

ACADÉMIE MALGACHE



**BULLETIN
DE
L'ACADÉMIE MALGACHE**

TOME XCVI/1

JANVIER – JUIN 2016



SOMMAIRE

**FIZARANA VOALOHANY: VELAKEVITRA SY LAHATSORATRA
PARTI: PAPERS / PREMIÈRE PARTIE: COMMUNICATIONS**

| | |
|---|-----|
| Aostronezia-2: ho fiomanana amin'ny fivoriana iraisam-pirenena faha-14 momba ny haiteny aostronezianina, Madagasikara 2018. | |
| RAKOTOMALALA Daniel | 3 |
| Teny maley (<i>Melayu</i>) sy Teny indoneziana: fitoviana sy ny mety ho fahasamihafana. | |
| RANAIVOSON Christian Gérard | 11 |
| Ny Kolontsaina sy ny Ngadona Ba Gasy araka ny Tiona BaGasy | |
| RABENASOLO Paul Imboasalamaniaina Andriampenomanana, RAMORASATA Jean Olivier, NJATOARIMANGA Tojoniaina | 17 |
| Hataka Zanahary. | |
| RAMAMONJISOA Suzy | 21 |
| Applications de la métamodélisation du numérique éducatif. | |
| RAFIDINARIVO Elie, RANDRIANARISON Bodonirina Annette | 25 |
| L'évolution récente de la culture du riz en milieu montagnard: cas du massif de l'Ankaratra. | |
| ANDRIAMPENITRA Serge Tovo | 37 |
| Focus sur le Changement Climatique et les Énergies Renouvelables à Madagascar. | |
| ANDRIAMAMPIANINA José, RANJARANIMARO Pierrot, ANDRIANJAFITRIMO RAKOTONDRAJAONA Luc, RAVELOMANANTSOA Harilala, ANDRIANTSIMIETRY Rahehinantenaina, SOLOFOHARISINA Wilfrid Chrysante, RAKOTOFIRINGA Jean Marc, RAKOTOARISON Mihary Simon. | 51 |
| L'itinéraire d'Antoine Rakotovo Pasteur de la LMS (1881 – 1956). | |
| RASOLOMANANA Nehémie. | 81 |
| Rencontre des cultures dans quelques récits de voyages germanophones sur Madagascar. | |
| RASOAMAHENINA Volatiana | 93 |
| Pathologies canines courantes dans une clinique vétérinaire privée à Antananarivo. | |
| RAKOTONOELY Tatamonirina Ortensia, RAFATRO Herintsoa | 101 |
| Gestion de pâturages par utilisation combinée d'un modèle de prédiction du rendement fourrager et de la télédétection:cas de la station de recherche de Kianjasoa, Madagascar. | |
| RAZAFINARIVO Tsirinirina Donnah, RAHETLAH Volatsara Baholy, RAKOTOZANDRINY Jean de Neupomuscène, PAULO Salgado, RAKOTOMANANA Olga Rachel, HÉLÈNE Artus, LIONEL le Mezo | 107 |
| Générateurs électrochimiques sans recharge, nouveau procédé «vert» de production d'électricité. | |
| RAMAROSON Mamiharijaona, RAZAFIMAHENINA Jean Marie, RAKOTOMARIA Etienne | 115 |
| Ny endriky ny Fitiavan-tanindrazana tarafina tao amin'ny tantara fisehatra Voady manaitra na Zanaka vavin'i Jefta. | |
| RAVALOSON Rajohnson Andriambatosoa (Mbato). | 123 |
| Accessibilité aux règles de droit et leur effectivité à Madagascar | |
| ESOAVELOMANDROSO Faratiana. | 129 |
| Echecs dans la lutte contre le paludisme à Madagascar. | |
| RANDRIANARIVELOJOSIA Milijaona, RAVELONARIVO Jemima, RAVAOARISOA Elisabeth, RAVOLANJARASOA Léonora, ANDRIANARANJAKA Voahangy, RANDRIAMAMPIONONA Léa, RANDRIANASOLO Laurence, RAJAONARISON Pascal | 137 |
| Soron'anake. | |
| MBOLA MOREL Ravaonirina Pierrette. | 143 |
| Valorisation de l'horticulture: cas des fraisiers mycorhizés sur billes d'argile expansées. | |
| RAZAFINDRAKOTO Haingomalala | 149 |

| | |
|---|-----|
| Atlas provisoire des tompontany malagasy avant le XV^{ème} siècle. RAKOTOARISEHENO Ramisandrazana, RANAIVOSON Socrate | 165 |
| La Bioéthique en question: l'exemple de la première greffe de visage. RAZANAMPARANY Marcel, RAZANAMASY Kalory, RASOLOFO-RAZANAMPARANY Voahangy | 181 |
| Les calendriers malgaches du XIX^{ème} siècle suivis d'une concordance pour les années 1853-1863. DOMENICHINI Jean Pierre..... | 185 |
| Problématique de l'indépendance de la magistrature. RALAMBONDRAINNY RAKOTOBÉ Nelly | 223 |
| Fabrication de la farine infantile à base des bananes plantains, des graines de soja et des feuilles de <i>moringa oleifera lamarck</i>. RAZAFIMANDIMBY Fara Fanambinantsoa et RAZAFIMAHEFA | 229 |
| La potabilité des eaux naturelles consommées par la population rurale d'Antananarivo. RANDRIAMANIVO Lucienne V.; RASOAZANANY Elise O.; ANDRIAMAHEHINA Njaka N.; RAVOSON Herinirina N.; RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA | 241 |
| Ny fihanonan'Andrianampoinimerina Mpanjakan'Imerina sy Ravahiny Mpanjakan'i Boina RANDRIAMAMONJY Frédéric..... | 259 |
| Géomorphologie, Géotechnie, Urbanisation – Région Analamanga. RAMANAMIHANTA RATSIMBA Josette | 263 |
| Asan-gazety malagasy: mpiseho isan'andro, taona folo 1950-1960. Ohatra: Gazety «Mandroso». RASOAMAHEHINA Andriamazoto Josoa | 277 |
| Pollution urbaine par les microparticules de l'air ambiant à Ambohitsaina et Andranovory, Antananarivo-Madagascar. ANDRIAMAHEHINA Njaka Namelantsoa, RAOELINA ANDRIAMBOLOLONA, RAVOSON Herinirina Nomenjanahary, RASOAZANANY Elise Octavie, RANDRIAMANIVO Voahangilalao, RANDRIANARIVONY Edmond | 281 |
| RAokandro amin'ny Fampiasa TSOtra (RAFATSO) matrika ny godro RAFATRO Herintsoa..... | 291 |

FIZARANA FAHAROA: FIRAKETANA AN-TSORATRA
PART II: MINUTES / DEUXIEME PARTIE: PROCES VERBAUX

| | |
|---|-----|
| Famintinana an-tsoratra ny Fivoriambe lombonana natao tamin'ny ny Alakamisy 28 Janoary 2016 | 297 |
| Famintinana an-tsoratra ny Fivoriambe lombonana natao tamin'ny Alakamisy 28 Febroary 2016 | 300 |
| Famintinana an-tsoratra ny Fivoriambe lombonana natao tamin'ny Alakamisy 24 Marsa 2016 | 302 |
| Famintinana an-tsoratra ny Fivoriambe lombonana natao tamin'ny Alakamisy 28 Aprily 2016 | 307 |
| Famintinana an-tsoratra ny Fivoriambe lombonana natao tamin'ny Alakamisy 26 Mey 2016 | 309 |
| Famintinana an-tsoratra ny Fivoriambe lombonana natao tamin'ny Alakamisy 30 Jona 2016 | 315 |

FIZARANA FAHATELO: MPIKAMBANA SY MPIFANDRAY
PART III: MEMBERS AND CORRESPONDENTS / TROISIEME PARTIE: MEMBRES ET CORRESPONDANTS

| | |
|---|-----|
| Biraon'ny Akademia Malagasy / <i>Officers of the Madagascar Academy</i> / <i>Bureau de l'Académie Malgache</i> ... | 323 |
| Biraon'ny Sokajy / <i>Officers Section's</i> / <i>Bureau des Sections</i> | 324 |
| Tanisan'ny Mpikambana sy Mpifandray / <i>List of Members and Correspondents</i> / <i>Liste des Membres et Correspondants</i> | |
| Haikanto sy Hailaza / <i>Art and Language Sciences</i> / <i>Sciences de l'Art et du Langage</i> | 325 |
| Haifiaina sy Haifitondra / <i>Moral and Political Sciences</i> / <i>Sciences Morales et Politiques</i> | 328 |
| Hairaha Fototra / <i>Basic Sciences</i> / <i>Sciences Fondamentales</i> | 331 |
| Hairaha Ampiharina / <i>Applied Sciences</i> / <i>Sciences Appliquées</i> | 335 |

FIZARANA VOALOHANY:
VELAKEVITRA SY LAHATSORATRA

PART I: PAPERS / PREMIÈRE PARTIE: COMMUNICATIONS

GESTION DE PÂTURAGES PAR UTILISATION COMBINÉE D'UN MODÈLE DE PRÉDICTION DU RENDEMENT FOURRAGER ET DE LA TÉLÉDÉTECTION: CAS DE LA STATION DE RECHERCHE DE KIANJASOA, MADAGASCAR *

par

RAZAFINARIVO Tsirinirina Donnah[◊], RAHETLAH Volatsara Baholy^{◊◊}, RAKOTOZANDRINY
Jean de Neupomuscène^{◊◊◊}, PAULO Salgado^{◊◊◊}, RAKOTOMANANA Olga Rachel^{◊◊◊◊},
HÉLÈNE Artus^{◊◊◊◊}, LIONEL le Mezo^{◊◊◊◊}

Fintina

Misy fiantraikany lehibe amin'ny fiompiana omby eto Madagasikara ny fitombon'ny mponina. Izany moa dia noho ny fitombon'ny filàna ara-tsafako ary koa ny fihenana'ireo toerana ahafahan'ny omby miraoka vilona. Manoloana izany ary dia tokony hisy rafitra hajoro afahan'ny vokatry ny fiompiana hanome fahafaham-po ny filan'ny mponina. Eto dia ny fampiasana modely faminavinaina ny famokaran'ny vilona sy ny tsinjolavitra avy amin'ny zanabolana fototra hiangana hitantanana ny kijana. Noho izany dia norefesina isaky 15 andro ny vokatry ny *Brachiaria brizantha* ao anaty 1m², ary nampiarahana tamin'izany ny fahazahoana sary tamin'ny zanabolana SPOT5. Izany natao moa dia namolavolana modely haminavinana ny vokatra vilona azo avy amin'ny fampitahana vokatra *Brachiaria* eny an-toerana sy ny tombana omen'ny zanabolana. Izany fampitahana izany moa dia nanome R²=0,64. Noho izany dia afaka vinavinaina avy lavitra tsy mila midina any an-toerana ny famokaran'io karazam-bilona iray io. Ny modely azo avy amin'ny sary roa nomen'ny zanabolana tamin'ny 26 aprily sy 6 jona 2013 dia nampiasaina mba hanamboarana saritany maneho ny

vamokaran'ny vilona eo amin'ireo karazana kijana ao amin'ny toeram-pikarohana ao Kianjasoa. Ireo saritany ireo dia milaza fa ao anatin'ireo kijana rehetra misy any Kianjasoa izay mirefy 95,54ha ny fitambarany dia nahitana 321,25 sy 256,9 taonina vilona maina tamin'ireo daty roa izay voalaza eo ambony. Noho izany dia nokajiana ny isan'ny omby afaka fahanana ao amin'io toeram-pikarohana iray io sy ny isan'ny omby zakan'ny kijana tsirairay avy misy an-toerana. Izany dia afahana milaza fa mihoatra lavitra ny voka-bilona misy any an-toerana izay 659 226 taonina, manoloana ny filan'i Kianjasoa izay 287 437 taonina fotsiny. Maro ary ireo soso-kevitra azo aroso ao amin'ny toeram-pikarohana; toy ny fitehirizana ny vilona mba entina hitsinjovana ny main-tany na koa ny famarotana ireo vilona mihoatra ny filan'omby mba ampitombo ny vokatra ara-toekarena misy ao Kianjasoa.

Teny fototra: NDVI, *Brachiaria brizantha*, omby, isa zakan'ny kijana iray, Sarin-tany, fomba famahanana omby.

Abstract

The growth of population affects the development of cattle husbandry in Madagascar as the demand in beef increases and the forage production areas are reduced. In view of this situation, a system of pasture management is required to improve the forage availability and to match the food demand to the animal need. In this study, the use of a prediction model of the forage yield, and a remote sensing technique comes as a basic argument to conduct a system of forage management. To do so, the yields of *Brachiaria brizantha* grown on small planks of 1,0 m² were recorded and analysed in line with images obtained from the SPOT 5 satellite every 15 days. A model of forage yield prediction was then constructed in correlation with the produc-

tion of *Brachiaria*, measured on the field and the vegetation index (NDVI) obtained from satellite imagery. The calculation of the linear regression between these parameters has given a correlation coefficient (R²) of 0,64. Thus, the biomass production using satellite imagery can be predicted for this particular forage species. A model that combines two satellite pictures, taken on April 29 and on June 6, 2013, was then used to draw a forage availability map of various grasslands at the Agricultural Research station of Kianjasoa. According to the information read on the map, the amount of Dried matters (DM) of the station stretching along 95,54ha of grasslands are respectively of 321 and 257 tons on April 29 and on June 6. The

★ Communication présentée lors de la séance de la Section des Sciences Fondamentales et de la Section des Sciences Appliquées du Jeudi 18 Février 2016.

◊ Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Madagascar.

◊◊ FIFAMANOR, BP 198, Antsirabe 110, Madagascar .

◊◊◊ CIRAD, UMR SELMET, BP 319, Antsirabe 110, Madagascar

◊◊◊◊ Centre national de recherche appliquée au développement rural, Département de Recherches Zootechniques et Vétérinaires FOFIFA/DRZV BP:1690, Antananarivo, Madagascar

◊◊◊◊◊ CIRAD, UPR AIDA, 7 Chemin de l'IRAT, Ligne Paradis 97410 Saint Pierre, Ile de la Réunion, France.

number of animals that could be fed between these periods as well as the yearly forage yields were calculated. The forage availability of the station (659,22 t of DM) has widely outpassed the quantity required to feed the herds (287,43 t of DM). From these assessments, recommendations were suggested to establish a system of fodder preservation to supply need during

shortage periods, or in order to sell excess or for any other purpose to value up the production of the station.

Keywords: Bovin – *Brachiaria brizantha* – Capacité de charge animale – Cartographie – NDVI – Système fourrager..

Résumé

La croissance démographique a un impact sur le développement de l'élevage bovin à Madagascar du fait de l'augmentation de la demande en viande bovine et de la réduction des surfaces des parcours fourragers. Face à cette situation, un système de gestion de pâturages est nécessaire afin d'améliorer la disponibilité fourragère et d'adapter l'offre alimentaire aux besoins des animaux. Dans cette étude, l'utilisation d'un modèle de prédiction du rendement fourrager, et de la télédétection servira de base de raisonnement pour créer le système de gestion. Pour se faire, le rendement fourrager du *Brachiaria brizantha* a été enregistré tous les 15 jours sur des placettes de 1,0 m² en parallèle avec l'acquisition d'images satellites SPOT 5. Puis, un modèle de prédiction du rendement fourrager a été élaboré par la corrélation de la production de *Brachiaria*, mesurée sur le terrain et l'indice de végétation NDVI obtenu à partir des images satellites. Le résultat de la régression non linéaire entre ces paramètres a donné un coefficient de corrélation (R²) de 0,64. Ainsi, il a été possible de prédire la production de biomasse de cette espèce fourragère à partir d'une image satellite. Le modèle appliqué à deux images satellites, prises le 29 avril et le 6

juin 2013, a été par la suite utilisé pour construire une carte de disponibilité fourragère des différentes parcelles de pâturage de la station de recherche à Kianjasoa. D'après les informations des cartes, les quantités de matière sèche (MS) dans la station répartie sur les 95,54ha de pâturage sont de 321 et 257 tonnes de MS le 29 avril et le 6 juin, respectivement. Le nombre d'animaux pouvant être alimentés durant ces dates ainsi que la capacité de charge annuel ont été calculés. La disponibilité annuelle de fourrage dans la station (659,22 t de MS) dépasse largement les besoins annuels du troupeau de bovins (287,43 t de MS). À partir de ces évaluations, des recommandations ont été proposées comme la mise en place d'un système de conservation des fourrages pour subvenir au besoin durant les périodes déficitaires, ou la vente du surplus fourrager à d'autres fins pour valoriser la production de la station.

Mot-clés Bovin, *Brachiaria brizantha*, Capacité de charge animale, Cartographie, NDVI, Système fourrager

Introduction

Comme dans la majorité des pays en voie de développement, Madagascar connaît une forte croissance démographique, et une hausse de la consommation de protéines animales [1]. Cette augmentation de la consommation oblige Madagascar à développer les productions animales, principalement celle des bovins qui reste la première source de protéines animales des résidents de la grande île [2]. Cependant, ce développement peut se heurter à certaines contraintes comme l'indisponibilité des aliments pour le bétail et la dégradation des prairies (Jacquin et al 2010) en particulier dans les zones d'élevage extensif comme le Moyen Ouest de Madagascar. Dans ces zones, les troupeaux de bovins devraient pouvoir satisfaire ses besoins alimentaires en accédant aux ressources pastorales spontanées [3]. Ainsi, une bonne gestion de ces ressources devrait être effectuée afin de minimiser les dégâts liés au surpâturage, mais également au sous-pâturage. Le besoin d'une telle gestion est imposé d'une part par la nécessité d'économiser les ressources alimentaires, qui sont limitées et, d'autre part, par la nécessité d'adaptation des systèmes de production aux changements globaux (changements climatiques, pression foncière, etc.) [4]. Généralement, pour une intensification de la production animale à l'échelle du territoire, il est indispensable d'utiliser des méthodes de suivi et d'observation spatiale afin d'avoir une vision globale, mais en même temps détaillée de l'ensemble. Dans la présente étude, la télédétection et la modélisation du rendement fourrager ont

été utilisées pour le suivi, l'évaluation, et la gestion des couverts végétaux afin d'améliorer le système fourrager existant.

1. Matériels et méthodes

1.1. Zone d'étude

La zone d'étude correspond à la station expérimentale de Recherche Zootechnique et Fourragère de Kianjasoa (FOFIFA) située dans le Moyen Ouest de Madagascar. Cette zone se situe entre les Hautes-Terres centrales et le littoral occidental de la grande île à 19°03'10.4"S, 046°22'33.2"E et à environ 950m d'altitude. Autrefois, la superficie générale de la station était de 4200ha [5], mais seulement 1/10^e de cette superficie sont utilisés actuellement. Introduit depuis plus de 40 années dans cette zone du pays, le *Brachiaria brizantha* est devenu aujourd'hui une des espèces fourragères à propagation non contrôlée, sans entretien, sans amendement ni repiquage; il reste néanmoins une espèce fourragère de qualité utilisée pour l'alimentation des bovins de la station. Ainsi, plus de 75 % de la ration fourragère des bovins de la station est constituée par le *Brachiaria brizantha*, le reste étant composé d'herbes spontanées et de sous-produits agricoles ou fourrages conservés. Le climat du Moyen-Ouest se classe dans le type tropical humide caractérisé par la saison des pluies allant de décembre à mai alternée d'une saison sèche bien marquée (de juin à novembre). La température moyenne se situe entre 23°C (juin) et 29°C (décembre). La moyenne de la précipitation annuelle est de

1500mm. Une ferme expérimentale a été installée au sein de la station de Kianjasoa dans le but d'évaluer les possibilités d'une exploitation de type familiale, par l'introduction des composants habituels reconnus à travers la région comme les bœufs de trait, les races à viande (*Renitelo*) ou encore les vaches laitières (Frisone), en valorisant au maximum la disponibilité fourragère et afin d'obtenir le maximum de profit. Cette ferme expérimentale compte actuellement 126 bovins.

1.2. Acquisition des données agronomiques

La collecte de données agronomiques a été effectuée durant la fin de la saison des pluies, entre avril et juin 2013. Pour ce faire, cinq parcelles situées au sein de la zone d'étude ont été sélectionnées en fonction de plusieurs critères comme la facilité d'accès, le système d'exploitation en pâture et/ou en fauche à base de *Brachiaria brizantha*, la surface et la disposition des parcelles. La surface des parcelles était supérieure à 40 x 40m afin d'éviter les effets de bordure, mais aussi la prise en compte des marges d'erreur de la géolocalisation. Pour chaque parcelle expérimentale, trois à huit placettes de mesure (1,0 x 1,0 m) représentatives ont été choisies selon la taille et l'hétérogénéité de l'ensemble (méthode des quadrats). Les placettes sélectionnées aléatoirement ont été situées dans la zone fonctionnelle de la parcelle, à au moins 20m de chaque bordure afin de garantir une localisation au sein des pixels exploitables de l'image satellite (taille d'un pixel de 10,0 x 10,0 m; précision du GPS: 15m). Les localisations géographiques des mesures ont été obtenues avec la prise des coordonnées GPS. Sur chaque placette, les paramètres agronomiques mesurés ont été: (i) la hauteur de l'herbe, (ii) la composition botanique, (iii) le stade phénologique et (iv) la production de matière verte. La hauteur de l'herbe a été mesurée à partir de la surface du sol à l'aide d'une règle graduée. La composition botanique et le stade phénologique sont évalués par observation visuelle. Le rendement fourrager en vert est mesuré à partir de la coupe de l'herbe à hauteur de 10 cm du sol. Un échantillon du fourrage (250 à 300g) a été prélevé dans chaque placette et ramené au laboratoire en vue de l'analyse de la teneur en matière sèche.

1.3. Acquisition des images satellites

Les mesures au sol ont été effectuées en parallèle avec l'acquisition des images satellites multispectrales SPOT 5 avec une résolution de 10 m, acquises tous les 10 jours. Ces images sont issues de la station de réception et de traitement d'images satellites SEAS-OI, implantée sur le site de l'Institut Universitaire de Technologie de Saint-Pierre à la Réunion. Les données de ces images ont été reliées avec les données agronomiques des dates de mesures au sol se rapprochant le plus des dates d'acquisitions de ces images.

1.4. Élaboration du modèle

La corrélation consiste à coupler les indices NDVI (*Normalized DifferenceVegetation Index*) extraits des images satellites avec les mesures de la quantité des biomasses fourragères géo-référencées sur le terrain. Le NDVI est un indice de végétation très fortement corrélé avec la densité du couvert végétal et la capacité des plantes à absorber la lumière solaire pour la convertir en biomasse [6]. À partir de cette corrélation, un modèle a été établi de sorte qu'à partir d'une image satellite donnée, il est possible d'évaluer le rendement en biomasse d'une parcelle à un instant «t» défini. Le modèle a été calibré à partir des données des parcelles suivies, mais validé sur d'autres parcelles différentes de celles qui ont été utilisées pour l'étape de calibration.

1.5. Capacité de charge

À partir de ce modèle, nous pouvons estimer le nombre maximum de bovins pouvant pâturer une surface donnée sans surexploiter la végétation, c'est-à-dire la capacité de charge de la prairie [7]. Les bovins tropicaux adultes étant des animaux dont le poids moyen varie de 200 à 400 kg, et qui consomment environ 2,5kg de matière sèche (MS) par 100kg de poids vif. L'unité bovine tropicale (UBT) est définie comme un bovin de 250kg de poids vif à l'entretien, dont sa consommation journalière est conventionnellement de 6,25 kg de MS. Le concept d'Unités de Bétail Tropical est pratique pour quantifier une grande variété de différents types et tailles de bétail d'une façon standardisée. Cette notion d'unité standard peut servir pour l'estimation de la capacité de charge des différentes parcelles et du bilan fourrager suivant l'évolution du pâturage.

1.6. Traitement des données

L'acquisition des données sur le terrain s'est déroulée tous les 15 jours, entre le 26 avril et le 11 juin 2013. Durant cette même période, plusieurs images satellites ont été acquises, mais seulement deux images ont été exploitables pour le calcul de la valeur de NDVI. Le calcul de cet indice est basé sur la propriété de réflectance du couvert végétal dans le spectre visible «rouge» (R) et dans le «proche infrarouge» (PIR). Il varie entre -1 et 1 [8]

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$

Une analyse statistique par la régression non linéaire à partir du logiciel «R» a permis d'évaluer la relation entre NDVI et rendement en vert du *Brachiaria*. Le modèle obtenu est par la suite utilisé

pour calculer la quantité de fourrage consommable qui est donnée par la formule:

$$Q_c = P_p \times T_u^* \times H$$

- Q_c = Quantité de fourrage consommable
- P_p = Production potentielle de fourrage durant une période déterminée et à l'abri des herbivores
- T_u^* = Taux d'utilisation
- H = Nombre total d'hectares

Le taux d'utilisation représente le pourcentage qui détermine la quantité de fourrage disponible après avoir soustrait les pertes dues à divers facteurs comme les insectes ravageurs et le piétinement des animaux. D'une façon générale le taux d'utilisation est compris entre 30 et 50%, mais dans cette étude cette valeur a été plafonnée à 50% suivant les recommandations pour les pâturages indigènes [9]. La capacité de charge pour une période déterminée est obtenue par la formule:

$$C_c/\text{période (kg de poids vif/ha)} = \frac{Q_c}{2,5} \times \frac{100}{\text{Période}}$$

La capacité de charge en UBT est alors déterminée par la formule suivante:

$$C_c \text{ UBT} = \frac{C_c/\text{période}}{250}$$

2. Résultats et discussion

2.1. Influence des dates de mesure et des sites sur la production fourragère

Les rendements moyens en matière verte de *Brachiaria brizantha*, au cours de l'expérimentation dans les différents sites de calibration du modèle sont présentés dans la Figure 1. Les résultats des analyses de variance (ANOVA) montrent par leurs coefficients de détermination que 45% de la variabilité observée est expliquée par la localisation des sites d'échantillonnage et 41% par la période de coupe. Le test de Tukey HSD a révélé des effets significatifs des variables site et période ainsi que de leur interaction ($P < 0,05$). La production de biomasse de *Brachiaria* baisse significativement au-delà du mois de mai (A et B). Les sites peuvent être classés en trois groupes bien distincts (a, b et c). Les bâtons identifiés par les mêmes lettres ne sont pas significativement différents. Les valeurs indiquées sont les moyennes avec les intervalles de confiance correspondantes.

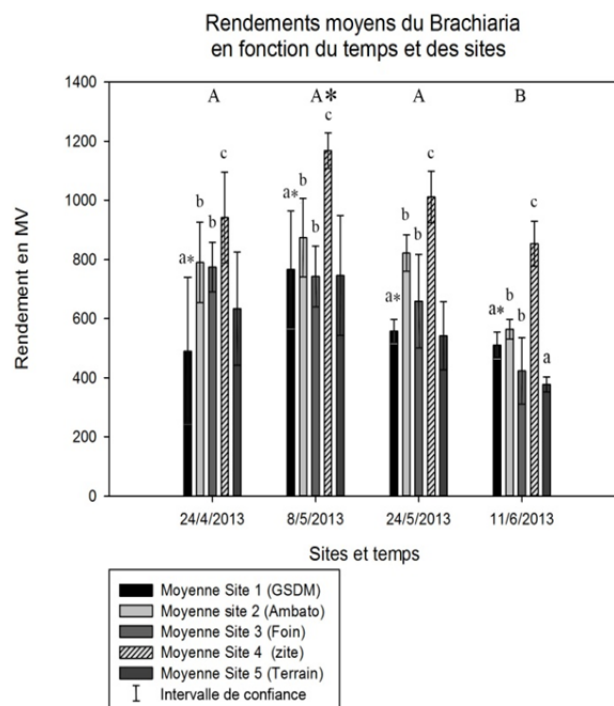


Figure 1: Rendement moyen en matière verte de *Brachiaria brizantha* en fonction de la période et des sites

2.2. Relation entre biomasses et NDVI

Une corrélation exponentielle positive ($R^2 = 0,64$; $N = 39$; Rendement = $1442,93 \times \text{Exp}(0,82 \times \text{NDVI}) - 1639,07$) entre le rendement en vert de *Brachiaria brizantha* et le NDVI a été observée (Figure 2). Le modèle obtenu est validé à partir des données des parcelles différentes de celles utilisées pour la calibration. La validation consiste à tester la robustesse de l'équation empirique obtenue entre le rendement en matière verte et NDVI, en confrontant les valeurs du rendement en vert mesuré et celles du rendement théorique. Le rendement en vert mesuré détermine le rendement réel mesuré à l'intérieur de la placette tandis que le rendement en vert théorique détermine le rendement prédit à partir du modèle obtenu. Les résidus constituent la différence entre le rendement en vert mesuré et théorique, plus les résidus s'approchent de la valeur nulle, meilleur sera le modèle. La régression entre NDVI et les paramètres agronomiques, notamment le rendement du *Brachiaria* donne un coefficient de détermination supérieur par rapport à celui obtenu par Andriarimalala ($R^2 = 0,52$) dans des conditions expérimentales similaires [10]. Pour justifier cette faible corrélation entre le NDVI et les paramètres agronomiques, plusieurs hypothèses ont été avancées comme (i) le jaunissement causé par les carences constatées sur les feuilles des plantes, et (ii) l'envahissement des adventices au niveau des parcelles. D'une part, la carence des feuilles a un effet direct sur les valeurs de NDVI en

modifiant le niveau de réflectance dans le rouge visible [11] affirment que le comportement spectral des végétaux est lié à leur composition en pigments, en particulier la chlorophylle. De plus, la carence en éléments fertilisants ou hydrique perturbe la croissance et le développement des cultures. D'autre part, l'envahissement des adventices sur les parcelles de *Brachiaria* peut également constituer un facteur de biais dans l'estimation du rendement de la biomasse par la télédétection, car elles sont prises en compte dans les calculs de NDVI en tant que végétation verte. L'établissement d'une relation empirique fiable entre indices de végétation et les données agronomiques dans l'estimation de la production exige également un réseau d'échantillonnage très dense dans le temps et dans l'espace [12]. De plus, il faut aussi souligner que les indices de végétation calculés à partir d'images satellites sont sensibles aux autres facteurs non liés à la végétation. Ces indices de végétation sont sensibles, par exemple, aux variations des conditions atmosphériques tels les nuages, la poussière, la brume, la vapeur d'eau et d'autres aérosols qui diminuent la valeur du NDVI [13]. Une étude récente réalisée dans la partie Sud de Madagascar a démontré que NDVI est fortement corrélé avec la précipitation [14]. Enfin, il faut aussi considérer l'intervalle de temps entre la prise d'image satellite et l'instant où nous avons réalisé le prélèvement; plus cette durée est longue moins le modèle sera précis. De plus, les événements (coupe, pâture, etc.) entre ces deux dates peuvent également nuire à la calibration du modèle. Néanmoins, nos résultats sont exploitables pour la détermination du rendement de biomasse notamment de celui de *Brachiaria* à partir d'images satellites. La connaissance de la production de biomasse des parcelles au niveau d'un large territoire permet de mieux raisonner la gestion des pâturages en fonction de la disponibilité fourragère et de la localisation et effectifs des animaux. Face à la dégradation des pâturages et aux variabilités spatio-temporelles, une carte de biodisponibilité permettrait aux acteurs du développement rural d'apporter des conseils aux éleveurs face au déficit de l'alimentation.

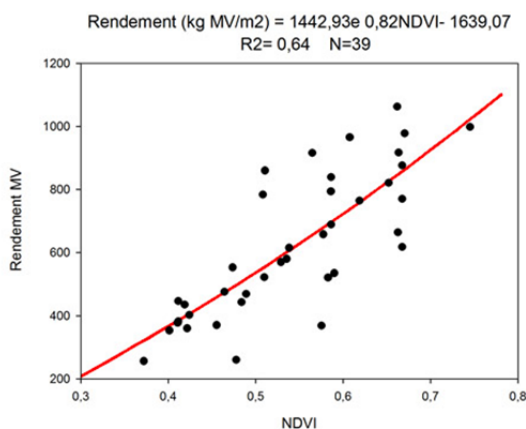


Figure 2: Relation entre rendements en biomasse du *Brachiaria brizantha* et NDVI.

2.3. Carte de biodisponibilité

L'occupation du sol de la station de Kianjasoa est divisée en trois zones bien distinctes. Premièrement, les zones d'habitation contenant les espaces de travail et les étables, ensuite, les zones de culture, et enfin les zones de pâturage. C'est à partir de cette dernière zone que le modèle va prédire la production fourragère afin de mieux gérer le pâturage. Une carte de la disponibilité des ressources fourragères dans les différents sites de pâturage de la station a été élaborée (Figure 3). Les sites 1 à 5 ont permis la calibration du modèle; la production des 6 sites restants a été déterminée à partir de ce modèle et des deux images satellites. Ainsi, les productions moyennes de *Brachiaria brizantha* dans toute la station le 29 Avril et 06 Juin 2013 sont respectivement 670,19 et 483,98 tonnes. Ces valeurs confirment les résultats de l'ANOVA (Figure 1) sur les mesures directes du rendement sur le terrain dont nous avons observé qu'il y avait une différence significative de production fourragère entre ces dates. Ces valeurs couplées aux résultats de laboratoire ont permis par la suite de déterminer la quantité de matière sèche disponible sur chaque site à un instant «t» (Tableau 1). La connaissance de la quantité de matière sèche disponible à un instant et à un endroit définis facilite la gestion du pâturage ou du système fourrager dont la prise de décision sur la date d'utilisation du pâturage pour une utilisation optimale des ressources. La capacité de charge instantanée, en Unité Bovine Tropicale, générale de la station expérimentale (11 parcelles de pâturage) s'élève à environ 4,52UBT/ha. Ainsi, à partir de la répartition des UBT par site, l'offre fourragère sera ajustée en fonction des besoins des animaux. Certains sites seront mis en défens temporaires (figure 3, site 10) par la pratique de pâturage tournant afin de mieux valoriser les repousses végétales. D'autres sites seront mis en défens pendant toute la saison des pluies pour reporter la production fourragère de la période excédentaire (saison pluvieuse) à la période déficitaire (saison sèche), sous forme de réserves (foin, ensilage, report sur pied)(Klein et al 2014). Les sites restants seront utilisés d'une manière raisonnée suivant les disponibilités des ressources fourragères prédites par le modèle pour ne pas dégrader le stock fourrager. Notons ici que ces calculs de capacité de charge ont été effectués sur une base de 244 jours c'est-à-dire durant la saison où nous pouvons encore trouver de la matière verte sur les parcelles (Décembre à Juillet). Ainsi, il est judicieux de conserver le fourrage pour subvenir aux besoins du cheptel durant les mois restants (Août à Novembre). Néanmoins, la banque de fourrage est largement supérieure au besoin annuel des animaux présents dans la station. Dans ce cas, quelques perspectives pourraient être proposées comme l'augmentation du nombre d'animaux jusqu'à 430 têtes. Ou encore, la vente du surplus de fourrage d'environ 370 tonnes (MS) conservé durant les saisons sèches pour augmenter les bénéfices économiques de la station.

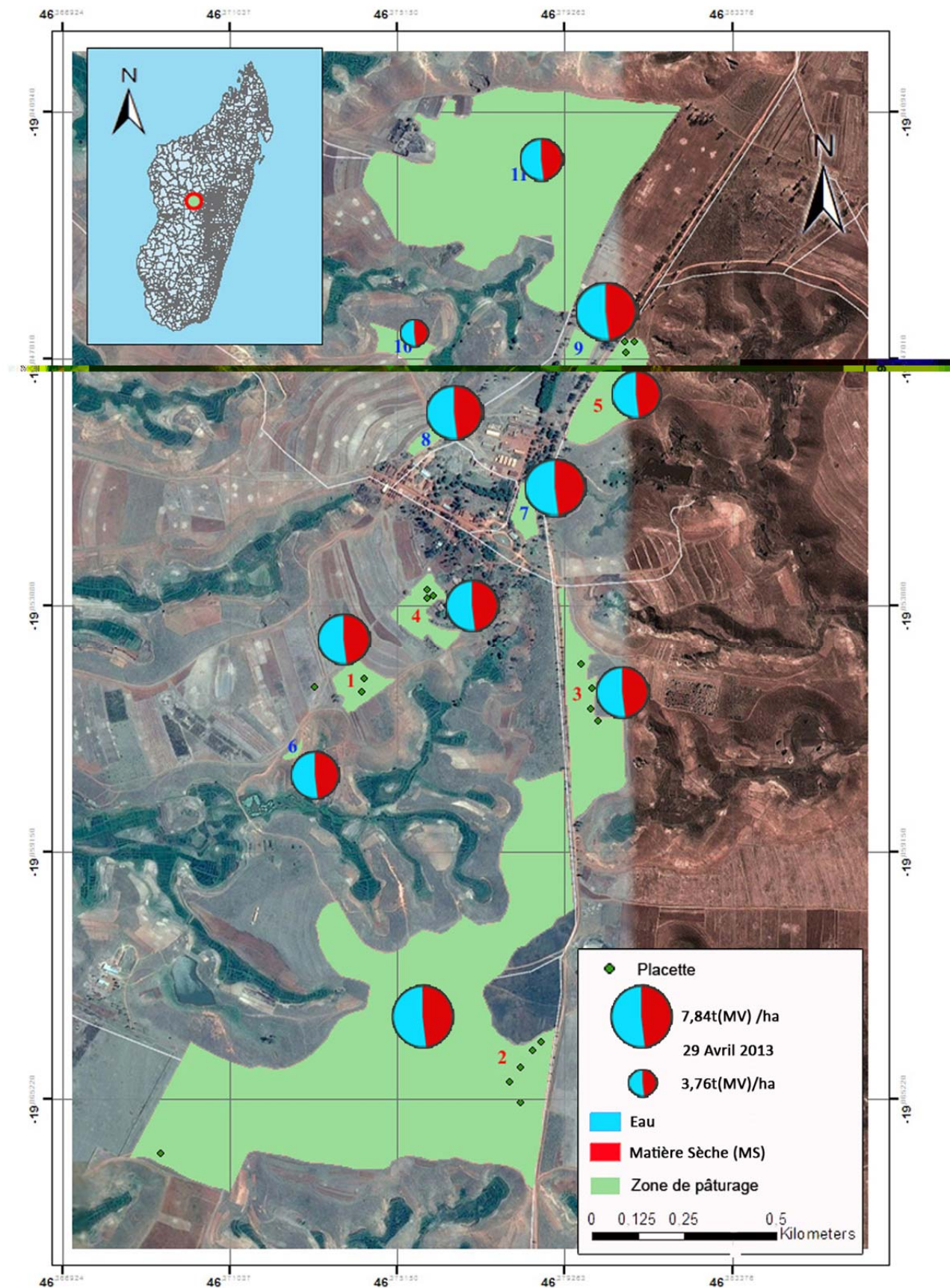


Figure 3: Cartographie des zones de pâturage de la station Kianjasoa/FOFIFA

Tableau 1: Table attributaire de la carte de disponibilité du fourrage

| | Site 01 | Site 02 | Site 03 | Site 04 | Site 05 | Site 06 | Site 07 | Site 08 | Site 09 | Site 10 | Site 11 | TOTAL |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Production | 702,35 | 785,44 | 695,39 | 702,58 | 630,21 | 657,96 | 701,38 | 740,9 | 779,03 | 272,22 | 564,41 | 668,16 |
| moyenne | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² | g/m ² |
| Ecartype | 77,64 | 56,15 | 87,76 | 101,58 | 140,11 | 168,19 | 251,45 | 65,52 | 84,87 | 89,88 | 71,08 | 111,88 |
| IC | 34,02 | 24,61 | 38,46 | 44,52 | 61,4 | 73,71 | 110,2 | 28,72 | 37,19 | 39,39 | 31,15 | 66,11 |
| Taille (Ha) | 1,33 ha | 52,3 ha | 5,32 ha | 1,72 ha | 3,68 ha | 0,17 ha | 0,84 ha | 0,44 ha | 0,74 ha | 1,1 ha | 27,9 ha | 95,54 ha |
| Qté. MV 29 Av 2013 | 9,34 t | 410,78 t | 37 t | 12,08 t | 23,19 t | 1,12 t | 5,89 t | 3,26 t | 5,76 t | 4,29 t | 157,47 t | 670,19 t |
| Qté MS 29 Av 2013 | 4,48 t | 196,9 t | 17,73 t | 5,79 t | 11,12 t | 0,54 t | 2,82 t | 1,56 t | 2,76 t | 2,06 t | 75,48 t | 321,25 t |
| Bovin alim 29 Av 2013 | 476 Bovins | 823871 Bovins | 7547 Bovins | 797 Bovins | 3273 Bovins | 7 Bovins | 189 Bovins | 55 Bovins | 164 Bovins | 181 Bovins | 168480 Bovins | 1005042 Bovins |
| Qté MV 06-juin-13 | 5,79 t | 294,41 t | 25,93 t | 9,87 t | 15,56 t | 0,43 t | 5,11 t | 1,99 t | 3,60 t | 2,99 t | 118,30 t | 483,98 t |
| Qté MS 06-juin-13 | 3,07t | 156,27 t | 13,76t | 5,24t | 8,26t | 0,23t | 2,71t | 1,05t | 1,91t | 1,58t | 62,79t | 256,9 t |
| Bovin alim 6 Juin 2013 | 327 Bovins | 653864 Bovins | 5857 Bovins | 721 Bovins | 2432 Bovins | 3 Bovins | 182 Bovins | 37 Bovins | 113 Bovins | 140 Bovins | 140160 Bovins | 803838 Bovins |
| Qté consmbl | 9,17 t | 360,87 t | 36,7 t | 11,86 t | 25,39 t | 1,17 t | 5,8 t | 3,04 t | 5,1 t | 7,59 t | 192,51 t | 659,22 t |
| Cc/p | 1504 | 59159 | 6018 | 1945 | 4163 | 192 | 950 | 498 | 837 | 1244 | 31559 | 108069 |
| Poids vif/Ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha | Kg/ha |
| Chg HBT | 6,02 | 236,56 | 24,07 | 7,78 | 16,65 | 0,76 | 3,8 | 1,99 | 3,34 | 4,97 | 126,23 | 432,27 |

Qté. MV 29 Av 2013: Quantité de matière verte (MV) le 29 avril 2013 (quantité prédite par le modèle).

Qté. MS 29 Av 2013: Quantité de matière sèche (MS) le 29 avril 2013 (par analyse au laboratoire).

Bovin alim 29 Av 2013: Nombre de bovins que le système peut alimenter à un endroit et temps définis.

Qté consmbl: Quantité de fourrage consommable durant l'année (244 jours de disponibilité de la matière verte) après avoir soustrait les pertes dues à divers facteurs comme les insectes ravageurs, le piétinement, etc.

Cc/p: La capacité de charge par kilogramme de poids vif/hectare pour une période déterminée durant la saison pluvieuse (décembre - juillet = 244 jours).

Chg HBT (saison): La capacité de charge en unité bovine tropicale durant cette même période.

3. Conclusion

Cette étude effectuée à la station de Recherche Zootechnique et Fourragère de Kianjasoa (FOFIFA) a permis d'évaluer les potentialités d'un système de gestion des ressources fourragères à l'échelle territoire. L'utilisation de la télédétection et du Système d'Information Géographique (SIG) est une méthode indispensable dans ce genre d'étude afin d'avoir une vision d'ensemble, mais en même temps précise sur le système de production végétale. Un modèle de régression non linéaire entre

les indices de végétation normalisée (NDVI), calculés à partir d'images satellites et le rendement en vert du *Brachiaria brizantha* a donné un $R^2=0,64$. À partir de ce modèle, le rendement moyen de cette espèce fourragère dans tous les sites pâturables de la station expérimentale a été cartographié incluant la capacité de charge en unité bovine tropicale pour chaque site. Ainsi, il a été possible de déterminer la quantité de matière sèche à un endroit et à temps précis selon les disponibilités des images satellites. Les résultats du modèle ont permis de constater que la quantité de biomasses

fourragère disponible dans la station dépasse largement les besoins de l'effectif bovin existant. Ainsi, la conservation du surplus de fourrage augmentera considérablement la production de la station Kianjasoa. Cette méthode d'évaluation constitue un outil d'aide à la décision pour les acteurs du développement rural dans la gestion des ressources pastorales.

Notes

1. PADR, 1999.
2. Rafolo, 1988; Rakotondravao, 2009.
3. Rasambainarivo et al 1987.
4. Vall et al 2014.
5. Rasambainarivo et al 1980.
6. Rouse et al., 1974.
7. Hervé, 1989.
8. Rouse et al 1974.
9. Boudet, 1975.
10. Andriarimalala, 2014.
11. Girard et al 1999.
12. Bégué, 2002.
13. Moussa, 2005.
14. Rakoto, 2011.

bibliographiques

- Andriarimalala Herilalao José., 2014. *Etude floristique de Brachiaria sp., Chloris Pennisetum purpureum et élaboration d'un modèle d'estimation de leur productivité télédétection*. Université d'Antananarivo Écoles Supérieure des Sciences Agronomiques, département des eaux et forêts, 2013-2014. Promotion: HAIKA
- Anne Jacquin., David Sheeren., Jean-Paul Lacombe., 2010. *Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series/ International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12S (2010) S3-S10*, journal homepage: www.elsevier.com/locate/jag
- Bégué A.,. *Télédétection et production végétale*. Paris: Université Pierre et Marie Curie, 2002. 112p
- Klein H. D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., Guerin H., Louppe D. *Les cultures fourragères*, Belgique: Quae, CTA, Presses Agronomiques de Gembloux, 2014.

- G. Boudet. *Problèmes poses par l'estimation de la capacité de charge d'un "pâturage naturel" tropical*, CIPEA, ILCA, Addis Abeba, Inventaire et Cartographie des pâturages tropicaux africains, Actes du Colloque de Bamako; Mali (3 - 8 mars 1975), Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux.
- Girard M., Girard C. 1999. *Traitement des données de télédétection*. Paris: Dunod. 97p
- Hervé Dominique., Didier Genin.. Capacité de charge animale ou indicateur de pression sur des ressources fourragères. *Les Cahiers de la Recherche Développement*, 1989.- pp.38 -49
- Moussa M. M., 2005. *Application des méthodes d'évaluation de rendements agricoles à l'aide des images NDVI*. Niamey-Niger: Centre régional Agrhymet, Rapport de consultation. 30p.
- PADR., 1999. *Plan d'Action pour le Développement Rural à Madagascar*, Ministère de l'élevage, Février 2000
- Rafolo A., 1987-1988. L'alimentation carnée chez les anciens Malgaches. *Nouvelles du Centre d'Art et d'Archéologie*, numéro 5-6: 22-25.
- Rakoto P. Y., 2011. *Analyse du comportement des différents types de forêts de la partie Sud de la Région Anosy face aux variabilités de la précipitation*. Mémoire d'ingénieur, ESSA, Département des Eaux et Forêts. Antananarivo. 89p.
- Rakotondravao., 2009. *Rapport national sur l'état des ressources génétiques animales. Madagascar; L'état des ressources zoogénétiques dans le monde*
- Rasambainarivo J. H., Rakotoarivelo J., Rakotozandrindrainy R., 1980. Utilisation de l'ensilage de maïs pour l'embouche du zébu malagasy en saison sèche (Kianjasoa). *Bulletin de l'Académie malgache*. 58(1-2). p. 126-130
- Rasambainarivo J.H., Razafindratsita R., Rakotozandrindrainy R., Rabehanitriniony M., 1987. Production des bovins sur les pâturages du moyen-ouest malgache, *Revue des résultats expérimentaux et proposition de modes d'exploitation*. FOFIFA - Département de Recherche Zootechniques et Vétérinaire - BP:4 - Antananarivo Madagascar.
- Rouse J., Hass R., Deering W., 1973. *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. NASA, nd
- Vall e., Salgado P., Corniaux C., Blanchard M., Dutilly C., Alary V., 2014. Changements et innovations dans les systèmes d'élevage en Afrique. In: *Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage?* Ingrand S., Baumont R. (Eds). INRA Prod. Anim., 27, 161-174