivé (croissance, stade de développement, état sanitaire) et du milieu (enherbement, parasitisme), ainsi que les éventuelles interventions techniques (resemis, sarclage) de l'agriculteur.

Lors de la récolte, effectuée à maturité, les mesures suivantes ont été réalisées : comptage du nombre de poquets, du nombre de plantes et d'épis par poquet ; pesée de l'ensemble des épis et des pailles de la station ; prélèvement d'échantillons de pailles et d'épis pour l'estimation des taux de matière sèche, du taux d'égrenage, et du poids moyen du grain.

En complément de ces enquêtes agronomiques, une expérimentation simple a été conduite en 1998-99, sur les terres d'un agriculteur de la région d'Analabo, afin d'évaluer, pour des parcelles d'âges différents, l'effet d'un apport d'engrais sur le rendement du maïs (cf. § 7).

CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DES TROIS ANNEES D'ENQUETE

Les pluviométries de ces trois campagnes (1996-97, 1997-98, 1998-99) ont été très contrastées, comme en témoignent les relevés effectués à Ampasikibo, en bordure de la forêt des Mikea (Figure 1) :

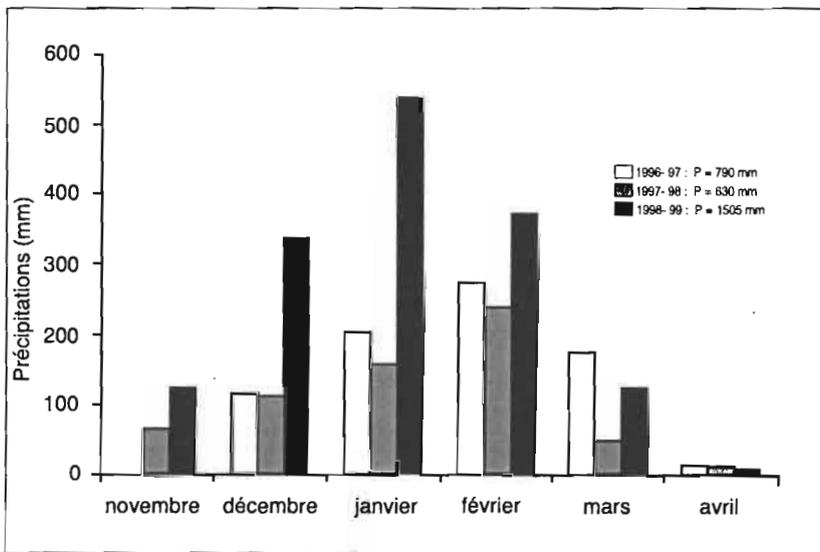


Figure 1 : Pluviométrie mensuelle des trois années de référence à Ampasikibo

- 1996-97 : pluviométrie totale (790 mm) conforme à la normale ; première pluie utile le 4 décembre, dernière pluie utile le 9 mars ; engagement tardif de la saison pluvieuse, interruption des pluies durant 15 jours entre le premier et le deuxième épisodes pluvieux, succession régulière des pluies ensuite ; bonnes conditions de croissance du maïs semé en sol sec (novembre), mais mauvais calage du cycle du maïs semé lors du deuxième épisode pluvieux de la troisième décade de décembre, en raison de l'interruption précoce des précipitations en fin de saison ;

- 1997-98 : déficit pluviométrique marqué (630 mm) ; première pluie utile le 19 novembre, et interruption des pluies durant les deux premières décades de décembre ; dernier épisode pluvieux du 27 mars au 2 avril, après une sécheresse d'un mois ; conditions passables pour le maïs semé précocement, mais très mauvaises pour le maïs semé fin décembre ;

- 1998-99 : saison exceptionnellement pluvieuse (1500 mm) ; première pluie utile le 18 novembre, et pluies fréquentes et abondantes jusqu'au 21 mars ; conditions favorables à l'implantation précoce du peuplement, mais responsables d'un enherbement massif et précoce.

A Antsapana (plateau calcaire), nous ne disposons que de quelques relevés établis à partir de pluviomètres totalisateurs. Les tendances générales des trois campagnes restent les mêmes qu'à Ampasikibo, mais dans un contexte d'aridité plus prononcée (pluviométrie moyenne de l'ordre de 600 mm). On soulignera les conditions désastreuses de la campagne 1997-98, caractérisée d'abord par une interruption prolongée des pluies en début de saison, obligeant la plupart des agriculteurs à ressemer très tardivement (deuxième quinzaine de janvier, voire début février), puis par l'arrêt précoce des précipitations, qui empêcha ces maïs d'arriver à maturité. Les rendements y furent cette année-là quasiment nuls. La campagne 1998-99 fut quant à elle caractérisée par un excès d'eau considérable (plus de 1000 mm), responsable d'un enherbement spectaculaire sur les parcelles mises en culture depuis plus de deux ans.

EVOLUTION COMPAREE DES RENDEMENTS MOYENS

La figure 2 rassemble les résultats globaux obtenus dans les situations suivantes : Analabo sur sables roux en 1997 et 1998, Analabo sur substrat calcaire en 1998, Antsapana (plateau calcaire) en 1999. Pour Antsapana, nous ne disposons que de don-

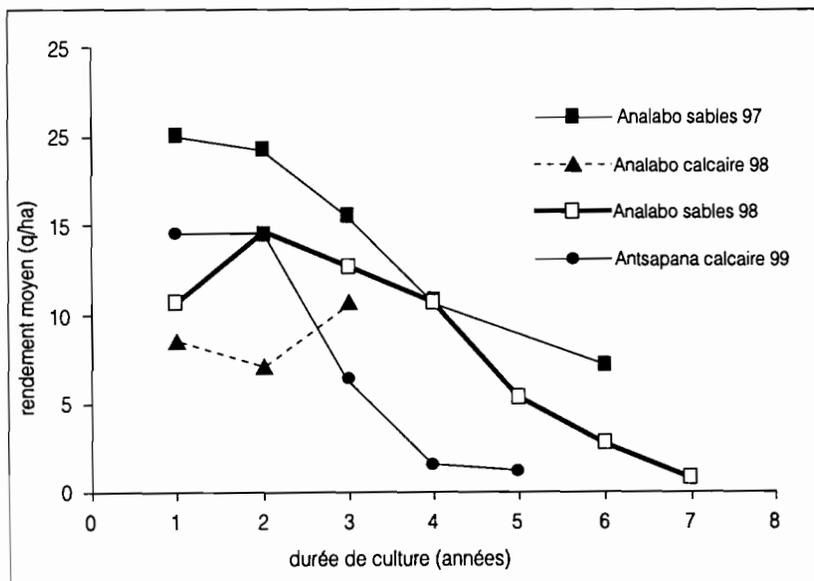


Figure 2 : Rendements moyens en grain et ancienneté de la mise en culture

nées fragmentaires pour l'année 1997, et ne ferons pas mention des résultats de 1998, puisque les rendements y ont été presque uniformément nuls cette année-là. Par ailleurs, nous n'avons pas reproduit le même type d'enquête agronomique à Analabo en 1999, préférant y préciser certains points par voie expérimentale.

Les résultats apparaissent globalement homogènes. Les niveaux de rendement les plus élevés sont obtenus en première et en seconde année de culture. En conditions pluviométriques favorables (Analabo 1997), ces niveaux atteignent en moyenne 20 quintaux de grain sec par hectare, et peuvent localement dépasser 25 q/ha. Au vu des résultats acquis en 1999 à Antsapana (ce que confirment les essais conduits à Analabo), il ne semble pas qu'un excédent pluviométrique très important s'accompagne d'un accroissement sensible des rendements, au contraire. On peut faire l'hypothèse qu'en sol très perméable un excès d'eau accroît les pertes par lixiviation de certains éléments minéraux. Symétriquement, le niveau médiocre du rendement moyen de première année sur les sables d'Analabo en 1998 (10,7 q/ha) est probablement à imputer à un déséquilibre de l'alimentation minérale en conditions de déficit hydrique, l'accumulation de cendres pouvant alors induire des phénomènes de toxicité dus à de trop fortes concentrations d'éléments minéraux au contact des racines. Ce résultat validerait donc la perception paysanne de la «terre chaude» de première année, en justifiant l'utilité de ne procéder au semis sur une nouvelle défriche qu'une fois les premières pluies tombées et le sol «refroidi».

Les rendements moyens décroissent progressivement à partir de la troisième année de culture, pour se situer à des niveaux généralement inférieurs à 5 q/ha au-delà de la cinquième année. Cette chute est plus ou moins brutale et accusée suivant les années. On notera tout particulièrement l'effondrement des rendements en 1999 à Antsapana, lié de toute évidence à la très forte compétition exercée sur le maïs par les adventices, effet d'autant plus marqué que les semis ont cette année-là été réalisés tardivement (la plupart courant décembre), c'est-à-dire en sol déjà enherbé. Les récoltes catastrophiques de 1998 avaient en effet incité la plupart des agriculteurs à limiter les risques d'échec en ne procédant au semis qu'une fois les premières pluies tombées.

De tels résultats corroborent ceux obtenus dans diverses situations. On observera néanmoins que dans les systèmes de culture sur abattis-brûlis des zones humides, la phase de culture est beaucoup plus courte, et que la baisse de rendement de la culture (qu'il s'agisse de maïs ou de riz pluvial) apparaît beaucoup plus tôt, généralement dès la seconde année de culture (Nye et Greenland, 1964 ; De Rouw, 1991).

ROLES DES DIFFERENTES COMPOSANTES

Le rendement a été évalué à travers ses composantes : nombre de poquets à l'unité de surface, nombre de plantes par poquet, nombre d'épis par plante, nombre de grains par épi, poids moyen du grain. Les facteurs du milieu ainsi que les techniques culturales influent plus ou moins directement sur ces différentes composantes, fixées à des stades caractéristiques du développement de la plante cultivée. Il est à noter que le nombre de poquets semés par unité de surface, résultat d'un choix technique de l'agriculteur, n'est pas modulé en fonction de la durée de mise en culture.

Une relation linéaire très forte s'exprime entre le rendement et le nombre de grains à l'unité de surface (coefficient de corrélation compris entre 0,91 et 0,99 suivant les sites et les années). Elle traduit, sinon la stabilité du poids moyen du grain, du moins sa

variabilité beaucoup plus faible. En fait, on constate bien une réduction sensible du poids moyen du grain sur les parcelles anciennes (Analabo sables 98, Antsapanana 99), mais elle reste limitée.

Les composantes de peuplement (nombre de poquets par m² et nombre de plantes par poquets) apparaissent jouer un rôle plus limité que les composantes de fertilité (Tableau II) : le rendement est en corrélation plus forte avec le poids de grain par plante qu'avec le nombre de plantes par m². C'est plus particulièrement vrai sur les parcelles anciennes. Parmi les composantes de fertilité, le nombre de grains par épi semble peser d'un poids plus lourd que le nombre d'épis par plante.

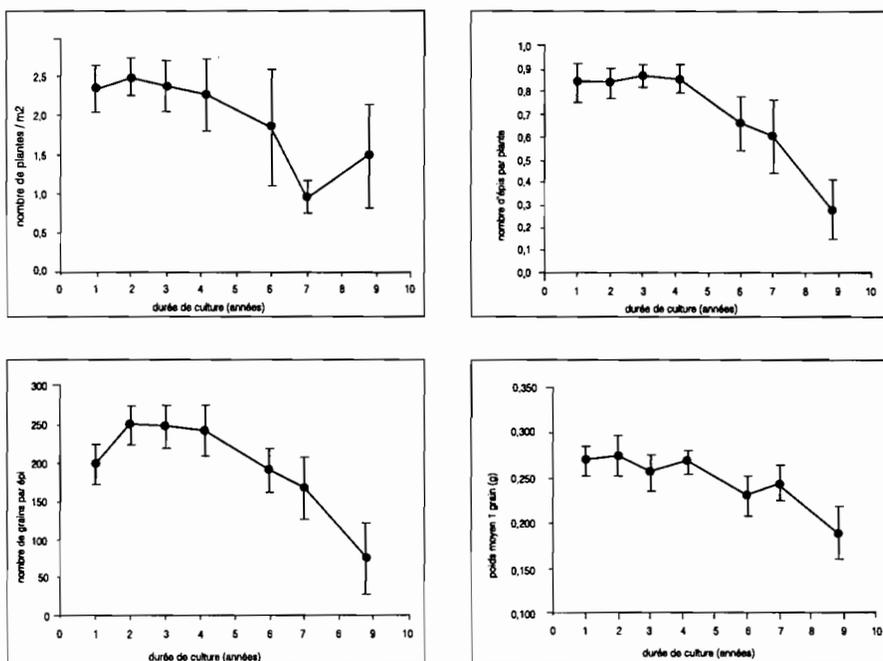


Figure 3 : Composantes du rendement et ancienneté de la mise en culture

En fait, la plupart des composantes subissent une dégradation avec l'accroissement de la durée de mise en culture (Figure 3). Suivant les années et les sites, cette dégradation est plus ou moins accusée, et intervient plus ou moins tôt. On comprend dans ces conditions que le rendement global, produit de ces composantes, diminue fortement.

Aucun phénomène de compensation entre composantes ne se manifeste clairement, même pour les parcelles récentes. Ce résultat suggère que les niveaux de rendement atteints restent bien inférieurs au potentiel de production du matériel végétal local. Une amélioration des états du milieu cultivé devrait donc se traduire par un accroissement significatif des rendements. De même les faibles corrélations observées entre les nombres de plantes par unité de surface et la production individuelle des plantes (Tableau II) autorisent à s'interroger sur l'opportunité d'augmenter les densités de peuplement.

Tableau II : Coefficients de corrélation entre composantes de rendement

Sites	Agés parcelles (années)	Nombre stations	R x Nb pl/m ²	R x Pds G/pl	Nb pl/m ² x Pds G/pl
Analabo 97 sables	1 à 3	18	0,31	0,76	-0,38
	4 à 7	10	0,57	0,86	0,15
	ensemble	28	0,68	0,73	0,04
Analabo 98 sables	1 à 5	44	0,42	0,54	-0,54
	6 à 9	17	0,58	0,76	0,01
	ensemble	61	0,64	0,79	0,13
Analabo 98 sables	1 à 3	29	0,43	0,89	0,01
Antsapana 99	1 à 2	15	0,58	0,50	-0,38
	3 à 7	17	0,69	0,86	0,27
	ensemble	32	0,58	0,81	0,08

VARIABILITE DES RENDEMENTS

Par-delà l'évolution des rendements moyens en fonction de l'ancienneté de la mise en culture, s'exprime une forte variabilité entre stations (Figure 4), qui traduit l'interférence de nombreux facteurs relevant des conditions locales de milieu (volume de sol exploitable, paramètres physico-chimiques de la fertilité, enherbement, parasitisme) ainsi

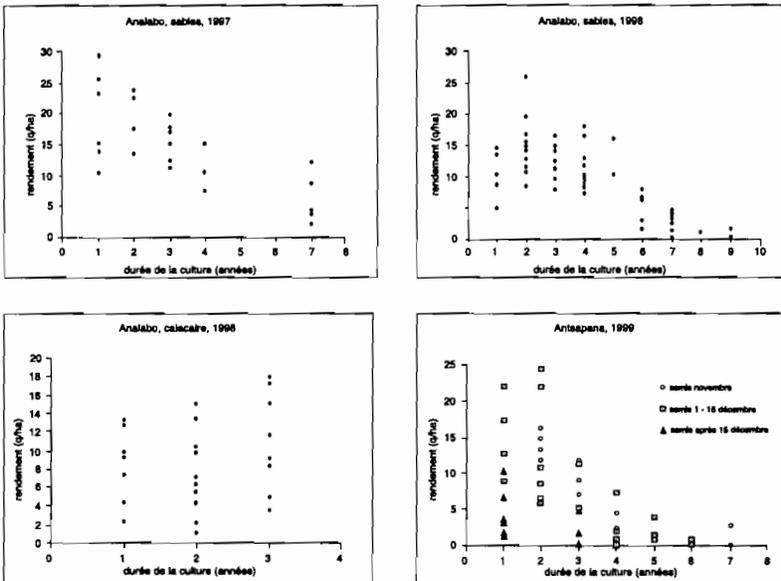


Figure 4 : Variabilité du rendement

que des techniques mises en œuvre par l'agriculteur (nombre de poquets à l'unité de surface, nombre de graines semées par poquet, date(s) de semis, contrôle des adventices). La combinaison de ces différents facteurs crée une diversité plus ou moins grande de «situations culturales», entre parcelles et au sein d'une même parcelle. On ne traitera pas ici dans le détail de l'incidence de ces différents facteurs, ne disposant pas d'enregistrement systématique des données nécessaires pour le faire, station par station. On se bornera de ce fait à quelques constats.

La culture pratiquée sur une parcelle de première ou de seconde année ne constitue pas un gage d'obtention d'un rendement élevé. Des semis tardifs y entraînent de fortes baisses de rendement et, à l'inverse, des semis précoces en sol sec peuvent échouer en première année. Il peut en résulter, en début de phase culturale, une variabilité considérable des rendements (cf. Analabo sables et calcaire 1998, et Antsapana 1999). Cette variabilité se traduit par des rendements moyens bien inférieurs aux potentiels observables.

La date de semis apparaît jouer un rôle décisif, mais qui recouvre plusieurs catégories de phénomènes : (a) le calage du cycle du maïs dans la période humide : déficit hydrique d'autant plus marqué et précoce que le semis est tardif, pouvant conduire à l'obtention de rendements presque uniformément nuls lorsque la saison des pluies s'interrompt précocement (Antsapana 1998) ; (b) dans les parcelles de trois ans et plus, une interaction avec l'enherbement, car des semis tardifs, en absence de travail du sol et de sarclage en cours de cycle, mettent les plantules de maïs en position de concurrence plus forte vis-à-vis des adventices, levées plus tôt ; (c) une interaction avec les dégâts de criquets, qui au cours des trois campagnes suivies se sont révélées d'autant plus graves que le maïs était semé tardivement (épis attaqués, alors que seul l'appareil foliaire l'était pour les semis précoces).

L'effet de l'enherbement est loin d'être homogène pour une ancienneté de culture donnée. L'abondance des adventices peut varier considérablement d'une parcelle à une autre, et même sur la même parcelle. Les pratiques agricoles (feux de fin de saison sèche, sarclages localisés) accroissent probablement cette hétérogénéité.

Les paramètres physico-chimiques de la fertilité des sols sont loin d'être homogènes. C'est évident sur les sols calcaires, ça l'est aussi sur les sables roux, ne serait-ce qu'en raison de l'hétérogénéité des apports de cendres résultant du brûlis initial.

Pour ces différentes raisons, les valeurs des rendements ponctuels (mesurés à l'échelle stationnelle) en fonction de l'ancienneté de la mise en culture se distribuent en deçà d'une «courbe enveloppe» qui exprime l'effet de cette variable lorsque les autres facteurs de variation exercent le plus faible niveau de contrainte dans les conditions de milieu et des pratiques des agriculteurs (Navarro, 1984 ; Fleury, 1991). Il ne s'agit, bien entendu, que de potentiels observables, donc contingents. Il importerait d'en rendre compte aussi dans des conditions innovantes, susceptibles de déplacer vers le haut la courbe enveloppe.

ELEMENTS D'INTERPRETATION DE L'EVOLUTION DES RENDEMENTS

Nous avons reporté sur la figure 5 les variations des rendements moyens du maïs et celles de la phytomasse et du recouvrement des adventices au cours du cycle 1997-1998 (pluviométrie déficitaire) sur les sables d'Analabo.

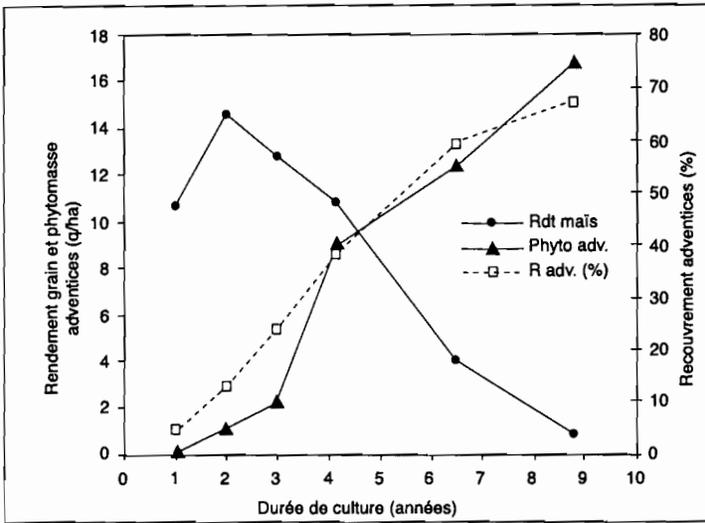


Figure 5 : Variations du rendement moyen, du recouvrement et de la phytomasse des adventices en fonction de l'ancienneté de la mise en culture (Analabo, 1998)

Les rendements diminuent très nettement après la quatrième année de culture. Le recouvrement des adventices atteint alors 40%, et leur phytomasse 1000 kg/ha. Au bout de 8 ou 9 ans de culture, leur recouvrement est de l'ordre de 70%, leur phytomasse de 1600 kg/ha, et le rendement du maïs quasi nul. A Antsapana, à l'issue de la saison 1998-1999 (particulièrement excédentaire), le rendement du maïs chute brutalement dès la troisième année de culture, alors que le recouvrement des adventices atteint déjà 55% (Figure 6). Au-delà, les rendements du maïs sont dérisoires, et le recouvrement des adventices se situe entre 70 et 80%. Chaque année, les observations confirment que la concurrence exercée par

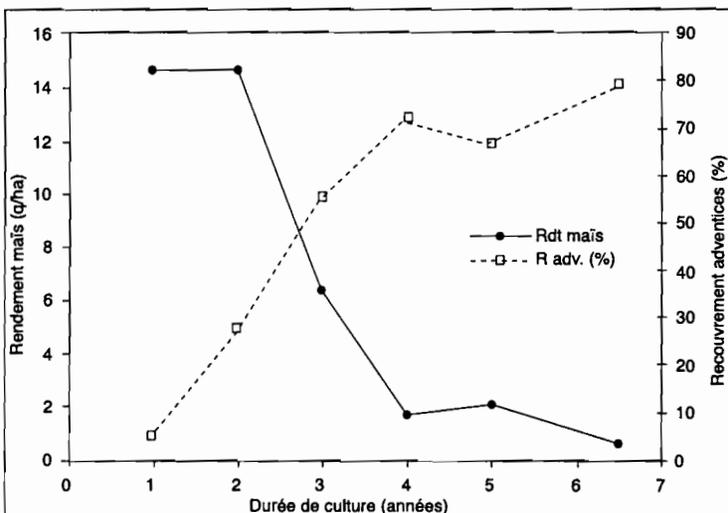


Figure 6 : Variations du rendement moyen et du recouvrement des adventices en fonction de l'ancienneté de la mise en culture (Antsapana, 1999)

les adventices sur la plante cultivée s'accroît avec l'ancienneté de la mise en culture. Localement, l'importance de cette concurrence peut sensiblement varier selon les conditions climatiques de chaque campagne. L'enherbement apparaît bien comme une contrainte majeure du fonctionnement de ces systèmes de culture, et sans doute comme une des causes principales de la décroissance des rendements au cours du temps.

Les pertes de rendement peuvent être liées à d'autres contraintes, telles que la dégradation des paramètres de fertilité des sols. Sur ce plan, les résultats disponibles sont encore fragmentaires. Signalons néanmoins que nous avons mesuré dans l'horizon de surface (0-10 cm), entre la première année et la cinquième année de mise en culture, une baisse de près de 60% du P assimilable (30 à 12 ppm), de 44 % de la quantité de C (1.99 à 1.11%), de 55% de la quantité de N (0.20 à 0.09%) et de 27% du K+ échangeable (0.11 à 0.08 méq %). Ces transformations chimiques sont par ailleurs accompagnées de modifications des paramètres physiques. Ainsi on a pu mesurer que la densité de l'horizon de surface (0-10 cm) passe de 1.32 g.cm⁻³ sous forêt de référence (Erg I) à 1.46 g.cm⁻³ pour une parcelle cultivée depuis 5 ans, entraînant une baisse de près de 47% de la perméabilité (1.46 mm.s⁻¹ à 0.77 mm.s⁻¹). Ces résultats sont appuyés par les observations de Leprun (1998), qui après avoir décrit plusieurs profils pédologiques dans des séries de cultures et d'abandons culturaux de la région, rapporte que *«on assiste, en moins de dix ans après l'abattis-brûlis de la forêt originelle, à une transformation radicale des horizons supérieurs humifères, biologiques friables et bien structurés sous forêt, en un horizon A11 massif et compact type des sols ferrugineux sous culture et savane..... Il est probable que dès la cinquième année de culture, ces caractères sont acquis et difficilement réversibles»*

Un essai très simple a été mis en place au cours de la campagne 1998-99 sur les parcelles d'un agriculteur du village d'Antsandra (Forêt des Mikea), afin de tester l'influence d'un apport d'engrais sur le rendement du maïs, en fonction de l'ancienneté de la mise en culture. Les parcelles retenues, cultivées cette année-là depuis 2, 3, 5 et 7 ans, sont proches les unes des autres. Elles sont situées sur des sables roux profonds de l'erg I (Leprun, 1998). Le dispositif était constitué de quatre blocs pour chaque parcelle de culture, chaque bloc devant rassembler trois parcelles élémentaires correspondant à trois traitements : un témoin non fertilisé, un apport de NPK en début de cycle, le même apport complété par un apport d'urée à la floraison. Ce dernier n'ayant pu être réalisé, chaque bloc comporte en fait une parcelle témoin et deux parcelles fertilisées, à raison de 30 g d'engrais ternaire 11-22-16 répandu autour de chaque poquet après la levée, équivalant, pour une densité de 6000 poquets à l'hectare, à l'apport de 20 unités d'azote, 40 unités de P₂O₅ et 30 unités de K₂O à l'hectare. Le semis fut réalisé en sol sec (*katray*) avant la première pluie du 18 novembre. Les conditions pluviométriques furent très favorables à l'implantation du maïs, ne nécessitant aucun resemis partiel. L'abondance des précipitations (environ 1500 mm durant la saison des pluies) fut par contre à l'origine d'un enherbement massif. Aucun désherbage ne fut réalisé en cours de cycle, les attaques de criquets n'occasionnèrent que des dégâts foliaires modérés, et la récolte eut lieu à maturité, du 17 au 20 mars.

Conformément aux observations réalisées au cours des campagnes précédentes, on constate un accroissement progressif de l'enherbement avec l'ancienneté de la mise en culture, comme l'attestent les évolutions liées du recouvrement et de la phytomasse épigée des adventices, évalués à la récolte sur les parcelles témoin (Figure 7). Discrètes en seconde année de culture, les adventices s'installent réellement en troisième année (recou-

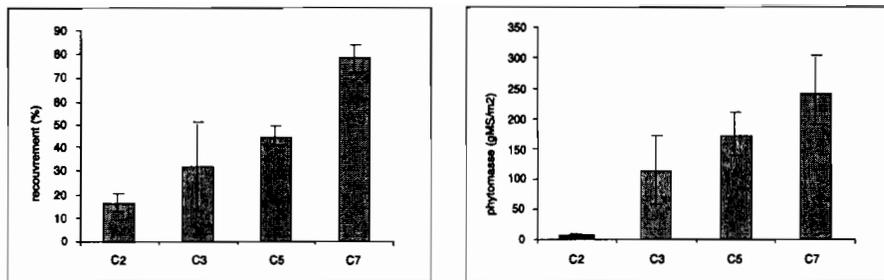


Figure 7 : Variations du recouvrement et de la phytomasse des adventices avec l'ancienneté de la mise en culture (Antsandra, 1999)

vremment de 32%, phytomasse de 1140kgMS.ha⁻¹), et deviennent par la suite très envahissantes (recouvrement de 78% et phytomasse de 2410 kgMS.ha⁻¹ en septième année).

Au cours de la phase de culture, le rendement en grain décroît régulièrement, de 15,5 q/ha en seconde année à 5,7 q/ha en septième année (Figure 8). Cette chute résulte de la diminution conjointe du nombre d'épis par plante, du nombre de grains par épi et du poids

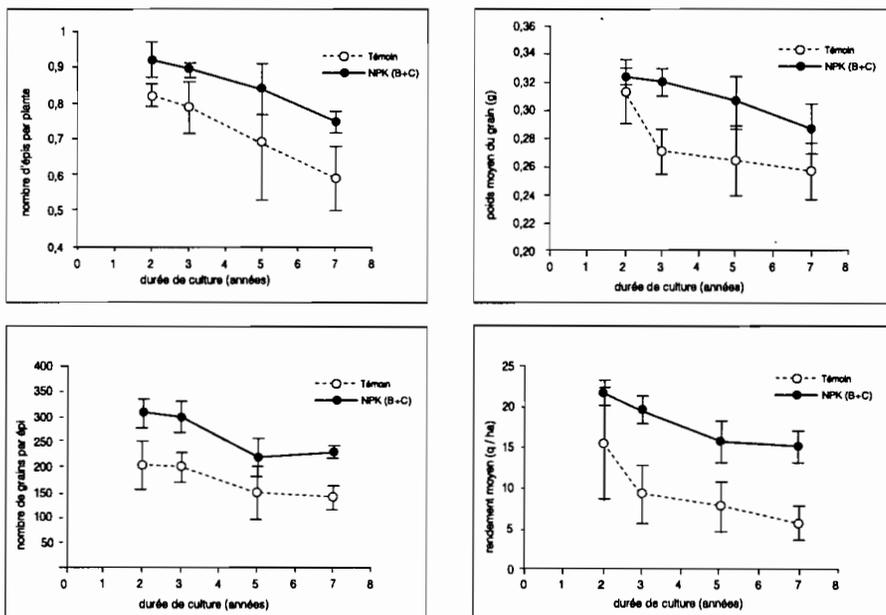


Figure 8 : Effets de l'ancienneté de la mise en culture et de la fertilisation sur le rendement et ses composantes (Antsandra, 1999)

du grain. Ces résultats confirment, eux aussi, ceux obtenus au cours des deux précédentes campagnes.

L'effet de la fertilisation apparaît très marqué sur ces mêmes composantes, et donc sur le rendement en grain global (Figure 8). Elle induit en particulier une très forte augmentation (de l'ordre de 50 à 60%) du nombre de grains par épi. La nutrition azotée joue sans doute un rôle de premier plan, comme l'ont montré les travaux de Plénet *et al.* (1991), qui

constatent que de fortes déficiences azotées, à partir du stade début floraison, provoquent des baisses importantes du rendement, imputable essentiellement à la réduction du nombre de grains par rang sur l'épi, et dans une moindre mesure à celle du poids moyen du grain. L'apport d'engrais accroît le rendement de 6 à 10 q/ha, et ce gain en valeur absolue semble indépendant de l'âge de la parcelle. La fertilisation, dans les conditions de cet essai, a ainsi permis, toutes choses égales par ailleurs, d'obtenir en cinquième et septième années des rendements du même ordre que celui du témoin non fertilisé de seconde année. Tout en restant prudent sur ces résultats, compte tenu de leur variabilité (il aurait été souhaitable de disposer d'un nombre plus élevé de répétitions pour les parcelles témoin), il est intéressant de constater que cet effet se manifeste dès les deuxième et troisième années de culture.

On aurait pu penser que le brûlis de la biomasse ligneuse après défrichage permettait d'accumuler une grande quantité d'éléments minéraux, permettant d'assurer les besoins de la culture durant plusieurs cycles successifs. Cela ne signifie pas que des carences en certains éléments ne peuvent se manifester. En particulier, il est probable que les disponibilités en azote représentent un facteur limitant essentiel, compte tenu des exigences du maïs et de la volatilisation quasi totale des composés organiques azotés lors du brûlis. Les seuls apports significatifs ne peuvent provenir, par la suite, que de la décomposition des systèmes racinaires. Il conviendrait d'apprécier ce stock, son renouvellement (grâce au maïs et aux adventices), la vitesse de sa décomposition, ainsi que l'importance de la lixiviation de l'azote minéral, sans doute intense dans ces sols profonds très sableux. Il importe par ailleurs de mieux distinguer, dans l'explication de la baisse des rendements avec l'ancienneté de la mise en culture, les rôles respectifs de la concurrence des adventices et de la dégradation des paramètres édaphiques. Un dispositif expérimental plus élaboré a été conçu afin de préciser plusieurs de ces points.

A ce stade du diagnostic, on évitera pourtant de conclure de façon catégorique à la baisse progressive de fertilité des terres au cours de la phase culturale. La décroissance du rendement en grain du maïs, phénomène bien établi, ne peut en constituer le seul critère d'appréciation. On constate en effet (Tableau III) que la biomasse épigée cumulée du maïs et des adventices, mesurée sur les parcelles témoin, loin de s'effondrer, tend au contraire à croître sensiblement au cours du temps. Le milieu cultivé semble donc garder intacte son aptitude à produire de la matière sèche, et la pénalisation préférentielle du «compartiment grain» de cette matière sèche (que l'on peut apprécier en termes de rendement et d'index de récolte) ne peut que renforcer l'hypothèse de l'existence d'une carence azotée.

Tableau III : Production de matières sèches du maïs et des adventices en absence de fertilisation (kg/ha)
Index de récolte = pds grain / pds total maïs (%)

Durée culture (année)	Paille maïs	Grain maïs	Total maïs	Index récolte (%)	Adventices	Biomasse totale
2	1900	1550	3450	45	20	3470
3	1110	920	2040	45	1140	3180
5	1340	770	2110	36	1740	3850
7	1270	570	1840	31	2410	4250

Le rendement en grain décroît au cours du temps, aussi bien pour les parcelles fertilisées que pour les témoins. Les deux courbes correspondantes, approximativement parallèles, traduisent l'effet global, à deux niveaux de disponibilités minérales, de l'évolution

des autres facteurs et conditions du milieu, tels que l'enherbement ou la physique du sol. Les dispositifs adoptés jusqu'à présent ne permettent pas d'isoler spécifiquement l'impact de la concurrence croissante des adventices. Il est clair que la succession de plusieurs cycles culturaux s'accompagne de transformations complexes de l'agrosystème, faisant intervenir plusieurs phénomènes qui peuvent être fonctionnellement liés, ou simplement corrélés.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les résultats relatifs au système de culture sur abattis-brulis pratiqué en zone semi-aride du Sud-Ouest de Madagascar montrent que les rendements de maïs diminuent avec l'ancienneté de la mise en culture. Cette chute, que l'on peut observer dès la 3^{ème} année lorsque les conditions pluviométriques sont favorables, n'est sensible qu'au-delà de la 4^{ème} année en conditions moins favorables. Ces résultats confirment ceux généralement obtenus en zone tropicale humide (Kang, 1975 *in* Fournier et Sasson, 1983 ; Ruthenberg, 1976 ; Rouw, 1991 ; Levang, 1993). L'évolution du milieu cultivé semble cependant ici moins rapide qu'en zone tropicale humide, où la durée de la phase culturale apparaît beaucoup plus courte (un à deux ans, rarement plus). On peut raisonnablement penser que l'accroissement de la pluviométrie annuelle totale (plus de 2000 mm) s'accompagne d'une plus forte pression de l'enherbement, ainsi que d'une lixiviation des éléments minéraux plus intense.

La baisse des rendements est en partie imputable à la concurrence des adventices. En effet, leur abondance s'accroît spectaculairement au cours des années, et les agriculteurs ne les contrôlent que très imparfaitement. Les observations montrent en particulier que, sur les parcelles de plus de 3 ans, tout retard au semis compromet gravement la croissance des jeunes plants de maïs, en raison de la compétition des adventices. Mais la baisse du rendement est aussi liée à la dégradation des caractéristiques édaphiques : paramètres chimiques d'une part, et en cela on rejoint les nombreux travaux réalisés dans ce domaine (Andriessse, 1977 ; Nye & Greenland, 1964 ; Pfund *et al.*, 1997) ; paramètres physiques d'autre part. La mise en culture des sols forestiers se traduit en effet par un tassement et un compactage de l'horizon de surface et une réduction importante de la macroporosité (Brand et Rakotondranaly, 1997 ; Leprun, 1998). Le système racinaire, pénétrant mal, se localiserait en surface, augmentant les risques de sécheresse et de mauvaise nutrition minérale (Bourgeat, 1996). La diminution du rendement au cours de la phase culturale résulterait donc de l'effet combiné de la concurrence des adventices et des pertes de fertilité. Il est difficile d'évaluer, au vu des données actuellement disponibles, leurs incidences respectives. Les agriculteurs justifient le plus souvent l'abandon de leurs champs en raison des contraintes d'enherbement. Mais on sait par ailleurs qu'une culture comme le maïs s'accommode mal de mauvaises conditions nutritionnelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRIESSE J.P., 1997.- Nutrient level changes in a 20 years shifting cultivation in Sarawak (Malaysia). ISSS Conference «Clamatrops», Kuala Lumpur, 15-20th August : 15 p.
- BOURGHEAT F., 1996.- Les grandes unités pédo-morphologiques dans la région de Morondava : 21-31, In «*Ecology and Economy of a tropical dry forest in Madagascar*», Ganzhorn J.U & Sorg J-P., Eds., *Primate Report, Special Issue*, 46(1) : 382 p.
- BRAND J. & RAKOTONDRANALY N., 1997.- Les caractéristiques et la fertilité des sols. *Cahiers Terre-Tany*, 6 : 34-48.
- FLEURY A., 1991.- Méthodologie de l'analyse de l'élaboration du rendement. In *Physiologie et production du maïs*, INRA, Paris : 279-290.
- FOURNIER F. & SASSON A., 1983.- *Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique*. ORSTOM-UNESCO, Paris : 473 p.
- LEPRUN J-C., 1998.- Rapport de Mission à Madagascar. GEREM, CNRE-ORSTOM, Antananarivo, multigr. : 12 p.
- LEVANG P. 1993.- Jachère arborée et culture sur brûlis dans les îles extérieures de l'archipel indonésien : 179-192. In Floret C. & Serpentie G. (eds.) «*La jachère en Afrique de l'Ouest*», Coll. Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris : 494 p.
- NAVARRO H., 1984.- *L'analyse des composantes du rendement du maïs. Application à l'étude de la variabilité du rendement dans une petite région*. Thèse de Docteur-Ingénieur, INA-PG, Paris : 238 p. + annexes.
- NYE P.M. & GREENLAND D.J., 1964.- Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant and Soil*, XXI(1) : 101-112
- PFUND J-L., BRAND J., RAVOAVY L. & RAZAFINTSALAMA V., 1997.- Culture sur brûlis : bilan de nutriments et successions écologiques. *Cahiers Terre-Tany*, 6 : 68-88.
- PLENET D., LUBET E., DESVIGNES P. & SOMBRUN F., 1991.- Fertilisation azotée et composantes du rendement du maïs : effets des niveaux et des modalités d'apport. In *Physiologie et production du maïs*, INRA, Paris : 367-382.
- ROUW A. (de), 1991.- *Rice, weeds and shifting cultivation in a tropical rain forest*. Thèse, Université Agronomique, Wageningen, Pays-Bas : 292 p.
- RUTHENBERG H., 1976.- *Farming systems in the tropics*. Clarendon Press, Oxford : 329 p.