

Propriétés physico-chimiques du sol et successions post-culturelles dans la région d'Analabo (forêt Mikea)

**GROUZIS Michel ¹, LEPRUN Jean-Claude ²,
RANDRIAMBANONA Herizo ³**

1. IRD, BP. 434 - 101 Antananarivo

2. IRD, BP. 5045, 34 032 Montpellier Cedex 1 France ;

3. CNRE, BP. 1739 - 101 Antananarivo

Résumé

Une étude de la dynamique post-culturelle a été conduite dans le Sud-ouest semi-aride de Madagascar, à proximité d'Analabo (Forêt des Mikea). L'étude synchronique a été menée sur une série d'abandons culturels âgés de 2 à 30 ans, et des écosystèmes de référence (forêt et savane boisée), l'ensemble étant situé sur des sols ferrugineux peu à non lessivés développés sur sables dunaires quaternaires granulométriquement très semblables. Les paramètres suivis concernent plus particulièrement quelques propriétés physiques et chimiques du sol (densité, perméabilité, compacité, éléments texturaux, C, N, K, P).

D'importants changements apparaissent dans la succession post-culturelle marqués par une augmentation sensible de la densité et de la compacité du sol et une diminution de la perméabilité de l'horizon de surface. La mise en culture des sols forestiers se traduit donc par un tassement et une induration de l'horizon superficiel. Les paramètres chimiques du sol apparaissent généralement moins discriminants de différents stades d'évolution, que les paramètres physiques, confirmant ainsi de nombreux travaux.

L'examen de la trajectoire des points représentatifs des écosystèmes établie à l'aide d'une analyse multivariée indique que l'écosystème forestier abattu, brûlé, cultivé et abandonné s'éloigne rapidement, de par ses caractéristiques édaphiques, de son état originel et se rapproche nettement de l'écosystème savane boisée.

La dynamique post-culturelle dans le sud-ouest semi-aride de Madagascar (région d'Analabo) se caractérise donc par un processus de savanisation, conséquence de l'intensité et de la durée de la perturbation (phase culturelle) et des conditions climatiques et édaphiques plus drastiques.

Mots-clés : Abandon culturel, Semi-aride, Etude synchronique, Indicateurs, Sol, Perméabilité, Compacité, Texture, C N P K, Succession, Trajectoire

Abstract

This study concerns post-cultural dynamics in the South-West of Madagascar (Region of Analabo, near the Mikea Forest). A synchronic comparison was performed on a set of fallow plots aged from 2 to 30 years and on forest and savanna reference ecosystems, situated on un-leached ferruginous soils developed from quaternary dune sands. The parameters studied concerned mainly a few physical and chemical soil properties (permeability, compaction, texture, C, N, K, P). Important changes occur in the post-cultural succession : increase of the soil density and compaction, decrease of the upper layer soil permeability. So, the slash and burn cultivation leads to a packing and an induration of the soil surface. Results about edaphic indicators have shown that the physical parameters used differentiate various stages of succession better than the chemical parameters. The multivariate analysis of edaphic indicators shows that vegetation succession over 30 years of fallow does not lead to features corresponding to a closed-canopy forest but rather to those of a tree savanna with open, mixed woody-herbaceous vegetation. This evolution is due to (1) the intensity and duration of the disturbance and to (2) the hard environmental conditions (climate and soil).

Key words: Abandoned fields, Semi-arid, Fallow, Synchronic study, Edaphic indicators, Soil, Permeability, Soil compaction, Soil texture, C, N, K, Succession

1. Introduction

Chaque année, la forêt malgache régresserait de 200 000 à 300 000 hectares, un chiffre parmi les plus alarmants du monde tropical. Des travaux réalisés dans différentes régions de l'île (Brand & Zurbruchen, 1997 ; Green & Sussman, 1994) montrent que la vitesse de déforestation ne cesse de s'accroître. Dans les systèmes forestiers semi-arides du sud-ouest (Forêt des Mikea), Lasry *et al.*, (2001) rapportent que près de 55 % de la forêt primaire a été défrichée entre 1971 et 2001 avec un rythme moyen de 12.5 km².an⁻¹ Ce rythme s'est considérablement accéléré entre 1999-2001 (35 km².an⁻¹) ; il a sextuplé par rapport à celui des années 1971/86.

La question est donc de savoir si ces systèmes forestiers possèdent un niveau de résilience leur permettant de se reconstituer même partiellement comme l'ont montré Saboureau (1960), Rasolofoharino *et al.* (1997), Gautier *et al.*, (1999) et Rasolofoharino (2001) pour les forêts ombrophiles ?

Le présent travail se donne pour objectifs l'étude des variations de quelques paramètres édaphiques qui accompagnent l'abandon cultural et la caractérisation de la succession, dans une région du sud-ouest malgache (Forêt des Mikea, Région d'Analabo).

2. Matériel et méthodes

2.1 Echantillonnage et conditions de milieu

Les investigations ont été réalisées autour des villages d'Analabo et d'Antsandrahy Les formations végétales originelles, aux dépens desquelles s'établissent les cultures, correspondent à la série des forêts denses sèches à *Dalbergia*, *Commiphora* et *Hildegardia* définie par Humbert et Cours-Darne (1965).

Des abandons culturels âgés de 2, 4, 6, 8, 12, 20 et 30 ans (A2, A4, ... A30) ainsi que différents écosystèmes de référence [forêt primaire peu perturbée (FI), savane boisée (SB)] ont été échantillonnés dans la zone d'étude. L'âge des abandons a été précisé par les propriétaires des champs. Plusieurs recoupements réalisés auprès d'autres informateurs du village les ont confirmés. Ces abandons ont eu globalement le même passé culturel (3 à 5 cycles de culture de maïs sur abattis-brûlis). Après leur abandon, ils constituent en général des lieux de pâturage, de prélèvement de bois et sont par ailleurs soumis à des feux récurrents. Les principales caractéristiques biotiques de ces stations sont rassemblées sur le tableau I.

Les sites étudiés sont tous situés sur des sols ferrugineux tropicaux peu ou non lessivés (classification française des sols, C.P.C.S., 1967) développés sur les formations dunaires quaternaires post-Karimbolien de Battistini (1964) qui seraient équivalentes à l'erg ancien Inchirien (40 000 ans) de l'Ouest africain (Leprun, 1998).

La région est caractérisée par un climat sub-aride avec des précipitations annuelles comprises entre 600 sur le littoral et 1000 mm à l'intérieur (883 mm à Befandriana sud, situé à une centaine de kilomètres au nord de notre site pour la période 1935-1994 : Ferry *et al.*, 1998), une température moyenne du mois le plus frais de 15 à 20°C, et 7 à 8 mois secs. En effet la saison sèche (précipitations mensuelles < 50 mm) s'étend du mois d'avril au mois d'octobre, tandis que la saison des pluies (recevant 90 % des précipitations) du mois de novembre au mois de mars (Grouzis & Rakotondramanana, 1999, 2000).

2.2. Les paramètres édaphiques et leurs méthodes d'étude

La densité a été mesurée dans les différents horizons du profil pédologique de la station de référence par deux méthodes : pesée d'un volume constant pour les sols à structure particulière ou mesure du volume d'eau déplacée par une motte préalablement pesée enrobée de paraffine pour les sols à structure fragmentaire (A30). Cinq répétitions ont été effectuées pour chaque horizon.

La perméabilité de l'horizon de surface a été évaluée à l'aide d'un infiltromètre (cylindre métallique de 25 cm de long et de 10 cm de diamètre, enfoncé dans 5 cm de sol) à raison de 10 répétitions par site, suivant un échantillonnage linéaire. La mesure consiste à évaluer le temps d'infiltration d'un litre d'eau. Les résultats sont exprimés en $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Plus la valeur est élevée et plus la perméabilité est grande.

La compacité de l'horizon de surface a été évaluée à l'aide d'un pénétromètre (*Proctor Penetrometer ASTM D1558, Spring Type*). La profondeur de pénétration de la sonde (tête de sonde 1/5 inch) correspondante à une force constante de 100 lbf (70 $\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$) a été mesurée. Vingt répétitions réparties sur un relevé linéaire (tous les 2 mètres) ont été effectuées par site. Les résultats sont exprimés en $\text{mm}/70\text{kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$. La compacité est inversement proportionnelle à la profondeur de pénétration. En d'autres termes, plus la valeur est grande, plus le sol est meuble. Ces trois paramètres ont été mesurés en pleine saison sèche (juillet).

Des échantillons de sol (par site : 4 échantillons composites de 5 prélèvements élémentaires) ont été prélevés en surface (0 - 10 cm) à la fin de la saison des pluies (avril). Les teneurs en carbone C (gkg^{-1}), N (gkg^{-1}), K⁺ (cmolkg^{-1}), P_{assimilable} (mgkg^{-1}), ainsi que celles de certains éléments de granulométrie

(sables fins, limons grossiers), ont été déterminées par le Laboratoire de Radio-Isotopes de Antananarivo. Les analyses granulométriques des sables (fraction 0.05-2 mm) ont été réalisées au laboratoire des sols de l'IRD de Montpellier par tamisage à l'eau et diffraction laser (Appareil Malvern Mastersizer). La méthode de Wakley et Black a été utilisée pour le carbone, celle de Kjeldahl pour l'azote. Le K^+ a été déterminé par la méthode du chlorure de cobaltihexamine (Cohex) et le $P_{\text{assimilable}}$ par la méthode colorimétrique d'Olsen.

3. Résultats

3.1. Paramètres physiques

Les variations texturales sont faibles et sont probablement dues à l'origine des matériaux mobilisés par le vent : colluvions ou alluvions sableuses très faiblement limono-argileuses liés au système alluvial du *Tsivora*. Le matériau sur lequel se sont développés les sols est dans tous les cas fortement sableux, le taux d'argiles et de limons pouvant varier légèrement en fonction de la nature et de l'âge des matériaux originels. L'homogénéité du matériau a été vérifiée par une analyse granulométrique de la fraction sableuse (0.05 à 2 mm).

Les quelques paramètres statistiques reportées dans le tableau II correspondent aux horizons profonds des sols de la toposéquence : Forêt primaire (FI) abandon de 2 ans (A2), 12 ans (A12), de 30 ans (A30) et savane boisée (SB) et à trois horizons de la forêt primaire (FI, début de la séquence) et de la savane boisée (SB, fin de la séquence). Les modes sont similaires et traduisent l'homogénéité verticale et latérale du matériau. Le So (coefficient d'écart interquartile ou Trask Sorting Index, Trask, 1930) se situe autour de 1.3 ce qui signifie que le matériel est très bien classé, ce qui est l'apanage d'un tri par le vent.

Les différentes unités se trouvent donc sur un matériau éolien semblable, ce qui autorise les comparaisons.

Tableau II. Quelques paramètres statistiques de l'analyse granulométrique de la fraction sableuse des différentes unités. Mode en μm ou en unités (α) ; So : Coefficient interquartile (ou *Trask Sorting index*) = Racine ($Q1/Q3$)

Unités (Horizons)	Mode (μm)	Mode (α)	So
FI (0-10)	442	3.55	1.28
FI (33-100)	455	3.42	1.29
FI (135-150)	438	3.59	1.34
A2 (100-130)	452	3.45	1.36
A12 (110-130)	463	3.34	1.33
A30 (83-155)	421	3.76	1.33
SB (3-12)	452	3.45	1.21
SB (32-95)	419	3.78	1.29
SB (95-160)	436	3.61	1.25

Les variations de la densité apparente en fonction de la profondeur pour les différents écosystèmes sont représentées sur la figure 1. Le sol de la forêt de référence (FI) présente les densités les plus faibles allant de 1.20 en surface à 1.51 en profondeur ; les valeurs varient peu à partir de 60 cm.

C'est dans l'abandon de 30 ans (A30) que les densités sont les plus élevées (1.53 à 1.70). A noter que les valeurs nettement plus élevées pourraient être dues à la méthode de mesure utilisée pour ce sol (méthode des mottes).

Les densités des sols des abandons de 2 (A2) et de 12 ans (A12) ainsi que celles de la savane boisée (SB) se situent entre ces deux extrêmes.

Ces variations montrent donc que l'on assiste au cours de la phase post-culturale à une nette augmentation de la densité du sol traduisant un tassement sur l'ensemble du profil.

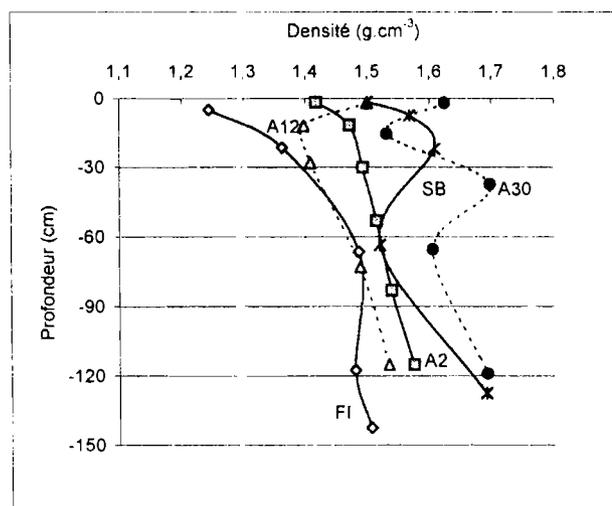


Figure 1. Variations de la densité (g. cm^{-3}) en fonction de la profondeur pour les différents écosystèmes. FI : forêt primaire dense sèche caducifoliée ; A2 A30 : abandon de 2 à 30 ans ; SB : savane boisée.

La figure 2 représente les variations de la perméabilité de l'horizon de surface pour les différents abandons et écosystèmes de référence échantillonnés.

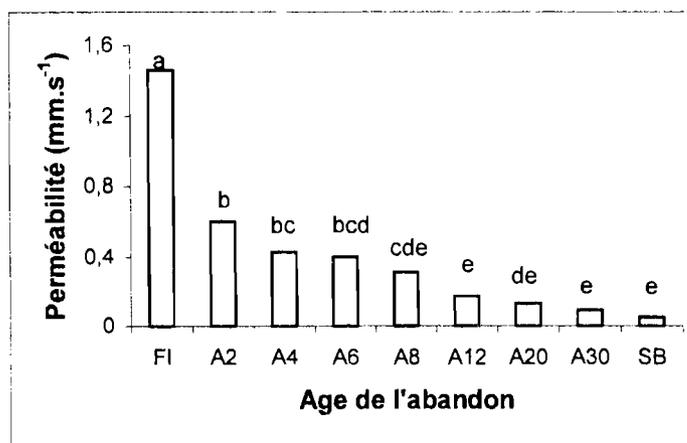


Figure 2.- Variations de la perméabilité de l'horizon de surface pour différents écosystèmes. FI : forêt primaire dense sèche caducifoliée ; A2 A30 : abandon de 2 à 30 ans ; SB : savane boisée.

Les moyennes repérées par une (des) même(s) lettre(s) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de $p=0.05$ selon le test de Newman-Keuls.

Il y apparaît que la perméabilité, très élevée dans l'écosystème forestier de référence (1.46 mm.s^{-1}), diminue progressivement avec l'ancienneté de l'abandon. Les valeurs obtenues dans les abandons anciens (A12 à A30) ne sont pas significativement distinctes de celle de la savane. Les moyennes relatives aux abandons récents (A2-A8) présentent des valeurs intermédiaires (0.6 à 0.31 mm.s^{-1}).

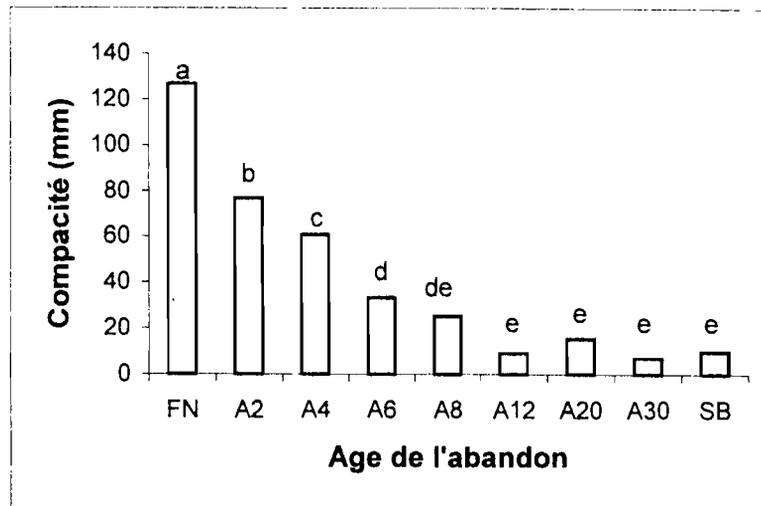


Figure 3.- Variations de la compacité de l'horizon de surface pour différents écosystèmes.

FN : forêt primaire dense sèche caducifoliée ; A2 A30 : abandon de 2 à 30 ans ; SB : savane boisée.

Les moyennes repérées par une (des) même(s) lettre(s) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de $p=0.05$ selon le test de Newman-Keuls.

La compacité de l'horizon de surface du sol augmente avec l'âge de l'abandon (Figure 3). Celle-ci atteint 127 mm dans la formation initiale, s'accroît rapidement et se stabilise entre 10 - 15 mm dans les abandons anciens (A12-A30) et dans la savane boisée. Dans ces derniers sites elle est en moyenne 13 fois plus élevée que dans la forêt originelle.

Notons aussi qu'une corrélation linéaire étroite ($R^2 = 0.93$) lie la compacité et la perméabilité de l'horizon de surface des sols.

La mise en culture des sols forestiers se traduit donc par un tassement et un compactage de l'horizon de surface ayant pour conséquence une diminution de la perméabilité.

3.2. Indicateurs chimiques

Les indicateurs chimiques du sol (Tableau III) sont en général moins discriminants, des différents stades de la succession, que les paramètres physiques. Les teneurs en C et N ne permettent par exemple, de distinguer que les trois groupes forêt de référence, abandons (2 - 20 ans) et abandon 30 ans-savanes. La teneur en $P_{\text{assimilable}}$ permet de discriminer l'ensemble des abandons des écosystèmes de référence (forêt,

savane). Il n'y a apparemment pas de logique dans la distribution de la teneur en K⁺ en fonction des différents écosystèmes échantillonnés.

Tableau III : Indicateurs édaphiques caractéristiques des abandons et de différents écosystèmes de référence de la région d'Analabo.

FI : forêt primaire dense sèche caducifoliée ; A2 A30 : abandon de 2 à 30 ans ; SB : savane boisée. Lorsque des répétitions ont été effectuées, les valeurs ont été soumises à une analyse de variance. Les moyennes repérées par la même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes pour $p = 0.05$ d'après le test de Newman-Keuls. (nd : analyse non effectuée)

Stations	FI	A2	A4	A6	A8	A12	A20	A30	SB
Indicateurs									
Limons grossiers (%)	1.64	1.75	1.96	nd	nd	3.91	4.04	3.343	3.23
Sables fins (%)	13.3	9.99	13.43	nd	nd	14.87	17.15	17.32	12.25
C (gkg ⁻¹) (0 -10 cm)	0.162 ^a	0.101 ^{bc}	0.88 ^{bc}	nd	nd	0.129 ^{ab}	0.099 ^{bc}	0.063 ^{cd}	0.062 ^{cd}
N (gkg ⁻¹) (0 -10 cm)	0.015 ^a	0.009 ^{bc}	0.008 ^{bc}	nd	nd	0.011 ^b	0.009 ^{bc}	0.005 ^{cd}	0.005 ^{cd}
K (cmolkg ⁻¹) (0 - 10 cm)	0.08 ^{bc}	0.15 ^{bc}	0.06 ^{bc}	nd	nd	0.3 ^a	0.31 ^a	0.14 ^b	0.10 ^{bc}
P (mgkg ⁻¹) (0 - 10 cm)	2.8 ^b	7.6 ^a	6.6 ^a	nd	nd	8.8 ^a	9.6 ^a	9.4 ^a	3.6 ^b

3.3. Trajectoire des écosystèmes

L'analyse en composantes principales constitue une bonne approche pour représenter la trajectoire des écosystèmes (Le Floch & Aronson, 1995) au cours de la phase post-culturale et juger de leur proximité par rapport aux écosystèmes de référence.

Une ACP a donc été réalisée sur la base des paramètres du tableau III auxquels ont été ajoutés la compacité et la perméabilité [7 relevés * 8 variables].

Les figures 4 représentent les cercles de corrélation (A) et la projection des points représentatifs des différents écosystèmes dans le premier plan de l'ACP (B).

Le premier plan de l'ACP absorbe 79% de la variabilité totale. Le premier axe est fortement corrélé aux paramètres physiques codés comme suit : perméabilité (Inf), compacité (Pen) en abscisses positives, et sables fins (Sf), limons grossiers (Lg) et P en abscisses négatives, tandis que le deuxième axe est lui principalement corrélé aux paramètres chimiques [C, N, K+] (Figure 8A).

L'examen de la trajectoire des points représentatifs des écosystèmes (Figure 8B) révèle que l'écosystème forestier abattu, brûlé, cultivé et abandonné s'éloigne rapidement, de par ses caractéristiques édaphiques, de son état originel et se rapproche nettement de l'écosystème savane boisée

On peut donc conclure que l'écosystème forestier perturbé et abandonné évolue sur la base des propriétés physico-chimiques du sol vers un système de type savanicole et non vers un système de type forestier.

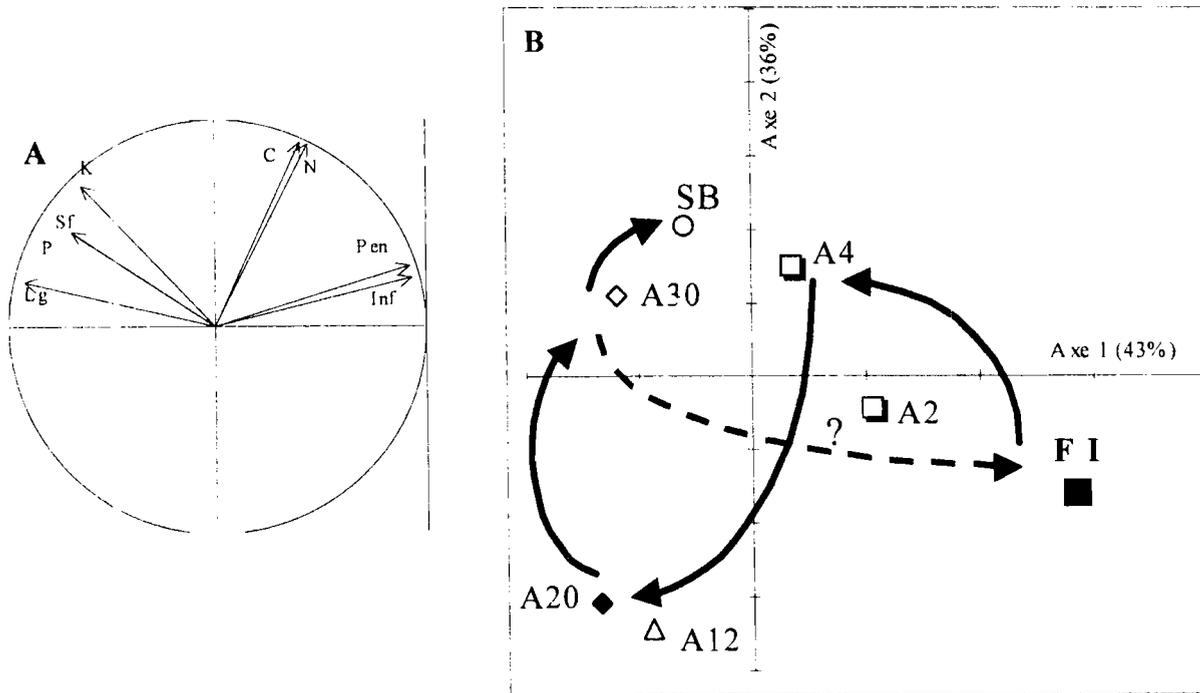


Figure 4.- Dynamique des systèmes écologiques sur la base des indicateurs édaphiques : cercle de corrélation (A) et diagramme des relevés dans le premier plan de l'ACP (B).

FI : forêt primaire dense sèche caducifoliée ; A2 A30 : abandon de 2 à 30 ans ; SB : savane boisée. Pen : compacité ; Inf : perméabilité ; Sf : sables fins ; Lg : limons grossiers ; C, N, K et P : teneurs en carbone, azote, potassium et phosphore assimilable de l'horizon de surface (0-10 cm)

3.4. Discussion - conclusion

Il est d'abord utile de noter que les caractéristiques physiques du sol sont nettement plus sensibles aux changements liés à la succession que les indicateurs chimiques. La perméabilité et la compacité caractérisent pratiquement tous les stades de la succession. Les résultats relatifs au C, N, K et P sont par contre plus difficiles à interpréter.

Ces résultats rejoignent les travaux de Chotte *et al.*, (1997), Pontanier et Roussel (1998), Masse *et al.*, (1997) et Rakotoarimanana (2002) qui relatent tous, que les paramètres physiques du sol tels que porosité, densité apparente, perméabilité et capacité de stockage de l'eau du sol sont des indicateurs pertinents pour suivre l'évolution des sols dans les cycles culture/jachères ou pour expliquer les effets des différentes modalités d'application de feux. Masse *et al.*, (1997) rapportent par ailleurs que les différentes pratiques de feu ne modifient pas fondamentalement les paramètres chimiques du sol (C, N, CEC, bases échangeables, P) après quatre années de jachères. Ces observations confirment les travaux de Menaut *et al.*, (1992) sur les savanes.

Dans la zone semi-aride du sud-ouest étudiée, la dynamique post-culturelle correspond donc à un processus de savanisation, caractérisé par une dégradation rapide et irréversible d'un certain nombre de caractéristiques édaphiques, notamment physiques. En d'autres termes, la résilience de la forêt primaire dense sèche caducifoliée est faible. Ce résultat est original dans la mesure où il s'écarte de ceux généralement obtenus dans d'autres zones bioclimatiques plus humides de Madagascar et de la zone intertropicale. Citons notamment les travaux de Rasolofoharino *et al.* (1997), Gautier *et al.*, 1999, Rasolofoharino (2001) qui montrent que la reconstitution partielle de la forêt ombrophile de moyenne altitude est possible bien que très lente (20 à 40 ans). Pour l'Afrique, les travaux de Guelly *et al.* (1993) pour le Togo, de Mitja et Puig (1993) pour la Côte d'Ivoire et de Roussel (1994) pour l'Afrique de l'Ouest rapportent que la reconstitution de la végétation originelle semble possible aussi bien dans les forêts sous climat humide que dans les savanes en milieu à saisons contrastées, à condition toutefois de les protéger contre les feux.

Diverses raisons peuvent être évoquées pour expliquer la faible résilience des systèmes forestiers du Sud-Ouest malgache. Signalons principalement :

- **l'intensité et la durée de la perturbation**

La phase culturale, qui dure généralement 5 ans, mais parfois 7 à 10 ans, épuise les capacités de régénération du système. En Afrique de l'Ouest c'est clairement le dessouchage ou non et la durée de la culture qui sont les facteurs prépondérants de la dynamique régressive (Yossi, 1996 ; Donfack, 1998 ; Fournier *et al.*, 2000). Par ailleurs, bien qu'abandonnées, les terres anciennement cultivées sont réaffectées au pastoralisme et subissent les méfaits des feux récurrents qui contrecarrent l'évolution progressive des systèmes.

- **les conditions du milieu**

Les conditions climatiques et édaphiques qui caractérisent le Sud-Ouest (faiblesse et variabilité des précipitations, températures et évaporations élevées, forte saisonnalité avec une longue saison sèche, substrats sableux quartzes pauvres) sont nettement plus drastiques que celles qui prévalent dans les zones humides de l'Est malgache et de la Côte d'Ivoire. De ce fait, elles induisent des dynamiques beaucoup plus lentes.

La dynamique post-culturelle dans le sud-ouest semi-aride de Madagascar (région d'Analabo) se caractérise donc par un processus de savanisation, conséquence de l'intensité et de la durée de la perturbation représentée par la phase culturale et des conditions climatiques et édaphiques plus drastiques. Cette évolution régressive se manifeste au niveau du sol par une dégradation des propriétés physiques : augmentation de la densité et de la compacité, diminution de la perméabilité et, globalement, par une dégradation des conditions de fertilité (C,N) des horizons de surface bien que les indicateurs chimiques soient moins discriminants des différents stades d'évolution. Dans ces conditions, la pratique de la culture itinérante dans le sud-ouest malgache se révèle fortement dégradante et présente un coût écologique énorme.

Tableau I. Caractéristiques biotiques des sites échantillonnés.

Les binômes en caractères gras correspondent aux espèces ligneuses (fréquence relative) tandis que ceux écrits en caractères normaux correspondent aux espèces herbacées (% de recouvrement). Données extraites de Randriambanona (2000) et Grouzis *et al.*, (2001).

Sites	Coordonnées	Espèces principales	Richesse floristique (n/2500 m ²)	Densité des ligneux (n/ha)	Phytomasse épigée (kg.ha ⁻¹)	Phytomasse hypogée (kg.ha ⁻¹)
F1	22°30'29"S 43°31'39"E	<i>Gyrocarpus americanus</i> (7), <i>Croton elaeagni</i> (6), <i>Diospyros manampetsae</i> (6)	141	8 628	170 590	18 510
A2	23°31'01"S 43°33'03"E	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (10), <i>Cenchrus biflorus</i> (8) <i>Diospyros manampetsae</i> (30), <i>Hyppocratea urceolus</i> (18)	86	5 984	8 444	3 527
A4	22°31'07"S 43°33'04"E	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (15), <i>Cenchrus biflorus</i> (15) <i>Diospyros manampetsae</i> (27), <i>Hyppocratea urceolus</i> (16) <i>Alchornea humbertii</i> (15)	89	8 652	11 404	4 164
A6	22°31'32"S 43°32'54"E	<i>Sesbania punctata</i> (12), <i>Boerhavia diffusa</i> (10) <i>Fernandoa madagascariensis</i> (29), <i>Diospyros humbertii</i> (26)	67	6 440	13 965	4 963
A8	22°31'36"S 43°33'01"E	<i>Abrus precatorius</i> (15 – 20), <i>Sesbania punctata</i> (5), <i>Hyppocratea urceolus</i> (35), <i>Fernandoa madagascariensis</i> (26)	86	12 404	22 629	7 055
A12	22°31'41"S 43°32'50"E	<i>Brachiaria reptans</i> (10 – 15), <i>Tridax procumbens</i> (10 – 15) <i>Fernandoa madagascariensis</i> (55), <i>Alchornea humbertii</i> (18)	65	6 976	26 848	10 000
A20	22°31'33"S 43°34'00"E	<i>Fernandoa madagascariensis</i> (27), <i>Alchornea humbertii</i> (9), <i>Diospyros manampetsae</i> (7)	68	4 112	29 939	7 000
A30	22°31'56"S 43°33'40"E	<i>Heteropogon contortus</i> , <i>Sporobolus sp</i> <i>Fernandoa madagascariensis</i> (33), <i>Rhopalocarpus sp.</i>(13)	64	3 380	33 804	3 608
SB	22°31'54"S 43°36'41"E	<i>Heteropogon contortus</i> (18), <i>Cyperus sp.</i> (3)	73	4 508	20 000	7 005

Références bibliographiques

- BATTISTINI R., 1964.- *L'extrême Sud de Madagascar*. Thèse de doctorat, Cujas Ed., 2 tomes : 636p.
- BRAND J. & ZURBRUCHEN J., 1997.- La déforestation et le changement du couvert végétal. *Cahiers Terre-Tany*, n°6 : 59-67.
- C.P.C.S., 1967.- *Commission de Pédologie et de Cartographie des sols*. Laboratoire de Géologie-Pédologie de l'ENSA, Paris-Grignon, 87p.
- CHOTTE J.L., MASSE D., PONTANIER R. & BELLIER G., 1997.- Transformation durant la jachère de l'horizon superficiel (0-10) d'un sol ferrugineux du bassin arachidier sénégalais : 41-45, *In "Jachère et maintien de la fertilité"*, C. Floret & R. Pontanier (Eds.), Actes de l'Atelier CORAF, ORSTOM, UE, Dakar
- DONFACK P., 1998.- *Végétation de jachères du Nord Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, productions*. Thèse de doctorat d'Etat, Sciences de la nature, Université de Yaoundé I, Faculté des Science : 225p.
- FERRY L., L'HOTE Y. & WESSELINK A., 1998.- Les précipitations dans le sud-ouest de Madagascar. *In "Water Ressources variability in Africa during the XXth Century"*. Proceeding of the Abidjan 98, Abidjan, Côte d'Ivoire, IAHS, 32 : 89-96.
- FOURNIER A., FLORET Ch. & GNAHOUA G.M., 2000.- Végétation des jachères et succession post-culturelle en Afrique tropicale., *In "De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances."* Floret Ch. & Pontannier R.(Eds.)Vol.II, Actes du Séminaire International, Dakar, Sénégal, 13-16 avril 1999, John Libbey, Paris : 123-168
- GAUTIER L., CHATELAIN C. & SPICHIGER R., 1999.- Déforestation, altitude, pente et aires protégées : une analyse diachronique des défrichements sur le pourtour de la réserve spéciale de Manongarivo (NW de Madagascar) : 255-279. *In " African mountain development in a changing world "*, H. Hurni & J. Ramamonjisoa (Eds.), African Mountains Association : 332p.
- GREEN G.M. & SUSSMAN W.S., 1994.- Deforestation history of the eastern rain forests of Madagascar from satellite images. *Science*, 248 : 212-215.
- GROUZIS M. & RAKOTONDAMANANA M., 1999.- *Station Ampasikibo : données météorologiques n°2 (mai 1998 - avril 1999)*. Programme GEREM, CNRE/IRD, Antananarivo : 15p.
- GROUZIS M. & RAKOTONDAMANANA M., 2000.- *Station Ampasikibo : données météorologiques n°3 (mai 1999 - avril 2000)*. Programme GEREM, CNRE/IRD, Antananarivo : 15p.
- GROUZIS M. RAZANAKA S., LE FLOC'H E. & LEPRUN J-C., 2001.- Evolution de la végétation et de quelques paramètres édaphiques au cours de la phase post-culturelle dans la région d'Analabo : 327-337, *In " Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar"*, S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo & C. Aubry (Eds.), CNRE/IRD, Antananarivo, 400p.
- GUELLY K.A., ROUSSEL B. & GUYOT M., 1993.- Installation d'un couvert forestier dans les jachères de savane au Sud-Ouest Togo. *Bois et Forêts des Tropiques*, 235 : 37-48.
- HUMBERT H. & COURS-DARNE G., 1965.- Notice de la carte de Madagascar. *Travaux sect. Sci. et Techn.*, Institut Français de Pondichery, h.s., 6 : 46-78.
- LASRY F., GROUZIS M., MILLEVILLE P. & RAZANAKA R., 2001.- Dynamique de la déforestation et agriculture pionnière dans une région semi-aride du sud-ouest de Madagascar : exploitation diachronique de l'imagerie satellitale haute résolution. Symposium international "*Les régions arides surveillées depuis l'espace. De l'observation à la modélisation pour la gestion durable*", Marrakech (Maroc), 12-15 novembre 2001 : 12p.
- LE FLOC'H E. & ARONSON J., 1995.- Ecologie de la restauration : définition de quelques concepts de base. *Nature-Sciences-Sociétés*, hors série : 29-35

- LEPRUN J.C., 1998.- *Compte rendu de mission à Madagascar (projet GEREM 30/04 - 16/05/1998)*. ORSTOM/CNRE, Antananarivo, multigr. : 11p.
- MASSE D., DEMBELE F., LE FLOC'H E. & YOSSSI H., 1997.- Impact de la gestion des feux de brousse sur la qualité des sols des jachères de courte durée dans la zone soudanienne du Mali. In "*Soil Fertility Management in West African Land Use Systems*", Renard G., Neef A., Becker K. & Von Oppen M. (Eds), Margraf Verlag, Weikersheim : 115-121.
- MENAUT J-C., ABBADIE L. & VITOUSEK P.M. 1992.- Nutrient and organic matter dynamics in tropical ecosystems : 215-232, In "*Fire in the environment. The ecological, atmospheric and climatic importance of vegetation fires*", P.J. Crutzen & J.G. Goldammer (Eds.), Wiley & Son Ltd, Chichester U.K.
- MITJA D. & PUIG H.,1993.- Essartage, culture itinérante et reconstitution de la végétation dans les jachères en savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba). In "*La jachère en Afrique de l'Ouest*", Floret C. & Serpantié G. (Ed.), ORSTOM, Paris : 377-392.
- PONTANIER R. & ROUSSEL O., 1998.- Les indicateurs du système culture-jachère : 203-229, In "*Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal)*", C. Floret (Ed.), Rapport final, Projet CCE, n° TSE-CT93-O220, DGXII, HSMO, 245p.
- RAKOTOARIMANANA V., 2002. *Feu, pâturage et dynamique des savanes à Heteropogon contortus dans le sud-ouest de Madagascar (Région de Sakaraha)*. Thèse de 3e cycle, Université de Antananarivo, CNRE/IRD : 160p.
- RANDRIAMBANONA H., 2000.- *Phytomasse hypogée de successions post-culturelles du Sud-Ouest de Madagascar (région d'Analabo - Forêt des Mikea)*. DEA en Sciences Biologiques Appliquées, Option Ecologie Végétale, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo. CNRE/IRD : 69p.
- RASOLOFOHARINORO ., BELLAN M.F. & BLASCO F., 1997.- La reconstitution végétale après agriculture itinérante à Andasibe-Périnet (Madagascar). *Ecologie*, 28(2) : 149-165.
- RASOLOFOHARINORO, 2001.- Successions végétales post-culturelles dans la région d'Andasibe-Perinet : 315-326, In "*Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*", S. Razanaka, M. Grouzis, P. Milleville, B. Moizo & C. Aubry (Eds.), CNRE/IRD, Antananarivo, 400p.
- ROUSSEL B., 1994.- Usages, perception et gestion des jachères : comparaison entre région sèche et région humide de l'Afrique de l'Ouest. *JATBA*, n s., XXXVI(1) : 29-45.
- SABOUREAU P., 1960.- La forêt malgache peut se reconstituer naturellement. *Bull. Acad. Malgache*, n.s., XXXVIII : 78-82.
- TRASK ,P.D., 1930.- Mechanical analysis of sediments by centrifuge. *Eco. Geol.*, 25 : 581-599.
- YOSSSI H., 1996.- *Dynamique de la végétation post-culturelle en zone soudanienne du Mali*. Thèse de doctorat, Population Environnement, ISFRA, Université de Bamako : 154p.