

<b>Zeitschrift:</b>	Candollea : journal international de botanique systématique = international journal of systematic botany
<b>Herausgeber:</b>	Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève
<b>Band:</b>	61 (2006)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Influence du feu et du pâturage sur la richesse et la diversité floristiques d'une savane à <i>Heteropogon contortus</i> du sud-ouest de Madagascar (région de Sakaraha)
<b>Autor:</b>	Rakotoarimanana, Vonjison / Grouzis, Michel
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-879247">https://doi.org/10.5169/seals-879247</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Influence du feu et du pâturage sur la richesse et la diversité floristiques d'une savane à *Heteropogon contortus* du sud-ouest de Madagascar (région de Sakaraha)

VONJISON RAKOTOARIMANANA  
&  
MICHEL GROUZIS

## RÉSUMÉ

RAKOTOARIMANANA, V. & M. GROUZIS (2006). Influence du feu et du pâturage sur la richesse et la diversité floristiques d'une savane à *Heteropogon contortus* du sud-ouest de Madagascar (région de Sakaraha). *Candollea* 61: 167-188. En français, résumés français et anglais.

Une étude expérimentale sur le rôle de feu et du pâturage a été conduite dans la région de Sakaraha (SO de Madagascar). L'objectif a été d'évaluer les effets conjugués ou séparés du feu appliqué selon différentes modalités (non brûlé, feu précoce, feu tardif) et du pâturage (non pâtré, pâtré) sur l'évolution de la composition, la richesse et la diversité floristiques d'une savane à *Heteropogon contortus* et *Poupartia caffra*. Cette étude diachronique a permis de montrer: 1) des modifications de la composition floristique en fonction des différents traitements; 2) l'influence du feu sur la diminution de la richesse floristique et sur l'augmentation de la diversité floristique (accroissement des indices de diversité de Shannon et Weaver et de régularité); 3) le rôle du pâturage sur l'augmentation de la richesse et de la diversité floristiques (accroissement des différents indices de diversité). La protection de la végétation contre le feu et le pâturage entraîne une régression de la diversité. Ces résultats ont été obtenus au cours d'années exceptionnellement pluvieuses et ne peuvent donc être généralisés.

## ABSTRACT

RAKOTOARIMANANA, V. & M. GROUZIS (2006). Influence of fire and of grazing on the richness and the floristic diversity of a savanna dominated by *Heteropogon contortus* in the southwest of Madagascar (region of Sakaraha). *Candollea* 61: 167-188. In French, English and French abstracts.

An experimental study of the effects of fire and grazing was carried out in the Sakaraha area (SW of Madagascar). The objectives were to evaluate the combined or separate effects of fire and grazing on botanical composition, species richness and diversity of *Heteropogon contortus* and *Poupartia caffra* dominated savanna. Three burning treatments (no burning, early burning and late burning) and two grazing treatments (grazed, ungrazed) were compared. A diachronic study showed: 1) change of botanical composition in response to different treatments; 2) effects of fire on the decrease of plant species richness and on the increase of floristic diversity (increase of the Shannon-Weaver and regularity index); 3) the grazing treatment led to an increase of the botanical richness and the botanical diversity (increasing of the various diversity indexes). Protection from fire and grazing led to a decrease of botanical diversity. As these results have been achieved in particular climatic conditions, they cannot be generalized.

**KEY-WORDS:** Savanna – Fire – Pasture – Flora richness – Diversity indexes

## Introduction

Les savanes sont largement représentées à Madagascar puisqu'elles couvrent 70 % du territoire (MORAT, 1973). Bien que stationnellement assez riches, elles sont d'une grande pauvreté floristique (moins de 5 % de la flore) et d'une grande homogénéité physionomique (MORAT, 1973; KOECHLIN & al., 1974). Les savanes jouent néanmoins un rôle économique majeur car elles assurent l'essentiel de l'alimentation des troupeaux dans les systèmes d'élevage extensif du sud-ouest de Madagascar.

Alors que la dynamique de la végétation est certainement marquée par le passage annuel du feu qui constitue une pratique courante de gestion de l'espace pastoral, il existe relativement peu de connaissance sur les effets du feu sur la dynamique des savanes à Madagascar, contrairement à celle des systèmes forestiers de l'est (RAVAOARINIVO, 1998; BARCK & al., 1997; PFUND & al., 1997) et du sud-ouest (RAZANAKA & al., 2001). Les effets du feu sur la dynamique des savanes ont aussi été bien abordés en Afrique sahéro-soudanienne (MONNIER, 1968; GRANIER & CABANIS, 1976; BREMAN & CISSÉ, 1977; MONNIER, 1990; DAUGET & MENAUT, 1992; MITJA, 1992; DEMBÉLÉ, 1996; LE FLOC'H & al., 2000).

La question des effets des feux sur la structure et la dynamique des écosystèmes pâturés a été largement discutée en zone intertropicale. Deux thèses s'opposent :

- la première soutient que les feux sont utiles voire nécessaires à l'équilibre des savanes. L'effet des feux se manifesterait par l'augmentation de la richesse et la diversité floristiques (MONNIER, 1968; KOSTUCH & FRIAS HERNANDEZ, 1992; DAUGET & MENAUT, 1992; DONFACK, 1998; BODIAN & al., 2000; LE FLOC'H & al., 2000), la stimulation de la production notamment pour les savanes recevant plus de 700 mm de pluviosité annuelle (PANDEY, 1974; SAN JOSÉ & MEDINA, 1975; FROST & ROBERTSON, 1987; DHILLION & ANDERSON, 1994; GUEVARA & al., 1999; LE HOUEROU, 1995), et au niveau du sol par l'augmentation de la teneur en éléments minéraux, du pH et en conséquence de l'activité de la microflore (UNESCO, 1981);
- la seconde considère que les feux sont néfastes, en provoquant des modifications irréversibles de la végétation et du milieu édaphique. Les feux diminuerait notamment la richesse floristique (DEMBÉLÉ, 1996) en favorisant le développement excessif des espèces pérennes aux dépends des annuelles (MONNIER, 1968; UNESCO, 1981), le recouvrement de la végétation et la production de la strate herbacée (WEST, 1965; MENAUT, 1993; DEMBÉLÉ, 1996; DONFACK, 1998). La destruction du couvert végétal et de la litière au sol par les feux affecterait le bilan hydrique en modifiant les paramètres de ruissellement, d'infiltration et d'évaporation (COOK, 1939; MONNIER, 1968; SAVAGE, 1980, GANDAR, 1982). Quant à l'effet du feu sur l'équilibre azoté, DOMMERGUES (1952) pense que cet effet est éphémère et que globalement les bactéries fixatrices d'azote sont détruites par les feux.

Le rôle du feu sur la structure et la dynamique des savanes a été peu expérimenté à Madagascar. Cependant, il est généralement considéré comme une réalité nuisible n'autorisant pas d'amélioration possible de l'agriculture au sens large (ANDRIAMAMPIANINA, 1998). Ce point de vue repose souvent sur des raisonnements *a priori*, déduits des conséquences logiques du feu.

Ces considérations nous ont conduits à mettre en place une étude expérimentale sur l'influence du feu et du pâturage sur les modifications floristiques et l'équilibre dynamique d'une savane mature à *Heteropogon contortus*, plus précisément d'une variante sèche de cette savane décrite par MORAT (1973). Celle-ci couvre une surface équivalente aux  $\frac{2}{3}$  de la région sud-ouest et constitue un ensemble physionomiquement varié mais possédant en commun certaines analogies floristiques dont la principale est une strate graminéenne à base d'*Heteropogon contortus*. La strate ligneuse est principalement constituée par *Poupartia caffra*, *Gymnosporia linearis* et *Stereospermum euphoroides*.

On se propose de vérifier l'hypothèse que la suppression du feu et/ou du pâturage peut induire des remaniements floristiques et une réorganisation de la végétation par sélection d'espèces sensibles à ces facteurs.

Les résultats présentés dans ce travail portent sur les effets du feu et du pâturage sur la composition, la richesse et la diversité floristiques obtenus au cours d'une étude diachronique de trois années. Ils ont été acquis dans le cadre d'une thèse de doctorat (RAKOTOARIMANANA, 2002).

## Méthodes

### *Site d'étude*

Le site d'étude se trouve dans la partie méridionale de la plaine sédimentaire du sud-ouest de Madagascar, au sud du village de Beba Manamboay ( $22^{\circ}49'30''S$  et  $44^{\circ}35'35''E$ ) et à une dizaine de kilomètres au nord de Sakaraha, dans la province de Toliary (fig. 1).

Les précipitations annuelles moyennes à Sakaraha, station météorologique la plus proche de notre site d'étude, s'élèvent à 854 mm et se répartissent en moyenne sur 64 jours de pluies par an pour la période 1935-1999 (ORSTOM/DMH/CNRE, 1995 et Météorologie Nationale) (tableau 1).

Le cycle pluviométrique est caractérisé par une saison pluvieuse (novembre à mars) qui reçoit près de 90 % des précipitations et une longue saison sèche (avril-octobre) pendant laquelle les précipitations mensuelles sont inférieures à 50 mm. Le déficit hydrique climatique annuel atteint 476 mm à Sakaraha (CORNET, 1974). Dans la figure 2 sont rassemblées les variations mensuelles des précipitations des trois années d'expérimentation et de la moyenne interannuelle sur la série 1935-1999.

Il apparaît tout d'abord que les précipitations des trois années d'expérimentation sont largement excédentaires par rapport à la moyenne de la série 1935-1999 (en moyenne plus de 86%). Le mois le plus pluvieux est le mois de janvier sauf pour l'année 1998 où c'est le mois de février.

L'année à saison pluvieuse la plus précoce est l'année 1998. Dès le mois de septembre, les précipitations sont supérieures à 50 mm mais restent moyennes à faibles jusqu'au mois de janvier. Les précipitations de décembre sont de deux à quatre fois moins élevées que celles obtenues les autres années pour le même mois.

L'année qui présente la saison pluvieuse la plus tardive est l'année 1999 puisqu'il tombe encore 170 mm au mois de mars contre moins de 14 à 70 mm pour les autres années. C'est de plus l'année pour laquelle la répartition est la plus semblable à l'année moyenne (répartition normale) avec cependant des précipitations mensuelles supérieures.

Les précipitations de l'année 2000 sont similaires à celles de 1999 avec cependant un déficit en décembre.

L'année 1999 est donc la plus favorable du point de vue répartition et quantité de pluies.

La température moyenne du mois le plus froid (juillet) est de  $18^{\circ}C$  et celle du mois le plus chaud (janvier) est de  $26,5^{\circ}C$ , tandis que la moyenne annuelle des températures moyennes est de  $23^{\circ}C$  (OLDEMAN, 1991).

L'ensemble de ces données caractérise un climat de type sub-aride (CORNET, 1974; FOFIFA/ANAE/CIRAD, 1997).

La région appartient au paysage des "dômes sableux", épandages de sables roux plus ou moins évolués et tronqués, dans le domaine de l'Isalo (SOURDAT, 1977). Les sols sont du type ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés (LEPRUN, 2000). Ils sont généralement à texture sablo-argileuse à limoneuse et à structure massive à débit polyédrique anguleux. Ils présentent un enracinement faible mais avec une forte activité biologique par la présence de nombreuses termites. La perméabilité de surface varie de  $0,15$  à  $0,24 \text{ mm.s}^{-1}$ . La teneur en carbone est en moyenne de  $10 \text{ t.ha}^{-1}$  et celles de l'azote et du phosphore sont respectivement de  $0,60 \text{ t.ha}^{-1}$  et de  $0,01 \text{ t.ha}^{-1}$  de 0-10 cm (RAKOTOARIMANANA, 2002).

### *Les conditions d'exploitation du site d'étude avant expérimentation*

Le secteur est soumis à un élevage extensif pratiqué par les «Bara», peuple de pasteurs constituant environ la moitié de la population locale.

La charge est évaluée à 2180 UBT entre juin et fin octobre et 1720 UBT entre novembre et fin mai, ce qui correspond respectivement à une capacité de charge de 4 ha.UBT<sup>-1</sup> et 3 ha.UBT<sup>-1</sup> (RANAIVOARIVELO, 2002). La pression sur le milieu est donc modérée. Toutefois, on doit reconnaître que ce bilan a été établi au cours de trois années exceptionnellement favorables (RANAIVOARIVELO, 2002).

L'ensemble du site est soumis annuellement à un feu tardif. Par contre, le feu précoce qui présente aucun intérêt pour les éleveurs et leurs troupeaux ne se produit que d'une manière aléatoire.

L'homogénéité de la zone d'étude a été testée sur trois critères (densité ligneuse, compacité et perméabilité du sol). Elle est homogène sur le plan de la répartition des ligneux. De plus le sol n'offre pas de discontinuité pour les critères de compacité et de perméabilité (RAKOTOARIMANANA, 2002).

C'est dans ces conditions qu'a été installé le dispositif expérimental.

### *Dispositif expérimental*

Le dispositif expérimental (fig. 3) a été mis en place en juillet 1997. Il consiste en une expérience organisée en blocs aléatoires complets avec parcelles divisées. Les facteurs étudiés et leurs modalités sont :

- le feu à trois modalités : non brûlé, feu précoce effectué en début de saison sèche (juillet) et feu tardif provoqué en fin de saison sèche (octobre);
- le pâturage à deux modalités : pâtré et non pâtré.

La zone d'expérimentation a été divisée en deux essais suivant les niveaux du facteur pâturage. Dans chaque essai, trois blocs sont installés et dans chaque bloc trois parcelles élémentaires de 30 m × 40 m chacune, auxquelles ont été affectés de façon aléatoire (randomisation complète) les trois niveaux du facteur feu. Le traitement feu précoce n'a pas été appliqué au moment de l'installation du dispositif. Il n'y a donc pas d'observation concernant ce traitement en 1998. La parcelle a cependant été soumise à un feu tardif pour respecter le régime de l'exploitation traditionnelle. L'essai non pâtré est clôturé pour une protection intégrale contre l'influence des animaux. L'essai pâtré ne fait l'objet d'aucune restriction particulière et subit approximativement la même charge que celle précédemment décrite.

Les observations ont été menées pendant trois années consécutives. Les relevés de végétation ont été effectués à la mi-avril pour les années 1998 et 2000 et à la mi-mars pour l'année 1999, périodes qui correspondent au maximum de végétation. Ces relevés ont été cependant complétés par des observations effectuées tout au long du cycle pour comptabiliser des espèces précoces ou tardives.

### *Paramètres*

Les paramètres étudiés se rapportent plus particulièrement à la richesse et à la diversité floristique de la végétation herbacée ainsi qu'à sa structure spécifique.

#### *Richesse floristique*

La richesse floristique (effectif des familles, des genres et des espèces) est évaluée sur trois répétitions de relevé d'une superficie de 1200 m<sup>2</sup>. Les déterminations floristiques ont été faites d'après la Flore de Madagascar (HUMBERT, 1935-1967), BOSSER (1969) pour les *Poaceae*, DU PUY & al. (2002) pour les *Leguminosae*. Les binômes, les noms d'auteurs et la famille d'appartenance sont rassemblés en annexe 1.

Les données ont été soumises à une analyse de variance (logiciel STAT-ITCF). Dans le cas où un effet est globalement significatif, l'interprétation du tableau s'achève par l'application du test de Newman-Keuls.

#### *Diversité floristique*

Les indices de diversité et de régularité sont évalués sur des relevés de 3600 m<sup>2</sup> (réunion des trois répétitions) et sont définis comme suit (FRONTIER & PICHODE-VIALE, 1993 ; BARBAULT, 1997) :

- la diversité maximale :  $H_{\max} = \log_2 S$ ;
- indice de diversité de Shannon et Weaver :  $H' = - \sum_i^n f_i \log_2 f_i$  avec  $0 < f_i < 1$  ;
- indice de régularité :  $R = H' / H_{\max}$ ,

où  $S$  est l'effectif total des espèces et  $f_i$  la contribution spécifique de l'espèce  $i$  ( $f_i = n_i / \sum n_i$ ,  $n_i$  étant la fréquence absolue de l'espèce  $i$ , évaluée par son recouvrement estimé).

#### *Structure spécifique*

Une liste exhaustive des espèces a été établie sur 3600 m<sup>2</sup> (réunion des trois répétitions), chacune des espèces étant caractérisée par sa contribution spécifique ( $f_i$ ).

Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) (DAGNÉLIE, 1977) a été appliquée à la matrice des traitements × espèces pour déterminer la structure des relations entre les différents traitements et les cortèges floristiques qui les caractérisent. Les observations correspondent aux traitements (sans feu, feu précoce, feu tardif) en condition pâturée et non pâturée, et les variables aux espèces recensées dans les traitements. Néanmoins, au cours de la première année d'observation (1998), l'AFC a été faite sur une matrice de présence/absence de 50 espèces issues des quatre traitements, car il n'y a pas eu de traitement «feu précoce» en 1998. Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel ADE-4 (Analyse des Données Ecologiques : méthodes Exploratoires et Euclidiennes en sciences de l'Environnement, Unité Biométrie de l'Université de Lyon) (cf. THIOULOUSE & al., 1997).

## Résultats

#### *Richesse floristique*

La flore de la strate herbacée de cette savane compte 31 familles dont les principales sont les *Poaceae* et les *Leguminosae*. La famille des *Poaceae* est la mieux représentée avec 23 % à 45 % des espèces suivant les traitements. Les *Leguminosae* représentent 13 % à 23 % des taxons (RAKO-TOARIMANANA, 2002).

Le tableau 2 donne l'évolution de la richesse floristique au cours des trois années d'expérimentation.

Lors de la première année d'observation, le feu diminue le nombre de genres et d'espèces, mais ne modifie pas l'effectif des familles. Au cours de la seconde année, le feu diminue le nombre de genres, mais ne modifie ni l'effectif des familles et des espèces. Par contre, lors de la troisième année d'expérimentation, le feu n'a aucun effet significatif sur la richesse floristique.

Lors de la première année d'observation, le pâturage n'a pas d'effet significatif sur la richesse floristique. Il en est de même lors de la seconde année d'observation, à l'exception de l'effectif des genres significativement plus élevé dans les parcelles pâturées. Au cours de la troisième année, les effectifs des familles, des genres et des espèces sont plus élevés dans les conditions pâturées.

Le tableau 2 montre que l'effet feu, qui avait tendance à diminuer la richesse spécifique (1998) et générique (1998/1999), s'estompe au cours du temps. Par contre, l'effet pâturage se confirme de plus en plus en augmentant la richesse floristique.

#### *Diversité floristique*

Le tableau 3 illustre les tendances d'évolution au cours du temps des indices de diversité et de régularité pour chaque traitement.

A noter tout d'abord qu'il n'a pas été possible d'effectuer ici une analyse de variance, car les relevés relatifs aux trois répétitions par traitement ont été réunis pour accroître la surface du relevé et l'amener à 3600 m<sup>2</sup> pour chaque traitement.

Lors de la première année d'observation et en conditions non pâturées, l'indice de diversité de Shannon & Weaver augmente avec le feu. Il en est de même de l'indice de régularité en raison de la relative stabilité de la diversité maximale. L'effet feu ne se manifeste pas en conditions pâturées.

En 1999, en conditions non pâturées, l'indice de Shannon & Weaver augmente avec l'effet feu, surtout avec le feu précoce. En conditions pâturées, l'indice de Shannon & Weaver augmente aussi sous l'action du feu notamment du feu tardif. Les valeurs de l'indice de régularité sont plus élevées dans les parcelles soumises au feu quelles que soient les conditions de pâturage.

La troisième année d'expérimentation, et quelles que soient les conditions de protection, la valeur de l'indice de diversité de Shannon & Weaver augmente avec l'effet du feu précoce. Il en est de même de l'indice de régularité. Par contre, cet indice de diversité de Shannon & Weaver diminue sous l'effet d'un feu tardif. Il en est de même de l'indice de régularité en raison de la relative stabilité de la diversité maximale.

Le pâturage, au cours de la première année d'observation, entraîne une diminution de la diversité maximale et de l'indice de diversité de Shannon & Weaver et de l'indice de régularité. Au cours de la seconde année, les indices de diversité de Shannon & Weaver et de régularité augmentent pour les parcelles non brûlées et en cas de feu tardif. Par contre, dans le cas du feu précoce, ces indices diminuent.

En 2000, quels que soient les traitements feux, le pâturage entraîne une augmentation des trois indices.

L'examen du tableau 3 montre que l'évolution des valeurs des indices de Shannon & Weaver et de régularité, varient au cours du temps :

- en conditions non pâturées, dans le cas du témoin, les indices de Shannon & Weaver et de régularité varient dans le même sens; ils sont relativement constants excepté la seconde année où les valeurs sont légèrement plus faibles. Dans le cas de feu précoce et de feu tardif, les indices de diversité de Shannon & Weaver et de régularité diminuent au cours de temps;
- en conditions pâturées, les indices de diversité et de régularité augmentent en général avec le temps, exception faite du traitement feu tardif pour lequel la valeur la plus élevée est obtenue au cours de la seconde année d'observation.

#### *Structure spécifique*

La figure 4 représente le premier plan factoriel (axe I et II) issu de l'AFC réalisée et qui explique plus de 75% de la variabilité totale.

L'agencement des relevés dans le premier plan factoriel montre une très nette séparation suivant l'axe I :

- des traitements non pâturés (en abscisses négatives) caractérisés par *Tarenna grevei* (73), *Carphalea kironondron* (16), *Mollugo nudicaulis* (50), *Tephrosia linearis* (75), *Indigofera diversifolia* (39), *Cynodon dactylon* (26), *Mollugo decandra* (49), *Panicum maximum* (55), *Crotalaria fiherenensis* (24), *Boerhavia diffusa* (11), *Bidens pilosa* (10), *Crotalaria cyanoxantha* (23), *Dioscorea soso* (29);

- des traitements pâturés (en abscisses positives) caractérisés par *Tephrosia lyallii* (76), *Alysicarpus ovalifolius* (5), *Helichrysum leucosphaerum* (35), *Mariscus kraussi* (48), *Eragrostis tenella* (32), *Indigofera demissa* (38). Cette répartition conduit à interpréter cet axe comme représentant le facteur pâturage.

Le long de l'axe II sont associés en ordonnées positives les espèces caractéristiques :

- du traitement non pâturé et non brûlé (*Panicum maximum* (55), *Boerhavia diffusa* (11), *Crotalaria fiherenensis* (24), *Bidens pilosa* (10), *Crotalaria cyanoxantha* (23), *Dioscorea soso* (29));
- et en ordonnées négatives celles du traitement non pâturé-feu tardif (*Tarennia grevei* (73), *Carphelea kironondron* (16), *Mollugo nudicaulis* (50), *Tephrosia linearis* (75)).

La difficulté de séparer dans le premier plan factoriel les espèces caractéristiques de chaque traitement feu des stations pâturées implique une deuxième représentation en retenant le plan factoriel constitué par les axes I et III (fig. 5). Ces deux axes expliquent plus de 67% de la variabilité totale.

La représentation des relevés dans le plan factoriel des axes I et III montre une très nette séparation suivant l'axe III du traitement non brûlé pâturé (en ordonnée négative) caractérisé par *Mariscus kraussi* (48), *Alysicarpus ovalifolius* (5), *Helichrysum leucosphaerum* (35) et du traitement feu tardif pâturé (en ordonnée positive) essentiellement caractérisé par *Tephrosia lyallii* (76), *Eragrostis tenella* (32), *Indigofera demissa* (38). Cette répartition conduit à interpréter cet axe comme représentant le facteur feu. On confirme par ailleurs les caractéristiques floristiques des traitements non brûlé / non pâturé et feu tardif non pâturé.

Les résultats de l'analyse globale, portant sur les données de la deuxième année d'observation (1999) sur le critère présence / absence de 87 espèces des 6 traitements sont reportés sur la figure 6. Les deux premiers axes absorbent 62% de la variabilité totale et l'on se limitera à l'interprétation de ce plan.

L'axe I oppose les relevés effectués en conditions non pâturées (abscisses négatives : nN, pN, tN) aux relevés réalisés en conditions pâturées (abscisses positives : np, pp, tp). Cet axe représente donc l'effet pâturage. L'axe II discrimine les relevés des parcelles non brûlées (ordonnées négatives) aux relevés soumis au feu (ordonnées positives).

La superposition de certaines espèces avec les relevés permettent d'identifier globalement des espèces caractéristiques des relevés :

- en conditions non pâturées comme *Hyparrhenia rufa* (37), *Achyranthes aspera* (3), *Pogonarthria squarrosa* (62), *Panicum subalbidum* (60), *Bidens pilosa* (10), *Cyperus tuberosus* (27), *Sida rhombifolia* (69), *Panicum maximum* (55), *Panicum neohumberti* (56), *Rhynchoselytrum repens* (66), *Brachiaria* sp. (14), *Panicum* sp. (59), *Carphelea kironondron* (16), *Mollugo decandra* (49);
- et en végétation pâturée comme *Aeschynomene patula* (4), *Paederia axilliflora* (53), *Tribulus terrestris* (78), *Aristida adsensionis* (7), *Mollugo nudicaulis* (50), *Canavalia madagascariensis* (15), *Helichrysum leucosphaerum* (35), *Crotalaria retusa* (25), *Tagetes erecta* (72), *Alysicarpus ovalifolius* (5), *Eragrostis tenella* (32).

Les relevés relatifs aux parcelles non brûlées et bien individualisés en ordonnées négatives permettent d'identifier aussi :

- les espèces *Cyperus tuberosus* (27), *Brachiaria* sp. (14), *Sida rhombifolia* (69), *Panicum maximum* (55), *Panicum neohumberti* (56), *Mollugo decandra* (49), *Panicum* sp. (59), *Rhynchoselytrum repens* (66) caractéristiques des parcelles non brûlées non pâturées (nN);
- les espèces *Paederia axilliflora* (53), *Tribulus terrestris* (78), *Aristida adsensionis* (7), *Aeschynomene patula* (4), *Canavalia madagascariensis* (15), *Crotalaria retusa* (25), *Helichrysum leucosphaerum* (35), *Tagetes erecta* (72), *Alysicarpus ovalifolius* (5), *Eragrostis tenella* (32) caractéristiques du traitement non brûlé pâturé (np).

Par contre les relevés relatifs aux parcelles soumises aux feux sont trop concentrés dans la partie centrale pour permettre une identification des espèces. Une analyse partielle a donc été effectuée sur la matrice 65 espèces  $\times$  4 traitements. Les résultats sont consignés sur la figure 7. On se limitera aussi au plan défini par les axes I et II qui absorbe 75 % de la variabilité.

Les espèces suivantes caractérisent les différents traitements :

- pour le feu précoce pâtré (pP) : *Panicum parvifolium* (58), *Panicum mahafalense* (55), *Trichodesma zeylanicum* (79), *Asparagus greveanus* (9), *Lepturus humbertianus* (46), *Ipomoea bolusiana* (42), *Citrullus lanatus* (17);
- pour le feu tardif non pâtré (tN) : *Abutilon pseudocleistogonum* (1), *Hyparrhenia rufa* (37), *Polygonarthria squarrosa* (62), *Gonocrypta grevei* (34), *Panicum novemnerve* (57), *Carphalea kirondron* (16);
- pour le feu précoce non pâtré (pN) : *Achyranthes aspera* (3), *Panicum subalbidum* (60), *Bidens pilosa* (10), *Commelina lyalli* (19);
- pour le feu tardif pâtré (tP) : *Brachiaria pseudodichotoma* (13), *Perotis latifolia* (61), *Lactuca indica* (43).

Il apparaît donc que dès la deuxième année d'observation, il est possible de reconnaître les groupes floristiques caractéristiques des différents traitements.

Les résultats de l'analyse globale portant sur la matrice (70 espèces  $\times$  6 traitements) de la troisième année d'expérimentation (2000) sont représentés sur la figure 8. Le premier plan absorbe 60 % de la variabilité.

L'axe I oppose les traitements en conditions non pâturées nN et tN (non brûlé et feu tardif) des traitements en conditions pâturées auquel s'ajoute le pN (feu précoce non pâtré). Les traitements relatifs aux parcelles non brûlées, bien individualisés en ordonnées négatives, permettent de mettre en exergue les espèces caractéristiques du traitement non brûlé non pâtré (nN) (*Crotalaria fiherenensis* (24), *Mollugo decandra* (49), *Tephrosia boiviniana* (74), *Boerhavia diffusa* (11), *Panicum maximum* (55)) et les espèces caractéristiques du traitement non brûlé pâtré (nP) (*Panicum mahafalense* (54), *Dioscorea soso* (29), *Tagetes erecta* (72), *Corchorus trilocularis* (22), *Indigofera vohemarensis* (41), *Crotalaria retusa* (25)).

Une analyse partielle a été effectuée sur la matrice 59 espèces  $\times$  4 traitements pour permettre une identification des espèces des parcelles soumises au feu. Les résultats sont représentés sur la figure 9. On se limitera aussi au plan défini par les axes I et II qui absorbent 80 % de la variabilité.

L'agencement des points représentatifs des traitements par les axes I et II montre une très nette séparation des traitements en conditions pâturées (en abscisses positives) et des traitements en conditions non pâturées (en abscisses négatives). L'axe I discrimine donc l'effet du pâturage. L'axe I oppose les traitements soumis au feu précoce (en ordonnées négatives) et les traitements soumis au feu tardif (en ordonnées positives). Cet axe représente donc l'effet feu.

Les différents traitements sont caractérisés par les espèces suivantes :

- pour le feu précoce en conditions non pâturées (pN) : *Bidens pilosa* (10), *Achyranthes aspera* (3);
- pour le feu précoce en conditions pâturées (pP) : *Acanthospermum hispidum* (2), *Crotalaria retusa* (25), *Corchorus tridens* (21), *Indigofera vohemariensis* (41), *Asparagus greveanus* (9), *Leonotis nepetifolia* (45);
- pour le feu tardif en conditions non pâturées (tN) : *Eragrostis aspera* (30), *Hyparrhenia rufa* (37);
- pour le feu tardif en conditions pâturées (tP) : *Cynodon dactylon* (26), *Laggera alata* (44), *Aristolochia acuminata* (8), *Oldenlandia virgata* (51), *Tephrosia linearis* (75).

Pour mettre en évidence les tendances évolutives de la structure spécifique des trois années d'expérimentation, nous avons utilisé la matrice 91 espèces  $\times$  12 traitements correspondant aux trois années d'expérimentation. En effet les traitements relatifs au feu précoce n'ont pas été intégrés dans l'analyse en raison de l'absence de relevés en 1998. Ces espèces sont issues de la liste exhaustive de chaque parcelle. Pour faciliter la lecture et l'interprétation des plans factoriels, les relevés sont suivis par le rang (1 à 3) de l'année d'observation. On se limitera à l'interprétation des résultats (fig. 10) relatifs au plan défini par les axes I-III qui吸orbe 35% de l'inertie totale, car les points correspondant aux traitements sont mieux représentés (valeurs des contributions relatives plus élevées) que sur le plan défini par les axes I-II (qui吸orbe pourtant 38% de la variabilité totale).

Il apparaît sur la figure 10 que les traitements correspondant à une même année se regroupent plus que les traitements eux-mêmes. Cela signifie que la variabilité interannuelle est forte et masque les effets des traitements. Chaque année est caractérisée par un groupe d'espèces.

La première année est largement dominée par les hémicryptophytes et les thérophytes : *Brachiaria deflexa* (12), *Panicum maximum* (55), *Bidens pilosa* (10), *Indigofera demissa* (38), *Tephrosia lyallii* (76).

La deuxième année est caractérisée par la dominance des thérophytes : *Aeschynomene patula* (4), *Canavalia madagascariensis* (15), *Tagetes erecta* (72), *Trichodesma zeylanicum* (79), *Gonocrypta grevei* (34), *Lactuca indica* (43), *Mollugo nudicaulis* (50), *Sida acuta* (68), *Boerhaavia diffusa* (11), *Indigofera vohemariensis* (41), *Abutilon pseudocleistogamum* (1), *Commelina ramulosa* (20), *Paederia axilliflora* (53), *Tribulus terrestris* (78).

La troisième année est caractérisée par : *Ocimum canum* (52), *Eragrostis cilianensis* (31), *Brachiaria pseudodichotoma* (13), *Citrullus lanatus* (17), *Commelina lyallii* (19), *Alysicarpus ovalifolius* (5), *Sida rhombifolia* (69), *Rhynchosperma repens* (66), *Hyparrhenia rufa* (37).

## Discussion

Au cours des trois années d'expérimentation, nos observations sur les changements induits par le feu et le pâturage ont porté à la fois sur la richesse et la diversité floristiques et sur la structure spécifique.

### *Richesse floristique*

Nos résultats ont montré que le feu diminue la richesse spécifique et générique, mais ne modifie pas l'effectif des familles. Ils sont donc comparables à ceux de DEMBÉLÉ (1996) obtenus dans une savane soudanienne au nord du Mali, mais s'opposent à ceux de BODIAN & al. (2000) en Haute Casamance (Sénégal) et à ceux de DONFACK (1998) dans le nord Cameroun.

Nous avons par ailleurs montré que l'effet pâturage, qui augmente la richesse floristique, se confirme au cours du temps. Ce résultat, bien qu'il ne concerne statistiquement que la richesse générique et à un moindre degré les familles et les espèces, est assez étonnant car il est attendu que le nombre d'espèces devrait croître en conditions non pâturées, en raison de la diversification des niches écologiques. Il s'oppose d'ailleurs à ceux généralement obtenus en milieu sahélien (qui montrent que le pâturage intense et continu diminue la richesse floristique, tout en favorisant les *Poaceae*, les annuelles à cycle court et les xérophytes (GROUZIS, 1988; HIERNAUX, 1998). Il peut cependant être interprété comme étant du à l'introduction d'espèces zoochorées dans le milieu, comme l'a démontré THOMAS & al. (1999) dans une savane des montagnes rocheuses des USA. Le niveau nutritionnel du milieu peut aussi être pris en compte dans l'interprétation de cette variation (PROULX & MAZUMDER, 1998). La richesse floristique pourrait augmenter même en cas de forte intensité de pâturage si le système est suffisamment riche en éléments nutritifs après pâturage pour permettre le développement de certaines espèces.

### Diversité floristique

Quelles que soient les conditions de pâturage, il a été possible de montrer que le facteur feu augmente la diversité floristique.

Les valeurs plus élevées des indices de diversité dans les parcelles soumises au feu signifient une grande égalité des contributions individuelles des espèces, c'est-à-dire une aptitude égale des espèces à résister au feu. Par contre la protection contre le feu favorise la dominance d'un nombre restreint d'espèces (*Sporobolus festivus*, *Anthospermum thymoïdes*, *Tridax procumbens*, *Schyzachyrium brevifolium*) ce qui traduirait une forte organisation du système. Celle-ci aboutirait à terme à une homogénéisation de la physionomie de la végétation avec une prédominance de quelques taxons à haute compétitivité et à faible résistance au feu.

Des résultats comparables ont été rapportés par BODIAN & al. (2000), DEMBÉLÉ (1996) et LE FLOC'H & al. (2000). Ceux obtenus par DONFACK (1998) ne sont pas généralisables. Dans certaines unités de végétation, cet auteur rapporte qu'il n'y a pas d'effet perceptible du feu sur la diversité floristique, alors que dans les unités de végétation établies sur vertisols, il trouve que les valeurs de l'indice de diversité de Shannon & Weaver des stations protégées sont supérieures à celles des stations soumises annuellement au feu. Dans ce cas, le feu semble donc diminuer la contribution individuelle des espèces sensibles au feu. L'auteur conclut cependant que ces six années d'observation, qui correspondent à des périodes de grands remaniements floristiques, ne permettent pas de prédire l'évolution de la diversité floristique en conditions de pâturage ou de feu contrôlé.

A l'exception des parcelles soumises à un feu précoce, les valeurs des indices de diversité augmentent avec le pâturage. Tout comme le feu, le pâturage provoque dans nos conditions d'expérimentation une égalité des contributions individuelles des espèces. Cette assertion s'oppose à celle de HIERNAUX (1998) au Sahel qui rapporte que le pâturage intensif entraîne la dominance d'un petit nombre d'espèces ( $H'$  faible). L'intensité du pâturage peut être prise en compte pour l'interprétation de ces contradictions. Ainsi BAENT & al. (1998) ont montré que le pâturage augmente la diversité spécifique des prairies quand l'intensité est moyenne (cas de Beba-Manamboay), et la diminue quand l'intensité du pâturage est forte (cas du Sahel).

### Structure spécifique

Dès la seconde année, il a été possible d'identifier des groupes d'espèces caractéristiques des stations pâturees et non pâturees, confirmant ainsi les tendances mises en évidence au cours de la première année d'observation. Ces résultats sont confirmés au cours de la troisième année.

Ainsi, *Panicum maximum*, *Crotalaria fiherenensis*, *Hyparrhenia rufa*, *Boerhavia diffusa*, *Bidens pilosa*, *Carphalea kirondrone* et *Mollugo decandra* sont des espèces plutôt affiliées aux stations non pâturees. *Eragrostis tenella*, *Crotalaria retusa*, *Tagetes erecta* sont des espèces plutôt affiliées aux parcelles pâturees.

De plus, il a été possible de reconnaître des groupes floristiques correspondant aux différents traitements feux. Nous avons par ailleurs relaté que la composition floristique des traitements sans feu et des traitements feux se distinguent chaque année. Ces résultats confirment ceux de RAKOTOARIMANANA (2002) qui, utilisant l'indice de similarité floristique, montrent que le feu favorise la proximité floristique entre les différents traitements feux par sélection certainement d'espèces pyrophiles. C'est ainsi que *Panicum maximum*, *Crotalaria fiherenensis*, *Tagetes erecta*, *Helichrysum leucosphaerum* et *Boerhavia diffusa* caractérisent le traitement non brûlé. *Achyranthes aspera* et *Bidens pilosa* sont des espèces affiliées au feu précoce tandis que *Hyparrhenia rufa*, *Spermacoce stricta* et *Carphalea kirondrone* correspondent au feu tardif. Des résultats comparables ont été observés par DEMBÉLÉ (1996) sur plaine limono-sableuse dans les jeunes jachères en zone soudanienne-nord du Mali. Il rapporte que c'est le feu tardif qui, sur le plan floristique, s'individualise le plus par rapport au traitement non brûlé.

La pérennité de ces groupes floristiques au cours du temps n'a pu être confirmée. L'analyse de la composition floristique des trois années regroupées a, au contraire, mis en évidence une variabilité interannuelle forte masquant les effets traitements. Cette variabilité interannuelle dominante est tout d'abord imputable à la variabilité interannuelle des précipitations qui est relativement élevée dans la zone où le coefficient de variation des précipitations annuelles atteint 30%. Cette caractéristique est aussi liée à la composition de la végétation herbacée qui est dominée par les espèces annuelles (37 à 55%). Or celles-ci sont réputées pour être fortement dépendantes des conditions pluviométriques erratiques du début de saison des pluies (GROZIS, 1992; GUTTERMAN, 1993). Enfin, nous nous situons dans les premiers stades de l'évolution de la végétation où il y a de fort remaniements floristiques (DONFACK, 1998). La stabilité du système demande certainement que les facteurs d'évolution soient appliqués pendant un nombre d'années plus élevé.

#### *Portée des résultats versus conditions d'expérimentation exceptionnelles*

Rappelons que ce travail a été conduit au cours de saisons exceptionnellement pluvieuses (précipitations excédentaires de 86% par rapport à la moyenne de la série 1935-1999). Ces conditions hydriques particulières ont favorisé une forte productivité des pâturages qui explique la pression pastorale modérée rapportée par RANAIVOARIVELO (2002). Des réserves doivent donc être émises quant à la généralisation des résultats obtenus. En effet, il n'est pas certain que les réponses floristiques observées auraient été les mêmes dans le cas d'années moyennes à déficitaires.

Malgré la charge modérée, des réponses au facteur pâturage ont été enregistrées. On peut de même se demander si les réponses auraient été les mêmes dans des conditions de bilan fourrager déficitaire.

### **Conclusion**

Cette étude qui a porté sur les effets du feu et du pâturage sur la strate herbacée d'une savane à *Heteropogon contortus* dans la région de Sakaraha (sud-ouest de Madagascar) a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- le feu, qu'il soit précoce ou tardif, diminue la richesse floristique mais augmente la diversité;
- le pâturage augmente la richesse et la diversité;
- la protection de la végétation contre le feu et le pâturage entraîne une régression de la diversité.

La richesse et la diversité floristiques des savanes à *Heteropogon contortus* sont donc influencées par les différents pratiques de feu et de pâturage.

Un suivi à moyen terme, voire à long terme, est nécessaire pour mieux appréhender les effets du feu et du pâturage sur la dynamique des savanes, compte-tenu d'une part des profonds remaniements floristiques des premiers stades d'évolution, et d'autre part de l'effet de la forte variabilité interannuelle des précipitations de ces zones. Ceci d'autant plus que les résultats ont été obtenus au cours d'années exceptionnellement pluvieuses ayant engendré une charge modérée.

Il est évident qu'il est difficile, sinon impossible, de supprimer les feux de brousse à cause de la multiplicité et de la diversité de leurs causes et de leurs origines, mais il reste cependant possible d'en aménager la pratique afin de réduire les effets néfastes pour une meilleure gestion des ressources naturelles.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRIAMAMPIANINA, J. (1998). Introduction générale. In : BERTRAND, A. & M. SOURDAT (ed.), *Feux et déforestation à Madagascar; revues bibliographiques*: 9-10. CIRAD-ORSTOM- CITE.
- BARCK, S., J. BRAND, P. MOOR, J.-L. PFUND, H. RABEVOHITRA, N. RAKOTONDRAHALY, W. L. RAKOTOVAO (1997). *Un système agro-écologique dominé par le Tavy: la région de Beforona, falaise est de Madagascar*. Projet Terre-Tany / BEMA.
- BALENT, G., D. ALARD, V. BLANFORT & A. GIBON (1998). Activités de pâturage, paysages et biodiversité. *Ann. Zootechn.* 47: 419-429.
- BARBAULT, R. (1997). *Ecologie générale. Structure et fonctionnement de la biosphère*. Masson.
- BODIAN, A., M. DIATTA. & I. DIEDHIOU (2000). Effets des feux sur l'évolution de la végétation en zone sub-humide du Sénégal. In : FLORET, C. & R. PONTANIER (ed.), *La jachère en Afrique Tropicale: rôles, aménagements, alternatives*. Vol. I. Actes du Séminaire International, Dakar (Sénégal), 13-16 avril 1999. John Libbey.
- BOSSER, J. (1969). Graminées des pâturages et des cultures à Madagascar. *Mém. O. R. S. T. O. M.* 35.
- BREMAN, H. & A. M. CISSE (1977). Dynamic of sahelian pastures in relation to drought and grazing. *Ecologia* 28: 301-315.
- COOK, L. (1939). A contribution to our information on grass burning. *S. African J. Sci.* 36: 270-282.
- CORNET, A. (1974). *Essai cartographique bioclimatique à Madagascar; carte à 1/2'000'000 et notice explicative*. ORSTOM, Paris.
- DAGNELIE, P. (1977). *Analyse statistique à plusieurs variables*. Presses Agronomiques de Gembloux.
- DAUGET, J. M. & J.-C. MENAUT (1992). Evolution sur 20 ans d'une parcelle de savane boisée non protégée du feu dans la Réserve de Lamto (Côte d'Ivoire). *Candollea* 47: 621-630.
- DEMBÉLÉ, F. (1996). *Influence du feu et du pâturage sur la végétation et la biodiversité dans les jachères en zone soudanienne-nord. Cas des jeunes jachères du terroir de Missira (Cercle de Kolokani), Mali*. Thèse de doctorat. CEFE/CNRS, Montpellier.
- DHILLION, S. S. & R. C. ANDERSON (1994). Production on burned and unburned sand prairies during drought and non-drought years. *Vegetatio* 115: 51-59.
- DOMMERGUES, Y. (1952). Influence de défrichement de forêt suivi d'incendie sur l'activité biologique du sol. *Mém. Inst. Sci. Madagascar, Sér. D, Sci. Terre* 4: 273-296.
- DONFACK, P. (1998). *Végétation des jachères du nord Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production*. Thèse de Doctorat. Université de Yaoundé.
- DU PUY, D. J., J.-N. LABAT, R. RABEVOHITRA, J.-F. VILLIERS, J. BOSSER & J. MOAT (2002). *The Leguminosae of Madagascar*. Royal Botanical Garden Kew.
- FOFIFA/ANAE/CIRAD (1997). *Bilan et évaluation des travaux et réalisation en matière de conservation des sols à Madagascar. Atlas des cartes*. Projet de conservation des sols.
- FRONTIER, S. & D. PICHOD-VIALE (1993). *Ecosystèmes: structure, fonctionnement, évolution*. Masson.
- FROST, P. G. H. & F. ROBERTSON (1987). The ecological effects of fire in savannas. In : WALKER B. H. (ed.), *Determinants of tropical savannas*: 93-140. IRL Press Ltd
- GANDAR, M. V. (1982). Description of a fire and its ecological effects in the Nylserley Nature Reserve: a synthesis report. *S. African Natl. Sci. Programmes Rep.* 63: 1-39.
- GRANIER, P. & Y. CABANIS (1976). Les feux courants et l'élevage en savane soudanienne. *Rev. Élev. Méd. Vétérin. Pays Trop.* 29: 267-275.
- GROUZIS, M. (1988). *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina faso)*. ORSTOM, Paris.
- GROUZIS, M. (1992). Germination et établissement des plantes annuelles sahéliennes. In : LE FLOC'H, E., M. GROUZIS, A. CORNET & J.-C. BILLE (ed.), *L'aridité: une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*: 267-282. ORSTOM, Paris.
- GUEVARA, J. C., C. R. STASI, C. F. WUILLOUD & O. R. ESTEVEZ (1999). Effects of fire on rangeland vegetation in south-western Mendoza plains (Argentina): composition, frequency, biomass, productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments*, 41: 27-35.
- GUTTERMAN, Y. (1993). Strategies of dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *Bot. Rev. (Lancaster)* 60: 373-425.
- HIERNAUX, P. (1998). Effects of grazing on plant species composition and spatial distribution in rangelands of the Sahel. *Pl. Ecol.* 138: 191-202.
- HUMBERT, H. (1935-1967). *Flore de Madagascar et des Comores*. Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- KOECHLIN, J., J.-L. GUILLAUMET & P. MORAT (1974). *Flore et végétation de Madagascar*. Cramer.

- KOSTUCH, R. & I. T. FRIAS HERNANDEZ (1992). Influence of fire on the growth of vegetation and the botanical composition of rangeland in Mexico. In: GASTON, A., M. KERNICK & H. N. LE HOUÉROU (ed.), *Proceedings of the 4th International Rangeland Congress*: 132-133.
- LE FLOC'H E., F. DEMBELE & H. YOSSI (2000). Succession et diversité floristique des jeunes jachères. Influence du feu et du pâturage (zone soudanienne-nord du Mali). In: FLORET, C. & R. PONTANIER (ed.), *La jachère en Afrique tropicale : Rôles, aménagement, alternatives* 1: 415-421. John Libbey Eurotext.
- LE HOUEROU, H. N. (1995). *Informe de las Visitas a la Argentina: Octubre-Noviembre 1992 y Setiembre-Noviembre 1995*. IADIZA, Mendoza.
- LEPRUN, J.-C. (2000). *Compte-rendu de mission à Madagascar*. Projet GEREM, 22/09-10/10/2000. 8 p.+ annexe.
- MENAUT, J.-C. (1993). Effets des feux de savanes sur le stockage et l'émission du carbone et des éléments-trace. *Sécheresse* 4: 251-263.
- MITJA, D. (1992). *Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotow-Touba)*. ORSTOM, Paris.
- MORAT, P. (1973). *Les savanes de sud-ouest de Madagascar*. Mém. O. R. S. T. O. M. 68.
- MONNIER, Y. (1968). *Les effets des feux de brousse sur une savane préforestière de Côte-d'Ivoire*. Études Eburn. 9.
- MONNIER, Y. (1990). *La poussière et la cendre : paysage, dynamique des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'Ouest*. 2<sup>e</sup> éd. Ministère de la coopération et du développement, Paris.
- OLDEMAN, L. R. (1991). *An agroclimatic characterization of Madagascar*. Technical Paper 21, ISRIC-FOFIFA-IRRI. Annexe I. Agroclimatic data bank of Madagascar, ISRIC, Wageningen. 64 p.
- ORSTOM / DMH / CNRE (1995). *Banque de données pluviométriques de Madagascar*. Antananarivo.
- PANDEY, A. N. (1974). Short term effect of burning on the above-ground production of *Dicanthium annulatum* grassland stands at Varanasi. *Trop. Ecol.* 15: 152-153.
- PFUND, J.-L., J. BRAND, L. RAVOAVY & V. RAZAFINTSALAMA (1997). Culture sur brûlis: bilan de nutriments et successions écologiques. *Cah. Terre-Tany* 6: 68-88.
- PROULX, M., A. MAZUMDER (1998). Reversal of grazing impact on plant species richness in nutrient-poor vs. nutrient-rich ecosystems. *Ecology* 79: 2581-2592.
- RAKOTOARIMANANA, V. (2002). *Feu, pâturage et dynamique des savanes à *Heteropogon contortus* (L.) P. Beauvo. ex Roem. & Shult. dans le sud-ouest de Madagascar (Région de Sakaraha)*. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Université d'Antananarivo.
- RANAIVOARIVELO, N. (2002). *Elevage bovin et exploitation d'un espace agropastoral dans le sud-ouest de Madagascar (région de Sakaraha)*. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- RAVAOARINIVO, N. H. (1998). *Impacts des feux de végétation sur les faciès forestiers dans la région de Beparasay*. Mémoire de D.E.A. Université de Tananarive.
- RAZANAKA, S., M. GROUZIS, P. MILLEVILLE, B. MOIZO & C. AUBRY (2001). *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*. Editions IRD/CNRE, Antananarivo.
- SAN JOSÉ, J. J. & E. MEDINA (1975). Effect of fire on organic matter production and water balance in a tropical savanna. In: GOLLEY, F. B. & E. MEDINA (ed.), *Tropical Ecological Systems*: 251-264. Springer – Verlag.
- SAVAGE, M. J. (1980). The effect of fire on the grassland microclimate. *Herbage Abstr.* 50: 589-603.
- SOURDAT, M. (1977). *Le sud-ouest de Madagascar. Morphogenèse et pédogenèse*. ORSTOM, Paris.
- THOMAS, J., STOHLGREN, D. L. SCHELL & B. VANDEN HEUVEL (1999). How grazing and soil quality affect native and exotic plant diversity in rocky mountain grasslands. *Ecol. Applic.* 9: 45-64.
- THIOULOUSE, J., D. CHESSEL, S. DOLÉDEC & J. M. OLIVIER (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statist. & Computing* 7: 75-83.
- UNESCO (1981). *Écosystèmes pâturés tropicaux. Un rapport sur l'état des connaissances préparé par l'UNESCO, le PNUE et la FAO*. UNESCO.
- WEST, O. (1965). Fire in vegetation and its use in pasture management with special reference to tropical and subtropical Africa. *Commw. Bur. Pasture Field Crops Rep.* 1: 1-53.

Reçu le 15 février 2005  
Accepté le 5 avril 2006

**Annexe 1.** – Liste des espèces citées et leurs numéros correspondants cités dans le texte.

Genres et espèces	Famille	N°
<i>Abutilon pseudocleistogamum</i> Hochr.	<i>Malvaceae</i>	1
<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	<i>Asteraceae</i>	2
<i>Achyranthes aspera</i> L.	<i>Amaranthaceae</i>	3
<i>Aeschynomene patula</i> Poir.	<i>Leguminosae</i>	4
<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Schumach.) J. Léonard	<i>Leguminosa</i>	5
<i>Anthospermum thymoides</i> Baker	<i>Rubiaceae</i>	6
<i>Aristida adsensionis</i> L.	<i>Poaceae</i>	7
<i>Aristolochia acuminata</i> Lam.	<i>Aristolochiaceae</i>	8
<i>Asparagus greveanus</i> H. Perrier	<i>Liliaceae</i>	9
<i>Bidens pilosa</i> L.	<i>Asteraceae</i>	10
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	<i>Nyctaginaceae</i>	11
<i>Brachiaria deflexa</i> (K. Schum.) Robyns	<i>Poaceae</i>	12
<i>Brachiaria pseudodichotoma</i> Bosser	<i>Poaceae</i>	13
<i>Brachiaria</i> sp.	<i>Poaceae</i>	14
<i>Canavalia madagascariensis</i> J. D. Sauer	<i>Leguminosae</i>	15
<i>Carphelea kironondron</i> Baill.	<i>Rubiaceae</i>	16
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	<i>Cucurbitaceae</i>	17
<i>Commelina benghalensis</i> L.	<i>Commelinaceae</i>	18
<i>Commelina lyalli</i> C. B. Clarke	<i>Commelinaceae</i>	19
<i>Commelina ramulosa</i> (C. B. Clarke) H. Perrier	<i>Commelinaceae</i>	20
<i>Corchorus tridens</i> L.	<i>Tiliaceae</i>	21
<i>Corchorus trilocularis</i> L.	<i>Tiliaceae</i>	22
<i>Crotalaria cyanoxantha</i> R. Vig.	<i>Leguminosae</i>	23
<i>Crotalaria fiherenensis</i> R. Vig.	<i>Leguminosae</i>	24
<i>Crotalaria retusa</i> L.	<i>Leguminosae</i>	25
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	<i>Poaceae</i>	26
<i>Cyperus tuberosus</i> Rottb.	<i>Cyperaceae</i>	27
<i>Digitaria biformis</i> Willd.	<i>Poaceae</i>	28
<i>Dioscorea soso</i> Jum. & H. Perrier	<i>Dioscoreaceae</i>	29
<i>Eragrostis aspera</i> Nees	<i>Poaceae</i>	30
<i>Eragrostis cilianensis</i> Janch.	<i>Poaceae</i>	31
<i>Eragrostis tenella</i> Roem. & Schult.	<i>Poaceae</i>	32
<i>Euphorbia thymifolia</i> L.	<i>Euphorbiaceae</i>	33
<i>Gonocrypta grevei</i> Baill.	<i>Asclepiadaceae</i>	34
<i>Helichrysum leucosphaerum</i> Baker	<i>Asteraceae</i>	35
<i>Heteropogon contortus</i> (L.) Roem. & Schult.	<i>Poaceae</i>	36
<i>Hyparrhenia rufa</i> (Nees) Stapf	<i>Poaceae</i>	37
<i>Indigofera demissa</i> Taub.	<i>Leguminosae</i>	38
<i>Indigofera diversifolia</i> DC.	<i>Leguminosae</i>	39
<i>Indigofera tenuipes</i> Polhill	<i>Leguminosae</i>	40
<i>Indigofera vohemarensis</i> Baill.	<i>Leguminosae</i>	41

<i>Ipomoea bolusiana</i> Schinz	<i>Convolvulaceae</i>	42
<i>Lactuca indica</i> L.	<i>Asteraceae</i>	43
<i>Laggera alata</i> Oliv.	<i>Asteraceae</i>	44
<i>Leonotis nepetifolia</i> (L.) R. Br.	<i>Labiatae (Lamiaceae)</i>	45
<i>Lepturus humbertianus</i> A. Camus	<i>Poaceae</i>	46
<i>Leucas martinicensis</i> (Jacq.) R. Br.	<i>Labiatae (Lamiaceae)</i>	47
<i>Mariscus kraussii</i> Hochst.	<i>Cyperaceae</i>	48
<i>Mollugo decandra</i> Scott-Elliott	<i>Aizoaceae</i>	49
<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	<i>Aizoaceae</i>	50
<i>Oldenlandia virgata</i> DC.	<i>Rubiaceae</i>	51
<i>Ocimum canum</i> Sims	<i>Labiatae (Lamiaceae)</i>	52
<i>Paederia axilliflora</i> Puff	<i>Rubiaceae</i>	53
<i>Panicum mahafalense</i> A. Camus	<i>Poaceae</i>	54
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	<i>Poaceae</i>	55
<i>Panicum neohumberti</i> A. Camus	<i>Poaceae</i>	56
<i>Panicum novemnerve</i> Stapf	<i>Poaceae</i>	57
<i>Panicum parvifolium</i> Lam.	<i>Poaceae</i>	58
<i>Panicum</i> sp.	<i>Poaceae</i>	59
<i>Panicum subalbidum</i> Kunth	<i>Poaceae</i>	60
<i>Perotis latifolia</i> Ait.	<i>Poaceae</i>	61
<i>Pogonarthria squarrosa</i> (Licht.) Pilg.	<i>Poaceae</i>	62
<i>Polycarpea corymbosa</i> Lam.	<i>Caryophyllaceae</i>	63
<i>Polygala schoenlankii</i> O. Hoffm.	<i>Polygalaceae</i>	64
<i>Pycreus commersoni</i> Cherm.	<i>Cyperaceae</i>	65
<i>Rhynchospora repens</i> (Willd.) C. E. Hubb.	<i>Poaceae</i>	66
<i>Schizachyrium brevifolium</i> (Sw.) Nees	<i>Poaceae</i>	67
<i>Sida acuta</i> Burm. f.	<i>Malvaceae</i>	68
<i>Sida rhombifolia</i> L.	<i>Malvaceae</i>	69
<i>Spermacoce stricta</i> F. Muell.	<i>Rubiaceae</i>	70
<i>Sporobolus festivus</i> A. Rich.	<i>Poaceae</i>	71
<i>Tagetes erecta</i> L.	<i>Asteraceae</i>	72
<i>Tarennia grevei</i> (Drake) Homolle	<i>Rubiaceae</i>	73
<i>Tephrosia boiviniana</i> Baill.	<i>Leguminosae</i>	74
<i>Tephrosia linearis</i> Pers.	<i>Leguminosae</i>	75
<i>Tephrosia lyallii</i> Baker	<i>Leguminosae</i>	76
<i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers.	<i>Leguminosae</i>	77
<i>Tribulus terrestris</i> L.	<i>Zygophyllaceae</i>	78
<i>Trichodesma zeylanicum</i> R. Br.	<i>Boraginaceae</i>	79
<i>Tridax procumbens</i> L.	<i>Asteraceae</i>	80
<i>Waltheria indica</i> L.	<i>Sterculiaceae</i>	81
<i>Waltheria madagascariensis</i> Hochr.	<i>Sterculiaceae</i>	82

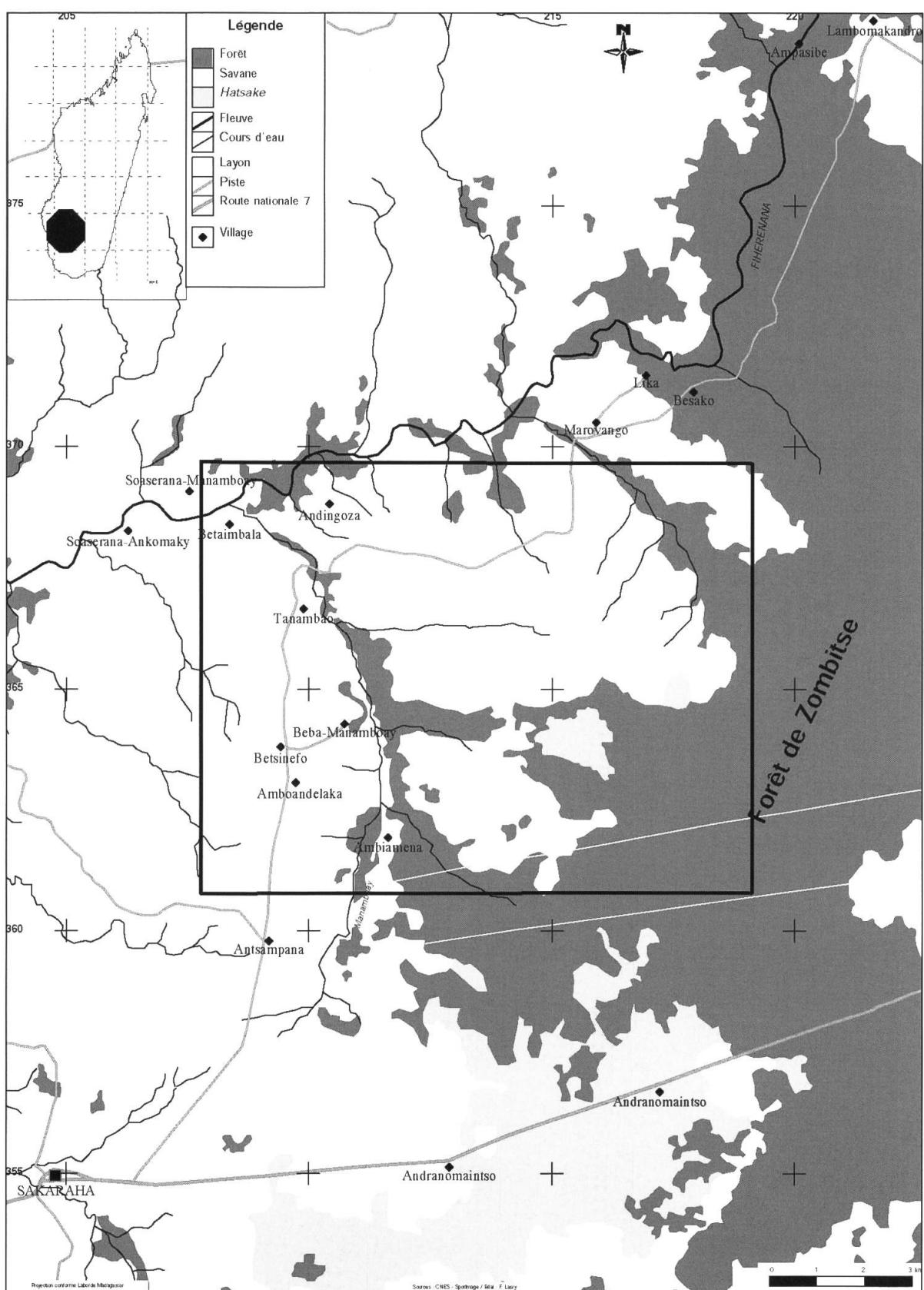


Fig. 1. – La zone d'étude.

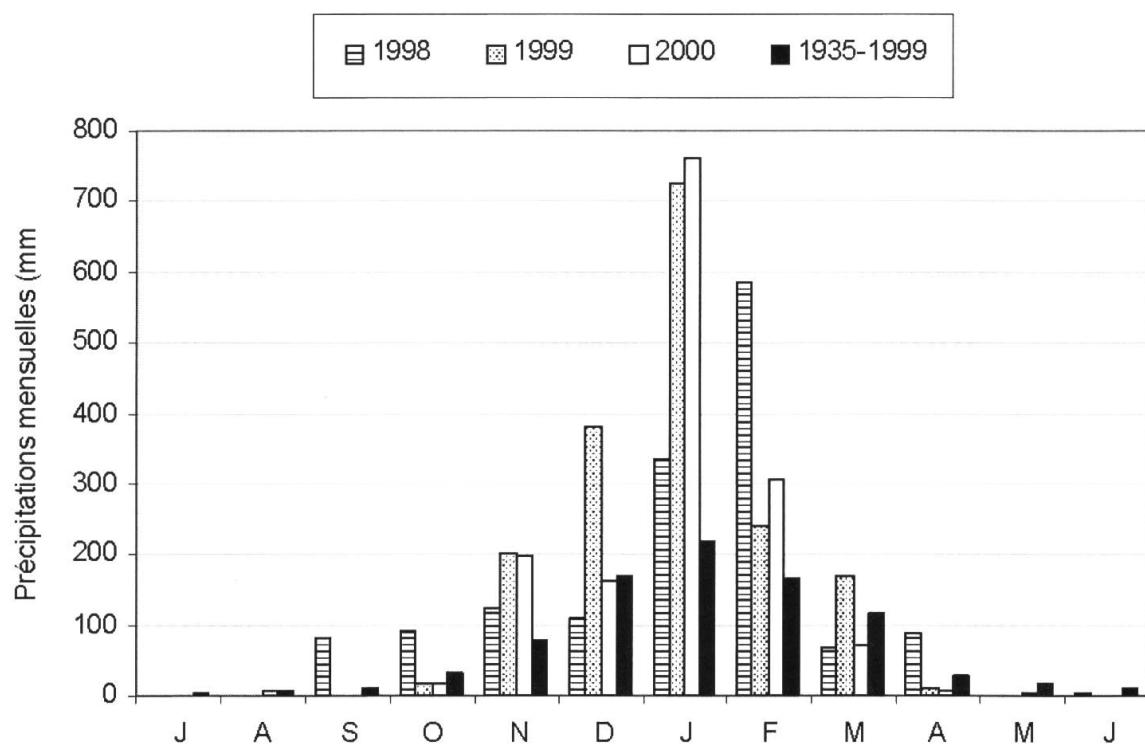


Fig. 2. – Variations mensuelles des précipitations des années d’expérimentation et de la moyenne interannuelle sur la série 1935-1999.

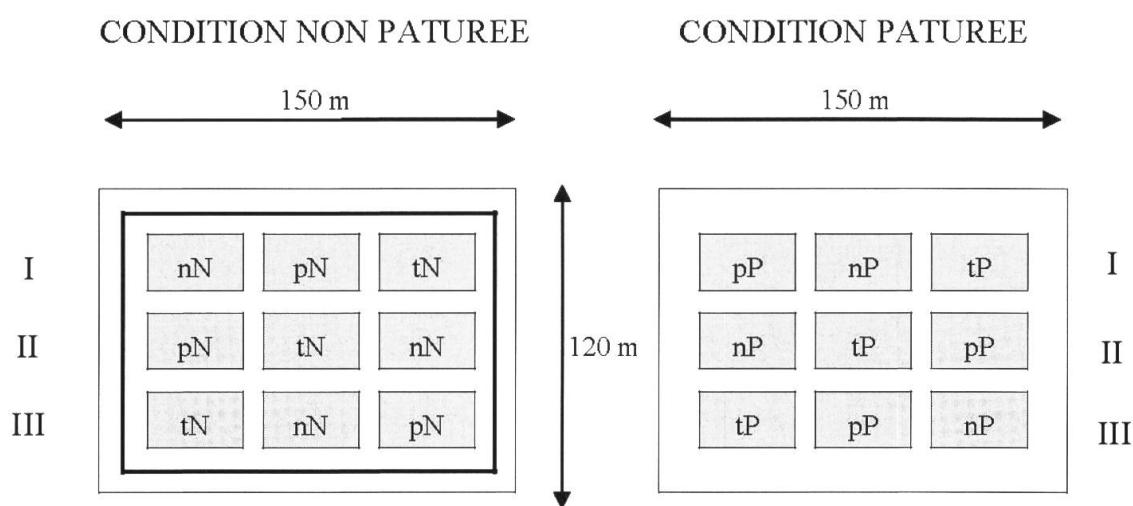


Fig. 3. – Dispositif expérimental (n: non brûlé; p.: feu précoce; t: feu tardif; N: non pâturée; P: pâturée; I, II, III: blocs; —: barbelés de protection; □: parcelles élémentaires de dimension 30 m × 40 m; ━━: pare-feux (10 m de large autour du dispositif, 5 m de large entre les parcelles élémentaires, entretenu chaque année).

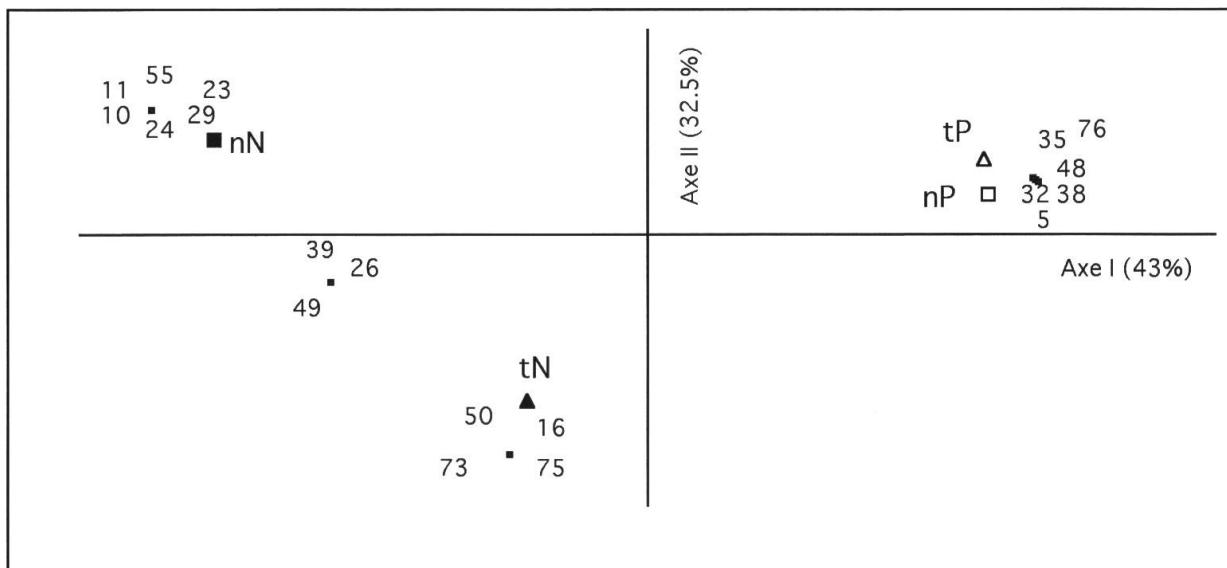


Fig. 4. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-II des 4 traitements et des 50 espèces en 1998 (nN: non brûlé, non pâtré; tN: feu tardif non pâtré; nP: non brûlé, pâtré; tP: feu tardif pâtré). Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

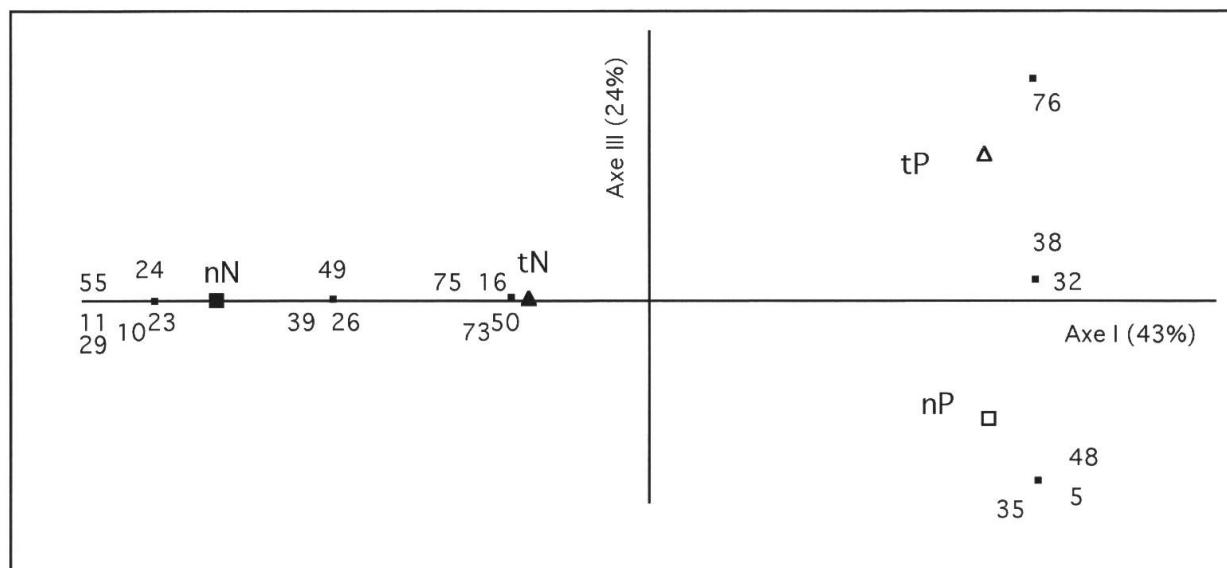


Fig. 5. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-III des 4 traitements et des 50 espèces en 1998 (nN: non brûlé, non pâtré; tN: feu tardif non pâtré; nP: non brûlé, pâtré; tP: feu tardif pâtré). Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

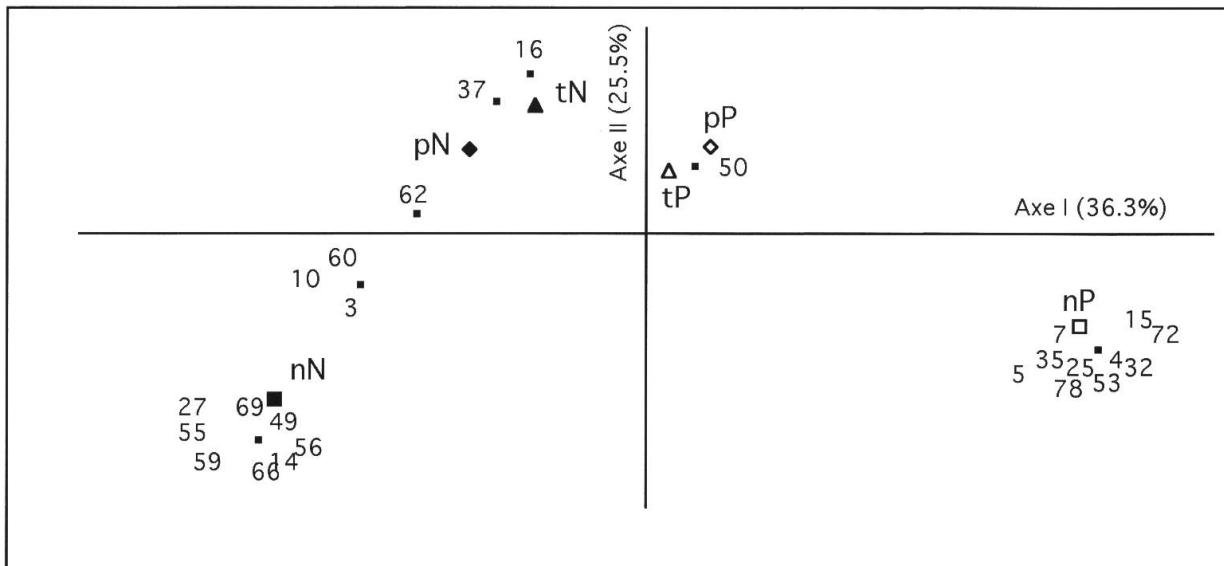


Fig. 6. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-II des 6 traitements et des 87 espèces en 1999 (nN: non brûlé, non pâtré; pN: feu précoce non pâtré; tN: feu tardif non pâtré; nP: non brûlé, pâtré; pP: feu précoce pâtré; tP: feu tardif pâtré). Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

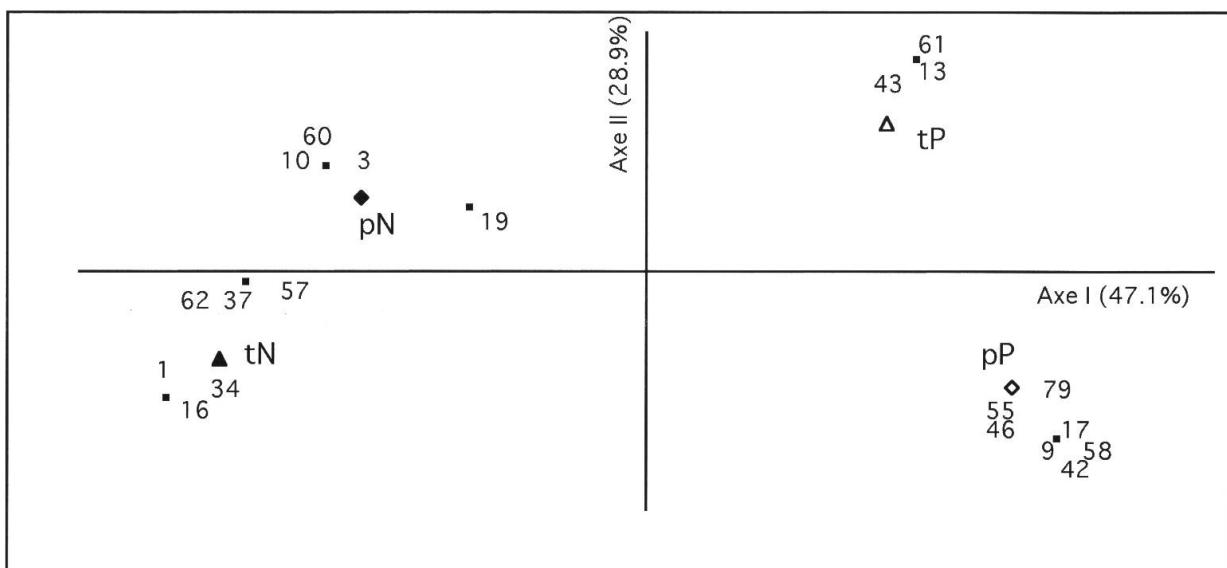


Fig. 7. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-II des 4 traitements et des 65 espèces en 1999 (pN: feu précoce non pâtré; tN: feu tardif non pâtré; pP: feu précoce pâtré; tP: feu tardif pâtré). Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

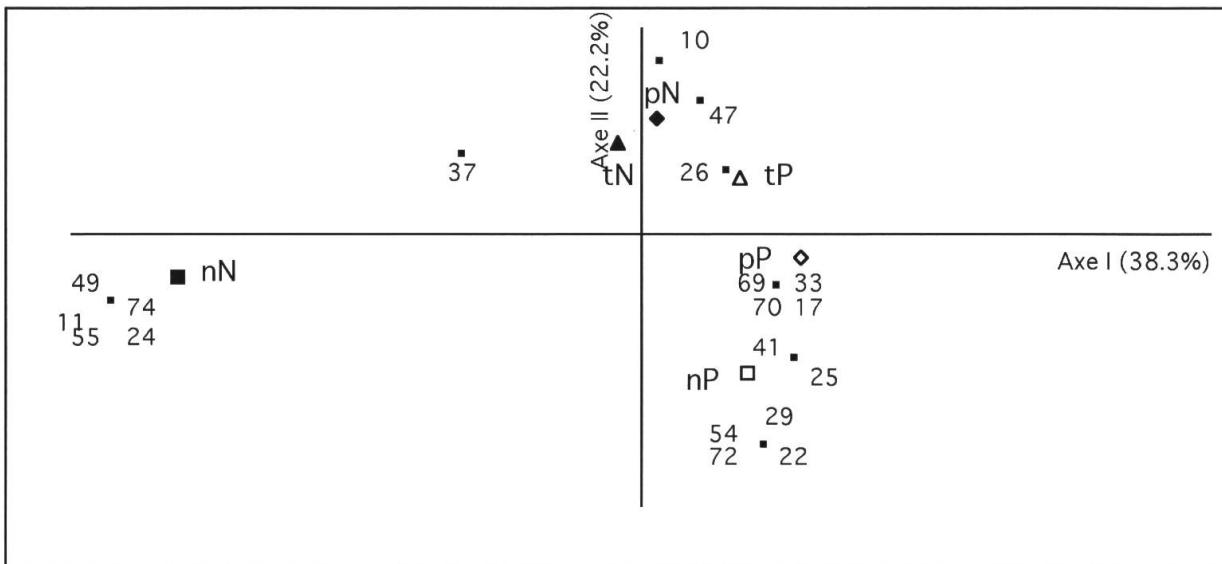


Fig. 8. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-II des 6 traitements et des 70 espèces en 2000 (nN: non brûlé, non pâturé; pN: feu précoce, non pâturé; tN: feu tardif, non pâturé; nP: non brûlé, pâturé; pP: feu précoce, pâturé; tP: feu tardif, pâturé). Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

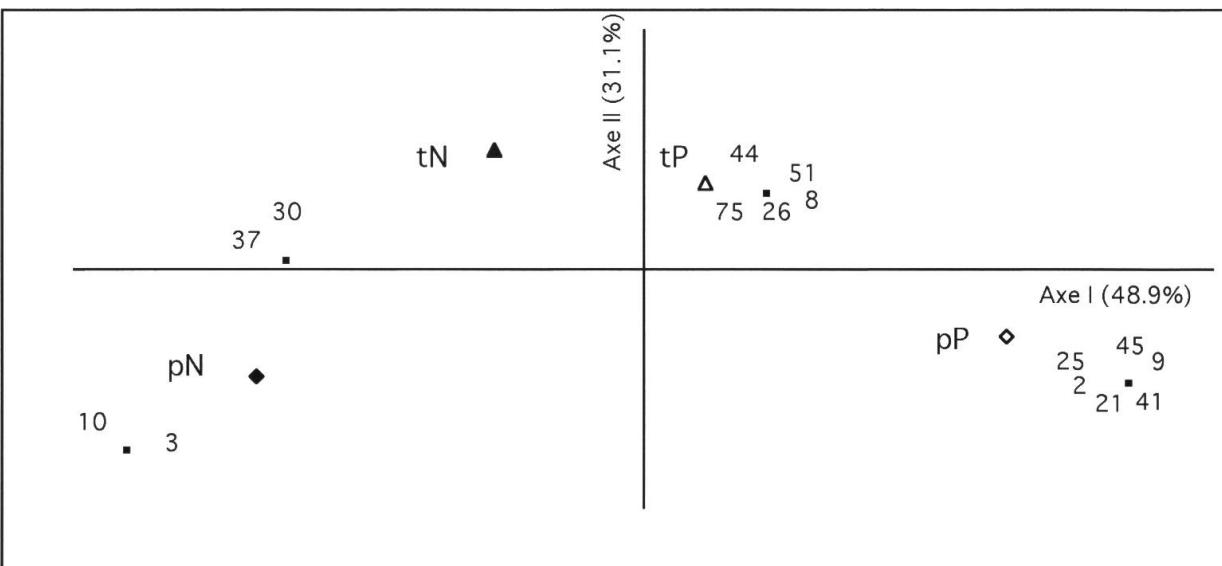


Fig. 9. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-II des 4 traitements et des 59 espèces en 2000 (pN: feu précoce, non pâturé; tN: feu tardif, non pâturé; pP: feu précoce, pâturé; tP: feu tardif, pâturé). Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

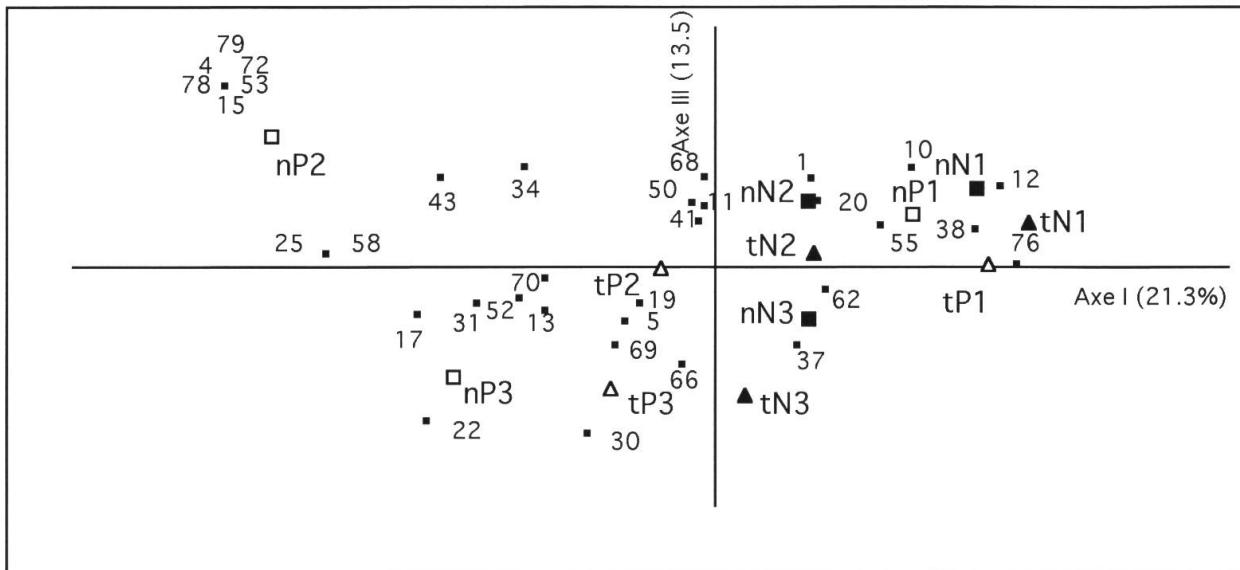


Fig. 10. – Cartes factorielles dans le plan factoriel des axes I-III des 12 traitements et des 91 espèces recensées au cours des trois années d’expérimentation (nN: non brûlé, non pâture; tN: feu tardif, non pâture; nP: non brûlé, pâture; tP: feu tardif, pâture). Les relevés d’une même année sont suivis d’un numéro. Ne sont représentées que les espèces ayant une forte contribution absolue et une bonne représentation.

**Tableau 1.** – Variations des précipitations (P: Précipitations; nj: nombre de jours; cv: coefficient de variation) des trois années d’expérimentation et de la moyenne interannuelle sur la série 1935-1999.

1998	1999		2000		Moyenne (1935-1999)			CV [%]
P [mm]	[nj]	P [mm]	[nj]	P [mm]	[nj]	P [mm]	[nj]	
1482,4	75	1748,6	62	1531,3	65	854,2	64	30

**Tableau 2.** – Evolution de la richesse floristique d'une savane à *Heteropogon contortus* selon les traitements au cours des trois années d'expérimentation. Les moyennes repérées par une (ou des) même(s) lettre(s) appartiennent à des groupes statistiquement homogènes selon le test de Newman-Keuls (NS : non significatif, S :  $P < 0,05$ , HS :  $P < 0,01$ ).

		<b>Effectif des familles</b>			<b>Effectif des genres</b>			<b>Effectif des espèces</b>		
		<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Non pâture										
Non brûlé	12 (a)	13 (a)	10 (b)	23 (a)	29 (ab)	23 (b)	25 (a)	37 (a)	25 (b)	
Feu précoce		13 (a)	11 (b)		27 (ab)	25 (b)		32 (a)		29 (b)
Feu tardif	11 (a)	13 (a)	12 (b)	22 (b)	24 (b)	25 (b)	23 (b)			28 (b)
Pâture										
Non brûlé	12 (a)	15 (a)	13 (a)	23 (a)	35 (a)	31 (a)	25 (a)	46 (a)	37 (a)	
Feu précoce		16 (a)	14 (a)		31 (ab)	33 (a)		37 (a)		39 (a)
Feu tardif	10 (a)	13 (a)	12 (a)	17 (b)	28 (ab)	26 (a)	18 (b)	33 (a)		30 (b)
Probabilité										
Théorique	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Feu	0,24 NS	0,35 NS	0,41 NS	0,03 S	0,02 S	0,08 NS	0,04 S	0,28 NS		0,06 NS
Pâture	0,39 NS	0,08 NS	0,00 HS	0,16 NS	0,01 S	0,00 HS	0,19 NS	0,06 NS		0,00 HS
Interaction	0,39 NS	0,45 NS	0,25 NS	0,11 NS	0,76 NS	0,08 NS	0,24 NS	0,57 NS		0,04 S

**Tableau 3.** – Evolution des indices de diversité d'une savane à *Heteropogon contortus* selon les traitements au cours des trois années d'expérimentation.

<b>Année</b>	<b>Diversité maximale</b>			<b>Indice de Shannon et Weaver</b>			<b>Indice de régularité</b>		
	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>
Non pâture									
Non brûlé	5,29	5,21	5,32	2,49	2,09	2,49	0,47	0,40	0,47
Feu précoce		5	5,43		3,74	2,98		0,75	0,55
Feu tardif	5,17	4,81	5,32	2,7	2,33	2,21	0,52	0,48	0,42
Pâture									
Non brûlé	5,09	5,52	5,81	2,19	2,80	3,05	0,43	0,51	0,53
Feu précoce		5,21	5,75		3,29	3,49		0,63	0,61
Feu tardif	4,81	5,04	5,46	2,16	3,48	2,97	0,45	0,69	0,54