

Chapitre 1. Variabilité et changement du climat à Bezà Mahafaly

Notahinjanahary Rasamimanana¹, Joelisoa Ratsirarson¹, Edouard Ramahatratra², Jeannin Ranaivonasy¹ & Alison Richard³

¹Département des Eaux et Forêts, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175, Université d'Antananarivo, Antananarivo 101, Madagascar
Email : notahinjanahary@gmail.com, ratsirarson@gmail.com, j.ranaivonasy@gmail.com

²Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, c/o Département des Eaux et Forêts de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175, Université d'Antananarivo, Antananarivo 101, Madagascar

³Department of Anthropology, Yale University, New Haven Connecticut 06520, USA
Email : alisonfrichard@gmail.com

Résumé

Touchant l'ensemble du globe, les défis liés aux dérèglements actuels du climat n'épargnent pas la région du Sud-ouest de Madagascar où le climat est un facteur déterminant sur la dynamique des ressources naturelles. Des séries de données sur la température et la pluviométrie, ainsi que des observations et des entretiens avec les villageois à Bezà Mahafaly et ses environs ont été utilisées pour mettre en exergue les particularités du climat et son importance pour l'écologie locale et la vie socio-économique de la communauté locale. Le climat semi-aride de Bezà Mahafaly se caractérise par le contraste entre deux saisons distinctes, ainsi qu'une forte variabilité du climat qui s'exprime par des alternances des périodes extrêmes de sécheresses aiguës et de forts totaux pluviométriques généralement liés au passage de cyclone ou des orages. Les températures moyennes annuelles fluctuent fortement, mais les données montrent une tendance de modération de la température à Bezà Mahafaly sur la période d'étude 1999-2012. Cette tendance suggère des variabilités locales qui ne se conforment pas nécessairement aux tendances de réchauffement qui sont connues dans l'ensemble de la région biogéographique du Sud-ouest, et les changements qui sont rapportés par les perceptions des villageois. La variabilité climatique, sur le court terme, et le changement climatique, sur le moyen et long terme, constituent des facteurs déterminants

pour la conservation de la biodiversité et le développement local.

Mots clés : changement climatique, précipitations, température, variabilité, adaptation

Extended abstract

The Bezà Mahafaly Special Reserve is located in the semi-arid region of southwest Madagascar. The climate is characterized by high variability, influenced by global and regional mechanisms including the effect of El Niño. This study is primarily based on results of daily monitoring of rainfall and temperature at the reserve from 1992 to 2013, and records of rainfall at Betsioky Atsimo, the nearest meteorological station 35 km away, between 1928 and 1995. In addition, data on the frequency of cyclones from 1959-2012 were obtained from the National Meteorological Service (Ampandrianomby, Antananarivo), and information concerning local community members' perceptions of and responses to climate variability and change were drawn from surveys and interviews conducted in a separate study.

Data homogeneity was assessed using coefficients of variation. Descriptive statistics were employed to characterize the general climate, and pluviometric indices, break point, and trend analyses were used to investigate within- and between-year variability, discriminate between extended dry and humid periods, and identify long-term trends.

The climate at the reserve is markedly seasonal, with a long, cool dry season and a shorter, hot humid season, and rainfall is highly variable between years. This variability is partly a consequence of cyclone activity. Between 1959 and 2012, 56 cyclones affected the region to varying degrees.

Although inter-annual temperature variation is low at the reserve, average temperature and maximum temperature showed a modest but statistically significant decrease between 1999 and 2012. Despite these general trends, peaks (up to 43°C) were recorded. No significant directional trend in rainfall was evident in historical records from Betsioky Atsimo or in the more recent data from the reserve. Rather, records highlight the variability of rainfall.

Four distinct rainfall periods were identified between 1929 and 1995 at Betsioky Atsimo: a period

of deficit before 1950; a wet period from 1951 to 1987; a deficit period from 1987 to 1992; and a wet period from 1993 to 1995. Annual rainfall fluctuated widely, from 100 to 900 mm, with fluctuations related to extreme events (cyclones and droughts).

Climate patterns play a key role in the daily lives of people, and have a major impact on the phenology of plants and on the animals that depend on them for food or other aspects of their natural history. Villagers divide the year into four seasons, and use plants and animals as indicators of seasonal change and cues for their own activities. Villagers reported decreasing or less regular rainfall, and more frequent extreme events such as cyclones and droughts. More specifically, they pointed to the mounting difficulty of growing crops and finding pasture for their herds. Extreme variability is nothing new in the southwest but, faced with the perceived changes, villagers have developed additional adaptive strategies, including new planting techniques, modification of farming calendar, and diversification of economic activities, including a new emphasis on salt production.

Temporal variability is of great ecological and socio-economic consequence, but spatial variability is notable as well. The cooling trend at Bezà Mahafaly, contrasting with the warming trend documented at other sites in the region, illustrates this dimension of variability, and may explain the discrepancy between villagers' perceptions of change and the rainfall and temperature data reported in this study. The latter document events at just one site, whereas villagers may experience the impact of climate change on a regional scale.

The impact of climate variability and change in time and space is a vital consideration for long-term biodiversity conservation, and for local and regional development strategies.

Key words: climate change, rainfall, temperature, variability, adaptation

Introduction

Les conditions climatiques de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly se rattachent à celles du Sud-ouest de Madagascar, domaine climatique sub-aride soumise à une variabilité importante (Jury, 2003). Cette variabilité est en relation avec le phénomène El Niño, une augmentation anormale de la température de la surface orientale et centrale de l'Océan Pacifique qui entraîne des perturbations du climat dans les zones tropicales (Rabefitia, 1999 ; Jury, 2003). A ce fait s'ajoute le changement climatique,

un phénomène mondial lié à l'augmentation de la température de la surface de la terre et des océans. Le Sud de Madagascar n'échappe pas à ce changement climatique global (Tadross *et al.*, 2008). Les risques que peuvent engendrer le changement climatique et la variabilité climatique font désormais partie des principales préoccupations et défis auxquels Madagascar doit faire face. Il est clair que ces phénomènes majeurs du climat affectent l'écosystème de la réserve, mais leurs impacts restent encore peu étudiés. Cette étude présente et analyse la dynamique des facteurs climatiques de la réserve en particulier les températures et les précipitations. Les données issues de la station de Betioky Atsimo (à près de 30 km de Bezà Mahafaly) et de Bezà Mahafaly sont analysées pour cerner la variabilité et le changement que le climat de la région d'étude a depuis plus d'un demi-siècle. Sont également analysées les perceptions de la communauté locale de même que les pratiques d'adaptation en œuvre pour faire face à la variabilité climatique et/ou au changement climatique.

Méthodologie

Collecte de données

La méthode d'étude se base sur le suivi périodique des précipitations et/ou des températures dans les deux stations de Betioky Atsimo et de Bezà Mahafaly. La station météorologique de Betioky Atsimo, gérée par la Direction Générale de la Météorologie (Ampandrianomby, Antananarivo), n'est plus fonctionnelle depuis 1995, mais faisait partie du réseau des stations météorologiques officielles (étalonnées et suivies suivant les normes nationales). Les données fournies par la Direction Générale de la Météorologie utilisées concernent les précipitations (hauteur pluviométrique mensuelle et nombre mensuel de jours de pluie) entre 1929 et 1995. Les données des températures maximale et minimale et de la hauteur pluviométrique journalière de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly ont été collectées chaque jour à 7:00 du matin. Les données prises en compte dans l'analyse incluent celles qui sont observées entre 1999 et 2012. Les données de 1929 à 1995 de Betioky Atsimo et de 1999 à 2012 de la réserve sont exploitées pour l'étude de la variabilité climatique et/ou du changement climatique sur la base des données de température et de pluviométrie.

Par ailleurs, des données sur le nombre de cyclones ayant touchés la région Atsimo Andrefana de 1959 à 2012 ont pu être collectées auprès de la Direction Générale de la Météorologie, et ont été

utilisées pour appuyer l'explication de la variabilité climatique dans la zone toute entière. Bien que la réserve ait toujours été éloignée des zones de passages d'un « œil de cyclone », les cyclones, par leur immense étendue (allant jusqu'à 300 km de diamètre) ont souvent un effet plus ou moins important sur le climat de la zone d'étude.

Les informations présentées sur les perceptions locales ont été synthétisées à partir des résultats d'études effectuées sur les perceptions et les pratiques d'adaptation face aux variabilités et au changement du climat mené par l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA) et le Laboratoire des Radio-Isotopes de 2007 à 2010. Elles relèvent de travaux de diagnostic participatif auprès des membres de la communauté locale représentatifs de différents groupes sociaux et genres de la région (Rakotomalala, 2008 ; Rabeharisoa *et al.*, 2010).

Traitements et analyses des données

La référence temporelle utilisée est celle de l'année climatique, allant du 1 juillet au 30 juin de l'année suivante : 1985-1986 correspond ainsi à la période du 1 juillet 1985 au 30 juin 1986. La taille d'un échantillon d'observations est notée n ; P désigne la probabilité d'apparition d'un événement ; et le degré de confiance est à 95 %.

L'homogénéité des données a été interprétée à partir du coefficient de variation (CV). Un CV inférieur à 30 % correspond à des données homogènes tandis que celui supérieur à 30 % indique des données hétérogènes (Rasamimanana *et al.*, 2012). Les données homogènes qui suivent la normalité et la variabilité de ses valeurs sont alors considérée très faible et/ou nulle. Le CV est obtenu par le rapport de l'écart-type par la moyenne, exprimé en pourcentage.

Les conditions climatiques générales sont expliquées par les valeurs moyennes et l'écart-type tandis que la variabilité climatique et le changement climatique sont décrits, en plus des valeurs statistiques descriptives, à partir des calculs d'indices pluviométriques, des ruptures et de tendance (Rasamimanana *et al.*, 2012). Comme l'un des objectifs est de documenter la variabilité et/ou le changement climatique, les valeurs des paramètres climatiques sont alors pondérées à partir de la méthode des moyennes mobiles pondérées pour pouvoir éliminer les variations intermittentes des données et de mieux visualiser ainsi les fluctuations inter-annuelles.

Le calcul de l'indice pluviométrique (I_p) est particulier aux données pluviométriques. En effet, I_p est une moyenne centrée et réduite des valeurs pondérées des valeurs des observations pluviométriques permettant de faire un bilan si une année est normale ou non, c'est-à-dire excédentaire ou déficitaire. Si I_p est sensiblement nul, l'année est normale ; si I_p est supérieur à zéro, l'année est excédentaire ; si I_p est inférieur à zéro, l'année est déficitaire (Soro *et al.*, 2011). Pour apprécier l'ampleur de l'excès et du déficit (de l'humidité et de la sécheresse) pour chacune des années, les I_p sont classés selon une gamme standard des indices (Agnew, 2000). L'année appartient par exemple à la classe n°1 c'est-à-dire, année à humidité extrême si $I_p > 2$ (Tableau 1).

Tableau 1. Classe des gammes des valeurs d'indices et leur interprétation selon Wu *et al.* (2005). I_p = l'indice pluviométrique.

N°Classe	I_p	Interprétation
1	$2 < I_p$	Humidité extrême
2	$1 < I_p < 2$	Humidité forte
3	$0 < I_p < 1$	Humidité modérée
4	$-1 < I_p < 0$	Sécheresse modérée
5	$-2 < I_p < -1$	Sécheresse forte
6	$I_p < -2$	Sécheresse extrême

Des tests de rupture des séries de données pluviométriques ont été faits par la suite pour confirmer la variabilité inter-annuelle (alternance des séries d'années de déficit et d'excédent pluviométrique) affirmée par l'analyse des indices pluviométriques (voir Rasamimanana *et al.*, 2012). En effet, une rupture se définit comme étant une modification du régime pluviométrique et est déterminée littéralement par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné, le plus souvent inconnu (Lubès-Niel *et al.*, 1998). L'hypothèse nulle des tests de rupture stipule qu'il n'y a pas de point de rupture, c'est-à-dire, il n'y a pas de modification du régime pluviométrique donc la variabilité inter-annuelle signalée par l'évolution des indices pluviométriques n'est pas significative. Pour avoir plus de précision, deux types de tests de rupture ont été utilisés, le test de Pettit (1979) qui est, même s'il ne donne qu'un seul point de rupture, un test puissant et robuste ; et celui de Hubert et ses collaborateurs qui est également un test puissant et robuste avec un avantage de rendre plus étroites les précisions en détectant une ou plusieurs points de rupture (Hubert *et al.*, 1989). Nous avons aussi découpé la série de données de

températures à l'aide des tests de rupture. Si un ou des points de rupture sont détectés, la température présente une variabilité inter-annuelle.

Le régime climatique est variable, c'est-à-dire qu'il change de direction à une ou plusieurs périodes de rupture de la série de données climatiques. Le changement climatique entraîne une modification des valeurs de paramètres climatiques, mais en même temps restent les variabilités interannuelles (GIEC, 2013). Pour comprendre cette variabilité, des tests de corrélation de Pearson et de rang Spearman ont été faits afin de vérifier les tendances des paramètres climatiques. Ces deux types de test car nous avons deux séries de données, l'une correspondant à un temps de 66 ans (données pour la station de Betioky Atsimo) et une autre ne s'étalant que sur 12 ans (données pour Bezà Mahafaly). L'hypothèse nulle de ces tests spécifie que le paramètre climatique en question est stationnaire, c'est-à-dire, il n'y a pas de tendance significative vers un changement. Une valeur négative du coefficient de corrélation (r) signifie une tendance à la diminution des précipitations ou des températures de la région et une valeur positive indique par contre une augmentation des précipitations ou des températures de la région. Le traitement des données cycloniques repose uniquement sur le dénombrement des cyclones, soit de leur fréquence.

Résultats

Les conditions climatiques et leurs tendances

Les conditions climatiques générales

Deux traits essentiels marquent le climat de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. D'une part, il y a un contraste très net entre la saison sèche/fraîche et la saison humide/chaude (Figure 1). La saison sèche/fraîche dure en moyenne huit mois (avril-novembre) contre quatre mois pour la saison humide et chaude. Les variations de la saison de pluie d'une année à une autre (quatre ou cinq mois) peuvent s'observer sur la distribution de la pluie pendant la saison et sur l'arrivée de la première pluie. En moyenne, 68 % des pluies annuelles tombent en 23 jours (décembre-janvier-février). D'autre part, une irrégularité inter-annuelle de la pluviométrie et de la température est constatée (Figure 2).

Les observations sur terrain ont permis de constater que les précipitations à la réserve sont de deux origines : les pluies d'origine locale ou régionale (liées au régime des vents et des effets de convection locale) et les pluies d'origine cyclonique (Rasamimanana, 2011). Les pluies d'origine locale

ou régionale peuvent donner de forts orages en saison des pluies ; en saison fraîche, ainsi que des crachins sporadiques. Les pluies d'origine cyclonique s'observent entre novembre et mai et apportent de forts totaux, souvent concentrés sur seulement deux ou trois jours d'orages.

La région du Sud-ouest de Madagascar dont fait partie Bezà Mahafaly est peu exposée aux cyclones tropicaux. De 1959 à 2012, 56 cyclones ont balayé la région Atsimo Andrefana de Madagascar avec une fréquence de un à trois cyclones par an (Figure 3). Mavume *et al.* (2009) précisent qu'entre 1980 et 2007, seuls 2 cyclones ont touché terre dans le Sud-ouest de Madagascar (la zone la moins exposée de l'île) contre 19 dans Nord-ouest (la plus exposée).

Température

Au cours de l'année, les températures extrêmes varient fortement à Bezà Mahafaly (Figure 1). Sur la période entre 1999 et 2012, le record de température maximale jamais observé atteint 49° C, tandis que la température la plus basse enregistrée a été de 5° C. L'amplitude thermique journalière (différence entre la température maximale et la température minimale au cours de la même journée) varie de 13° à 21° C. L'amplitude thermique est plus basse en saison des pluies en raison du rôle régulateur de l'humidité ambiante plus haute en cette saison. D'une année à l'autre, la température moyenne à Bezà Mahafaly ne semble pas beaucoup varier.

La moyenne inter-annuelle de 1999 à 2012 est de $26,03 \pm 0,40^\circ$ C. De 1999 à 2012, on note une tendance à la baisse de la température moyenne annuelle, bien qu'il y ait une alternance quasi-systématique d'année chaude et d'année peu chaude. Toutefois, la longueur de la période d'observation qui est seulement de 14 ans ne permet pas de conclure s'il s'agit d'un changement ou d'un refroidissement périodique qui s'inscrit dans des cycles plus étalés dans le temps. Cette baisse suggère néanmoins que les observations locales ne se calquent pas nécessairement aux tendances générales par rapport au réchauffement observées à l'ensemble de la région (Tadross *et al.*, 2008).

Pluviométrie

La saison de pluie est courte et dure quatre mois (de mi-novembre à mi-mars) tandis que la saison sèche est de huit mois (de mi-mars à mi-novembre). Entre 1999 et 2012, les totaux pluviométriques oscillent entre 96 mm et 975,9 mm, la pluie moyenne inter-

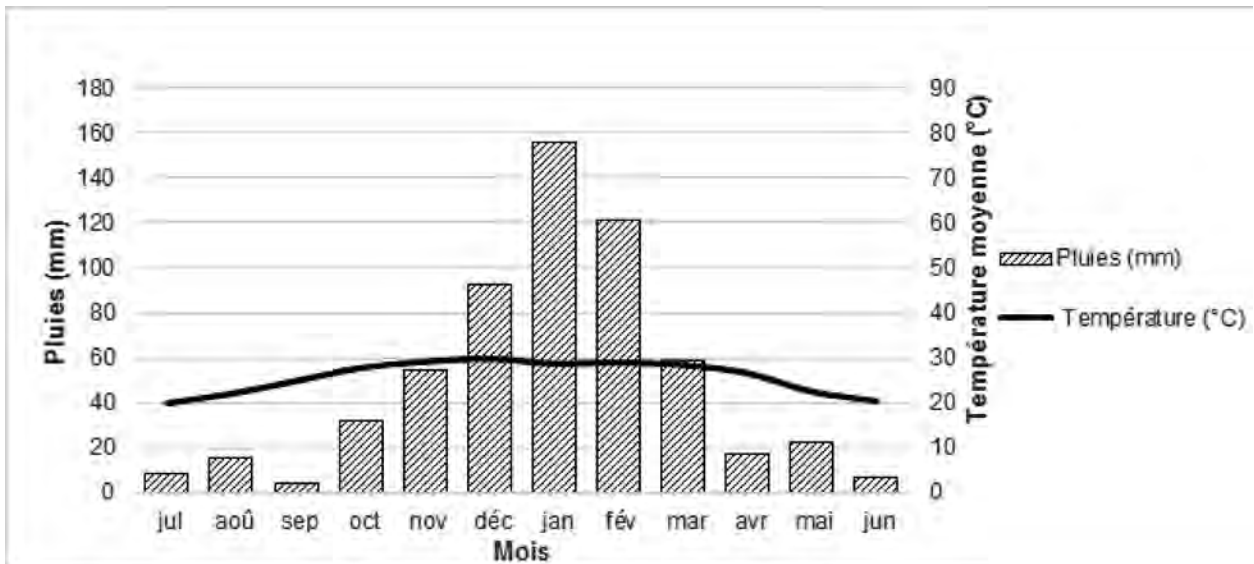


Figure 1. Diagramme ombrothermique de Bezà Mahafaly (1999-2012) (source : Données de suivi Bezà Mahafaly).

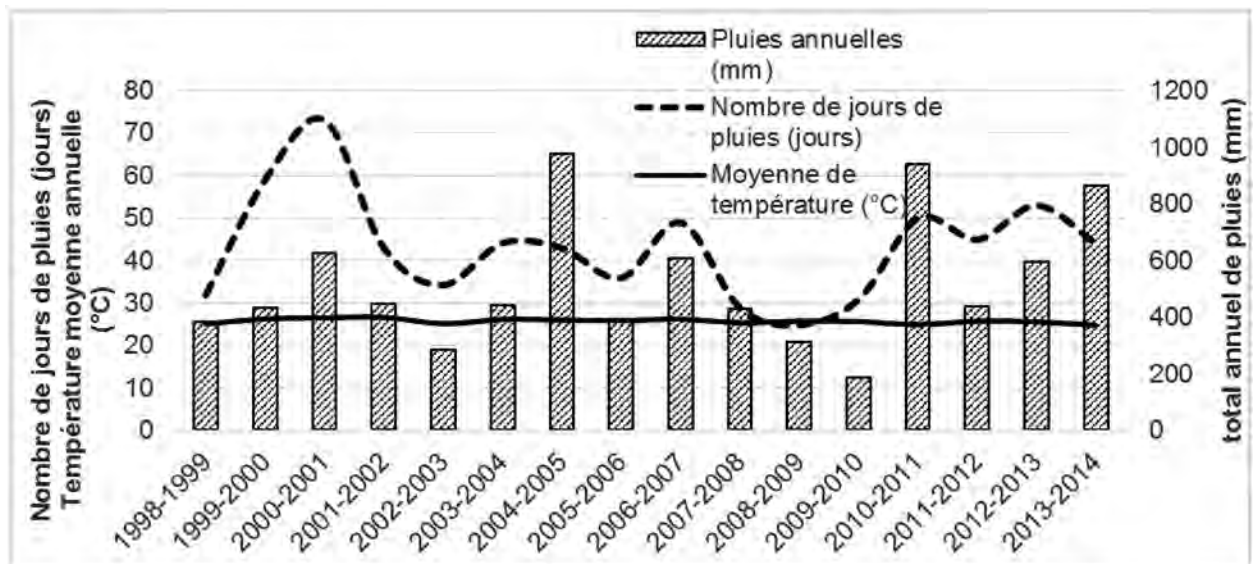


Figure 2. Variation interannuelle de la pluviométrie et de la température à Bezà Mahafaly (source : Données de suivi Bezà Mahafaly).

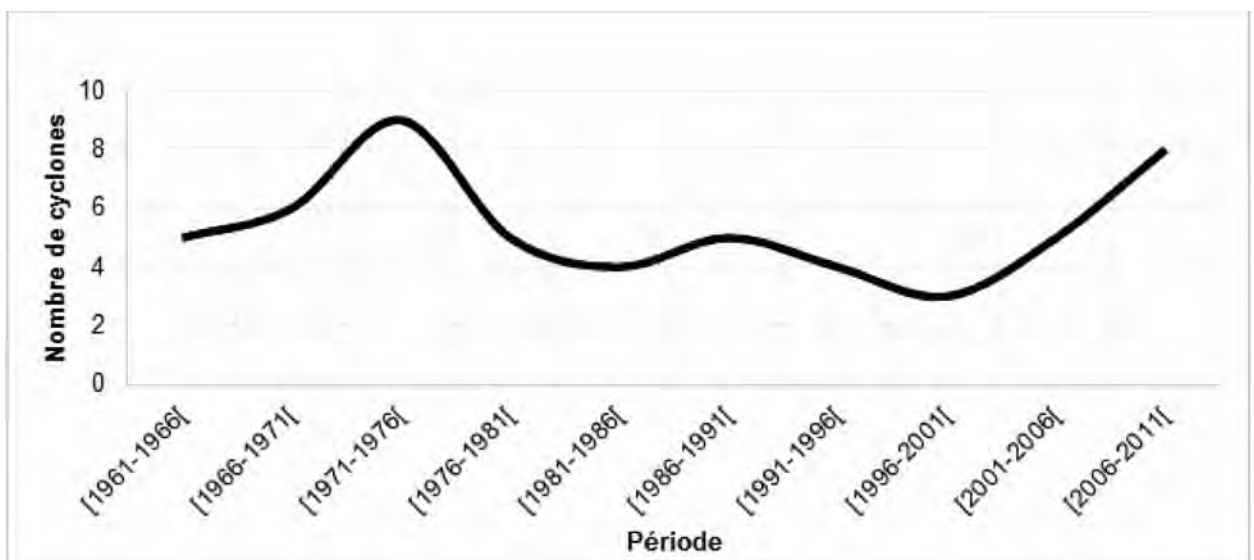


Figure 3. Nombre annuel de perturbations cycloniques ayant touché la région du Sud-ouest de Madagascar de 1959 à 2012, variabilités et changements (source : Direction Générale de la Météorologie).

annuelle est de $455,2 \pm 256,02$ mm dont $368,8 \pm 235,40$ mm tombent en saison humide. Le nombre de jours de pluie varie de 23 jours (2009-2010) à 73 jours (2000-2001) (Figure 4). Sa valeur moyenne est de 42 ± 14 jours. La pluviométrie est faible avec une tendance à une sécheresse périodique et imprévisible avec une variabilité notée aussi bien dans le temps que dans l'espace. La hauteur des précipitations est maximale au mois de janvier. Les années climatiques 2004-2005 et 2009-2010 se présentent respectivement comme les plus pluvieuses et les moins pluvieuses entre 1999 et 2010. L'année climatique 2004-2005 est liée au passage du cyclone Ernest durant lequel la hauteur de la pluie a atteint 184,8 mm en une journée (enregistrement du 26 janvier 2005 qui a entraîné de fortes inondations arrivant jusqu'au campement de Bezà Mahafaly). Pour l'année 2010-2011, les deux cyclones ayant saccagé la région Atsimo Andrefana mais relativement intenses ont cependant influé fortement le total pluviométrique à Bezà Mahafaly.

De 1929 à 1995, la région de Betioky Atsimo connaît trois périodes extrêmes dont les années les moins pluvieuses de 1936-1937 et 1991-1992 et les années les plus pluvieuses de 1953-1954. A Bezà Mahafaly, les années 2004-2005 et 2010-2011 sont les deux périodes les plus pluvieuses d'observations (Figure 4). L'humidité et la sécheresse sont assez modérées ; autrement dit, l'indice pluviométrique

est compris entre -1 et 1 dans la majorité des cas. D'une manière générale, le climat de la région se caractérise par une alternance d'excédent et de déficit pluviométriques (Figures 5 & 6). Cette alternance est confirmée par les tests de ruptures montrant que quatre segments de période sont significativement différents entre 1929 et 1995 à Betioky Atsimo : la période de déficit pluviométrique avant 1950 ; la période humide de 1951-1987 et la période de déficit de 1987-1992 ainsi que la période d'excédent de 1993-1995. La variabilité inter-annuelle observée par l'Ip n'est pas significative à Bezà Mahafaly. La variabilité inter-annuelle était alors significative entre 1999 et 2012. De fait, la pluviométrie est variable et cette variabilité est imprévisible d'une année à une autre.

Les données sur les précipitations ne montrent pas de tendances significatives ni pour celles de Betioky Atsimo pour la période 1928-1995 ($r = 0,13$; $n = 66$; $P = 0,301$) ni pour celles de Bezà Mahafaly pour la période 1999-2012 ($r = 0,03$; $n = 12$; $P = 0,937$). Bref, le climat reste extrêmement variable et imprévisible, sans changement directionnel. En somme, la question de changement du climat à long terme reste encore à approfondir.

Le climat et l'écologie locale

Le climat et sa variabilité et/ou son changement influent directement ou indirectement sur l'écologie

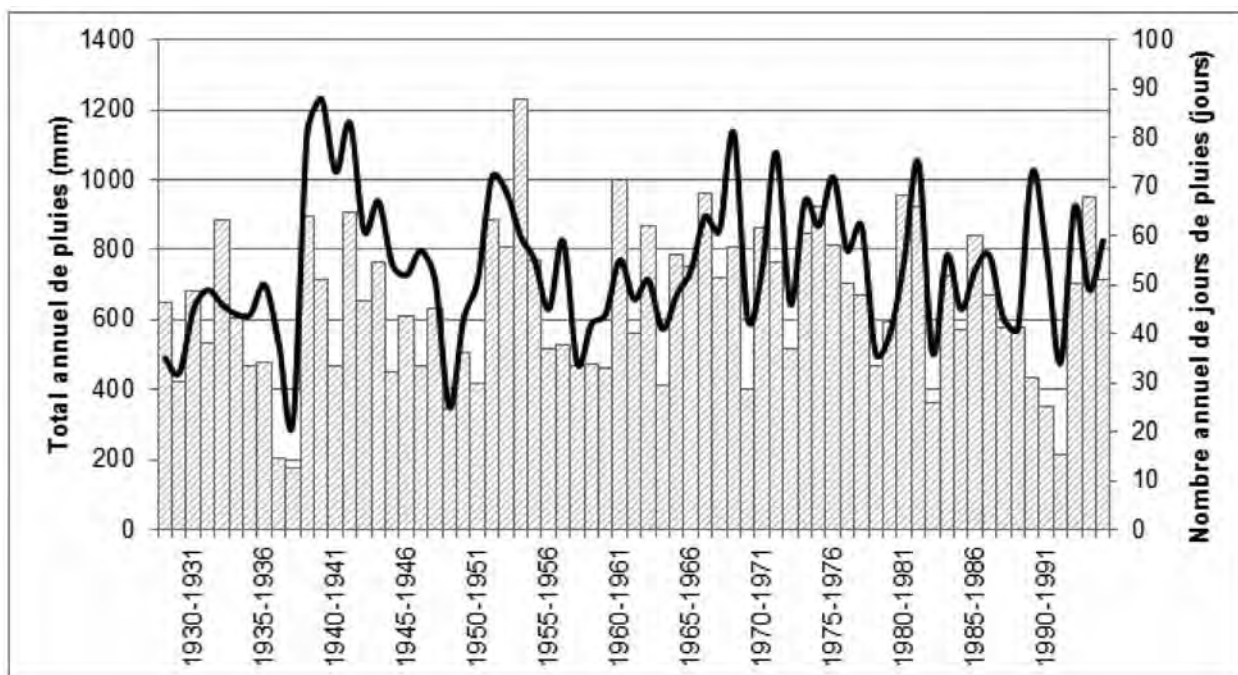


Figure 4. Variation annuelle de la quantité pluviométrique à Betioky Atsimo entre 1928 et 1995 (source : Direction Générale de la Météorologie).

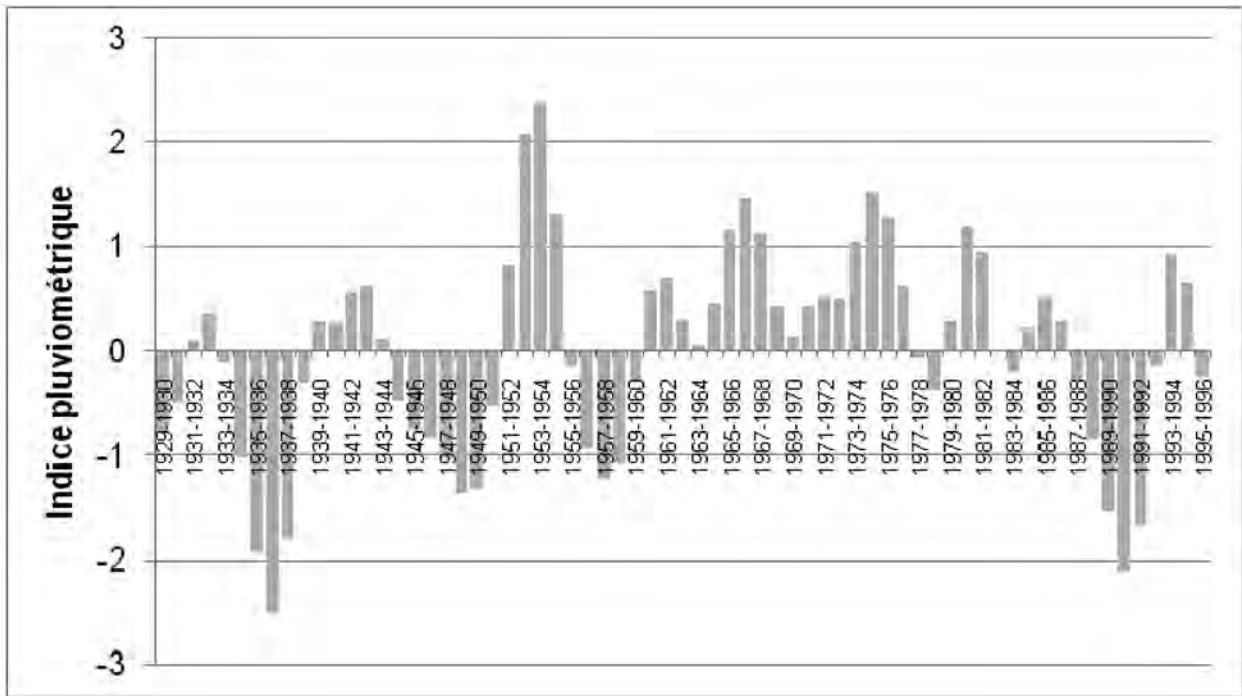


Figure 5. Evolution des indices pluviométriques à Betioky Atsimo entre 1928 et 1995 (source : Direction Générale de la Météorologie).

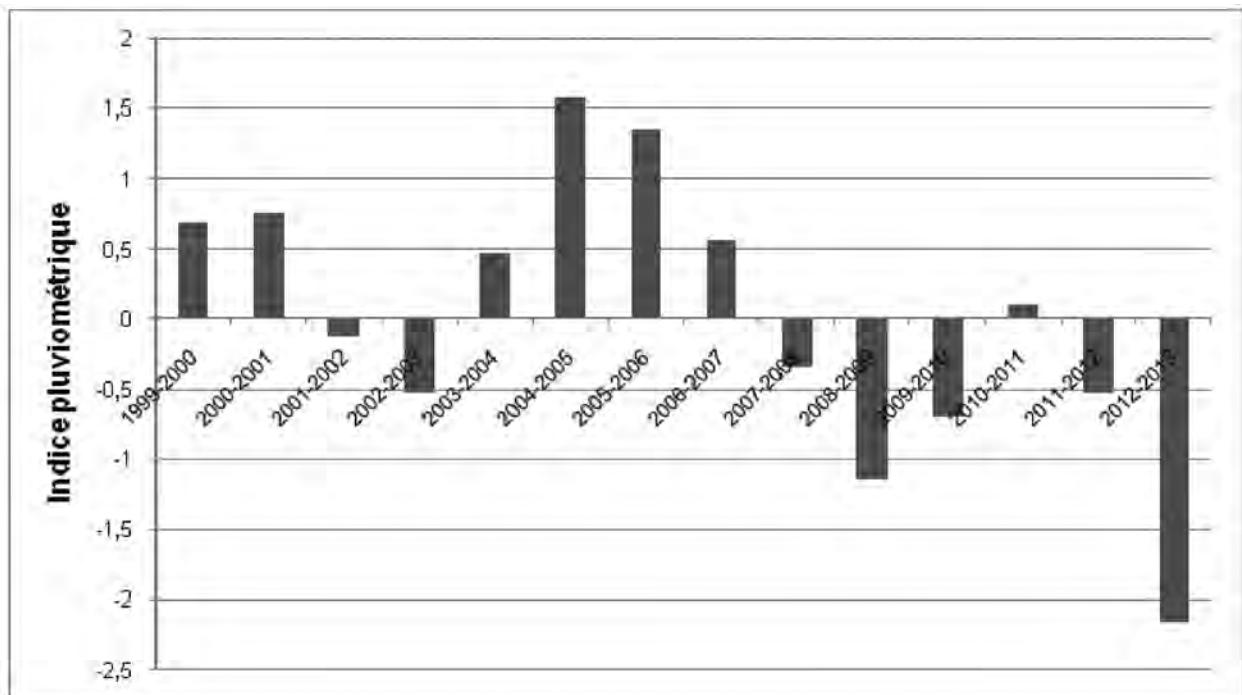


Figure 6. Evolution des indices pluviométriques entre 1999 et 2012 à Bezà Mahafaly (source : Données de suivi Bezà Mahafaly).

locale. Cette influence se traduit par une forte corrélation entre les données climatiques, en particulier de la pluviométrie, et la phénologie des plantes (Rasamimanana *et al.*, 2012). Les feuilles deviennent de plus en plus abondantes au fur et à mesure que les températures remontent après la saison sèche, et la fructification est maximale avec suffisamment de pluies (Rasamimanana *et al.*, 2012).

La disponibilité des ressources vitales affecte aussi la dynamique des autres groupes, dont les oiseaux. Des oiseaux migrateurs tels que *Eurystomus glaucurus* et *Falco concolor* se rencontrent saisonnièrement à Bezà Mahafaly, et la durée de leur observation à Bezà Mahafaly varie selon l'abondance des pluies (Rahendrimanana, 2012).

Perceptions locales et adaptation à la variabilité et le changement climatique

Le climat, en particulier les pluies, constitue l'un des principaux facteurs qui régulent la vie quotidienne des villageois. En effet, les activités de subsistance dans la région sont essentiellement pluviales, avec une prédominance de l'élevage et des cultures sèches, et dépend ainsi fortement de la disponibilité des pluies (Rabeharisoa *et al.*, 2010). Les villageois subdivisent l'année en quatre saisons climatiques, en l'occurrence *afaosa* (saison sèche et chaude), *lohatao* (saison des premières pluies), *asara* (saison humide et chaude) et *asotry* (saison sèche et fraîche) (Ratsirarson *et al.*, 2001 ; Rakotomalala, 2008). Cependant, *lohatao* et *afaosa* sont considérées souvent comme des sous-saisons respectives de la saison des pluies et de la saison sèche.

La référence à la biodiversité locale constitue un élément essentiel de la perception locale sur le climat. Les premières pluies, qui arrivent généralement en novembre ou en décembre, sont appelées *ora mampandro ana-tsifaka* ou pluies pour le bain des nouveaux-nés *sifaka* (*Propithecus verreauxi*), et sont considérées comme un repère pour déclencher les travaux agricoles. Le comportement des espèces sont aussi interprétées comme des indicateurs des événements météorologiques ou du bilan climatique. Les villageois ont observé que, avant une pluie, les *sifaka* ont tendance à se regrouper entre eux. Ils considèrent également que, pendant les années sèches, les tamariniers (*Tamarindus indica*) produisent beaucoup de fruits.

Les observations générales par les villageois font état d'une réduction des pluies, de l'irrégularité de l'arrivée des pluies, de la fréquence accrue des orages et de l'augmentation de la température ainsi que l'augmentation de la fréquence des années de sécheresse. Ailleurs à Madagascar, le régime des pluies est également considéré comme soumis à des incertitudes de plus en plus grandes, et les villageois n'arrivent plus à subvenir leurs prévisions (Alizany *et al.*, 2010). De ce fait, les pluies apportées par les cyclones sont souvent considérées comme les mieux assurées (du moins les moins incertaines) pour la production agricole.

En sus de ces observations générales, la perception locale à Bezà Mahafaly du changement climatique se rapporte également aux problématiques rencontrées dans les activités socio-économiques. Pour l'élevage bovin, les villageois notent une difficulté de plus en plus sévère pour trouver des points d'abreuvement en saison sèche car de moins

en moins de sources sont disponibles. Par ailleurs, l'allongement de la période d'étiage des rivières et des fleuves favorise les vols de zébus car les bandits peuvent mieux circuler et traverser facilement le fleuve Onilahy en direction vers le nord. Selon les villageois, ces vols de zébus sont plus rares en saison de pluies suffisantes, car les voleurs ont plus de difficulté à traverser les rivières et les fleuves inondés avec les troupeaux volés.

Pour l'agriculture, des nouvelles techniques de plantation qui sont perçues comme des adaptations à un changement du contexte climatique sont de plus en plus largement pratiquées. Ils comprennent une adoption plus large de l'arrosage des cultures (auparavant assez limité) (Rakotomalala, 2008), la plantation des patates douces dans de petites buttes, l'augmentation du nombre de graines de maïs par poquets de plantation (Rabeharisoa *et al.*, 2010). Bien que le changement climatique engendre surtout des contraintes, certaines retombées positives sont mentionnées. Ainsi, avec l'augmentation des orages, de plus en plus de terrains sont plus propices à la plantation de maïs et de la patate douce. Des terrains auparavant jugés stériles sont rendus cultivables avec des crues plus fréquentes (Rakotomalala, 2008). Les villageois s'adaptent également pour la gestion des ressources en eau (abreuvement du bétail, alimentation humaine) pendant les périodes sèches en creusant le fond du lit de Sakamena et en créant d'autres puits (Ratsirarson *et al.*, 2001 ; Rakotomalala, 2008).

L'adaptation aux nouvelles contraintes climatiques se manifeste aussi par la priorité accordée aux différentes activités économiques. Ainsi, les cultures de rente (oignons et haricots) sont intensifiées pour compenser la diminution de revenus durant les périodes de disette ou « *kere* » liées aux années sèches. Le petit élevage et le salariat sont des modes de diversification des revenus qui attirent de plus en plus de villageois. De même, alors que sa production était considérée comme une activité secondaire (voire socialement dévalorisante), de plus en plus de femmes produisent du sel gemme pour acheter les denrées alimentaires ou d'autres produits de première nécessité (Rasolondrainy, 2008).

Discussions

La pluviométrie est extrêmement variable à Bezà Mahafaly et cette variabilité est imprévisible. L'abondance de la hauteur pluviométrique est souvent liée au passage d'un cyclone, mais la variabilité inter-annuelle est surtout déterminée par le

phénomène El Niño (Jury, 2003). Des sécheresses sporadiques sont souvent enregistrées dans cette partie du Sud-ouest de Madagascar comme le cas de la sécheresse aiguë en 1983 (Ingram & Dawson, 2005).

Alors que le caractère variable et imprévisible du climat est mis en évidence par les données de Betioky Atsimo et de Bezà Mahafaly, il n'en est pas de même quand il s'agit de statuer sur le changement climatique. Les quantités de pluie pendant les mois de juin-août et de septembre à novembre de 1961 à 2005 tendent à diminuer aux alentours de Toliara, alors que celles-ci restaient stationnaires pour les autres mois (Tadross *et al.*, 2008). De telles conclusions n'ont pu être mises en évidence de façon catégorique pour la station de Betioky Atsimo. De 1999 à 2012, la température à Bezà Mahafaly montre un refroidissement de la température moyenne. Or, les températures (minimale, moyenne, maximale) tendaient à augmenter entre 1961 et 2005 à Toliara (Rabefitia & Andriamampianina, 1999 ; Tadross *et al.*, 2008). L'année 1994-1995 définie par le World Meteorological Organization (1998) comme une année de déficit d'eau dans le Sud de Madagascar correspond à une année d'excédent pluviométrique pour Betioky Atsimo, tandis que la sécheresse aiguë à Betioky Atsimo et ses environs a été enregistrée en 1991-1992. Des variabilités spatiales au sein de la même région bioclimatique peuvent aussi être associées à l'importance de la forêt sur les conditions micro-climatiques qui peuvent également influencer sur le climat local de Bezà Mahafaly. Toutefois, les perceptions locales à Bezà Mahafaly tendraient à confirmer la réalité de changements, ainsi que la nécessité d'efforts pour s'y adapter (Rabeharisoa *et al.*, 2010). La fluctuation de la pluviométrie, notamment la persistance grandissante des périodes sèches, affecte la vie quotidienne des villageois à Bezà Mahafaly et par la suite l'état des ressources naturelles.

Aujourd'hui, les perceptions par la communauté locale d'un changement (ou tout au moins d'un dérèglement) des conditions climatiques les amènent à faire différentes activités dont les impacts (constatés ou potentiels) sont très variables. Mais certaines pratiques existantes afin de fournir les besoins en fourrage pendant les sécheresses, comme la coupe massive des branches de *Tamarindus indica*, représentent des risques non négligeables sur la biodiversité locale. Ces risques pourraient être atténués par une meilleure gestion de ressources fourragères comme *Opuntia inermis*

(Randriamiharisoa, 2009) ou la construction de points d'abreuvement pour remplacer la collecte de plantes aquifères pendant la période sèche.

Conclusion

Dans le Sud de Madagascar, la température et la pluviométrie sont fortement variables et leur variabilité spatiale et temporelle revêt un caractère particulièrement imprévisible. A Bezà Mahafaly, les années à déficit pluviométrique alternent avec les années à excédent pluviométrique, mais de façon aléatoire. Par ailleurs, le passage d'un cyclone suffit à bouleverser les tendances qui sont observées au début d'une année climatique donnée. Les observations au cours de la période d'étude 1999-2012 ne sont pas nécessairement conformes aux observations et projections aux niveaux mondial, national et régional. Ainsi, la température à Bezà Mahafaly connaît une tendance à la baisse, alors que les observations à Toliara dans la même région climatique tendent vers le réchauffement. Les données que nous avons traitées peuvent ne pas présenter une durée suffisante pour produire des conclusions catégoriques, mais démontrent l'importance de considérer l'étude des variabilités climatiques. La tendance à la baisse de la température constatée dans la zone d'étude pourrait faire partie d'un cycle temporel plus long, et doit être interprétée avec précaution. Même si le changement climatique à Bezà Mahafaly ne peut alors être établi de manière catégorique, la variabilité climatique est un facteur déterminant pour la dynamique des ressources naturelles et des pratiques des communautés rurales.

Remerciements

Cette publication a été rendu possible grâce à l'appui financier de la Fondation Liz Claiborne et Art Ortenberg (LCAOF) et la Fondation John D. et Catherine T. MacArthur. Nous sommes reconnaissants envers LCAOF pour son support aux activités de formation, de recherche et de conservation de la biodiversité à Bezà Mahafaly. Nous remercions également l'équipe de Madagascar National Parks à Bezà Mahafaly ainsi que les communautés locales autour de la réserve pour leur collaboration.

Références bibliographiques

Agnew, C. T. 2000. Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*, 12 (1): 6-12.

- Alizany, N., Chrysostôme Rakotondravelo, J., Rabarijohn, R., Raharinjanahary, H., Rabeharisoa, L., Ranaivonasy, J. & Tiani, A. M. 2010.** Adaptive options for growing ariatry rice in the context of climate change: The case of Marovoay. *Adaptive Insights*, 5: 1-3.
- Hubert, P., Carbonnel, J. P. & Chaouche, A. 1989.** Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *Journal of Hydrology*, 110: 349-367.
- Ingram, J. C. & Dawson, T. P. 2005.** Climate change impacts and vegetation response on the island of Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A*, 363 (1826): 55-59.
- GIEC. 2013.** *Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013 : Les éléments scientifiques.* Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.
- Jury, M. R. 2003.** The climate of Madagascar. In *The natural history of Madagascar*, eds. S. M. Goodman & J. P. Benstead, pp. 75-87. The University of Chicago Press, Chicago.
- Lawler, R., Caswell, H., Richard, A., Ratsirarson, J., Dewar, R. E. & Schwartz, M. 2009.** Demography of Verreaux's sifaka in a stochastic rainfall environment. *Oecologia*, 161: 491-504.
- Lubes-Niel, H., Masson, J. M., Paturel, J. E. & Servat, E. 1998.** Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des Sciences de l'Eau*, 11: 383-408.
- Mavume A. F., Rydberg L., Rouault M. & Lutjeharms, J. R. E. 2009.** Climatology and landfall of tropical cyclones in the South-West Indian Ocean. *The West Indian Ocean Journal of Maritime Sciences*, 8: 15-36.
- Pettit, A. N. 1979.** A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28 (2): 126-135.
- Rabefitia, Z. & Andriamampianina, C. 1999.** Tendances des températures et précipitations annuelles à Madagascar de 1961 à 1990. *Mada-Géo*, 4: 18-22.
- Rabeharisoa, L., Rakotondravelo, J. C., Ranaivonasy, J., Rabarijohn, R., Alizany, N., Raharinjanahary, H. & Albrecht, A. 2010.** Vulnérabilité et adaptations des systèmes agraires à Madagascar aux changements climatiques. Rapport technique final, 2007-2010. <http://hdl.handle.net/10625/45813>.
- Rahendrimanana, J. C. 2012.** Influence de la variabilité climatique sur la communauté aviaire de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques-Département Eaux et Forêts, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rakotomalala, J. 2008.** Etude des séries évolutives des systèmes agraires en relation avec les changements climatiques : Cas de deux villages périphériques de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques-Département Agriculture, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Randriamiharisoa, N. A. 2009.** L'élevage des ruminants dans le Sud-ouest malgache face aux variabilités climatiques : Cas de deux villages périphériques de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de fin d'études, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques-Département Agriculture, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rasamimanana, N. 2011.** Influence de la variabilité climatique sur la phénologie de la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Mémoire de fin d'études, ESSA-Forêts, Université d'Antananarivo, Antananarivo.
- Rasamimanana, N., Ratsirarson, J. & Richard, A. F. 2012.** Influence de la variabilité climatique sur la phénologie de la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. *Malagasy Nature*, 6: 67-82.
- Rasolondrainy, T. R. 2008.** Exploitation traditionnelle du sel gemme dans la commune rurale de Tameantsoa (Moyenne vallée de l'Onilahy). Mémoire de fin d'études, Département d'Histoire, Université de Toliara, Toliara.
- Ratsirarson, J., Randrianarisoa, A. J., Ellis, E., Emady, R. J., Efitroarany, Ranaivonasy, J., Razanaonaarivalona, E. H. & Richard, A. F. 2001.** Bezà Mahafaly : Ecologie et réalités socio-économiques. *Recherche pour le Développement, Série Sciences Biologiques*, 18: 1-104.
- Richard, A. F., Dewar, R. E., Schwartz, M. & Ratsirarson, J. 2002.** Life in the slow lane, demography and life histories of male and female sifaka (*Propithecus verreauxi verreauxi*). *Journal of Zoology*, 256: 421-436.
- Soro, T. D, Soro, N., Marie-Solange, Y., Lasm, T., Soro, G., Ernest, K. & Biémi, J. 2011.** La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-ouest de la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo*, 5: 55-73.
- Tadross, M., Randriamarolaza, L., Rabefitia, Z. & Zheng, K. Y. 2008.** Climate change in Madagascar, recent past and future. World Bank, Washington, D. C.
- World Meteorological Organization (WMO). 1998.** Drought. In *The global climate system review, December 1993-May 1996*, ed. J. M. Nicholls, pp. 34-39. World Climate Data and Monitoring Programme, WMO-No. 856, 95. Geneva.
- Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A. & Svoboda, M. D. 2005.** The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatology*, 25: 505-520.