O.N.G. "TAFA"
TANy sy FAmpandrosoana
BP 266
Tél : 261 20 44 496 30
Fax 261 20 44 491 39
e-mail : tafa@netcourrier.com

Ministère de la Recherche Scientifique

Centre National de Recherches
Appliquées au Développement Rural (FOFIFA)
Station Régionale de Recherches
BP 230
Tél : 216 20 44 480 54
ANTSIRABE

AMELIORATION DE LA FERTILITE PAR ECOBUAGE :

INFLUENCE DE LA FREQUENCE ET DE L'INTENSITE DE LA COMBUSTION SELON LE TYPE DE SOL DE TANETY 2002 N°1

CIRAD : *MICHELLON R.*

TAFA : *MOUSSA N.*
RAKOTONIAINA F.
ANDRIANASOLO H. M.
FARA HANITRINIAINA J. C.
RAVELOMANARIVO A.
RAVONISON L. N.

FOFIFA : *RAZAKAMIARAMANANA*

AMELIORATION DE LA FERTILITE PAR ECOBUAGE

Influence de la fréquence et de l'intensité de la combustion selon le type de sols de tanety

I. BUT

A Madagascar, l'utilisation du feu est fréquence dans les systèmes de culture et d'élevage. Elle prend différentes formes selon les conditions pédoclimatiques, l'état de la végétation et la densité de population :

- culture sur brûlis :
  Ce défrichement de forêt consiste à abattre une parcelle, brûler le bois une fois sec, épandre les cendres et cultiver quelques années avant de l'abandonner en jachère. Il constitue le mode de culture qui présente la meilleure productivité du facteur travail (le plus rare en zone sous peuplée). Généralement, l'abandon est d'ailleurs occasionné plus par un envahissement par des mauvaises herbes que par la baisse de fertilité. De nombreuses études ont permis de caractériser ces systèmes et leurs conséquences (déforestation, perte de biodiversité, érosion, lixiviation, destruction d'aménagements, diminution des rendements …) aussi bien pour les forêts humides de l'Est, avec la pratique du "tavy" (BAILLY et al., 1974 ; ANDRIAMAMPIANINA et al. 1996, Projet Terre Tany / BEMA, CDE/GIUB, FOFIFA, 1997) que pour les forêts sèches de l'Ouest (DE CASABIANCA, 1967 ; SAFCO, 1997 ; CNRE.IRD, 1999)

- feu de brousse :
  L'usage de cette technique est courant dans toute l'île : pour favoriser la repousse du fourrage pour le bétail, le ruissellement sur les "tanety" ou collines, pour le repiquage du riz, pour nettoyer le terrain, …
  Sur les Hautes-Terres, ses excès conduisent à l'ensablement des rizières, à la dégradation des aménagements, …

- feu fertilisant :
  Il consiste à récupérer les cendres végétales laissés par un brûlis pour les apporter aux cultures, en particulier, sur la plupart des pépinières rizicoles des Hautes Terres. Elles peuvent être ramassées juste après le passage d'un feu de brousse (par des ménages défavorisés) ou obtenues en brûlant la biomasse sur place (RAKOTOMAVO, 1998a ; RAKOTONIAINA, 1998)

- écobuage ou "voly otrik'afo"
  L'écobuage est une pratique culturale plus complexes, totalement différentes des autres techniques utilisant le feu. Abandonné en Europe au siècle dernier, il est pratiqué dans la plupart des pays tropicaux d'Afrique avec des variantes qui dépendent des conditions locales et de l'esprit d'adaptation des agriculteurs qui l'utilisent (SEGUY, 1974 ; DZABA, 1987 ; NZILA, 1992)

Les combustibles disponibles sur place (plaques de gazon déracinées et retournées, adventices arrachées avec leurs racines …) sont séchés, rassemblés en andains et recouverts d'une couche de terre raclée à la surface du sol (5 à 10 cm d'épaisseur). Le feu est mis dans le billon en fin de saison sèche, à des emplacements aménagés, et le brûlage va durer plusieurs jours. La terre consumée, d'aspect rougeâtre, est soit épandue à la surface du sol, soit conservée en billons. Ils sont destinés à la production des plantes à tubercules (pomme de terre, taro, igname, patate douche …), légumes divers et cultures exigeantes (maïs, …). Elles trouvent dans les billons les éléments nécessaires à leur croissance. Les espèces qui supportent des conditions moins favorables (arachides, …) sont semées dans les espaces situés entre les billons.

A Madagascar ce système de culture est parfois pratiqué sur les Hautes Terres (CHABANNE ; SEGUY ; RAZAKAMIARAMANANA, 1996 ; RAKOTONIAINA, 1998) où la pression démographique conduit à coloniser les tanety. Il constitue un moyen d'intensification sur ces sols pauvres (en majorité ferrallitiques fortement désaturés) où les agriculteurs utilisent très peu d'intrants.

Dans les systèmes de semis direct avec couverture végétale, en cours de mise au point par TAFA (KOBAMA, 1994 ; TAFA, 1995 et 1998 ; RAKOTONDRALAMBO et al, 1997, 1998 et 2000, SEGUY, 2000), les rendements des cultures exigeantes stagnent aussi, en particulier sur les parcelles où s'exerce une concurrence des plantes de couverture.

Sur sol ferrallitique de basse fertilité, ce problème subsiste pour le maïs plusieurs années après l'installation des systèmes de semis direct avec couverture végétale (comme l'illustre la figure 1 pour la Ferme d'Andranomanelatra où le semis direct débute en 1991). Il se manifeste aussi dès leur mise en place sur sol volcanique de haute fertilité (figure 2).

Les agriculteurs étant préoccupés par leur survie à court terme, l'écobuage a été utilisé sur tous les sites d'expérimentation (SEGUY, 1996). Cette technique a, dans un premier temps, été mise en œuvre dans des itinéraires associant le maïs à des légumineuses pérennes : trèfle du Kenya, *Trifolium semipilosum,* ou *Desmodium uncinatum*, ou *Cassia rotundifolia*.

Dans ces systèmes de culture qui améliorent le statut organique du sol, les résultats sont spectaculaires et durables (figures 1 et 2). Ils ont conduit à de nombreuses adoptions de cette technique avec des références locales insuffisantes pour les partenaires de la diffusion.

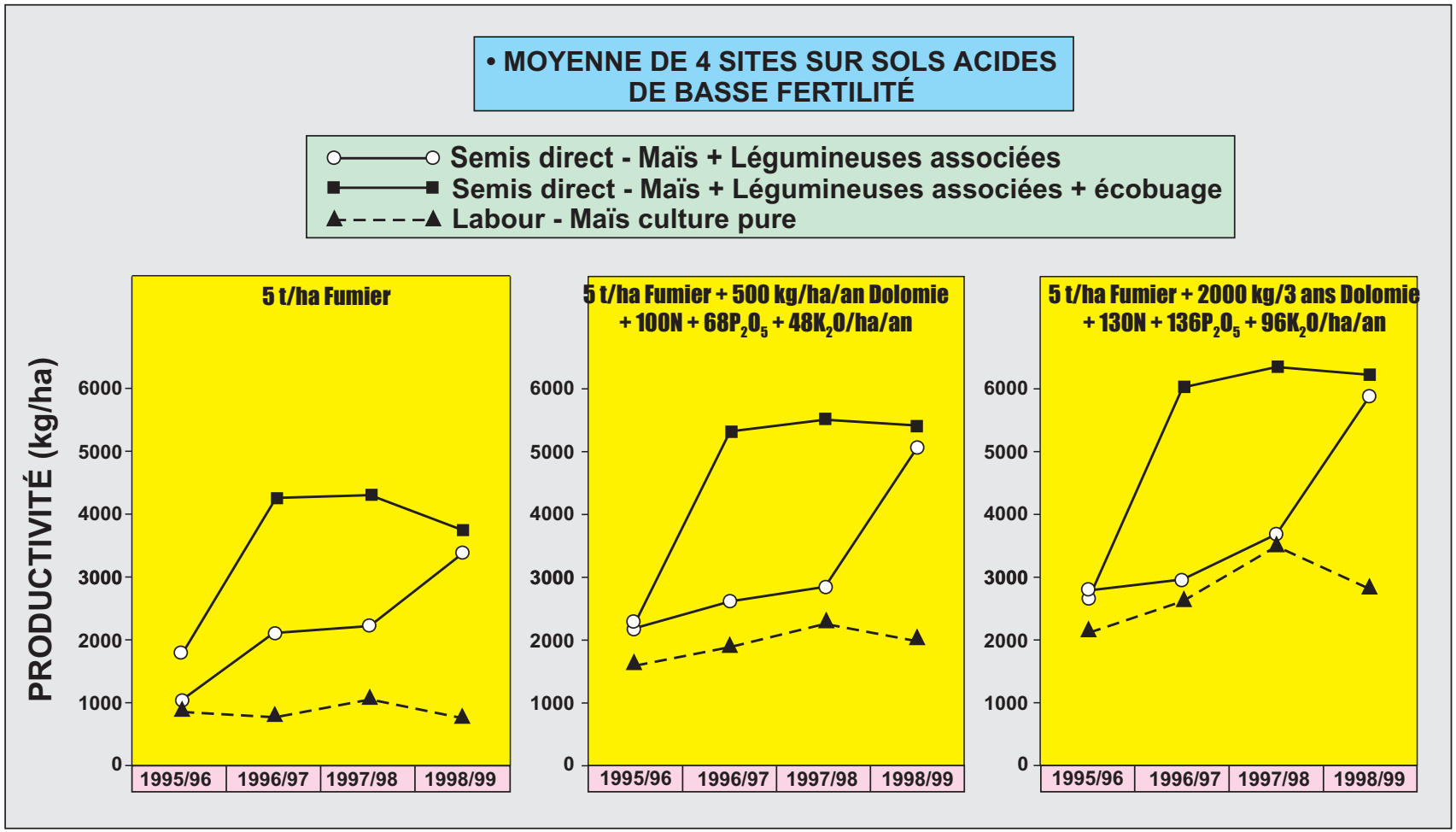
L'équipe de recherche développement CIRAD-FOFIFA-TAFA a alors mis en place des études dans des systèmes avec des cultures vivrières seules, afin d'évaluer :

- les effets directs et résiduels de cette pratique en fonction de son intensité (quantité de pailles brûlées) et de sa fréquence selon le type de sol (SEGUY, 1997 ; MICHELLON et al, 1999 n°1 et 2001 n°2)
- la comparaison de combustibles disponibles dans les différentes régions : bozaka d'*Aristida sp.*, mimosa, ou *Acacia mearnsii*, paille de céréale (parfois seule biomasse en zone volcanique surpeuplée ou zone périurbaine), balle de riz (abondante au Lac Alaotra …), … (SEGUY, 1998). L'apport de la cendre provenant de la combustion d'une quantité équivalente de bozaka est aussi comparé (MICHELLON et al, 1999 n°2, 2000 n°2 et 2001 n°3).

Dans cette fiche sont seulement rapportés les résultats de la cinquième année des essais relatifs à l'intensité et à la fréquence de l'écobuage selon le type de sol.

FIG. 1 ÉVOLUTION DES RENDEMENTS MOYENS DE MAÏS, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES, EN CULTURE MANUELLE

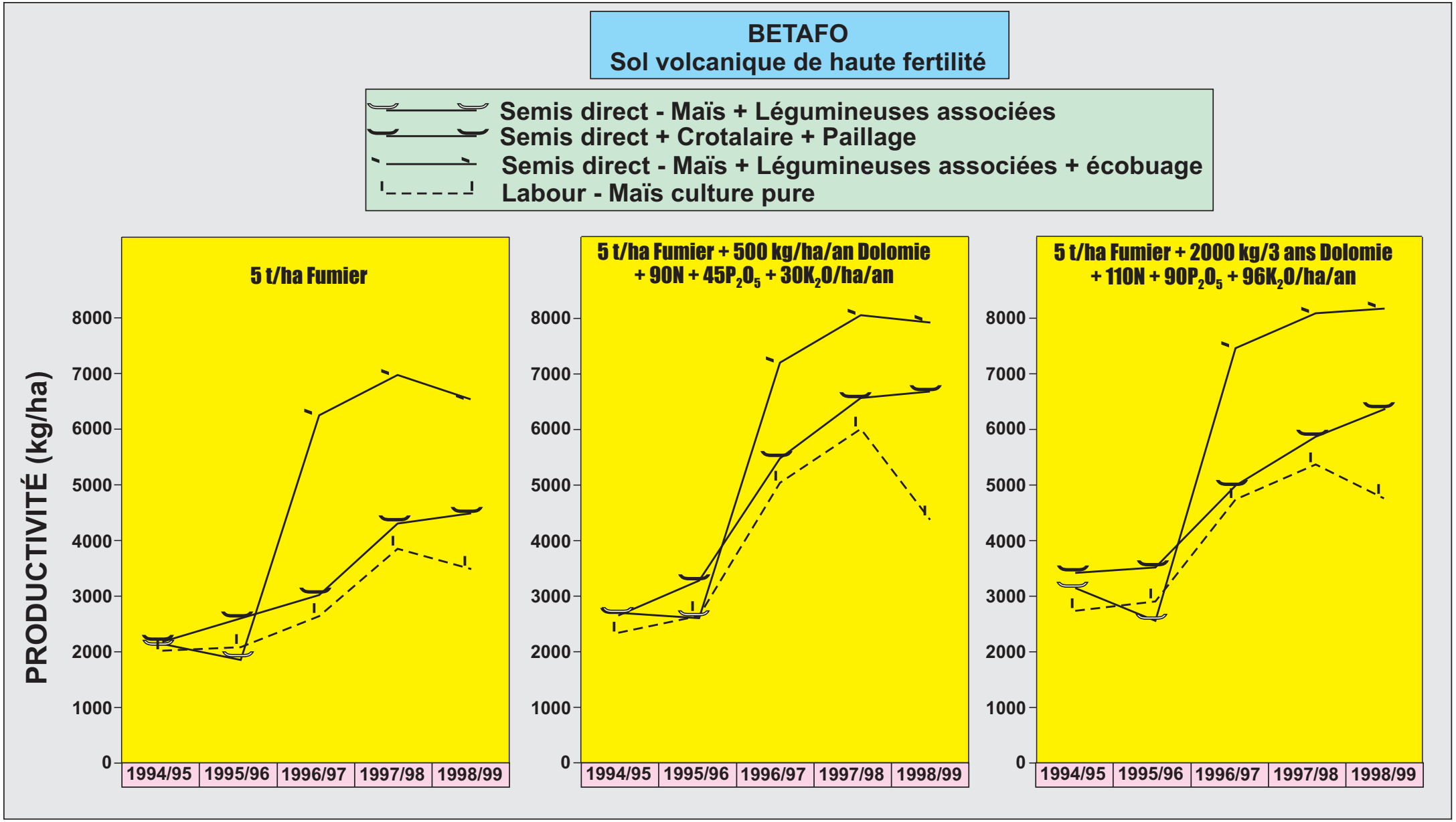
Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1995/99



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFA, Antisirabé, 1999

FIG. 2 ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS, EN FONCTION DU MODE DE GESTION DU SOL ET DES CULTURES, EN CULTURE MANUELLE

Sols ferrallitiques et volcaniques des hauts plateaux malgaches - Antsirabé, 1994/99



SOURCE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFA, Antisirabé, 1999

II. TRAITEMENTS :

Ils portent sur la fréquence de l'écobuage et les quantités de paille de "bozaka" (Aristida sp.) qui conditionnent son intensité, combinés avec quatre fumures (ajustées selon le type de sol ou la culture, dans deux rotations).

21. Fréquence et intensité de l'écobuage

L'écobuage, comparé à un témoin non écobué est réalisé :

- une seule fois (non renouvelé)
- tous les quatre ans
- ou tous les deux ans

avec deux doses de pailles brûlées dans des tranchées :

- 20 t/ha de bozaka
- 60 t/ha de bozaka

Toutes ces expérimentations sont conduites avec paillage du sol pendant les trois premiers cycles de culture, pour restituer la matière organique détruite lors de l'écobuage.

Les pailles de bozaka d'*Aristida sp*. sont prélevées sur sol ferrallitique, car leur disponibilité est très faible en zone volcanique surpeuplée.

22. Type de sol

Les sols sont choisis pour représenter des conditions très différenciées de fertilité sur les Hautes Terres :

- sol ferrallitique sur socle cristallin, à Ibity
- sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre, à Bemasoandro
- sol volcanique (andosol), à Betafo

23. Rotations

Deux types de rotations :

- riz / soja
- maïs / pomme de terre

24. Fumures

Quatre fumures sont combinées aux traitements précédents afin d'évaluer l'effet de la fréquence et de l'intensité de l'écobuage.

F0 : sans fumure
F1 : fumier seul
F2 : fumier + fumure minérale conseillée
F3 : fumier + fumure minérale forte (non limitante).

Elles sons modulées selon les types de sols et les cultures mises en place dans les deux rotations.

- Soja :

SOL	VOLCANIQUE	FERRALLITIQUE
F0 : Sans fumure	Rien	Rien
F1 : fumier seul	Fumier : 5 t/ha (bovin)	Fumier : 5 t/ha (bovin)
F2 : fumier + fumure minérale conseillée	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 100 kg/ha + KCl 50 kg/ha + dolomie 500 kg/ha (20 N – 50 P_2O_5 – 30 K_2O – 180 CaO)	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 150 kg/ha + KCl 80 kg/ha + dolomie 500 kg/ha (30 N – 70 P_2O_5 – 50 K_2O – 180 CaO)
F3 : fumier + fumure minérale forte (non limitante)	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 200 kg/ha + KCl 160 kg/ha (+ dolomie apportée en 1997 et 2000 : 2 t/ha)* (40 N – 90 P_2O_5 – 100 K_2O) + (720 CaO en 2000)	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 300 kg/ha + KCl 160 kg/ha (+ dolomie apportée 1997 et 2000 : 2 t/ha)* (50 N – 140 P_2O_5 – 100 K_2O) + (720 CaO en 2000)

* Apport de 2 t/ha de dolomie en première année (1997), puis renouvelé tous les trois ans (2000)

- Riz :

Les fumures sont semblables à celles du soja, complétées éventuellement par une fumure azotée au semis et en couverture.

SOL	VOLCANIQUE	FERRALLITIQUE
F0 : Sans fumure	Rien	Rien
F1 : fumier seul	Fumier : 5 t/ha (bovin)	Fumier : 5 t/ha (bovin)
F2 : fumier + fumure minérale conseillée	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 100 kg/ha + KCl 50 kg/ha + dolomie 500 kg/ha + apports de 50 kg/ha d'urée 25 et 60 jours après semis ** (60 N – 50 P_2O_5 – 30 K_2O – 180 CaO)	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 150 kg/ha + KCl 80 kg/ha + dolomie 500 kg/ha + apports de 50 kg/ha d'urée 25 et 60 jours après semis ** (70 N – 70 P_2O_5 – 50 K_2O – 180 CaO)
F3 : fumier + fumure minérale forte (non limitante)	Fumier 5 t/ha + urée 50 kg/ha + phosphate d'ammoniaque 200 kg/ha + KCl 160 kg/ha + dolomie 2 t/ha * + apports de 100 kg/ha et de 50 kg/ha d'urée respectivement 25 et 60 jours après semis ** (130 N – 90 P_2O_5 – 100 K_2O) - (720 CaO)	Fumier 5 t/ha + urée 50 kg/ha + phosphate d'ammoniaque 300 kg/ha + KCl 160 kg/ha + dolomie 2 t/ha * + apports de 100 kg/ha et de 50 kg/ha d'urée respectivement 25 et 60 jours après semis ** (150 N – 140 P_2O_5 – 100 K_2O) - (720 CaO)

* Apport de 2 t/ha de dolomie renouvelé tous les trois ans
** L'apport d'azote en couverture 60 jours après le semis n'est réalisé que s'il est nécessaire.

- Maïs :

Les fumures sont semblables à celles du soja, complétées éventuellement par une fumure azotée au semis et en couverture.

SOL	VOLCANIQUE	FERRALLITIQUE
F0 : Sans fumure	Rien	Rien
F1 : fumier seul	Fumier : 5 t/ha (bovin)	Fumier : 5 t/ha (bovin)
F2 : fumier + fumure minérale conseillée	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 100 kg/ha + KCl 50 kg/ha + dolomie 500 kg/ha + apport de 100 kg d'urée 25 jours après semis (60 N – 50 P_2O_5 – 30 K_2O – 180 CaO)	Fumier 5 t/ha + phosphate d'ammoniaque 150 kg/ha + KCl 80 kg/ha + dolomie 500 kg/ha + apport de 100 kg/ha d'urée 25 jours après semis (70 N – 70 P_2O_5 – 50 K_2O – 180 CaO)
F3 : fumier + fumure minérale forte (non limitante)	Fumier 5 t/ha + urée 100 kg/ha + phosphate d'ammoniaque 200 kg/ha + KCl 160 kg/ha + dolomie 2 t/ha * + apport de 200 kg/ha d'urée 25 jours après semis (170 N –1090 P_2O_5 – 100 K_2O) - (720 CaO)	Fumier 5 t/ha + urée 100 kg/ha + phosphate d'ammoniaque 300 kg/ha + KCl 160 kg/ha + dolomie 2 t/ha * + apport de 200 kg/ha d'urée 25 jours après semis (190 N – 140 P_2O_5 – 100 K_2O)- (720 CaO)

* Apport de 2 t/ha de dolomie en première année (1997), puis renouvelé tous les trois ans (2000)

- Pomme de terre :

SOL	VOLCANIQUE	FERRALLITIQUE
F0 : Sans fumure	Rien	Rien
F1 : fumier seul	Fumier : 5 t/ha (bovin)	Fumier : 5 t/ha (bovin)
F2 : fumier + fumure minérale conseillée	Fumier 5 t/ha + 300 kg/ha de ternaire 11.22.16 + dolomie 500 kg/ha (30 N – 70 P_2O_5 – 50 K_2O – 180 CaO)	Fumier 5 t/ha + 450 kg/ha de ternaire 11.22.16 + dolomie 500 kg/ha (50 N – 100 P_2O_5 – 70 K_2O – 180 CaO)
F3 : fumier + fumure minérale forte (non limitante)	Fumier 5 t/ha + urée 100 kg/ha au buttage + phosphate d'ammoniaque 300 kg/ha + KCl 160 kg/ha (+ dolomie apportée en 2000 : 2 t/ha)* (100 N – 140 P_2O_5 – 100 K_2O) + (720 CaO en 2000)	Fumier 5 t/ha + + urée 100 kg/ha au buttage + phosphate d'ammoniaque 300 kg/ha + KCl 160 kg/ha (+ dolomie apportée en 2000 : 2 t/ha)* (100 N – 140 P_2O_5 – 100 K_2O) + (720 CaO en 2000)

* Apport de 2 t/ha de dolomie renouvelé tous les trois ans (1997, 2000)

III. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Dans les différents sites et pour les deux rotations mises en place, les dispositifs expérimentaux sont identiques. Au cours des deux premières années, ils étaient conçus comme des essais factoriels (avec trois répétitions) qui combinaient :

- des doses de paille de bozaka pour l'écobuage
  - 0 (non écobué)
  - 20 t/ha
  - 60 t/ha

- à des fumures, modulées selon les types de sols et les cultures
  - F0 : sans fumure
  - F1 : fumier seul
  - F2 : fumier + fumure minérale conseillée
  - F3 : fumier + fumure minérale forte (non limitante).

A partir de la troisième année, le dispositif évolue en split splot, les parcelles écobuées étant subdivisées en fonction des fréquences d'écobuage prévues (écobuage non renouvelée, ou tous les quatre ans ou tous les deux ans).

En cinquième année, il est possible de considérer deux dispositifs :

- pour les parcelles témoin non écobuées (conduites en semis direct) un seul facteur : la fumure est étudiée en blocs complets (4 fumures, 3 répétitions)
- pour les parcelles écobuées qui ont été subdivisées en split splot, le dispositif comporte en grandes parcelles un factoriel en blocs (3 répétitions) : deux doses de paille pour l'écobuage (20 et 60 t/ha) combinées à quatre fumures (F0, F1, F2 et F3), splité en trois petites parcelles :
  - écobuage non renouvelée
  - écobuage tous les quatre ans
  - écobuage tous les deux ans

L'écobuage a été réalisé en 1997 dans des tranchées de 0,2 m de profondeur sur 0,3 ou 0,2 m de large (selon la dose de paille) espacées de 0,5 ou 0,6 m environ permettant un ré-écobuage entre les fosses précédentes tous les 2 ou 4 ans. Les parcelles élémentaires écobuées comportaient 8 tranchées en première année (soit 6,4 m) sur une longueur de 9,6 m, soit une surface de 61,5 m² qui ont été subdivisées en trois parcelles de 20,5 m² en troisième année). Les parcelles non écobuées ont une surface de 20,5 m² (6,4 m x 3,2 m).

Les parcelles observées portent sur des surfaces différentes selon les cultures :

- riz : 16 lignes à 0,3 m (4,8 m) sur 14 poquets à 0,2 m (2,8 m), soit une surface de 13,5 m²
- soja : 12 lignes à 0,4 m (4,8 m) sur 28 poquets à 0,1 m (2,8 m), soit une surface de 13,5 m²
- maïs : 6 lignes à 0,8 m (4,8 m) sur 6 poquets à 0,4 m (2,4 m), soit une surface de 11,5 m²
- pomme de terre 6 lignes à 0,8 m (4,8 m) sur 9 plants espacés de 0,29 m (2,6 m), soit une surface de 12,5 m².

Pour chaque culture, outre les productions parcellaires, les composantes du rendement sont évaluées :

- sur la totalité de la parcelle observée pour le maïs, (densité, verse, casse, fertilité des épis, avec estimation sur 10 épis du rapport poids de grain/poids des épis fertiles)
- et seulement en ce qui concerne les densités pour la pomme de terre (dénombrement et pesée des tubercules sur une ligne par parcelle, soit 2,1 m²) et le soja (estimation parcellaire du nombre de gousses sur 100 plantes et du nombre et du poids de grains sur 200 gousses).

Pour le riz : destiné, tallage, fertilité et poids des grains ont été évalués sur une placette de 1 m² en 1999-2000 (4 rangs, soit 1,2 m, sur 4 poquets, soit 0,8 m).

Pour les cultures de riz, soja et maïs, les rendements en sec sont obtenus en estimant les pertes en eau au séchage sur un échantillon de 5 kg de grain pour chaque traitement, avec la fumure F1.

Pour fournir des outils pédagogiques aux formateurs lors des visites, des tests ont été réalisés dans des conditions similaires avec des traitements labourés sans paillage, ni écobuage (avec les quatre fumures F0, F1, F2, F3).

Des analyses minérales ont été effectuées au CIRAD à Montpellier au cours du DEA de M. M. RANDRIANTSOA (2001). Les sols ont été prélevés en mars 2001 sur deux types différents :

- sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre à Bemasoandro
- sol volcanique (andosol) à Betafo.

Trois traitement étudiés avec la fumure F1, habituelle dans la zone :

- labour
- semis direct sans écobuage
- écobuage pratiqué une seul fois en 1997 avec la dose de 60 t/ha de bozaka. Pour les traitements écobués, les prélèvements sont réalisés dans deux zones :
    - le rang : dans la tranchée écobuée (correspondant à la zone de semis des cultures) ou au dessous de celle-ci
    - inter rang : entre les tranchées écobuées.

Prélèvements dans les trois blocs (3 répétitions) de chaque essai de trois profondeurs de sol :

- 0 à 5 cm
- 5 à 15 cm (correspondant approximativement au fond de la tranchée d'écobuage ou du labour)
- 15 à 30 cm

Des échantillons de fumier (Bemasoandro) et des productions (pailles et grains) ont aussi été analysés.

IV. CONDITIONS DE REALISATION :

Les recherches thématiques d'ajustement des techniques agrobiologiques sont conduites dans les mêmes conditions et sur les mêmes terrains que les systèmes de culture pérennisés en semis direct à base de couvertures végétales (S.C.V.) mis en place par l'O.N.G. "TAFA" depuis 1991 ou 1995. Situées sur les Hautes Terres, vers 1500 mètres d'altitude, ils représentent les situations pédoclimatiques extrêmes et moyennes de la zone :

EMPLACEMENT	BETAFO	BEMASOANDRO	IBITY
SOL	**ANDOSOL (volcanique)**	**FERRALLITIQUE sur dépôt fluviolacustre**	**FERRALLITIQUE sur socle cristallin**
Caractéristiques chimiques	Témoin voisin dans cette zone surpeuplée cultivé en haricot (avec labour et apport de fumier seulement) : moyennement acide (pH eau de 6,0 à 6,3), riche en matière organique (Mo=13 à 15%, N_1=4 pour mille, C_t=8%, C/N=20), riche en phosphore total (P total 2600 à 2700 ppm) mais bloqué (P Olsen=7 à 9 ppm), pauvre en Ca (2 à 4 me/100g), Mg (0,9 à 1,5 me/100g K (0,03 à 0,08 me/100g) avec une CEC de 7 à 11 me/100g et un taux de saturation de 50 %	Terrain proche de la ferme d'ANDRANOMANELATRA où le sol d'origine (bozaka) est acide (pH eau=4,9 à 5,1), pauvre en matière organique (M.O.=4 à 8 %, Nt=1,2 à 2,3 pour mille, C_t=2,2 à 3,9%, C/N=17 à 18), très pauvre en P (P Olsen=1,2 ppm, sur un total P total=630 ppm), Ca (0,01 à 0,1 me/100g), Mg (0,1 à 0,2 me/100), K (0,07) 0,3 me/100g), avec une CEC de 4 à 6 me/100g et dé-saturé (V=4 à 15%)	Sol d'origine (bozaka) acide (pH eau=4,8 à 5,2), pauvre en matière organique (M.O.=3 à 4%, Nt=1 à 1,1 pour mille, Ct=1,8 à 2,2%, C/N=19 à 22), très pauvre en P (P Olsen =1,3 à 2,7 ppm sur un total P total = 220 ppm), Ca (0,01 me/100g), Mg (0,03 à 0,05me/100g), K (0,06 me/100g), avec une CEC de 1,1 me/100g et dé-saturé (V=17 à 18%)

L'écobuage est réalisé dans des tranchées de 0,2 m de profondeur environ sur 0,3 ou 0,2 m de large (selon la dose de paille), espacées respectivement de 0,5 ou 0,6 m. La paille sèche est disposée longitudinalement dans la tranchée, tassée et recouverte avec la terre latérale (10 à 15 cm d'épaisseur environ), en laissant des zones non recouvertes tous les mètres. Ce sont ces "cheminées" qui permettent le tirage lors de la combustion lente de la paille. Après avoir allumé, la surveillance doit être constante car le feu couvre sous la terre pendant 24 heures (12 à 48 heures selon le tirage et le combustible). Avant de finir de reboucher la tranchée, bien s'assurer que toute la paille est effectivement brûlée.

En 1999, le nouvel écobuage (prévu tous les deux ans) a été réalisé dans des tranchées de même taille, légèrement décalées par rapport à celles utilisées en 1997. En 2001, la translation a été poursuivie dans des conditions identiques avec la même direction pour les écobuage renouvelés tous les 2 ou 4 ans. Pour le traitement écobuage tous les 2 ans avec 60 t/ha de paille, les tranchées de 0,3 m espacées de 0,5 m, réalisées en 1999 et 2001, se chevauchent.

Pour les besoins de l'expérimentation, les pailles de bozaka (*Aristida sp.*) utilisées en terrain volcanique surpeuplé (Betafo) proviennent des grands espaces sur socle cristallin (Ibity). Pour Andranomanelatra (Bemasoandro), elles sont prélevées sur place. Elles sont coupées en fin de saison fraîche, séchées au soleil et mises en bottes standardisées avant leur utilisation pour l'écobuage ou le paillage (90 % de M.S. environ).

Pour les cultures de riz et maïs réalisées en 2001-2002, les itinéraires techniques sont donnés dans les tableaux suivants :

41. Riz

EMPLACEMENT	BETAFO	BEMASOANDRO
SOL	**VOLCANIQUE**	**FERRALLITIQUE sur dépôt fluviolacustre**
Précédent cultural	Deux rotations riz/soja avec conservation des résidus	
Préparation du terrain	Désherbage manuel et ré-écobuage en octobre 2001	
Date de semis Variété Traitement de semences Densité	6 au 08/11/01 FOFIFA 152 Par voie humide avec 5 g/kg de Gaucho T 45 WS (1,75 g/kg d'imidachlopride + 0,5 g/kg de thirame) Semis en poquets distants de 0,2 m sur des lignes espacées de 0,3 m	10 et 12/11/01
Apports d'azote complémentaires	17/12/01 et 15/01/02	26/12/01 * et 28/01/02
Entretien	Désherbage manuel (et sarclage à l'angady des parcelles labourées) les : 14 au 20/12/01, 15 et 16/01/02, 12 au 15/02/02	21/12/01 et 27/02/02
Récolte	2 au 5/04/02	30/04/02 au 3/05/02

* apport d'azote retardé à cause de la sécheresse

42. Maïs

Lors du cycle précédent, la pomme de terre a été plantée tardivement. Au moment de sa récolte, à la fin mai 2001, il n'était plus possible d'intercaler un cycle d'avoine pour reconstituer le paillage avant la plantation du maïs au début novembre. A cette date le sol était nu, et pour éviter que le système en semis direct ne se dégrade (érosion, perte de l'activité biologique du sol …), la crotalaire, *Crotalaria grahamiana*, a été associé au maïs.

EMPLACEMENT	BETAFO	BEMASOANDRO	IBITY
SOL	**VOLCANIQUE**	**FERRALLITIQUE sur dépôt fluviolacustre**	**FERRALLITIQUE sur socle cristallin**
Précédent cultural	Deux rotations maïs/pomme de terre avec conservation des résidus		
Préparation du terrain	Désherbage manuel et ré-écobuage en octobre 2001		
Date de semis Variété Densité Traitement des semences	8 et 9/11/01 Tombotsoa (FOFIFA 383 jaune) 62500 plantes/ha (poquets à 0,8 x 00,4 m avec démariage à 2 plants 1 mois après semis Par voie humide avec 5 g/kg de Gaucho T 45 WS (1,75 g/kg d'imidachlopride + 0,5 g/kg de thirame)	15/11/01	19 au 21/11/01
Crotalaire en intercalaire	Semis d'une ligne de crotalaire dans chaque interligne de maïs avec des poquets tous les 0,2 m		
Démariage et apport d'azote complémentaire	14/12/01	26/12/01*	13/12/01
Entretien	Désherbage manuel (et sarclage à l'angady des parcelles labourées) les : 14/12/01, et du 14 au 16/01/02	22/12/01 et 27/02/02	30/01/02
Récolte	22 au 25/05/02	27 au 30/05//02	16 au 18/05/02

* apport d'azote retardé à cause de la sécheresse

V. CLIMAT

Le climat de la région du Vakinankaratra est du type tropical d'altitude humide. Il est caractérisé par deux saisons :

- pluvieuse et chaude d'octobre à avril, avec des chutes de grêle fréquentes
- sèches et fraîche de mai à septembre, avec des risques de gel.

La pluviométrie moyenne est de 1300 mm dans la zone concernée par les expérimentations (FTM, RGR, IREDEC, ODR, 1997).

La campagne a été caractérisée par des périodes de sécheresse en novembre-décembre et en janvier. Sur les trois sites d'expérimentation, les précipitations (en mm) sont de :

5.1 : Betafo

Mois	Première décade	Deuxième décade	Troisième décade	Total
Octobre 2001	34	51	0	85
Novembre	0	0	26	26
Décembre	71	43	100	214
Janvier 2002	125	5	85	215
Février	0	30	156	186
Mars	45	55	35	135
Avril	79	28	33	140
Mai	21	122	30	173

5.2. Bemasoandro

Mois	Première décade	Deuxième décade	Troisième décade	Total
Octobre 2001	0	20	18	38
Novembre	19	25	0	44
Décembre	20	8	144	172
Janvier 2002	110	38	31	179
Février	148	142	190	480
Mars	56	142	13	211
Avril	9	9	7	25
Mai	5	35	10	50

5.3. Ibity

Mois	Première décade	Deuxième décade	Troisième décade	Total
Octobre 2001	20	110	5	135
Novembre	110	180	3	293
Décembre	163	103	194	460
Janvier 2002	65	19	245	329
Février	219	150	164	533
Mars	190	89	0	279
Avril	105	55	0	160
Mai	13	19	0	32

VI. RESULTATS

61. Evolution des propriétés physico-chimiques des sols

Ces propriétés ont été étudiées en quatrième année d'application des modes de gestion différenciés des sols et des cultures à l'occasion du DEA de M. M. RANDRIANTSOA (2001). Les analyses portent sur deux zones morphopédologiques contrastées :

- sol ferrallitique (plus pauvre) sur dépôt fluviolacustre (Bemasoandro) après reprise d'une jachère d'*Aristida sp.* en 1997
- sol volcanique (andosol riche à Betafo) après culture traditionnelle continue, avec labour annuel.

Trois traitements recevant un apport de fumier seul (F1, fumure habituelle dans la région) sont comparés :

- labour
- semis direct sans écobuage, avec paillage initial et conservation des résidus de culture
- écobuage pratiqué une seule fois en 1997, avec la dose de 60 t/ha de bozaka, et culture en semis direct avec paillage initial. Pour les traitements écobués, les prélèvements sont réalisés dans deux zones :
  - le rang : dans la tranchée écobuée (correspondant à la zone de semis des cultures) ou au dessous de celle-ci
  - inter rang : entre les tranchées écobuées.

Les prélèvements sont effectués selon trois profondeurs de sol :

- 0 à 5 cm
- 5 à 15 cm (correspondant approximativement au fond de la tranchée d'écobuage ou du labour)
- 15 à 30 cm.

6.1.1. Sol volcanique

Les andosols sont très riches en eau, mais lorsqu'ils sont trop fortement desséchés (par exemple au dessous de 80% d'humidité pondérale) sous l'effet de sarclages répétés ou du labour, ils présentent une déshydratation irréversible (leur réhydratation devient impossible). Au dessous d'un certain seuil, leur microstructure s'effondre et se contracte conduisant à une microgranulation très stable : le séchage induit des structures agrégées en pseudo-sables très stables et hydrophobes. La densité étant très faible, toujours inférieure à 1, les éléments détachés flottent sur l'eau. Dès qu'ils ne sont plus couverts, ces sols soumis à un travail superficiel, deviennent très sensibles à l'érosion.

Le sol de Betafo est peu acide (pH voisin de 6,0) et les modes de gestion appliqués ont peu d'influence sur cette caractéristique (figure 3).

La teneur en matière organique des andosols est élevée ("ando" signifie "sol noir" en japonais, noirci par la matière organique).

Le semis direct sur résidus conduit à un enrichissement en matière organique en surface par rapport au labour : les teneurs en M.O. et C augmentent de 20 % dans l'horizon 0 à 5 cm, et de 10% entre 5 et 15 cm. Parallèlement, la teneur en N est accrue dans des moindres proportions.

L'effet le plus défavorable de l'écobuage concernerait la baisse des taux de matière organique (SEGUY, 1974). Dans notre expérimentation, l'écobuage a été réalisé il y a 4 ans et le sol a ensuite été géré en semis direct avec une couverture végétale permanente (paillage au début, puis résidus des cultures successives : riz et soja).

Les analyses ont été effectuées dans le rang, dans l'ancienne tranchée écobuée (ou sous celle ci) ou dans l'inter rang, entre les tranchées. La zone entre le deux courbes : rang et inter rang, représente l'intervalle de variation des teneurs en éléments dans les parcelles écobuées.

Le traitement écobué, puis conduit avec couverture végétale, présente des taux de matière organique supérieurs de 5 à 15% à ceux du labour sur l'ensemble du profil étudié (0 à 30 cm de profondeur) et des teneurs en azote proportionnellement améliorées.

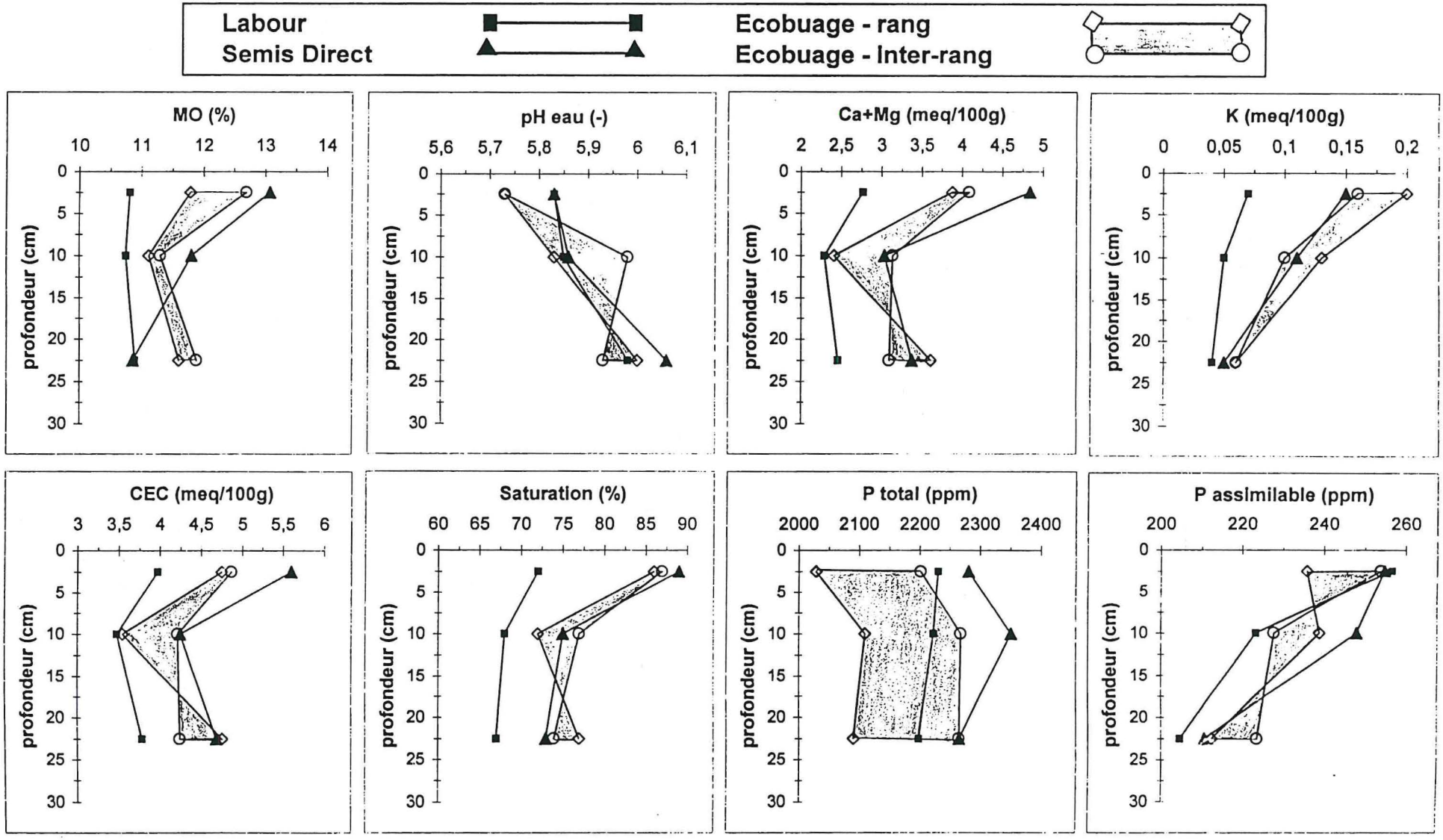
L'enrichissement en matière organique et en N se maintient après écobuage, lorsque le sol est cultivé en semis direct sur couverture végétale permanente.

Les rapports C/N voisins de 15, ne semblent pas affectés par les modes de gestion du sol.

Les teneurs en bases échangeables : Ca, Mg, K sont sensiblement améliorés en semis direct avec ou sans écobuage, ainsi que la capacité d'échange cationique C.E.C. et son taux de saturation.

Les teneurs en P total sont élevées et n'apparaissent pas modifiées par les modes de gestion du sol. La teneur en phosphore assimilable augmente en semis direct par rapport au témoin labouré (de 10% dans l'horizon 5 - 15 cm). Il en serait de même après écobuage.

Figure 3 : Impacts du mode de gestion du sol sur les propriétés physicochimiques en sol volcanique (Betafo, 2001)



6.1.2. Sol ferrallitique

La texture du sol est globalement homogène sur au moins 30 cm de profondeur depuis la surface (RANDRIANTSOA, 2001). Dans tous les cas, près de 90% des particules sont de taille inférieure à 20 µm. Les limons grossiers représentent en moyenne 2,4 %, les sables fins 3,7% et les sables grossiers 5,5%.

De même, le pH est relativement homogène sur les 3 niveaux considérés (0 à 5 cm, 5 à 15 cm et 15 à 30 cm) pour chacun des 3 traitements (figure 4). Le pH reste acide (voisin de 4,7 pour le labour) quel que soit le système cultural mis en place. En semis direct, sans écobuage préalable, la couche superficielle (0 à 5 cm) apparaît encore plus acide (pH 4,5). Avec écobuage, l'acidité semblerait s'atténuer légèrement (plus 0,2 unités sous le rang par rapport au labour), mais le pH reste inférieur à 5,0. Ces pH acides persistent malgré une augmentation de la C.E.C. en semis direct, avec ou sans écobuage initial. En effet le complexe reste occupé majoritairement par des cations générateurs d'acidité Al^{3+} et Mn^{+}.

La teneur en matière organique est homogène sur l'ensemble du profil analysé sous labour, voisine de 5%. Le semis direct conduit à un net enrichissement en surface de la teneur en M.O. qui atteint 9 % dans l'horizon 0 à 5 cm (+80%) et 6 % entre 5 et 15 cm (+20%). Parallèlement la teneur en N est accrue (+90% de 0 à 5 cm et +25% de 5 à 15 cm). Le rapport C/N diminue en semis direct, traduisant une meilleure activité biologique.

L'effet considéré comme le plus défavorable de l'écobuage concernerait la baisse du taux de M.O. Pour un écobuage réalisé il y a 4 ans et une gestion ultérieure du sol en semis direct sur couverture végétale (paillage au début, puis résidus des cultures successives : riz et soja) cet effet a été fugace. Le taux de M.O. après écobuage est amélioré en surface par rapport au labour puisqu'il est compris entre 5,4 % sous le rang (tranchée écobuée) et 6,7% dans l'inter rang dans l'horizon 0 à 5 cm (+35 à +10% par rapport au labour) et entre 5,6 et 5,8% entre 5 et 15 cm (+15%). Parallèlement les teneurs en N augmentent et sous le rang le rapport C/N diminue.

Les teneurs en bases échangeables Ca, Mg et K sont faibles en surface après labour, moins de 0,1 meq/100g de sol dans les horizons 0 à 5 cm et 5 à 15 cm. Par contre ces teneurs s'accroissent sensiblement entre 15 et 30 cm, passant de 0,06 à 0,23 pour Ca, de 0,04 à 0,15 pour Mg, de 0,07 à 0,11 pour K, traduisant une tendance à la lixiviation des bases échangeables Ca, Mg et K sous labour (perte par lessivage). La C.E.C. est inférieure à 4 meq/100g de sol et majoritairement occupée par Al^{3+}.

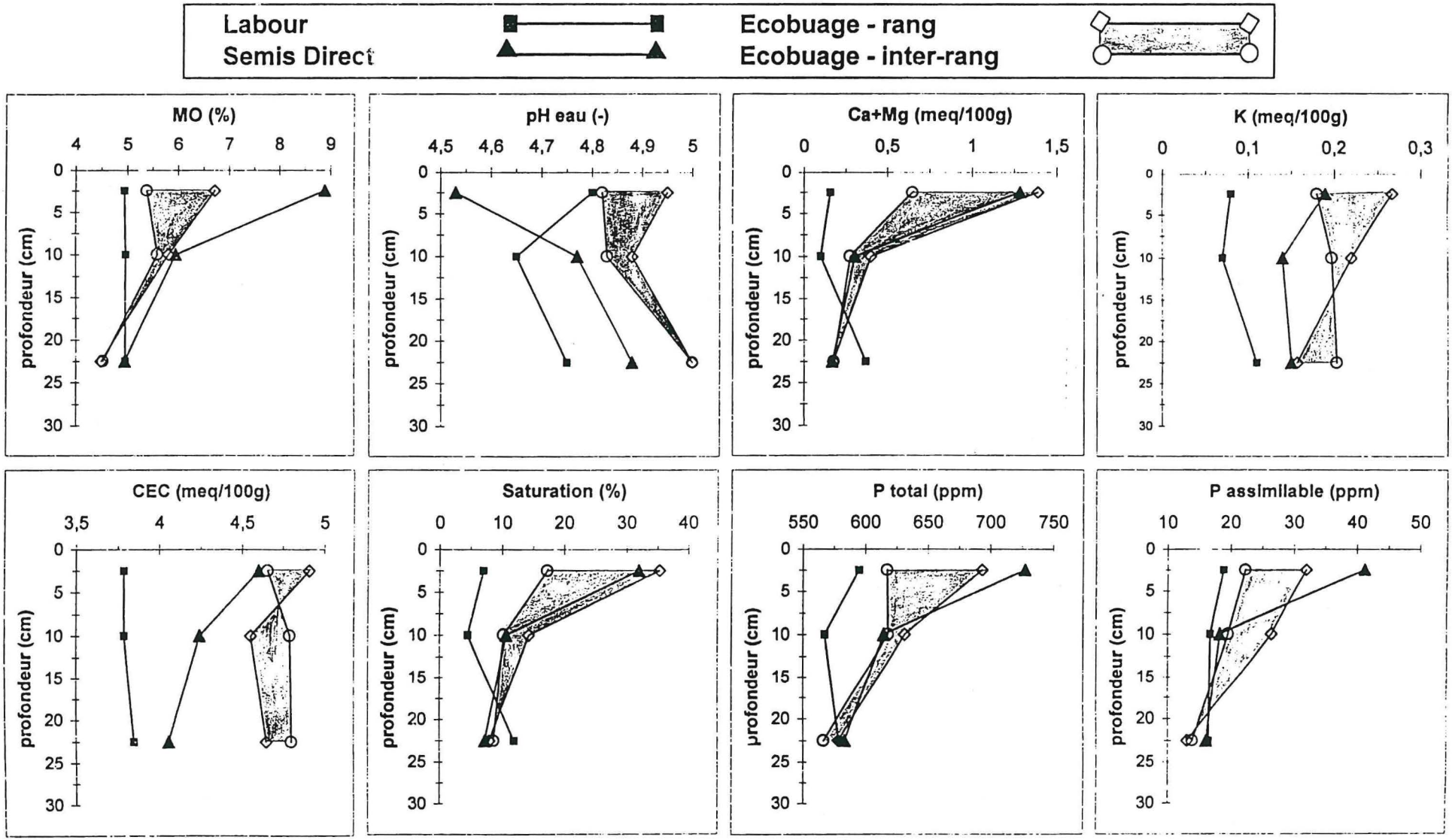
La tendance inverse apparaît en semis direct avec une concentration des cations Ca, Mg et K en surface, dans l'horizon 0 à 15 cm, indiquant un recyclage des bases échangeables Ca, Mg et K en semis direct, avec ou sans écobuage initial.

En semis direct, les teneurs en Ca et Mg sont multipliées par 8 en surface (de 0 à 5 cm) par rapport au labour et celles de K par 4, et par 3 pour les 3 cations entre 5 et 15 cm. La C.E.C. est sensiblement augmentée dans ces horizons (passant de 3,8 meq/100 g de sol à 4,2 meq entre 5 et 15 cm et même à 4,6 meq en surface) ainsi que le taux de saturation.

Lorsque ce mode de gestion du sol avec semis direct sur couverture végétale est associé à un écobuage l'état du complexe absorbant s'améliore en particulier pour le potassium assimilable et la valeur de la C.E.C., mais aussi pour Ca, Mg et le taux de saturation dans la tranchée écobuée (rang).

Le semis direct conduit à une concentration du phosphore en surface et surtout à une plus grande disponibilité de cet élément : la teneur en phosphore assimilable est multipliée par 2 par rapport au labour (41 ppm au lieu de 19 ppm). Lorsqu'il est associé à un écobuage initial, la teneur en phosphore assimilable est aussi accrue en profondeur (passant de 17 ppm avec labour à 26 ppm dans la tranchée écobuée dans l'horizon 5 à 15 cm).

Figure 4 : Impacts du mode de gestion du sol sur les propriétés physicochimiques en sol ferrallitique (Bemasoandro, 2001)



62. Influence de la fréquence et de l'intensité de la combustion sur la production des cultures :

6.2.1. Riz dans la rotation riz/soja

Malgré les périodes de sécheresse ayant marqué cette saison, les rendements sont supérieurs à ceux des campagnes antérieures (depuis 1997-1998), sauf pour le témoin après labour sans fumure minérale sur sol ferrallitique (tableaux 1 et 2). La production du riz pluvial progresse régulièrement dans ces systèmes en rotation avec légumineuse (soja).

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3	Moyennes
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	5377	5412	6214	7164	6042 A
	20 t/ha	2534	3024	5344	5096	4000 B
	moyenne	3956	4218	5779	6130	5021 α
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	4834	5946	5943	6317	5760 A
	20 t/ha	2480	3560	5326	5224	4148 B
	moyenne	3657	4753	5635	5771	4954 α
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	1792	3300	3148	4593	3208 C
	20 t/ha	1406	2080	3761	3404	2663 C
	moyenne	1599	2690	3455	3999	2936 β
Moyenne avec écobuage		3071 Y	3887 Y	4956 X	5300 X	4304
Semis direct sur résidus (non écobué)		1717	1923	3132	4251	2756
Labour (test)		(768)	(3101)	(3408)	(4308)	(2896)

Tableau 1 : **Influence de l'intensité et de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du riz en sol volcanique (Betafo), en kg de paddy par ha.**

Les effets principaux : intensité de l'écobuage (dose de bozaka) et fumure sont significatifs au seuil 1% (C.V. = 26%, écart type = 1156 kg/ha), mais leur interaction ne l'est pas. L'effet du traitement secondaire : fréquence de l'écobuage, est significatif en seul 1% (C.V.= 17%, écart type =747 kg/ha) ainsi que sa seule interaction avec l'intensité de l'écobuage.

Selon le test de Newman et Keuls, les rendements affectés de lettres identiques ne sont pas différents au seuil 5%.

En octobre 2001, l'écobuage a été réalisé à nouveau pour deux traitements :

- tous les 2 ans
- tous les 4 ans

En sol volcanique, très riche en matière organique, le renouvellement de l'écobuage permet d'améliorer le rendement du riz (figure 3), avec un effet significatif de la dose de combustible utilisé, mais pas de la fréquence :

- production accrue de plus de 2,5 t/ha de paddy par un ré-écobuage avec 60 t/ha de paille (6,0 t/ha ou 5,8 t/ha pour un ré-écobuage tous les 2 ou 4 ans, contre 3,2 t/ha pour un écobuage en 1997 non renouvelé)
- ou augmentée de près de 1,5 t/ha de paddy par un ré-écobuage avec 20 t/ha de paille (respectivement 4,0 t/ha contre 2,7 t/ha).

Avec la fumure organique habituelle (F1), la répétition de l'écobuage, associé à une gestion avec couverture végétale permanente, conduit à un rendement équivalent ou supérieur à celui que procure la fumure minérale conseillée (F2), ou même élevée (F3) en semis direct sur résidus ou après labour.

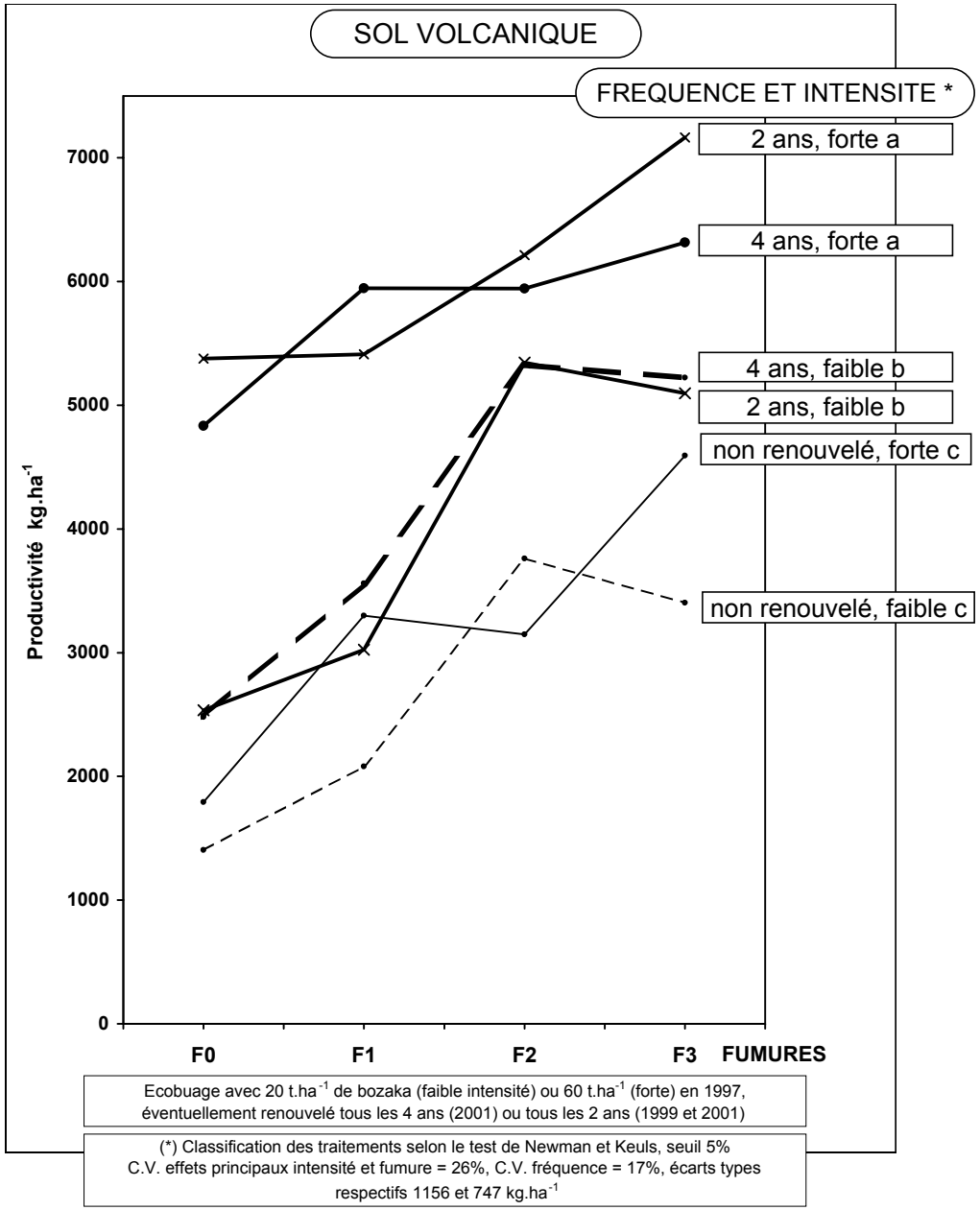
Un écobuage réalisé quatre ans plus tôt, en 1997, présenterait un arrière effet limité par rapport au semis direct sans écobuage, mis en place simultanément (tableau 1 et figure 4).

Dans ces conditions très favorables :

- avec un sol riche, andosol à très forte teneur en matière organique (plus de 10%)
- géré avec un système de culture performant associant une rotation céréale à paille / légumineuse (riz/soja) et la conservation des résidus de culture comme paillage,
- l'écobuage pourrait être renouvelé avec un effet bénéfique sur la production.

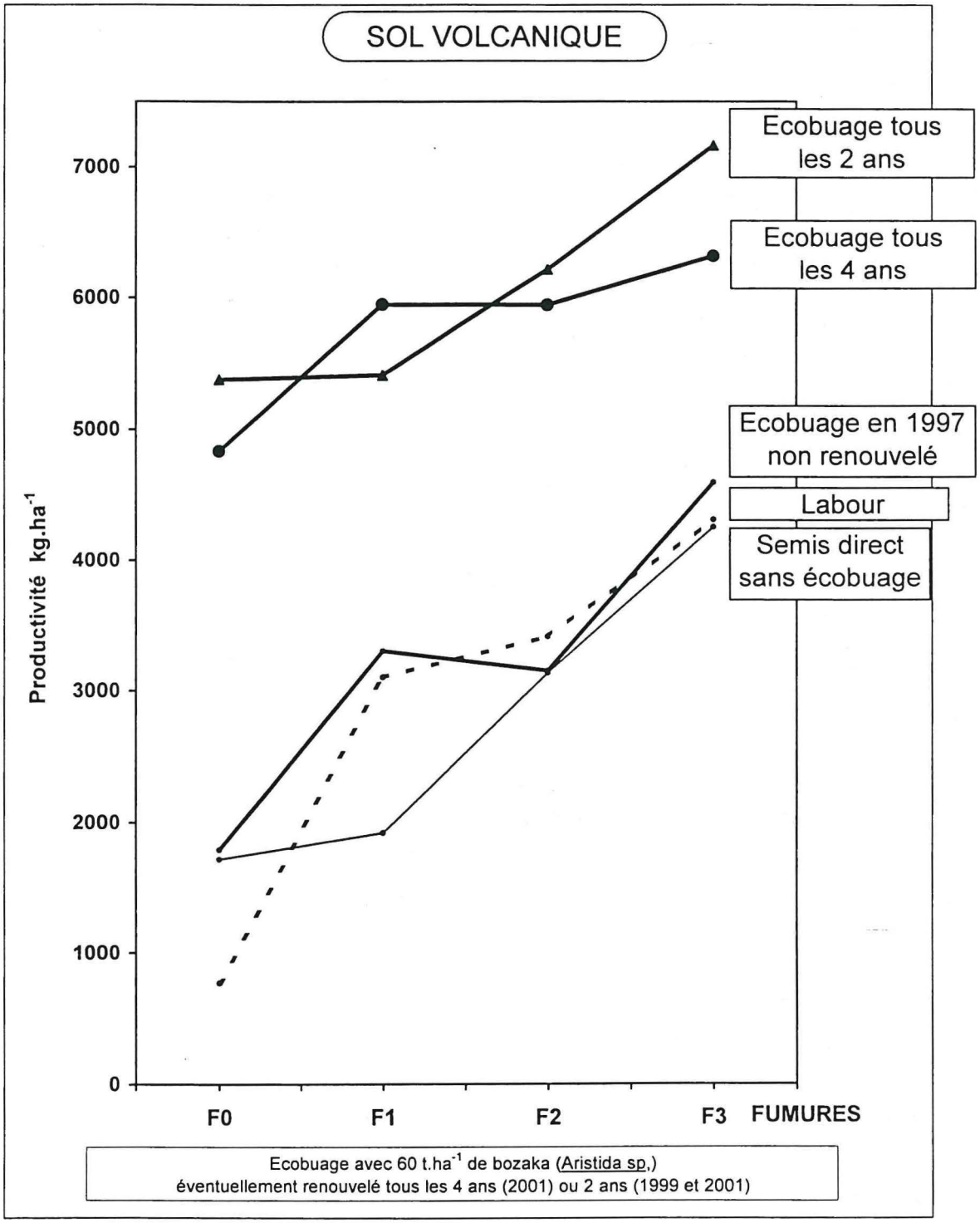
Malgré la dégradation des propriétés physicochimiques du sol avec labour (analysées au paragraphe 6.1.1.) le rendement du riz pluvial apparaît équivalent à celui obtenu en semis direct (sans écobuage ou s'il n'est pas renouvelé). La production diminue seulement pour les faibles fumures (F0 pour le riz en 2002, F0 et F1 pour le soja en 2001)

Figure 3: Effet de la fréquence et de l'intensité de l'écobuage sur le rendement du riz pluvial



F_0	F_1	F_2	F_3
5377	5412	6214	7164
2534	3024	5344	5096
4834	5946	5943	6317
2480	3560	5326	5224
1792	3300	3148	4593
1406	2080	3761	3404

Figure 4: Effet de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du riz pluvial



Sur sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre (Bemasoandro), plus pauvre en matière organique (5 %), le renouvellement de l'écobuage n'a pas eu d'effet très sensible lors des cycles précédents de riz et soja (MICHELLON et al, 2001 n°2).

Au cours de cette campagne les conditions de production sont plus favorables au riz pluvial. La répétition de l'écobuage (après 2 ou 4 ans) présente un effet variable selon les niveaux de fumure (tableau 2 et figure 5) :

- Avec une fumure organique seule (F1) ou nulle (F0) un écobuage renouvelé conduit, quelque soit son intensité, à un gain de rendement d'environ 0,5 t/ha de paddy par rapport au semis direct avec un écobuage initial (1997) ou sans écobuage (présentant des niveaux de production de 1 à 2 t/ha)
- Avec la fumure conseillée (F2), les rendements sont compris entre 5 et 6 t/ha de paddy et un nouvel écobuage n'apporte pas de supplément
- Associé à une fumure forte (F3), son effet devient dépressif lorsque sa fréquence est élevée (perte de 1 t/ha pour un écobuage tous les 2 ans) ou son intensité trop forte (diminution de production de 1 à 3 t/ha entre 20 et 60 t/ha de bozaka). L'examen des composantes du rendement (Annexe A2) montre que ce sont principalement les conditions de fructification qui sont affectées, en particulier l'émission des panicules. Ce problème pourrait être lié au chevauchement des tranchées d'écobuage réalisées au cours du temps associé à des phénomènes de toxicité (excès d'azote ?).

Dans cette zone, l'écobuage valorise la biomasse de la jachère existante (bozaka, *Aristida sp.* ou mimosa, *Acacia mearnsii* …) car il présente un effet immédiat et spectaculaire sur le rendement des cultures. Même associé au semis direct sur couverture végétale, sa fréquence doit être limitée (4 ans au moins) avec la fumure organique habituelle. Avec une fertilisation minérale, son renouvellement devient inutile ou peut s'avérer néfaste.

Avec labour, le système se dégrade progressivement (figure 6) et les cultures de riz ou soja ne sont plus possibles sans fumure minérale (F2) peu d'années après la reprise de la jachère d'*Aristida sp*. (4 à 5 ans).

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3	Moyennes
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	2037	2684	5837	3388	3486
	20 t/ha	1639	2252	5934	6387	4053
	moyenne	1838 X	2468 A	5885 α	4887 b	3770
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	2327	2423	5641	4882	3818
	20 t/ha	1639	2048	5567	6464	3929
	moyenne	1983 X	2235 A	5604 α	5673 a	3874
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	1321	1501	6179	5357	3590
	20 t/ha	1077	1784	5713	6717	3822
	moyenne	1199 Y	1642 B	5946 α	6037 a	3706
Moyenne des productions avec écobuage	60 t/ha	1895 z	2202 z	5886 x	4543 y	3631
	20 t/ha	1451 z	2028 z	5738 x	6522 x	3935
	moyenne	1673	2115	5812	5533	3783
Semis direct sur résidus (non écobué)		1123	1948	5103	5095	3317
Labour (test)		(0)	(361)	(4006)	(4135)	(2125)

Tableau 2 : **Influence de l'intensité et de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du riz en sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre (Bemasoandro) , en kg de paddy par ha.**

Effets principaux :

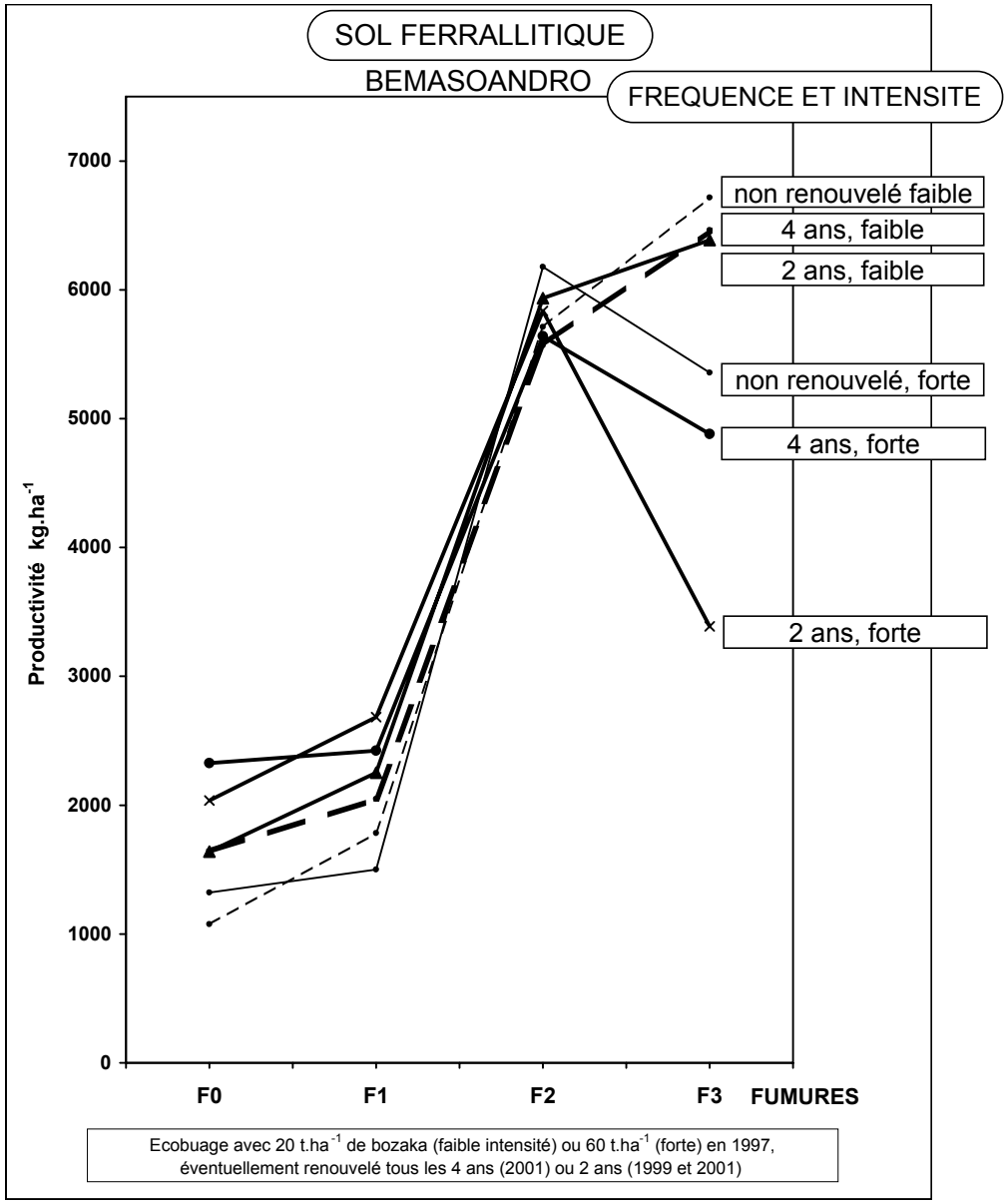
- Facteur "intensité de l'écobuage" : non significatif,
- Facteur "fumure" : significatif au seuil 1 %,
- Interaction "intensité de l'écobuage" x "fumure" : significative au seuil 1 % (C.V. = 23 %, écart type : 890 kg/ha).

Traitement secondaire :

- facteur "fréquence de l'écobuage" : non significatif,
- interaction "intensité de l'écobuage" x "fréquence de l'écobuage" : non significative
- interaction "fumure" x "fréquence de l'écobuage" : significative au seuil 1 %
- interaction "intensité de l'écobuage" x " fumure" x "fréquence de l'écobuage" : non significative (C.V. = 12 %, écart type = 456 kg/ha).

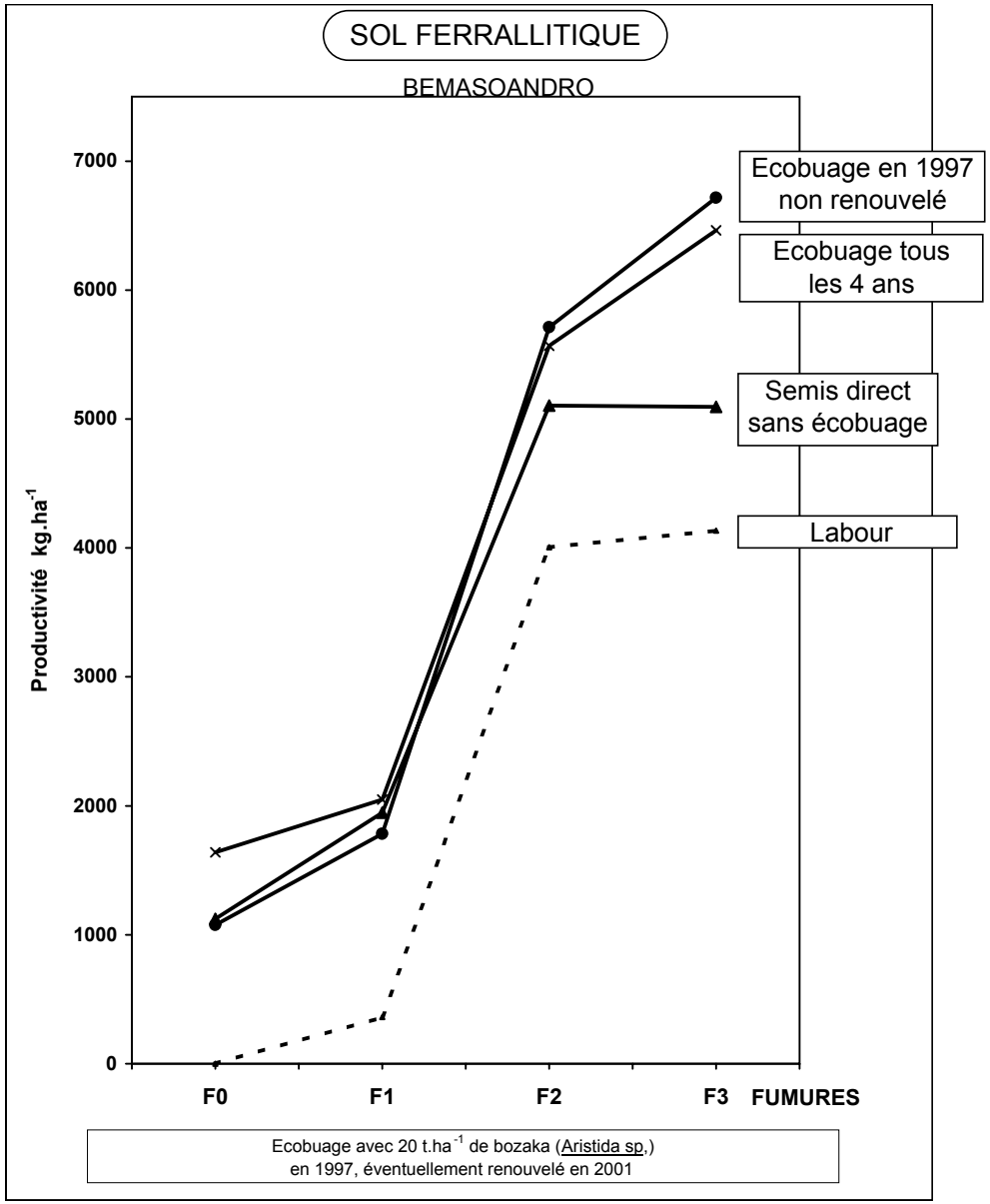
Selon le test de Newman et Keuls, les rendements affectés de lettres identiques ne sont pas différents au seuil 5%.

Figure 5: Effet de la fréquence et de l'intensité de l'écobuage sur le rendement du riz pluvial



F_0	F_1	F_2	F_3
2037	2684	5837	3388
1639	2252	5934	6387
2327	2423	5641	4882
1639	2048	5567	6464
1321	1501	6179	5357
1077	1784	5713	6717

Figure 6: Effet de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du riz pluvial



F_0	F_1	F_2	F_3
0	361	4006	4135
1123	1948	5103	5095
1639	2048	5567	6464
1077	1784	5713	6717

6.2.2. Maïs dans la rotation maïs / pomme de terre

Au cours de cette campagne l'association du maïs avec la crotalaire, *Crotalaria grahamiana*, réalisée pour reconstituer un paillage suffisant (MICHELLON et al, 2001 n°2) et pour décompacter le sol (SEGUY et al, 2000 ; RAKOTONDRALAMBO et al, 2001 ; RAZANAMPARANY et al, 2001) n'affecte pas la production de la culture (tableaux 3 à 5).

Les rendements sont équivalents ou supérieurs à ceux obtenus sur les mêmes dispositifs, au cours des cycles précédents (MICHELLON et al, 1999 n°1), sauf sur sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre (Bemasoandro) avec apport de fumier seulement.

Mode de gestion du sol		**F0**	**F1**	**F2**	**F3**	**Moyennes**
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	1842	3452	5557	4984	3959 A
	20 t/ha	230	1787	2826	4104	2237 B
	moyenne	1036	2619	4192	4544	3098 α
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	1011	3340	5006	4512	3467 A
	20 t/ha	169	1679	2794	3657	2075 BC
	moyenne	590	2509	3900	4085	2771β
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	63	1148	2764	3241	1804 BC
	20 t/ha	35	990	1976	3218	1555 C
	moyenne	49	1069	2370	3230	1680 δ
Moyenne avec écobuage		558 Z	2066 Y	3487 X	3953 X	2516
Semis direct sur résidus (non écobué)		71	962	3005	3154	1798
Labour (test)		(0)	(379)	(1528)	(1897)	(951)

Tableau 3 : **Influence de l'intensité et de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du maïs en sol volcanique (Betafo), en kg de grain par ha.**

Les effets principaux : intensité de l'écobuage (dose de bozaka) et fumure sont significatifs au seuil 1 % (C.V. = 28 %, écart type : 726 kg/ha), mais leur interaction ne l'est pas. L'effet du traitement secondaire : fréquence de l'écobuage, est significatif au seuil 1 % (C.V. = 19 %, écart type = 493 kg/ha) ainsi que sa seule interaction avec l'intensité de l'écobuage.

Selon le test de Newman et Keuls, les rendements affectés de lettres identiques ne sont pas différents au seuil 5%.

En sol volcanique, comme pour le riz, le renouvellement de l'écobuage permet d'améliorer le rendement du maïs (figure 7), avec un effet significatif de la dose de combustible utilisé, mais pas de la fréquence (traitements "tous les 4 ans" et "tous les 2 ans" réalisés simultanément en 2001) :

- production accrue de 2,0 t/ha de grain pour un ré-écobuage avec 60 t/ha de paille (4,0 t/ha ou 3,5 t/ha pour un ré-écobuage tous les 2 ou 4 ans, contre 1,7 t/ha pour un écobuage en 1997 non renouvelé)

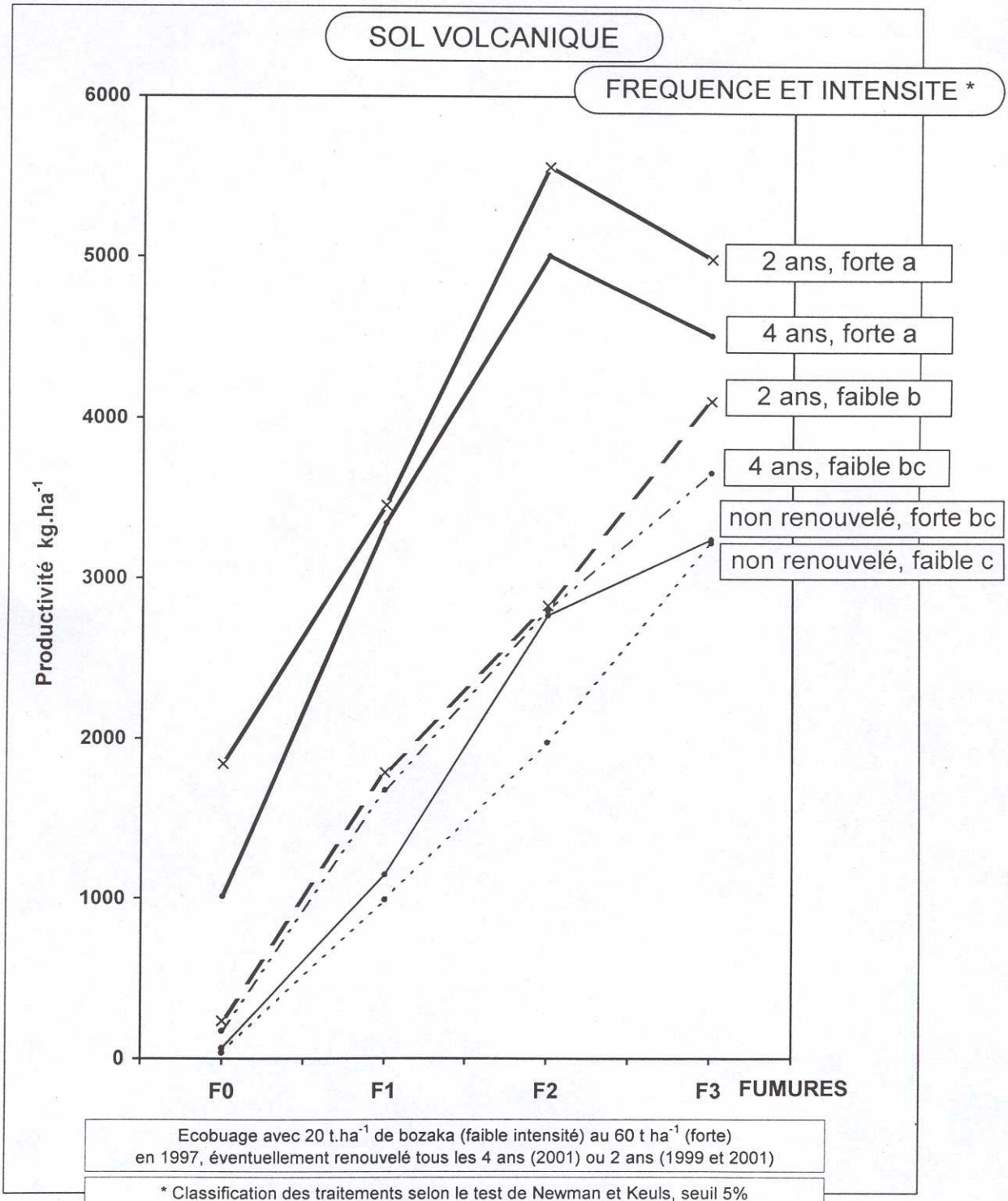
- ou augmentée de plus de 0,5 t/ha par un écobuage avec 20 t/ha de paille.

Un écobuage réalisé quatre ans plus tôt, en 1997, ne présenterait pas d'arrière effet par rapport au semis direct sans écobuage, mis en place simultanément (figure 8).

Avec la fumure organique habituelle (F1), la répétition de l'écobuage associée à une couverture végétale permanente conduit à un rendement équivalent à celui que procure la fumure minérale conseillée (F2), ou même la fumure maximale (F3), en semis direct sur résidus avec ou sans écobuage initial.

La dégradation des propriétés physico-chimiques du sol après labour (analysée au paragraphe 6.1.1.) se traduit par un rendement divisé par deux par rapport à une gestion en semis direct.

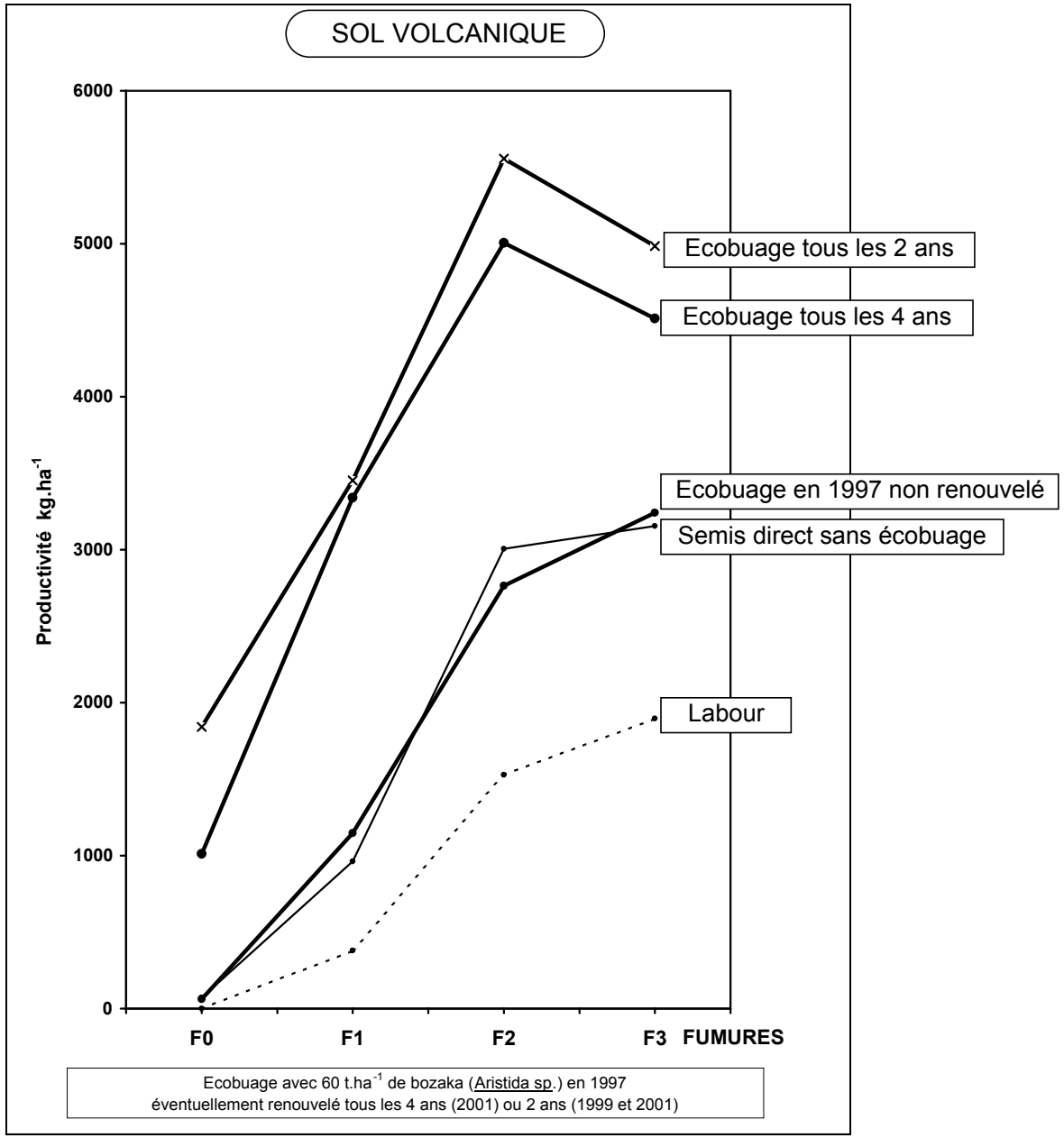
Figure 7: Effet de la fréquence et de l'intensité de l'écobuage sur le rendement du maïs



Ecobuage avec 20 t.ha^{-1} de bozaka (faible intensité) au 60 t ha^{-1} (forte) en 1997, éventuellement renouvelé tous les 4 ans (2001) ou 2 ans (1999 et 2001)

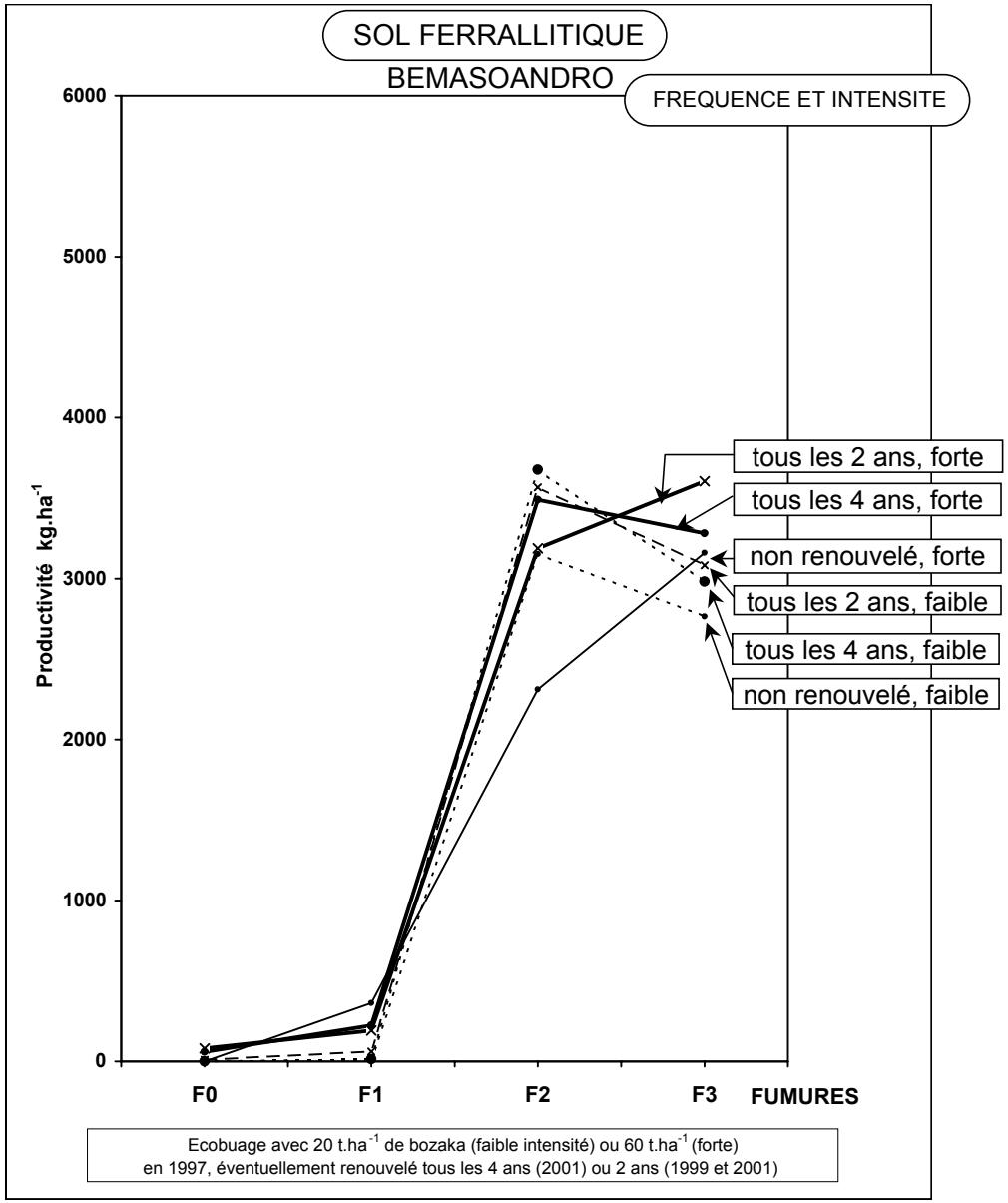
* Classification des traitements selon le test de Newman et Keuls, seuil 5%
C.V effets principaux intensité et fumure = 28%,
CV fréquence = 19%, écarts types respectifs 622 et 423 kg.ha^{-1}

Figure 8: Effet de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du maïs



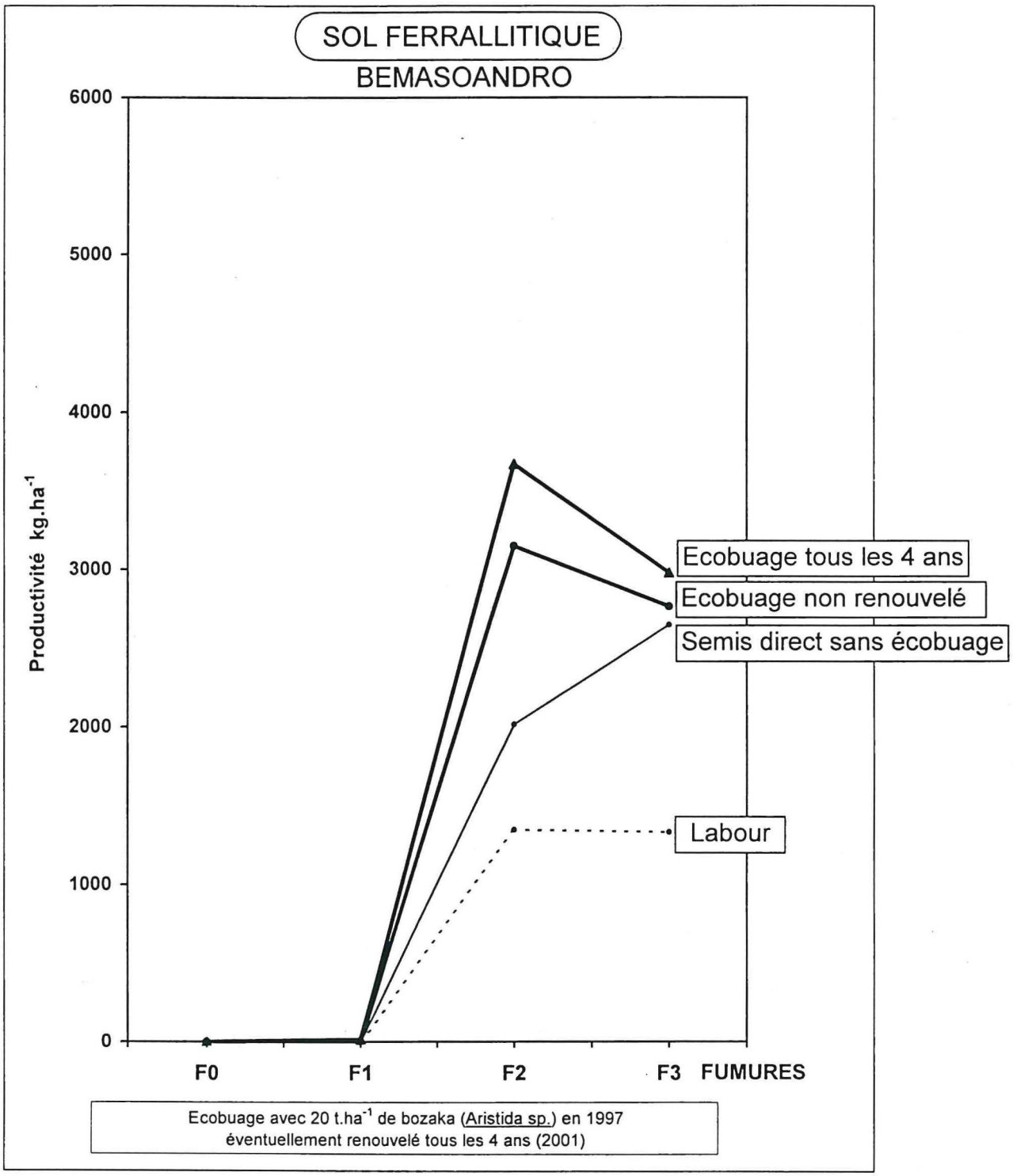
F_0	F_1	F_2	F_3
1842	3452	5557	4984
1011	3340	5006	4512
63	1148	2764	3241
71	962	3005	3154
0	379	1528	1897

Figure 9: Effet de la fréquence et de l'intensité de l'écobuage sur le rendement du maïs



F_0	F_1	F_2	F_3
81	192	3188	3604
9	61	3567	3082
60	225	3490	3280
0	14	3675	2981
0	363	2313	3159
0	3	3151	2764

Figure 10: Effet de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du maïs



Sur sol ferrrallitique sur socle cristallin (Ibity), plus riche en sable, les conséquence de l'absence de couvert végétal sont moins néfastes (tableau 5). Dans cette zone, la pluviométrie a été mieux répartie et plus abondante.

Un ré-écobuage après 4 ans ou tous les 2 ans conduit à un supplément de production de 0,5 t/ha de grain par rapport à un écobuage initial non renouvelé (figure 11). La dégradation du sol après labour est moins rapide (figure 12) car le terrain est plat et aménagé (ce qui est très peu fréquent sur les Hautes Terres).

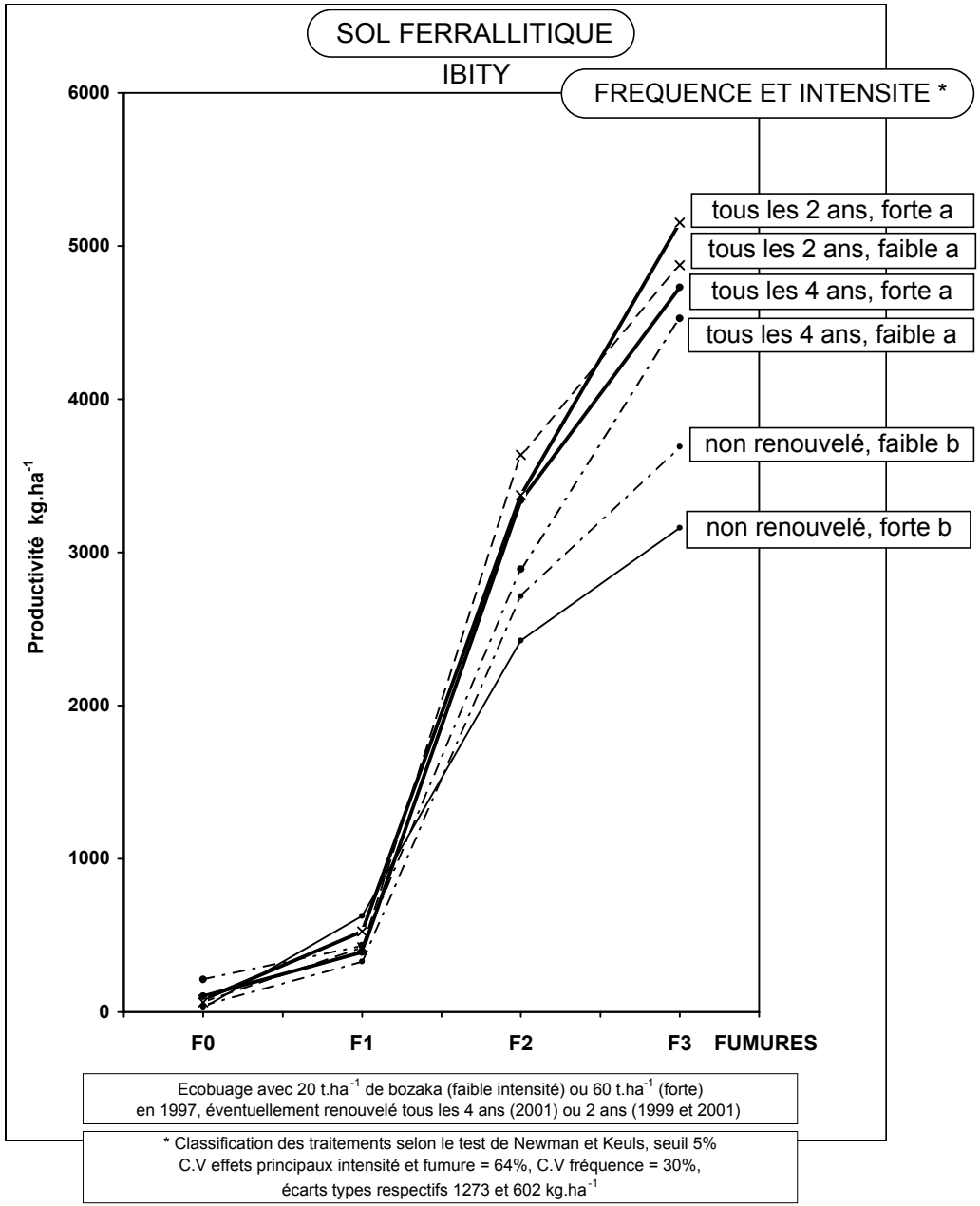
Mode de gestion du sol		**F0**	**F1**	**F2**	**F3**	**Moyennes**
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	82	526	3373	5153	2284
	20 t/ha	64	423	3636	4875	2249
	moyenne	73	474	3504	5014	2266 X
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	103	390	3340	4731	2141
	20 t/ha	212	432	2890	4528	2015
	moyenne	157	411	3115	4629	2078 X
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	28	626	2424	3161	1560
	20 t/ha	42	330	2715	3691	1694
	moyenne	35	478	2569	3426	1627 Y
Moyenne avec écobuage		88	454 C	3063 B	4356 A	1990
Semis direct sur résidus (non écobué)		41	563	3510	3362	1869
Labour (test)		(0)	(344)	(2783)	(4140)	(1817)

Tableau 5 : **Influence de l'intensité et de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du maïs sur sol ferrallitique sur socle cristallin (Ibity), en kg de grain par ha.**

Parmi les traitements principaux, seul l'effet de la fumure est significatif au seuil 1 % (C.V. = 64 %, écart type 1273 kg/ha). L'effet du traitement secondaire : fréquence de l'écobuage, est significatif au seuil 1 % (C.V. = 30 %, écart type 602 kg/ha), ainsi que son interaction avec la fumure. La suppression de la fumure F0 améliore la précision de l'analyse statistique, mais ne change pas les conclusions sauf en ce qui concerne l'interaction qui n'est plus significative (C.V. respectifs = 57 et 26 %, écarts types : 1497 et 695 kg/ha).

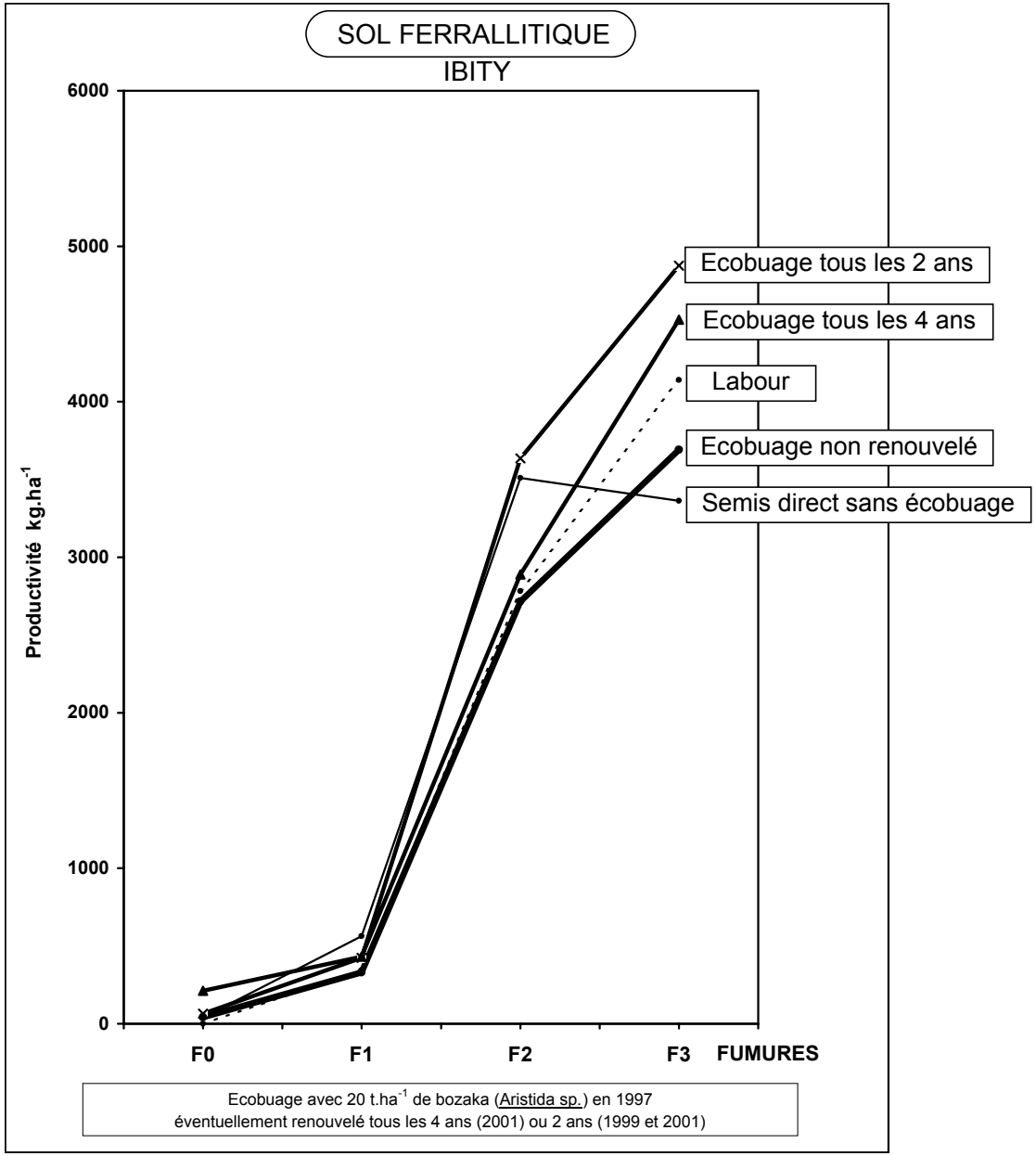
Selon le test de Newman et Keuls, les rendements affectés de lettres identiques ne sont pas différents au seuil 5%.

Figure 11: Effet de la fréquence et de l'intensité de l'écobuage sur le rendement du maïs



F_0	F_1	F_2	F_3
82	526	3373	5153
64	423	3636	4875
103	390	3340	4731
212	432	2890	4528
28	626	2424	3161
42	330	2715	3691

Figure 12: Effet de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du maïs



F_0	F_1	F_2	F_3
64	423	3636	4875
212	432	2890	4528
42	330	2715	3691
41	563	3510	3362
0	344	2783	4140

C'est en sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre (Bemasoandro) que l'absence de couvert végétal au moment du semis du maïs a eu les conséquences les plus néfastes sur la production, comme habituellement avec labour (tableau 4 et figures 9 et 10). La plantation tardive de la pomme de terre, lors du cycle précédent, a alors empêché d'intercaler un cycle d'avoine, avant le semis du maïs, pour reconstituer le paillage.

Quel que soit le mode de gestion du sol, les rendements du maïs sont quasiment nuls sans fumure (F0) ou avec un simple apport organique (F1). Lorsqu'une fertilisation minérale, même élevée (F2 ou F3), est ajoutée, un ré-écobuage tous les 2 ou 4 ans reste sans effet, comme pour le riz.

Mode de gestion du sol		**F0**	**F1**	**F2**	**F3**	**Moyennes**
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	81	192	3188	3604	1766
	20 t/ha	9	61	3567	3082	1680
	moyenne	45	127	3377	3343	1723
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	60	225	3490	3280	1764
	20 t/ha	0	14	3675	2981	1668
	moyenne	30	120	3583	3130	1716
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	0	363	2313	3159	1459
	20 t/ha	0	3	3151	2764	1480
	moyenne	0	183	2732	2962	1469
Moyenne avec écobuage		25 B	143 B	3231 A	3145 A	1636
Semis direct sur résidus (non écobué)		0	0	2015	2646	1165
Labour (test)		(0)	(0)	(1347)	(1333)	(670)

Tableau 4 : **Influence de l'intensité et de la fréquence de l'écobuage sur le rendement du maïs sur sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre (Bemasoandro), en kg de grain par ha.**

Parmi les traitements principaux, seul l'effet de la fumure est significatif au seuil 1 % (C.V. = 46 %, écart type 763 kg/ha). Le traitement secondaire n'est pas significatif, ni les interactions (C.V. = 24 %, écart type 403 kg/ha). La suppression de la fumure F0 améliore la précision de l'analyse statistique, mais ne change pas les conclusions (C.V. respectifs : 40 et 21 %, écarts types : 883 et 466 kg/ha).

Selon le test de Newman et Keuls, les rendements affectés de lettres identiques ne sont pas différents au seuil 5%.

VII. CONCLUSIONS

Sur les Hautes Terres de Madagascar, la pression démographique et la saturation des bas-fonds rizicoles accélèrent la mise en culture des collines aux sols fragiles et peu fertiles. Les fumures étant limitées, les rendements restent faibles, tandis que l'érosion ensable les rizières et détruit les aménagement.

Le régime hydrique du bas-fond est modifié par l'évolution du mode de gestion du bassin-versant et la riziculture irriguée apparaît de plus en plus souvent compromise.

En effet, déforestation et feux de brousse répétés en amont, culture en sol nu continue en aval du bassin versant, conduisent à des phénomènes convergeants : réduction du taux de matière organique et compaction du sol, diminution de l'infiltration de l'eau, tarissement des sources, ruissellement accéléré … La production de la rizière ancestrale est alors souvent anéantie :

- soit par manque d'eau, entraînant un retard du repiquage (parfois jusqu'en janvier comme en 2002, 2000 ….), puis la stérilité des plantes
- soit par excès conduisant à des inondations de trop longue durée, qui sont fatales pour le riz (comme en 2001 …)

Grâce aux variétés adaptées à l'altitude, crées par FOFIFA/CIRAD, et diffusées au cours de la dernière décennie **de nouveaux systèmes à base de riz pluvial se développements rapidement * sur collines** (jusqu'à 1600 m d'altitude).

Mais cette production se met en place le plus souvent avec un mode de gestion du sol traditionnel, après labour, au détriment des rizières sous-jacentes et avec une grande sensibilités aux conditions du milieu. Le rendement reste très faible sur un sol pauvre, ou soumis au ruissellement, ou en cas de sécheresse, d'attaque de vers blancs, …

7.1. Systèmes durables à base de riz pluvial

Le semis direct sur une couverture végétale permet d'y remédier, en particulier lorsqu'il est associé à l'écobuage, technique traditionnelle en altitude élevée. Plutôt que de brûler la jachère d'*Aristida sp.* pour nettoyer le terrain, elle est conservée pour le paillage et enfouie dans des tranchées largement espacées où elle assure une combustion lente. Aux combustibles disponibles dans la jachère : herbes desséchées, *Aristida sp.*, et branches d'*Acacia mearnsii*, s'ajoutent les pailles d'orge en zone volcanique ou les balles de riz en milieu périurbain.

Nous disposons de références sur 5 ans pour le riz pluvial, variété FOFIFA 152, mis en place avec paillage initial, en rotation avec une légumineuse (MICHELLON et al, 1999 n°1 et 2 ; 2000 n°2 ; 2001 n°2 et 3 ; 2002 n°2).

Sur sol ferrallitique, après une jachère, le rendement après écobuage est de 2 t/ha avec fumier seul (F1) ou de 4 t/ha avec fumure minérale (F2). Il est voisin respectivement, de 1 t/ha ou 2 t/ha sans écobuage.

Sur sol volcanique, en culture continue, la production est équivalente, mais dépasse 4 t/ha avec écobuage, quelle que soit la fumure.

** Nous pouvons estimer les surface en riz pluvial entre 2 et 5% des cultures en 2001/2002 dans la région parcourue à pied autour d'Antsirabe (25 km de rayon). Dans certaines zones (Sud Ouest) les surfaces atteignent près de 10 %.*

Ce système s'améliore rapidement (les rendements actuels dépassent 5 t/ha de paddy), contrairement à celui avec labour, dont la production initiale peut être identique, mais qui apparaît plus sensible aux aléas climatique et se dégrade inexorablement en raison de la baisse de fertilité.

En semis direct, l'état sanitaire des cultures est améliorée : les dégâts de vers blancs sur riz pluvial sont réduits avec couverture (MICHELLON et al, 2001 n°1).

Le calage de son cycle est primordial dans les conditions climatiques des Hautes Terres malgaches. Vers 1500 m d'altitude, la première quinzaine de novembre apparaît la plus favorable.

Le riz pluvial est cependant considéré comme l'une des cultures les plus sensibles au manque de porosité du sol. Son décompactage peut être réalisé par des moyens mécaniques tels qu'un labour profond, ou biologiques, grâce à une plante à enracinement puissant comme la crotalaire. Celle ci peut être intégrée dans la rotation en l'associant à la culture du maïs ou du soja, sans en affecter le rendement.

La caractérisation des propriétés physico-chimiques des sols, en quatrième année d'application des modes de gestion différenciés, montre :
- un enrichissement en matière organique en semis direct, et parallèlement en azote, par rapport au labour.

La combustion lente, avec des températures modérées, a provoqué, lors de l'écobuage initial une transformation du sol qui a changé d'aspect (couleur rouge-brique) et de propriétés, se traduisant par une perte de matière organique. Associé à une gestion avec semis direct sur couverture végétale, l'écobuage conduit à une baisse des taux de matière organique et d'azote par rapport au semis direct sans écobuage, mais ces teneurs sont nettement supérieures à celles obtenues avec labour.

En sol ferrallitique, le rapport C/N diminue en semis direct avec ou sans écobuage traduisent une meilleure activité biologique.

- Alors qu'une tendance à la lixiviation des cations apparaît sous labour en sol ferrallitique, le semis direct, avec ou sans écobuage, conduit à une augmentation des basses échangeables Ca, Mg et K, du complexe adsorbant et de son taux de saturation. Avec écobuage, la teneur en K échangeable apparaît toujours supérieure à celle du semis direct seul.

- De même, le phosphore assimilable augmente en semis direct avec ou sans écobuage

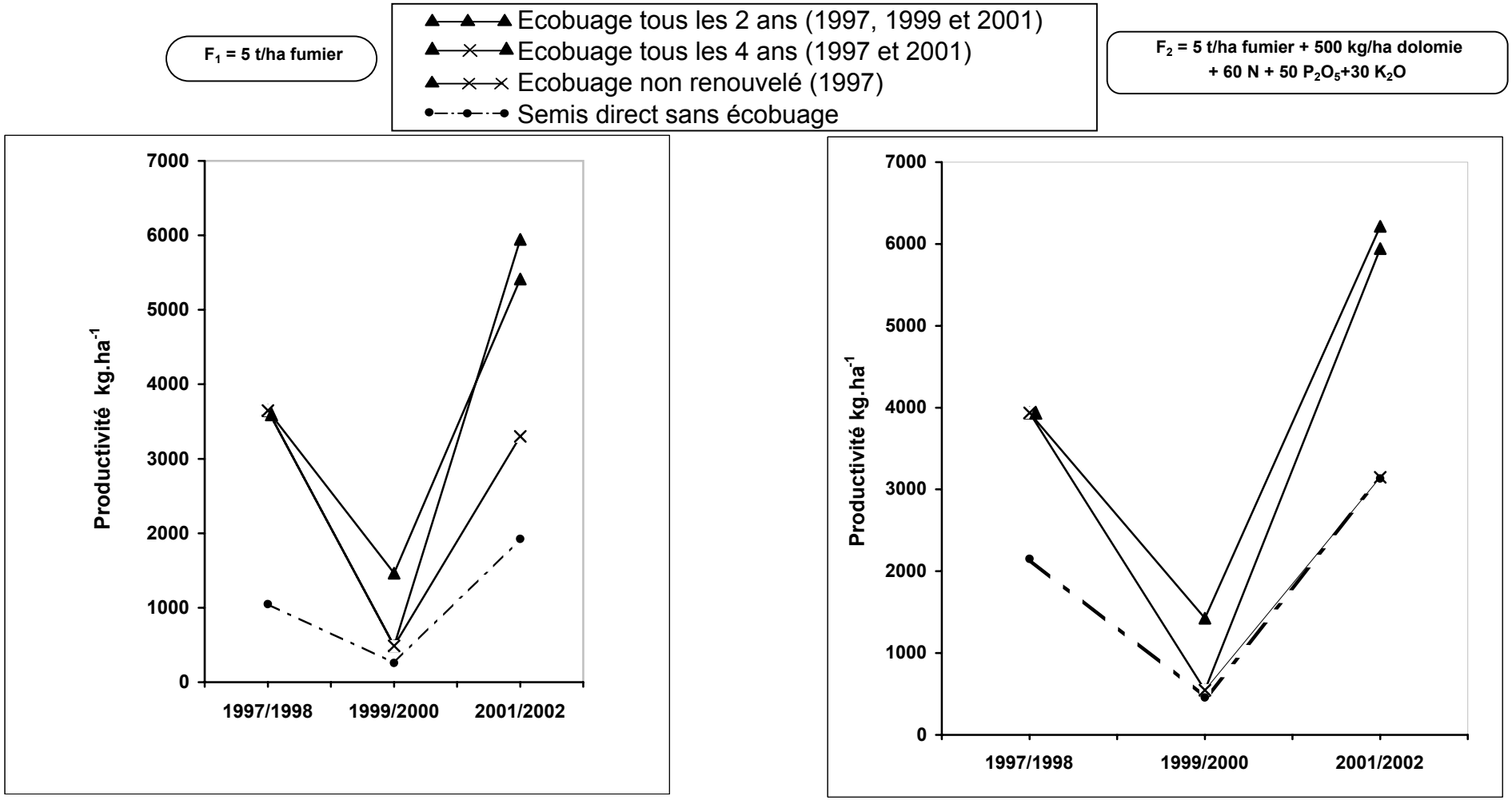
Cette dégradation des propriétés chimiques avec labour a des répercutions immédiates sur le rendement des cultures en sol ferrallitique de basse fertilité. Sur sols volcaniques, beaucoup plus riches, la transformation des caractéristiques physiques a des conséquences aussi graves. Sous l'effet des sarclages et du labour, l'horizon de surface subit une déshydratation irréversible conduisant à la formation des particules hydrophobes qui flottent sur l'eau de pluie. L'érosion devient catastrophique.

En ce qui concerne l'écobuage, les résultats obtenus au cours des cinq dernières années d'expérimentation permettent de comparer les traitements :
- écobuage tous les 2 ans (1997, 1999 et 2001)
- écobuage tous les 4 ans (1997 et 2001)
- écobuage une seule fois (1997), non renouvelé
- absence d'écobuage.

L'évolution des rendements pour les fumures : apport de fumier seul (F1), ou de fumier d'une fertilisation minérale (F2), est représentée pour la rotation riz/soja par les figures 13, 14 et 15.

Figure 13 : Evolution du rendement du riz pluvial en fonction de la fréquence de l'écobuage - Hauts Plateaux malgaches

Sol volcanique de haute fertilité - Betafo



Ecobuage avec 60 $t.ha^{-1}$ de bozaka (Aristida sp.) en 1997, éventuellement renouvelé en 1999 ou 2001

Figure 14 : Evolution du rendement du riz pluvial en fonction de la fréquence de l'écobuage - Hauts Plateaux malgaches

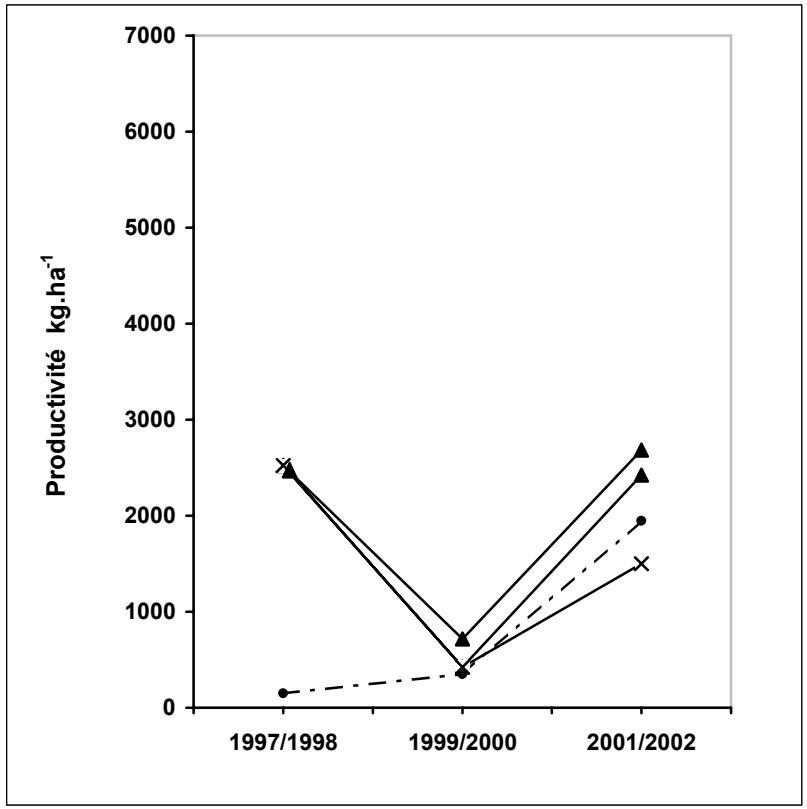
Sol ferrallitique de basse fertilité sur dépôt fluviolacustre

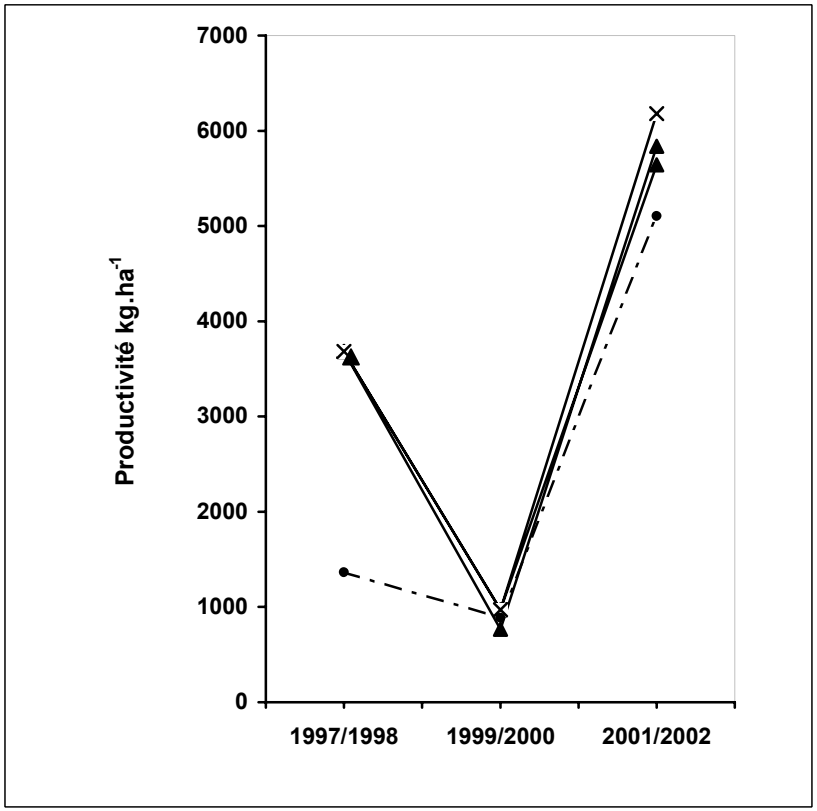
BEMASOANDRO

▲—▲—▲ Ecobuage tous les 2 ans (1997, 1999 et 2001)
▲—×—▲ Ecobuage tous les 4 ans (1997 et 2001)
▲—×—× Ecobuage non renouvelé (1997)
●-·-●-·-● Semis direct sans écobuage

F_1 = 5 t/ha fumier

F_2 = 5 t/ha fumier + 500 kg/ha dolomie + 70 N + 70 P_2O_5 + 50 K_2O





Ecobuage avec 60 $t.ha^{-1}$ de bozaka en 1997, éventuellement renouvelé en 1999 ou 2001

1997/1998	1999/2000	2001/2002
2522	716	2684
2522	423	2423
2522	423	1501
151	349	1948

1997/1998	1999/2000	2001/2002
3683	767	5837
3683	971	5641
3683	971	6179
1364	888	5103

Ecobuage avec 60t.ha^{-1} de bozaka (Aristida sp,)
éventuellement renouvelé tous les 4 ans (2001) ou 2 ans (1999 et 2001)

Malgré une campagne 1999/2000 particulièrement défavorable (sécheresse en début de cycle, puis cyclones lors de la pollinisation), nous pouvons constater :

- En première année l'effet de l'écobuage est spectaculaire et conduit à un supplément de production de 2 à 2,5 t/ha de paddy sur les deux types de sol, quelle que soit la fumure apportée.

- Sur andosol, très riche en matière organique (plus de 10 %), le renouvellement de l'écobuage tous les 4 ans (réalisé 2 fois) ou tous les 2 ans (répété 3 fois) permet d'améliorer les productions de riz lors de chaque répétition dans les mêmes proportions, en année favorable.

- Sur sol ferrallitique sur dépôt fluviolacustre, plus pauvre en matière organique (moins de 5 %), un nouvel écobuage n'a pas d'effet sensible sur la production et il dépend de la fumure. Avec des apports organiques seuls, le gain de rendement reste limité (0,5 t/ha de paddy), alors qu'il est nul avec une fertilisation minérale et il peut même s'avérer néfaste (forte intensité …). Sa fréquence doit rester limitée (4ans au moins).

- L'année suivant l'écobuage, il présente un arrière effet sur le rendement du soja, plus marqué en sol volcanique (figure 15).

- Ces conclusions sont modulées selon la variation de l'intensité de l'écobuage obtenue en utilisant deux doses de combustible.

- Elles restent valables quel que soit le combustible utilisé : herbes desséchées ou bozaka, *Aristida sp.*, et branches de mimosa, *Acacia mearnsii*, disponibles dans les jachères, auxquels s'ajoutent les pailles d'orge, en zone volcanique ou les balles de riz en milieu périurbain (MICHELLON et al, 2002 n°2).

7.2. Systèmes durables avec couvertures vives

Ces conclusions paraissent pouvoir être extrapolées en fonction du taux de matière organique du sol qui peut être modifié par son mode de gestion.

Les systèmes de culture conduits par TAFA sur les sites de références, associant production vivrière et couverture vive permanente, tels que maïs et légumineuses pérennes : trèfle du Kénya, *Trifolium semipilosum*, ou *Desmodium uncinatum*, ou *Cassia rotundifolia*, permettent d'illustrer ces conditions favorables (SEGUY, 2000). L'effet d'un écobuage sur maïs, réalisé 5 ans après la mise en place de la légumineuse associée (qui améliore le statut organique du sol) est spectaculaire et reste alors durable même en sol ferrallitique (figure 1).

7.3. Systèmes avec travail minimum, à base de plantes à tubercules

La région des Hautes Terres assure une production importante de tubercules, en particulier de pomme de terre.

Des systèmes avec couverture permanente et travail minimum du sol peuvent être proposés. Par exemple, nous avons mis en place en 1997, la rotation :

- maïs avec paillage
- et pomme de terre de premier cycle suivie d'une avoine.

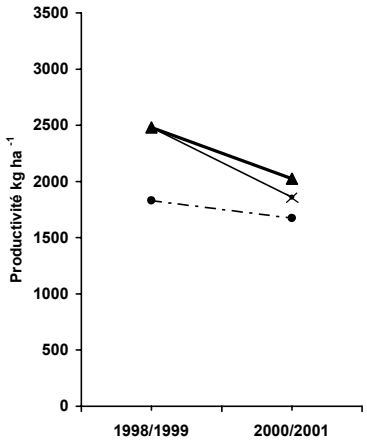
Figure 15

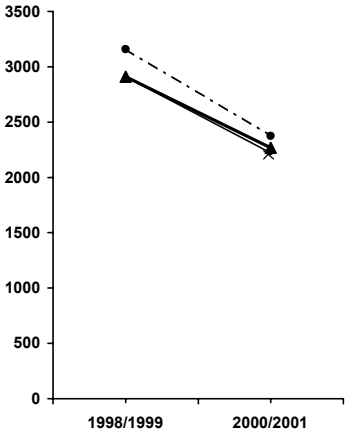
Evolution du rendement du soja en fonction du mode de gestion de sol

Arrière effet d'un écobuage tous les 2 ans
Arrière effet d'un écobuage non renouvelé
Semis direct sans écobuage

SOL VOLCANIQUE

BETAFO





1998/1999	2000/2001
2480	2026
2480	1860
1830	1675

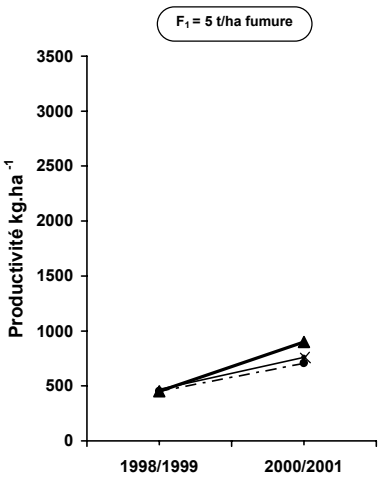
1998/1999	2000/2001
2910	2267
2910	2222
3160	2375

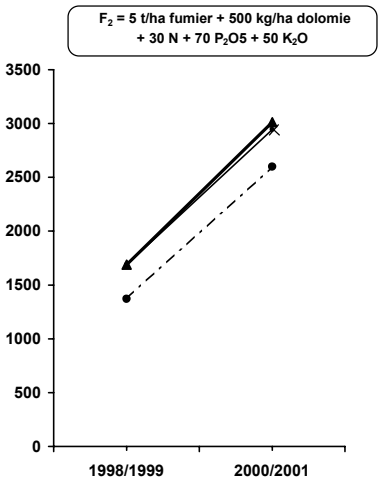
1998/1999	2000/2001
450	900
450	707
470	760

1998/1999	2000/2001
1690	3011
1690	2944
1370	2600

SOL FERRALLITIQUE

BEMASOANDRO





Ecobuage avec 60 $t.ha^{-1}$ de bozaka en 1997, éventuellement renouvelé en 1999

Lors du sillonnage pour la plantation de la pomme de terre, les résidus sont écartés, puis la couverture est rétablie (éventuellement complétée) après le buttage pour assurer ses différentes fonctions, en particulier sur l'amélioration de l'état sanitaire (réduction du mildiou).

Les résultats obtenus au cours des 3 premières années sont identiques à ceux mentionnés pour le système riz/soja :

- production de maïs accrue grâce à l'écobuage de 1 à 2 t/ha selon la fumure sur sol ferrallitique, (figures 17 et 18), et de 4 t/ha sur andosol (figure 16), avec un effet dépressif dû aux cyclones en 1999/2000

- un arrière effet sur le rendement de la pomme de terre, plus marqué en sol volcanique où il procure un gain de 5 t/ha tubercules en moyenne (pour des productions comprises entre 10 et 30 t/ha selon la fumure), mais qui reste limité sur sol ferrallitique (production entre 5 et 25 t/ha).

Mais il est impératif de respecter le calage du cycle de la pomme de terre pour que le système soit productif et durable. Un retard de mise en place en 2000/2001 a entraîné une forte infestation par le flétrissement bactérien, une chute du rendement et l'impossibilité de reconstituer le couvert végétal par l'avoine, … (MICHELLON et al, 2001 n°2)

Il est à noter que les agriculteurs sont beaucoup plus intéressés par un gain de production sur pomme de terre, que sur maïs. Ils la cultivent directement après l'écobuage qu'ils valorisent beaucoup mieux avec cette culture maraîchère (zone d'Antsapanimahazo près d'Ambohibary).

Tous les systèmes présentés connaîtront des transformations et des améliorations par les agriculteurs lors de leur adoption. Leur intégration à l'échelle des terroirs permettra de mieux analyser leurs conséquences au niveau des exploitations, en particulier au niveau des relations agriculture - élevage qui joue un rôle de moteur du développement agricole.

L'écobuage associé au semis direct qui stimule l'activité biologique et améliore le statut organique du sol, permet de construire des systèmes de cultures durables répondant aux besoins d'autoconsommation des agriculteurs, tout en protégeant leurs rizières. Un embocagement des tanety permettra de mieux s'affranchir des aléas climatiques et diversifier leurs ressources : fruits, fourrages, bois ….

Juin 2002

CIRAD : ***MICHELLON R.***

TAFA : ***MOUSSA N.***
RAKOTONIAINA F.

avec la participation des stagiaires :
ANDRIANASOLO H. M.
FARAHANITRINIAINA J. C.
RAVELOMANARIVO A.
RAVONISON L. N.

FOFIFA : ***RAZAKAMIARAMANANA***

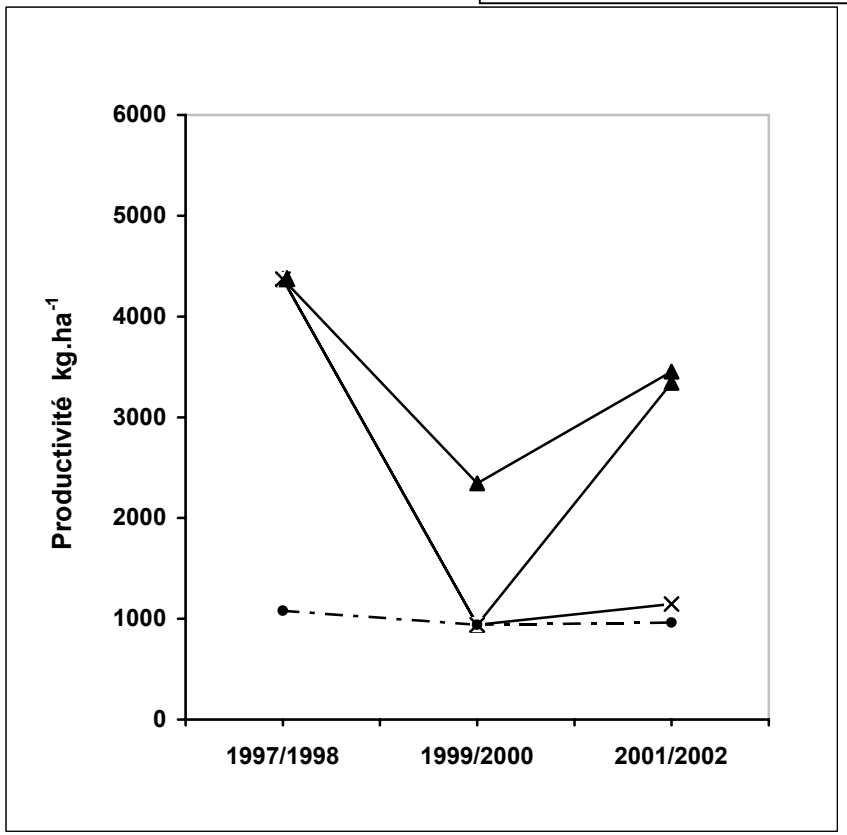
Figure 16 : Evolution du rendement du maïs en fonctions de la fréquence de l'écobuage - Hauts Plateaux malgaches

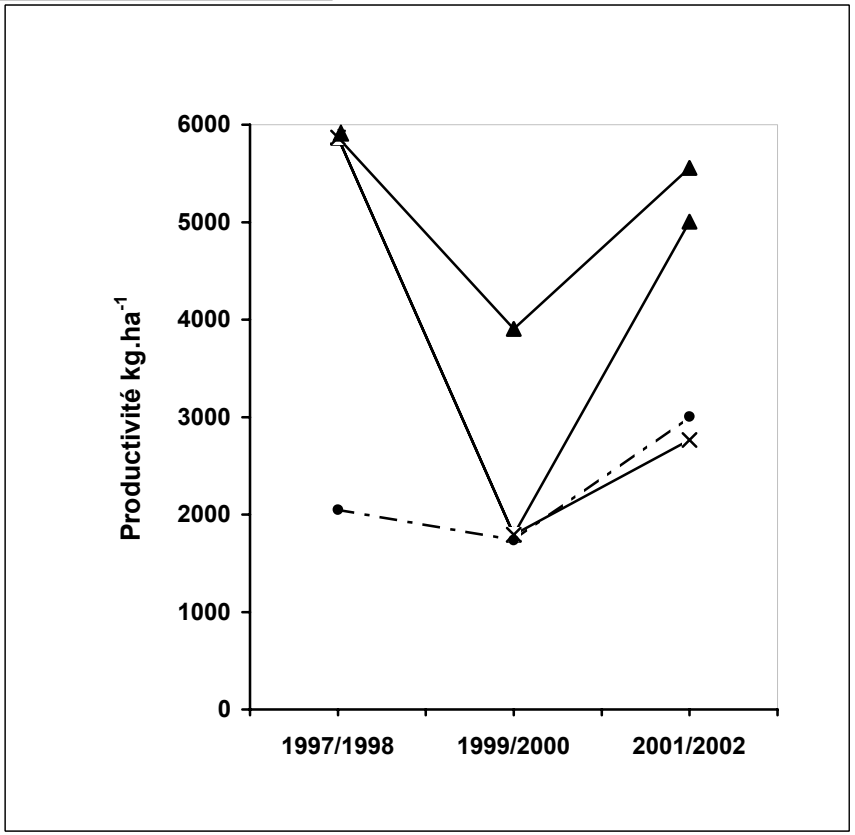
Sol volcanique de haute fertilité - Betafo

Ecobuage tous les 2 ans (1997, 1999 et 2001)
Ecobuage tous les 4 ans (1997 et 2001)
Ecobuage non renouvelé (1997)
Semis direct sans écobuage

F_1 = 5 t/ha fumier

F_2 = 5 t/ha fumier + 500 kg/ha dolomie + 60 N + 50 P_2O_5+30 K_2O





Ecobuage avec 60 $t.ha^{-1}$ de bozaka en 1997, éventuellement renouvelé en 1999 ou 2001

1997/1998	1999/2000	2001/2002
610	347	526
610	217	390
610	217	626
300	521	563

1997/1998	1999/2000	2001/2002
2160	1447	3373
2160	1505	3340
2160	1505	2424
870	1563	3510

Ecobuage avec 60t.ha^{-1} de bozaka (Aristida sp,)
éventuellement renouvelé tous les 4 ans (2001) ou 2 ans (1999 et 2001)

Figure 17 : Evolution du rendement du maïs en fonctions de la fréquence de l'écobuage - Hauts Plateaux malgaches

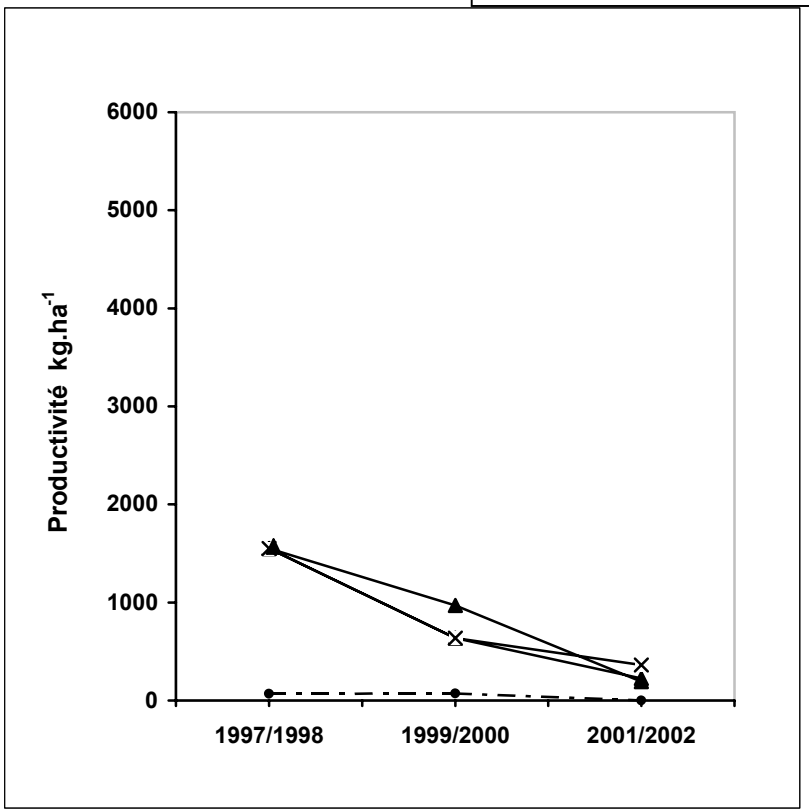
Sol ferrallitique de basse fertilité sur le dépôt fluviolacustre

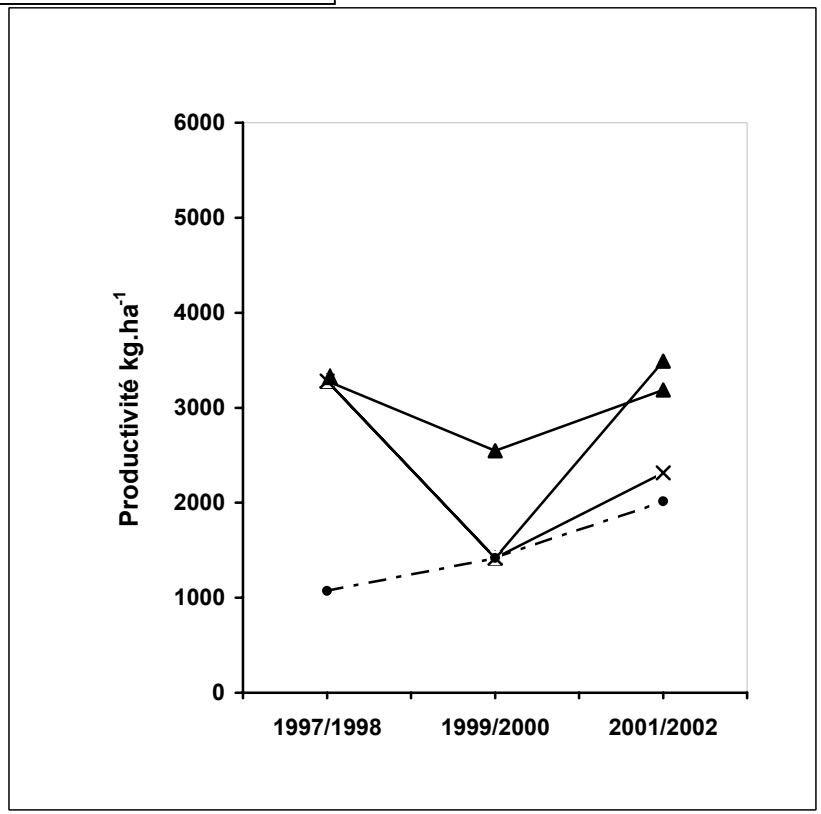
BEMASOANDRO

▲—▲—▲ Ecobuage tous les 2 ans (1997, 1999 et 2001)
▲—×—▲ Ecobuage tous les 4 ans (1997 et 2001)
▲—×—× Ecobuage non renouvelé (1997)
●-·-●-·-● Semis direct sans écobuage

F_1 = 5t/ha de fumier

F_2 = 5 t/ha de fumier + 500 kg/ha dolomie + 70 N + 70 P_2O_5 + 50K_2O





Ecobuage avec 60 t.ha^{-1} de bozaka (Aristida sp.) en 1997, éventuellement renouvelé en 1999 ou 2001

1997/1998	1999/2000	2001/2002
1550	969	192
1550	637	225
1550	637	363
70	72	0

1997/1998	1999/2000	2001/2002
3280	2546	3188
3280	1418	3490
3280	1418	2313
1070	1418	2015

Ecobuage avec 60t.ha^{-1} de bozaka (Aristida sp,)
éventuellement renouvelé tous les 4 ans (2001) ou 2 ans (1999 et 2001)

Figure 18 : Evolution du rendement du maïs en fonctions de la fréquence de l'écobuage - Hauts Plateaux malgaches

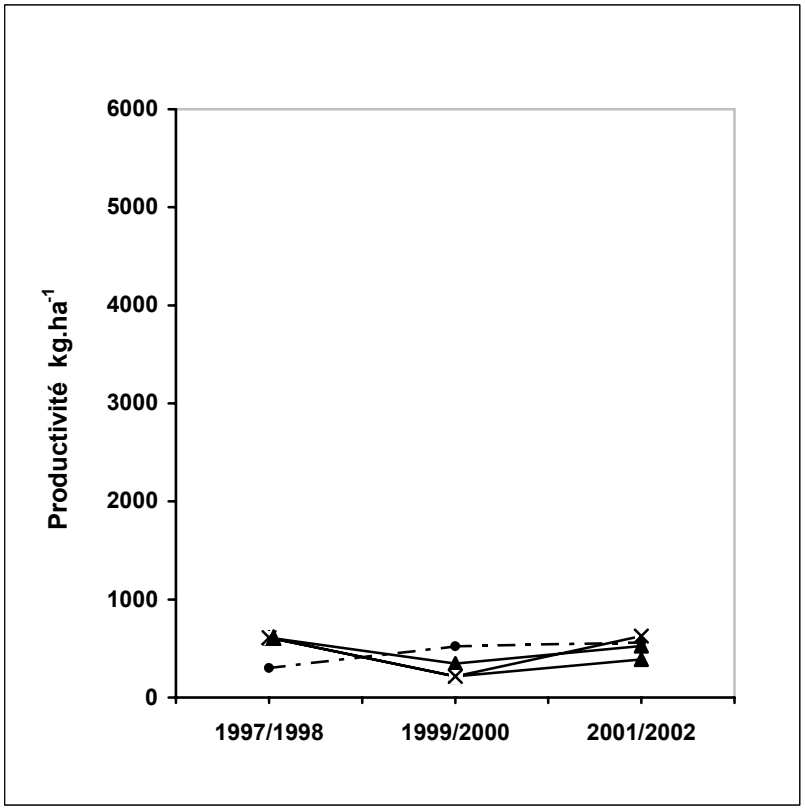
Sol ferrallitique de basse fertilité sur socle cristallin

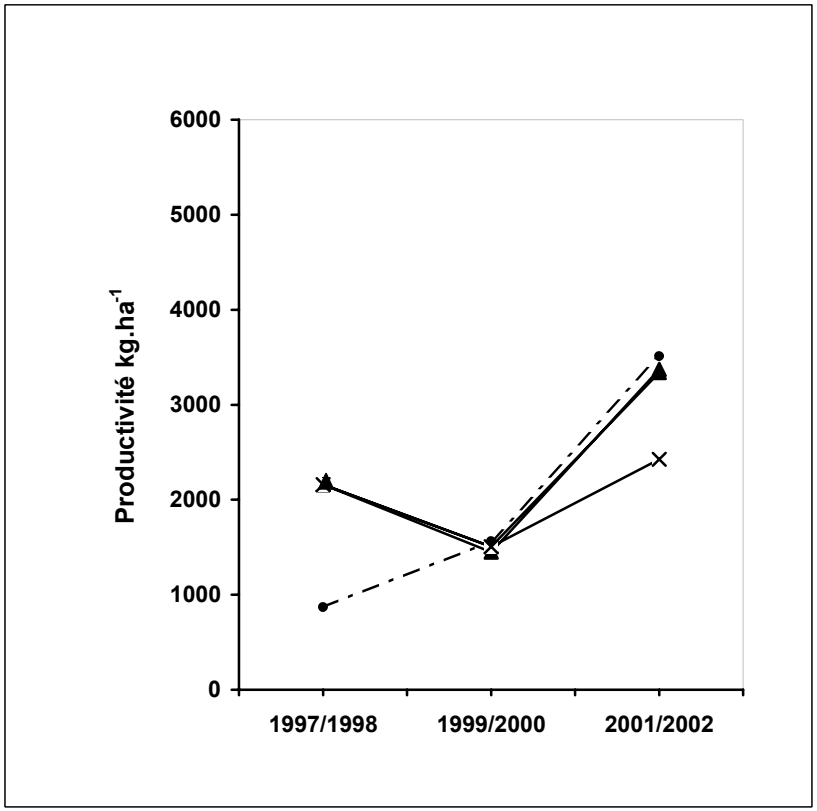
IBITY

▲—▲—▲ Ecobuage tous les 2 ans (1997, 1999 et 2001)
▲—×—▲ Ecobuage tous les 4 ans (1997 et 2001)
▲—×—× Ecobuage non renouvelé (1997)
●-·-●-·-● Semis direct sans écobuage

F_1 = 5 t/ha fumier

F_2 = 5 t/ha fumier + 500 kg/ha dolomie + 70 N + 70 P_2O_5 + 50 K_2O





Ecobuage avec 60 $t.ha^{-1}$ de bozaka (Aristida sp.) en 1997, éventuellement renouvelé en 1999 ou 2001

1997/1998	1999/2000	2001/2002
4370	2344	3452
4370	940	3340
4370	940	1148
1080	940	962

1997/1998	1999/2000	2001/2002
5870	3906	5557
5870	1794	5006
5870	1794	2764
2050	1736	3005

Ecobuage avec 60t.ha^{-1} de bozaka (Aristida sp,)
éventuellement renouvelé tous les 4 ans (2001) ou 2 ans (1999 et 2001)

BIBLIOGRAPHIE

- ***ANDRIAMAMPIANINA N., et al, 1996*** : **Bilan – évaluation des projets de conservation des sols de la région de Beforona – Bilan et évaluation des travaux et réalisations en matière de conservation des sols à Madagascar**. ONE, FOFIFA, ANAE, CIRAD, 50 p + annexes

- ***BAILLY, C. et al, 1974*** : **Etude de l'influence du couvert naturel et de ses modification à Madagascar**. Expérimentations en bassins versants élémentaires. Bois et forêts des tropiques (Cahiers scientifiques n°4.C.T.F.T. 114 p)

- ***BOURGUIGNON C., CALLOT G., GABUCCI L., MICHELLON R., PERRET S., RAUNET M., SEGUY L., 1996*** : **B. Analyse du fonctionnement hydrique, biologique et microbiologique du so**l, p 16-50. In : MICHELLON R., 1996 : **Amélioration de la fertilité des andosols de la Réunion et de la productivité des cultures de géranium rosat avec couverture permanente**. CIRAD Réunion, 50 p

- ***CHABANNE A., RAZAKAMIARAMANANA, 1996*** : **La climatologie d'altitude à Madagasca**r – Séminaire sur le "Développement de la riziculture pluviale et aquatique d'altitude à Madagascar". FOFIFA/CIRAD, 29 mars au 5 avril 1996, 9 p

- ***CHABANNE A., SEGUY L., RAZAKAMIARAMANANA, 1996*** : **Gestion de la fertilité des rizières d'altitude à Madagascar**. Exemple de la plaine de Vinaninony (1875 m) – Séminaire sur Développement de la riziculture pluviale et aquatique d'altitude à Madagascar". FOFIFA/CIRAD, 29 mars au 5 avril 1996, 9 p

- ***CHARPENTIER H. et al, 1999*** : **Projet de diffusion de systèmes de gestion agrobiologique des sols et des systèmes cultivés à Madagascar – Rapport de campagne 1998-1999. O.N.G. "TAFA"** – Convention ANAE-CIRAD-TAFA-AFD, 103 p + annexes

- ***CHARPENTIER H. et al, 2000*** : **Projet de diffusion de systèmes de gestion agrobiologique des sols et des systèmes cultivés à Madagascar – Rapport de campagne 1999-2000. O.N.G. "TAFA"** – Convention ANAE-CIRAD-TAFA-AFD, 103 p + annexes

- ***CNRE, IRD, 1999*** : Atelier de restitution : **Sociétés paysannes dynamiques écologiques et gestion de l'espace rural dans le Sud Ouest de Madagascar** – Antananarivo 8 – 10 novembre 1999

- ***CLARIOND A., PERRET S., 1990*** : **Impact du feu sur les caractéristiques physico-chimiques d'un andoso**l –Note technique CEEMAT réunion, 7 p

- ***DE CASABIANCA F., 1967*** : **Facteurs physiques de fertilité des sols dans le Sud Ouest Malagasy**, Colloque sur la fertilité des sols tropicaux – Tananarive 19-25 novembre 1967. IRAT Ed supplément au n°2 et 5, 1968 de l'Agronomie Tropicale, p 1540 – 1546

- ***DZABA D., 1987*** : **Contribution à l'étude de la dynamique de la fertilité chimique du sol dans un système de culture traditionnel à base d'écobuage**. Centre de Recherches Agronomiques de Loudima Congo, p 595 – 627

- ***F.T.M., CRGR, IREDEC, ODR, 1997*** : **Atlas régional de Madagascar** – La région du Vakinankaratra

- ***KOBAMA, 1994*** : **Rapport de campagne saison et contre-saison 1993-1994**, Opération Blé – Fermes mécanisées, 33 p

- ***MICHELLON R., 1996*** : **Modes de gestion écologiques des sols et systèmes de culture à base de géranium dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion**. CIRAD CA Réunion n°47 – 1996, 103 p

- ***MICHELLON R., ANSELLEM Y., 1994*** : **Observation sur le comportement des variétés de pomme de terre dans les Hauts sous le Vent**. Fiche d'essai n°7. CIRAD CA Réunion, 5 p

- ***MICHELLON R. et al, 2000*** : **Amélioration de la fertilité par écobuage : Influence de la fréquence et de l'intensité de la combustion selon le type de sol de tanety**. CIRAD – TAFA – FOFIFA. Fiche d'essai 1999 n°1, 55 p

- ***MICHELLON R. et al, 2000*** : **Amélioration de la fertilité par écobuage : Influence de la nature du combustible selon le type de sol de tanety**. CIRAD – TAFA – FOFIFA. Fiche d'essai 1999 n°2, 24 p

- ***MICHELLON R. et al, 2001*** : **Amélioration de la fertilité par écobuage : Influence de la nature du combustible selon le type de sol de tanety**. CIRAD – TAFA – FOFIFA. Fiche d'essai 2000 n°2, 34 p

- ***MICHELLON R. et al, 2001*** : **Direct seeding on plant cover with "soil smouldering" techniques** [Conception de systèmes durables avec un minimum d'intrants à Madagascar : semis direct sur couverture végétale avec écobuage] I Word Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 October, 2001

- *MICHELLON R. et al, 2001* : **Influence du traitement des semences et de la date de semis sur la production du riz pluvial en fonction du mode de gestion du sol sur les Hautes Terres** - CIRAD-TAFA-FOFIFA. Fiche d'essai 2001 n°1, 18 p

- ***MICHELLON R. et al, 2002 :*** **Amélioration de la fertilité par écobuage : Influence de la fréquence et de l'intensité de la combustion selon le type de sol de tanety.** ***CIRAD-TAFA-FOFIFA. Fiche d'essai 2001 n°2, 52 p***

- ***MICHELLON R. et al, 2002 :*** **Amélioration de la fertilité par écobuage : Influence de la nature du combustible selon le type de sol de tanety.** ***CIRAD-TAFA-FOFIFA. Fiche d'essai 2001 n°3, 30 p***

- ***MICHELLON R. et al, 2002*** : **Amélioration de la fertilité par écobuage : influence de la fréquence et de l'intensité de la combustion selon le type de sol de tanety**. Documents annexes à la fiche d'essai 2002, n°1

- ***MICHELLON R. et al, 2002 :*** **Amélioration de la fertilité par écobuage : influence de la nature du combustible selon le type de sol de tanety.** ***CIRAD-TAFA-FOFIFA. Fiche d'essai 2002 n°2, 29 p***

- ***NZILA J.D., 1992*** : **La pratique de l'écobuage dans la vallée du Niari** (Congo)**. Ses conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide**. Document ORSTOM n°7, 190 p

- ***Projet Terre Tany/BEMA, CDE/GUIB, FOFIFA, 1997*** : **Un système agroécologique dominé par le tavy : la région de Beforona, falaise Est de Madagascar** : Cahier Terre Tany n°6, 153 p

- ***RAKOTOMAVO A., 1998a*** : **Régénération des tanety herbeux au travers des pratiques de défrichement paysannes**. In : La gestion des ressources naturelles et les pratiques paysannes dans la région du bassin versant de Jabokely. Cahiers Terre Tany n°9, p 8-17

- ***RAKOTOMAVO A., 1998b*** : **Flux de biomasse dans un écosystème des Hautes Terres : cas de quelques ménages du bassin versant de Jabokely**. In : La gestion des ressources naturelles et les pratiques paysannes dans la région du bassin versant de Jabokely. Cahiers Terre Tany n°9, p 18-25

- ***RAKOTONDRALAMBO*** *P., RAZANAMPARANY C., 1998* : **Adaptation du semis direct dans les régions de Madagascar p. 257-263**. In : RASOLO F., RAUNET M. (éditeurs scientifiques), 1999 : **Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture**. Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 mars 1998, ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA. MONTPELLIER-France-CIRAD, collection Colloques, 658 p

- ***RAKOTONDRALAMBO P., RAZANAMPARANY C., MOUSSA N., 1997*** : **Rapport de campagne 1995-1996.** TAFA, 48 p + annexes

- ***RAKOTONDRALAMBO P., RAZANAMPARANY C., MOUSSA N., 1997*** **: Rapport de campagne 1996-1997.** TAFA, 69 p

- ***RAKOTONDRALAMBO P., RAZANAMPARANY C., MOUSSA N., RAZAKAMANANTOANINA R., RAKOTOVAZAHA L., 2000*** : **Rapport de campagne 1998-1999**. TAFA, 30 p

- ***RAKOTONDRALAMBO P., RAZANAMPARANY C., MOUSSA N., RAZAKAMANANTOANINA R., RAKOTOVAZAHA L., 2001*** : **Rapport de campagne 1999-2000**. TAFA, 40 p

- ***RAKOTO M., 1985*** : **Aspects agronomiques de la culture de la pomme de terre**, p 135-139. In : RAKOTONDRAMANANA : le blé et la pomme de terre à Madagascar. Productions et contraintes. Compte rendu de la Conférence Internationale du 24 au 28 septembre 1984 à la Chambre de Commerce, d'Industrie et d'Agriculture d'Antsirabe. FIFAMANOR, 172 p

- ***RAKOTONIAINA S. N., 1998*** : **Semis direct : Diffusion en milieu paysan** – Région Vakinankaratra ESSA Antananarivo. CIRA/O.N.G. "TAFA", 92 p

- ***RANDRIANTSOA M. M., 2001*** : **Rôle de la matière organique dans la fertilité phosphorique d'un sol ferrallitique des Hautes Terres malgaches**. DEA de l'Institut National. Polytechnique de Lorraine CIRAD-TAFA, 26 p

- ***RAUNET M., 1991*** : **Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole**. CIRAD Réunion – Région Réunion, 428 p

- ***RAZANAMPARANY C., MOUSSA N., RAZAKAMANANTOANINA R., RAKOTOVAZAHA L., RANDRIANAIVO S., 2001*** **: Rapport de campagne 2000-2001**. Région du Vakinankaratra, TAFA, 44 p

- ***S.A.F.C.O., 1997*** : Atelier bilan du SAF-CO. **Point sur les dix ans d'expérimentation agricole** – 19 novembre 1997, 16 p

- ***SEGUY L;, 1974*** : **Influence de la technique de l'écobuage sur les rendemens de maïs et sur les propriétés physico-chimiques des sols** – O.N.A.R.E.S.T. IRAT/CVT – Rapport de synthèse sur les cultures vivrières – Cameroun, p 44-47

- ***SEGUY L., 1974*** : **Etude sur la lixiviation des éléments minéraux et colloïdaux dans différents types de sols de l'Ouest Cameroun**, O.N.A.R.E.S.T. IRAT/CVT – **Rapport de synthèse sur les cultures vivrières** – Cameroun, p 77-83

- ***SEGUY L., 1996*** : **Rapport de mission à Madagascar du 17 au 31 mars 1996** – CIRAD CA. Programme APAFP n°38. Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle Antananarivo, Madagascar, 54 p

- ***SEGUY L., 1997*** : **Rapport de mission à Madagascar : Systèmes de culture durables avec semis direct, protecteurs de l'environnement, dans les régions du Sud-Ouest, les Hauts-Plateaux et le Moyen Ouest de Madagascar, en petit paysannat**, du 13/03 au 04/04/97. CIRAD CA Brésil – Programme APAFP Montpellier n°70/97, 120 p

- ***SEGUY L., 1998*** : **Systèmes de culture durables avec semis direct, protecteurs de l'environnement, dans les régions du Sud-Ouest, les Hauts-Plateaux et le Moyen Ouest de Madagascar, en petit paysannat** – Rapport de mission à Madagascar du 2 au 30/03/98. Mission Française de Coopération et Action Culturelle Antananarivo Madagascar – CIRAD.CA-TAFA-ANAE-FOFIFA-FIFAMANOR-FAFIALA, 85 p + annexes

- ***SEGUY L., BOUZINAC S., 1996*** **: Le soja au Brésil : production et systèmes de culture**. Documents de travail CIRAD CA n°2 1996, 32 p + annexes

- ***SEGUY L. et al, 2000*** : **Les techniques de semis direct sur couvertures végétales à Madagascar ou comment pratiquer une agriculture durable avec un minimum d'intrants chimiques. Le cas des régions des Hauts Plateaux et du Sud Ouest semis aride de l'île**. O.N.G. "TAFA", CIRAD.CA-G.E.C. – Document de synthèse en cours de préparation

- ***O.N.G. "TAFA", 1995*** : **Rapport de campagne 1994-1995**. Convention TAFA/FIFAMANOR du 03/01/95, 78 p

- ***O.N.G. "TAFA", 1998*** : **Rapport de campagne 1997-1998**. Convention TAFA/FIFAMANOR, 14 p

Annexe 1 - Composantes du rendement du riz et production de biomasse à Betafo

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	314	295	340	329
	20 t/ha	219	232	306	288
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	273	309	333	317
	20 t/ha	246	267	307	312
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	250	249	214	233
	20 t/ha	197	209	241	265
Semis direct (non écobué)		229	189	256	241
Labour (test)		141	200	219	211

A1.1. **Tallage, en nombre de talle par m²**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	92	95	93	98
	20 t/ha	97	99	93	92
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	97	96	94	98
	20 t/ha	95	97	93	93
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	93	91	92	95
	20 t/ha	94	94	91	95
Semis direct (non écobué)		88	89	92	90
Labour (test)		97	100	99	89

A.1.2. **Emission des panicules, en nombre de panicules pour 100 talles à la récolte**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	81	81	84	84
	20 t/ha	81	86	87	84
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	79	88	80	83
	20 t/ha	78	84	82	81
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	85	84	82	86
	20 t/ha	86	85	82	86
Semis direct (non écobué)		82	87	88	86
Labour (test)		88	88	76	87

A.1.3. **Taux de fertilité des grains, en % de grains fertiles**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	64	78	90	90
	20 t/ha	54	68	81	84
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	64	77	74	86
	20 t/ha	60	74	70	75
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	60	65	66	75
	20 t/ha	42	56	72	87
Semis direct (non écobué)		47	53	80	74
Labour (test)		47	80	67	53

A.1.4. **Nombre de grains fertiles par panicule**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3	Moyenne
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	11,1	9,0	12,5	10,2	10,7
	20 t/ha	3,7	4,4	9,5	6,7	6,1
	Moyenne	7,4	6,7	11,0	8,5	8,4
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	8,1	11,3	12,7	12,7	11,2
	20 t/ha	4,9	5,6	9,3	9,0	7,2
	Moyenne	6,5	8,4	11,0	10,9	9,2
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	2,3	4,4	4,2	6,9	4,4
	20 t/ha	1,9	2,8	5,8	8,3	4,7
	Moyenne	2,1	3,6	5,0	7,6	4,6
Moyenne avec écobuage		5,3	6,2	9,0	9,0	7,4
Semis direct (non écobué)		1,9	1,6	6,9	7,4	4,4

A.1.5. **Estimation de la production de paille à la récolte en t/ha sur les échantillons**

A2. Composantes du rendement du riz et production de biomasse à Bemasoandro

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	247	276	390	406
	20 t/ha	218	273	407	488
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	382	273	421	396
	20 t/ha	200	252	415	459
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	208	188	434	390
	20 t/ha	208	206	392	455
Semis direct (non écobué)		170	226	344	435
Labour (test)		-	178	361	368

A.2.1. : **Tallage, en nombre de talle par m²**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	82	93	94	75
	20 t/ha	89	90	90	90
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	71	87	94	75
	20 t/ha	90	90	86	86
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	79	88	95	72
	20 t/ha	73	89	91	87
Semis direct (non écobué)		84	89	92	77
Labour (test)		-	78	94	94

A.2.2. **Emission de panicules, en nombre de panicules pour 100 talles à la récolte**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	75	83	85	76
	20 t/ha	82	80	84	79
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	77	82	85	82
	20 t/ha	82	82	84	80
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	79	79	86	84
	20 t/ha	80	80	85	85
Semis direct (non écobué)		80	81	87	79
Labour (test)		-	68	70	71

A.2.3. **Taux de fertilité des gains, en % de grains fertiles**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	44	45	66	59
	20 t/ha	37	42	67	65
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	41	44	65	64
	20 t/ha	36	45	65	72
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	34	34	68	65
	20 t/ha	36	40	62	67
Semis direct (non écobué)		32	42	64	52
Labour (test)		-	56	53	59

A.2.4. **Nombre de grains fertiles par panicule**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3	Moyenne
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	7,2	6,2	14,1	21,3	12,2
	20 t/ha	2,5	4,4	14,1	19,4	10,1
	Moyenne	4,9	5,3	14,1	20,3	11,2
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	7,4	4,9	18,7	11,3	10,6
	20 t/ha	3,7	5,8	10,0	21,3	10,2
	Moyenne	5,6	5,3	14,4	16,3	10,4
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	1,9	3,2	12,5	18,1	8,9
	20 t/ha	2,3	4,4	11,3	16,4	8,6
	Moyenne	2,1	3,8	11,9	17,2	8,8
Moyenne avec écobuage		4,2	4,8	13,5	17,9	10,1
Semis direct (non écobué)		1,6	4,6	10,6	13,9	7,7

A.2.5. **Estimation de la production de paille à la récolte, en t/ha sur les échantillons**

A.3. Composantes du rendement du maïs et production de biomasse à Betafo

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	60 (7)	59 (13)	56 (20)	49 (14)
	20 t/ha	58 (0)	59 (13)	59 (24)	45 (4)
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	57 (5)	60 (17)	58 (8)	45 (14)
	20 t/ha	56 (0)	58 (12)	59 (28)	47 (9)
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	57 (0)	60 (18)	57 (15)	49 (10)
	20 t/ha	52 (0)	60 (23)	60 (18)	55 (13)
Semis direct (non écobué)		54 (0)	59 (11)	57 (21)	54 (16)
Labour (test)		36 (0)	55 (0)	56 (5)	57 (0)

A.3.1. **Densité à la récolte, en milliers de plantes par ha, avec le pourcentage de plantes versées et cassées noté entre parenthèses**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	69	87	101	97
	20 t/ha	20	63	84	90
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	55	86	99	101
	20 t/ha	12	68	80	88
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	9	61	83	81
	20 t/ha	4	59	71	78
Semis direct (non écobué)		13	56	81	71
Labour (test)		-	37	53	45

A.3.2. **Fertilité des épis (taux d'épis fertiles par plante)**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	45	65	99	104
	20 t/ha	19	48	57	90
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	32	65	87	98
	20 t/ha	25	43	59	88
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	13	31	59	81
	20 t/ha	15	28	46	75
Semis direct (non écobué)		10	29	65	83
Labour (test)		-	19	54	73

A.3.3. **Poids de grains par épis en g**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	6,9	9,0	12,7	12,2
	20 t/ha	4,3	7,6	13,1	14,0
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	6,2	9,6	15,3	15,7
	20 t/ha	2,6	9,1	11,5	16,3
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	2,4	9,9	13,8	12,3
	20 t/ha	1,9	8,0	13,0	17,6
Semis direct (non écobué)		0,9	6,1	12,2	15,2

A.3.4. **Estimation de la production de biomasse par le maïs à la récolte, en t/ha sur échantillons**

A.4. Composantes du rendement du maïs et production de biomasse à Bemasoandro

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	33	50	55	44
	20 t/ha	30	58	53	34
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	32	45	60	32
	20 t/ha	34	55	49	38
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	21	47	55	31
	20 t/ha	20	52	48	38
Semis direct (non écobué)		12	40	48	38
Labour (test)		0	12	57	53

A.4.1. **Densité à la récolte, en milliers de plantes par ha.**
Le pourcentage de plantes versées et cassées est quasiment nul (1 %)

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	9	13	55	95
	20 t/ha	2	7	95	101
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	8	15	86	108
	20 t/ha	0	2	98	98
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	0	19	84	103
	20 t/ha	0	2	99	96
Semis direct (non écobué)		0	0	85	93
Labour (test)		-	0	53	54

A.4.2. **Fertilité des épis (taux d'épis fertiles par plante)**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	28	29	64	86
	20 t/ha	15	15	71	91
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	23	32	68	94
	20 t/ha	-	12	77	79
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	-	42	50	99
	20 t/ha	-	5	67	76
Semis direct (non écobué)		-	-	49	95
Labour (test)		-	-	44	47

A.4.3. **Poids de grains par épis en g**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	3,4	2,6	7,5	7,1
	20 t/ha	0,0	,3,0	7,9	6,9
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	1,1	1,8	9,1	8,1
	20 t/ha	0,0	2,1	7,0	8,0
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	0,0	1,2	8,0	8,0
	20 t/ha	0,0	1,3	8,2	5,8
Semis direct (non écobué)		0,1	0,5	6,9	6,5

A.4.4. **Estimation de la production de biomasse par le maïs à la récolte, en t/ha sur échantillon**

A.5. Composantes du rendement du maïs et production de biomasse à Ibity

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	50 (0)	58 (6)	59 (8)	55 (6)
	20 t/ha	52 (0)	58 (4)	54 (6)	52 (6)
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	53 (0)	53 (1)	58 (6)	49 (8)
	20 t/ha	54 (0)	58 (8)	59 (8)	55 (6)
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	39 (0)	51 (3)	54 (12)	48 (8)
	20 t/ha	43 (1)	60 (7)	59 (8)	50 (6)
Semis direct (non écobué)		40 (0)	55 (7)	60 (8)	49 (6)
Labour (test)		18 (0)	62 (4)	53 (5)	45 (8)

A.5.1. **Densité à la récolte, en milliers de plantes par ha, avec le pourcentage de plantes versées et cassées noté entre parenthèses**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	22	36	95	97
	20 t/ha	12	39	99	98
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	16	34	89	85
	20 t/ha	28	39	95	96
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	8	34	97	95
	20 t/ha	11	32	98	96
Semis direct (non écobué)		10	42	95	90
Labour (test)		0	30	77	98

A.5.2. **Fertilité des épis (taux d'épis fertiles par plante)**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	11	25	60	97
	20 t/ha	10	16	68	95
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	12	22	65	96
	20 t/ha	14	19	51	86
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	9	36	46	70
	20 t/ha	8	17	54	77
Semis direct (non écobué)		10	24	62	76
Labour (test)		-	11	68	94

A.5.3. **Poids de grains par épis en g**

Mode de gestion du sol		F0	F1	F2	F3
Ecobuage renouvelé tous les 2 ans	60 t/ha	1,6	6,7	8,7	14,1
	20 t/ha	2,0	6,0	7,8	14,4
Ecobuage renouvelé tous les 4 ans	60 t/ha	2,6	5,9	7,8	12,8
	20 t/ha	2,0	3,5	8,6	14,1
Ecobuage non renouvelé	60 t/ha	1,3	7,3	6,5	11,1
	20 t/ha	0,6	4,2	8,0	9,1
Semis direct (non écobué)		1,3	4,1	9,1	14,1

A.5.4. **Estimation de la production de biomasse par le maïs à la récolte, en t/ha sur échantillon**