



REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
Fitiavana - Tanindrazana - Fandrosoana



Forum de la Recherche 5^{ème} édition
29-30 Novembre 2017
Fianarantsoa-Madagascar

AGROBIODIVERSITE

Table des matières

PREFACE	1
COMMUNICATIONS ORALES	2
I. BIODIVERSITE DES ESPECES ET ECOSYSTEMES – STATUT ET TENDANCES	2
ESPECES	2
1. Evaluation participative de 16 variétés de riz irrigué dans la plaine d’Ambohibary-Sambaina, région de Vakinankaratra	2
2. Evaluation de 288 nouvelles variétés « élites » introduites pour la riziculture de bas-fonds des Hautes Terres de Madagascar	5
3. Analyse génétique de l’efficacité de l’utilisation de l’azote chez le riz pluvial	10
4. Evaluation de la stérilité mâle chez la population de riz sauvage « <i>Oryza longistaminata</i> » à Madagascar	15
5. Le gain génétique de rendement comme critère de criblage dans le processus classique d’amélioration variétale du riz	19
6. Caractéristiques physiques, physico-chimiques et nutritionnelles de trois cultivars malagasy de manioc les plus cultivés dans Région de DIANA	24
7. Morphologie pollinique des <i>Mascarocoffea</i> , caféiers sauvages endémiques de Madagascar.....	27
8. Diversité des <i>Mascarocoffea</i> , caféiers sauvages endémiques de Madagascar et des îles voisines	32
9. Diversité phénotypique et caractéristiques biochimiques et sensorielles des graines de « Ratelo », nouveaux caféiers trihybrides hautement performants créés à Madagascar	37
10. Production de connaissances pour l’action, le cas du Tsiperifery	42
11. Protocole de multiplication végétative du <i>Tsiperifery</i> (<i>Piper spp.</i>) pour sa gestion et valorisation durable	45
12. L’Agrobiodiversité et les plantes aromatiques et épices : cas des Baies roses (<i>Schinus terebinthifolius Raddi</i> , Anacardiaceae)	49
13. Effets des variabilités climatiques saisonnières sur la floraison du Litchi (<i>Nephelium litchi Cambess</i>) à Madagascar	54
14. Caractéristiques épidémiologiques de la maladie de Newcastle en aviculture villageoise de Vatomandry	58
15. Statut immunitaire de poulets villageois primo-vaccinés par I-2 PESTAKOHO contre le virus de la maladie de Newcastle au niveau des zones pilotes à Antananarivo, Madagascar	63
16. Caractéristiques morphométriques et relation taille-poids chez le zébu malagasy « <i>bos taurus indicus</i> » (<i>linnaeus, 1758</i>)	69
17. Elevage de Petits Ruminants : Prévalences et facteurs de risque de zoonoses abortives	74
18. <i>Paratilapia polleni</i> BLEKER (1868) : Biologie et élevage	78
ECOSYSTEMES	81
19. Enherbement des différentes zones de culture dans le district de Mahanoro (Madagascar) ...	81
20. Degré d’infestation et caractérisation de la population de cyperaceae et de poaceae adventices	

des cultures dans la commune Anosibe Ifanja, district de Miarinarivo (Région Itasy)	85
21. Télédétection pour la classification des zones de pâturage de Tsiroanomandidy (Madagascar) via l'algorithme « Random Forest »	88
22. Limitations édaphiques de la production agricole sur abattis-brûlis en forêt humide malgache	95
23. Impacts du « Foza orana » (<i>Procambarus sp.</i>) sur la riziculture irriguée et la faune aquatique. Alternative pour sa transformation en alimentation animale.	99

PREFACE

Le choix du thème «agrobiodiversité», pour cette seconde étape du Forum sur la Biodiversité et le Développement Durable, n'était pas du tout fortuit, dans la mesure où il fait partie des préoccupations majeures, non seulement, au niveau de Madagascar, mais aussi au niveau mondial.

L'agrobiodiversité représente, en effet, un enjeu très important, plus particulièrement dans ce contexte de lutte contre la pauvreté, dans un pays comme le nôtre où plus de 80% de la population vivent de l'agriculture. Dans le contexte des changements globaux actuels, l'agrobiodiversité se trouve au centre des réflexions et des actions. Que ce soit, dans le cadre de la convention sur la diversité biologique, que dans celui du traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, la Recherche scientifique se penche sur cette thématique, de multiples manières : développement rural et agriculture durable, conservation de la diversité biologique et génétique, biotechnologie, variétés de semences sont autant d'orientations de recherche présentées dans cet ouvrage. Ce sont là quelques-unes des facettes très importantes de la recherche qui ont été traitées par plus d'une centaine de chercheurs réunis au mois de novembre 2017, à Fianarantsoa pour faire l'état de la recherche en agrobiodiversité.

Lors du lancement officiel de la trilogie de la Recherche, le 24 mars 2017, j'avais annoncé que nous étions à un tournant déterminant pour la recherche scientifique, avec quatre années de mise en œuvre de la nouvelle Stratégie Nationale de la Recherche qui est axée sur la valorisation des résultats et sur l'ouverture aux autres acteurs de la Société et du Développement. En outre, avec l'adoption du système LMD (Licence – Master – Doctorat) depuis l'année 2014, nous voyons très bien que les chercheurs s'investissent et prospectent de nouvelles pistes, d'autres approches pouvant nous mener à une contribution efficace et effective dans le développement tant souhaité du pays où les maîtres mots sont désormais recherche, développement, employabilité, innovation. Nous devons continuer dans cette lancée car ensemble nous pouvons y parvenir.

Les thèmes abordés par les chercheurs, dans cet ouvrage, montrent bien le dynamisme du domaine et la pertinence de certains sujets : les pollinisateurs, la biodiversité des sols, le lombricompost, les ressources génétiques animales, la technologie génétique, les nouvelles variétés et les variétés de riz améliorées et résilientes, la commercialisation, ne sont que des exemples montrant la diversité des activités de recherche menées.

Tout ceci représente d'énormes potentiels, pouvant aider le pays et les prises de décision, dans la recherche des voies et moyens pour que le développement durable puisse bénéficier à la population. Mais cela ne peut se faire que si des efforts ne sont déployés pour l'utilisation, de manière plus systématique des résultats de recherche par les autres acteurs du développement.

Je ne peux qu'encourager la recherche qui correspond aux Objectifs du Développement Durable dans plusieurs axes. Elle a, d'ailleurs, fait l'objet d'un Plan Directeur prioritaire en 2015 qui est le cadre de référence national pour les chercheurs, montrant un lien fort avec la sécurité alimentaire et nutritionnelle.

Puisse le lecteur trouvé dans cet ouvrage, des informations précieuses et des pistes concrètes pour la Recherche et Développement, prenant appui et inspiration sur les initiatives de promotion de mécanismes de relations entre recherche et production, à travers des plateformes de discussions et de travail de type start up.



Pr Marie Monique RASOAZANANERA

21. L'utilisation de la télédétection pour la classification des zones de pâturage de Tsiroanomandidy (Madagascar) via l'algorithme « Random Forest »

Razafinarivo Tsirinirina Donnah¹, Rahetlah Volatsara Baholy², Rakotozandriny Jean de Neupomuscène², Paulo Salgado³, Valentine Lebourgeois⁴

¹Centre national de recherche appliquée au développement rural, Département de Recherches Zootechniques et Vétérinaires FOFIFA/DRZV BP1690, Antananarivo, Madagascar

²Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Département Elevage, Université d'Antananarivo, Madagascar

³CIRAD, UMR SELMET, BP 319, Antsirabe 110, Madagascar

⁴CIRAD, UPR TETIS, Maison de la Télédétection, Montpellier, F-34093 France

ABSTRACT

Demand in animal products rises over the world, because of the growth of population, urban planning, and the rise of income. Nevertheless, this situation causes major changes on land uses, tending to reduce the surface of pasture areas. Such event decreases the availability of forage resources and the movement of cattle herds which are basic factors for animal production in some countries of the world. Madagascar, as a developing country, follows this tendency, particularly for cattle sector which is the first source of animal protein of the population. The design of a system for monitoring forage resource availability at a regional level seem to be an interesting way whether forage reserves need to meet the cattle feed. Implementing this system requires a less complex, but more reliable and easily reproducible approach, that might be applied to large field surfaces. Thus, a grading of the various pasture areas of the region of Tsiroanomandidy was conducted using a combination of remote sensing technique and modelling. The former uses the reflecting property of objects from earth surface to convert them into exploitable data and recorded into images by a multispectre satellite. The use of « *Random Forest* » algorithm on data received from SPOT 5 satellite has led to results which were close to the reality. The grading of the five most common forage species on nature pasture lands of Madagascar has reached an overall accuracy of 77.6%. These figures were reported to the map to determine land uses of the region and served to calculate the capacity load of the region which was of 29 752 TLU/year. This map could be used as a decision tool to improve pasture management of a region. The study needs to be deepened particularly by increasing the number of monitored parcels and satellite images for the modelling.

Key words

Geographic Information System, Land use, pastoralism, Programming, Ruminant, Stocking capacity.

RESUME

La demande en produits d'origine animale s'accroît dans le monde, du fait de la croissance de la population, de l'urbanisation, et de l'augmentation du revenu. Cependant, cette situation engendre de grands changements sur l'occupation du sol, tendant vers une réduction des surfaces de pâturages. Ce phénomène limite la disponibilité des ressources fourragères et la mobilité des troupeaux qui sont des facteurs essentiels de la production animale dans certains pays du monde. En tant que pays en développement, Madagascar n'échappe pas à cette tendance, principalement pour le secteur bovin qui est la première source de protéine animale de la population. La mise en place d'un système d'évaluation de la disponibilité des ressources fourragères à l'échelle régionale semble intéressante pour savoir si les stocks fourragers pourront satisfaire la demande des animaux. La mise en place de ce système nécessite l'utilisation d'une approche peu complexe, mais robuste, facilement reproductible, pouvant couvrir de grandes surfaces de terrain. Ainsi, une classification des différentes zones de pâturage de la région de Tsiroanomandidy a été effectuée par l'utilisation combinée de la télédétection et de la modélisation. La télédétection utilise les propriétés de réflectance des objets depuis la surface terrestre pour les transformer en données exploitables stockées dans des images satellites multi-spectrales. L'utilisation de l'algorithme « *Random Forest* » sur des données obtenues par le satellite SPOT 5 a permis d'aboutir à des résultats proches de la réalité. Les résultats de classification des cinq espèces fourragères les plus courantes dans les pâturages naturels de Madagascar ont donné une précision globale de 77,6%. Les résultats ont été cartographiés pour déterminer l'occupation du sol de la région et ont permis de calculer la capacité de charge régionale qui est de 29 752 UBT/an. Cette cartographie pourra être utilisée en tant qu'outil de décision pour améliorer la gestion de pâturage à l'échelle régionale. Cette étude mérite d'être approfondie, notamment par l'augmentation du nombre de parcelles suivies et d'images satellites utilisées pour l'étape de modélisation.

Mots-clés

Capacité de charge animale, Occupation du sol, Pastoralisme, Programmation, Ruminant, Système d'Information Géographique.

INTRODUCTION

La demande en produits d'origine animale s'accroît dans le monde, du fait de la croissance de la population, de l'urbanisation, et de l'augmentation du revenu. Cependant, parallèlement à cette situation et l'extension nécessaire des surfaces dans les systèmes de production extensifs, nous

observons régulièrement une réduction des surfaces pâturables. Cette réduction entrave la disponibilité des ressources fourragères et la mobilité des troupeaux qui sont des facteurs essentiels de la production des ruminants. Ainsi, les limites de certains systèmes de production ont été approchées, voire dépassées, par les demandes accrues en aliments pour les animaux par rapport à leur disponibilité (FAO 2014). En tant que pays en développement, Madagascar n'échappe pas à cette tendance, principalement pour le secteur bovin qui est la première source de protéine animale de la population. Pour les grands troupeaux de zébu, il est indispensable d'effectuer un système d'élevage extensif, dont les besoins sont fournis à partir de ressources pastorales spontanées sur de grandes surfaces. Dans cette optique, cette étude consiste à élaborer un système d'évaluation des réserves régionales en ressources fourragères. Le besoin d'une telle évaluation est lié à la nécessité de connaître si les réserves fourragères pourront satisfaire la demande des troupeaux. Dans les systèmes spatialement extensifs, les évaluations dépendent presque entièrement des capacités à traiter les données de télédétection et de Système d'Information Géographique. Par conséquent, les données spatiales combinées aux données de terrain vont servir à déterminer les hétérogénéités présentes dans les paysages. Les éléments du paysage, dont l'abondance et la répartition de la biomasse, influent sur le fonctionnement des communautés animales et végétales présentes. La connaissance des données d'occupation fourragère du sol sous forme de cartographie pourrait servir comme outil de prise de décision pour l'optimisation de la production animale. Il est ainsi intéressant d'élaborer un système de détermination de l'occupation du sol par une approche peu complexe, mais robuste, facilement reproductibles et pouvant couvrir de grandes superficies (DeFries 2007). L'utilisation de l'algorithme « *Random Forest* » sur des images satellites optiques à haute résolution (SPOT 5) permet d'aboutir à une classification la plus proche possible de la réalité, tant d'un point de vue thématique que spatial (Schowengerdt 2007 ; Lillesand et al 2008).

MATERIEL ET METHODE

Zone d'étude

La zone d'étude concerne la zone de Tsiroanomandidy qui se trouve dans le Moyen Ouest de Madagascar, dans la région de Bongolava, à 18°44'13.1"S et 46°02'12,6"E. Le relief est donné par un vaste plateau de 800 à 950 m d'altitude constitué par un emboîtement de trois surfaces d'érosion (post-crétacé, méso-tertiaire, fini-tertiaire). Il se présente sous forme d'un vaste glacis dont la planéité est interrompue par des massifs intrusifs de granite et de gabbros (massifs d'Ambohiby à 1 542 m, et de Bevato à 1 432 m). Les interfluves sont représentés par des vallons et thalwegs, drainés par un réseau hydrographique dense (Fleuve Manambolo et ses affluents). Les conditions géographiques de cette zone sont favorables à l'élevage bovin qui est une activité pratiquée traditionnellement depuis plusieurs décennies. Ainsi, les différents systèmes d'élevage existant à Madagascar sont présents dans la région. À commencer par le système pastoral qui se caractérise par la valorisation importante des parcours naturels comme source d'alimentation des animaux. Ce système est représenté par les grands éleveurs sédentaires de zébu qui possèdent des centaines de têtes par éleveur. Pour ces éleveurs, l'importance du troupeau est une marque de prestige et une forme d'épargne. Dans cette activité, la gestion du troupeau s'effectue par une répartition de ces derniers à de petits éleveurs membres de la famille pour pratiquer le « Dabokandro » qui est une forme d'embouche à l'herbe. En général, cette pratique consiste à acheter un troupeau de zébu adulte maigre en fin de saison sèche, puis de les conduire dans des pâturages riches en quantité et en qualité d'herbage pendant une ou deux saisons de pluie (MAEP 2004). Les autres utilisateurs des ressources naturelles sont les transhumants et revendeurs de zébus provenant des régions voisines (principalement Melaky et Menabe). En principe, ces derniers suivent des itinéraires officiels des troupeaux de bœufs de commerce et de transhumance dénommés « pistes à bétail » qui sont fixés par arrêté régional, sur proposition des Chefs de Districts et des Maires concernés (MAEP 2005). Outre l'élevage de zébus, l'élevage de vaches laitières commence à être pratiqué depuis quelques dizaines d'années. Face à la pression accrue sur les ressources, en premier lieu sur la terre, les éleveurs laitiers entreprennent progressivement l'intégration agriculture élevage pour améliorer la production (Lhoste 2004). Une autre forme de système d'élevage laitier périurbain commence aussi à se développer du fait de la forte demande urbaine de proximité, et à l'insécurité qui règne en dehors de la ville. En général, les éleveurs de Tsiroanomandidy disposent d'un grand potentiel pour l'élevage de ruminant, mais le manque de technicité et d'information sur la distribution de ressources est devenu un facteur de blocage pour le développement.

Collecte des données

La classification consiste à regrouper les différentes zones de pâturages de la région de Tsiroanomandidy, en fonction de leur composition floristique et de la réflectance des images satellites correspondantes de chaque parcelle. Pour ce faire, une carte représentative des zones de cultures dans cette région, produite par le projet Sen2-Agri (<http://www.esa-sen2agri.org>), a été exploitée pour élaborer un masque de fourrage et de non-fourrage. La partie fourrage a été ensuite classée suivant les comportements radiométriques des espèces constituants (Benoit M 1988). La télédétection utilise les propriétés d'émission ou de rayonnement des ondes électromagnétiques par les objets depuis la surface terrestre pour les transformer en données exploitables. Une programmation d'acquisition d'images satellites de haute résolution « SPOT 5 » a été effectuée tous les 10 jours durant cinq mois de saison de pluies en 2014 pour pouvoir effectuer la classification. Cette pratique a nécessité également l'utilisation de l'algorithme « *Random Forest* » et de l'outil « *Orfeo Tool Box* » de QGIS pour traiter les données spatialisées au regard des données de vérité terrain. Ainsi, des prélèvements de données GPS sur des sites de contrôle, répartis à travers la région de Tsiroanomandidy, ont été effectués. Ces prélèvements consistaient à détourner chaque parcelle de pâturage naturelle et à prélever les coordonnées géographiques pour la production des polygones d'apprentissage pour la classification. Des critères de sélection ont été établis dont les principaux sont : (i) Une taille des parcelles suffisamment grande, supérieure ou égale à 25 pixels (50 m x 50 m), (ii) l'homogénéité des parcelles, avec une prédominance d'au moins 80% de la population d'une espèce majoritaire et (iii) un nombre de parcelle suffisamment élevé pour respecter la faisabilité et la fiabilité de la modélisation. Ainsi, pour chaque espèce fourragère, au moins 20 sites de contrôles ont été sélectionnés. Cependant, seules 107 parcelles de pâturages naturels ont été jugées exploitables pour être utilisées dans cette classification. Ces parcelles ont été subdivisées suivant la prédominance des espèces fourragères constituantes. Des exceptions ont été acceptées dans les critères de sélection : comme pour le nombre de parcelles de *Cynodon dactylon* et *Eleusine indica*. La taille des parcelles de pâturages représentés par ces deux espèces est généralement inférieure à 2500m² donc inexploitable pour la classification. Par conséquent, seulement une dizaine de parcelles de chacune de ces deux espèces ont répondu positives aux critères de sélection. Cependant, ces espèces représentent une place importante dans l'alimentation des bovins laitiers de cette région. Ainsi, elles ont quand même été introduites dans cette classification. Sur le critère de prédominance d'espèce, une exception a également été acceptée sur le mélange de *Hyparrhenia rufa* et de *Heteropogon contortus*. Dans cette zone, la flore des pâturages naturels est prédominée par des parcelles composées de ces graminées. Par ailleurs, ces deux espèces sont représentées sur proportion plus ou moins égale. Ainsi, *Hyparrhenia rufa* et de *Heteropogon contortus* ont été regroupées en une seule classe. Au total, cinq principales classes ont été définies pour la

classification : *Aristida multicaulis*, *Brachiaria brizantha*, *Cynodon dactylon*, *Eleusine indica* et le mélange de *Hyparrhenia rufa* et de *Heteropogon contortus*. Cette classification a été lancée sur une superficie totale de 59 791ha. Un masque de 28 280ha a été appliqué sur cette superficie pour pouvoir extraire la partie non-fourrage (Terrains bâtis, routes, forêts, etc.) de la classification.

L'algorithme « *Random Forest* »

RF est un classifieur introduit par Leo Breiman en 1996, et a été importé dans le logiciel libre R par Liaw and Wiener (2002), via le paquet *Random Forest*. Cet algorithme repose sur trois principes qui le rendent très performant (Butler 2015).

Premièrement, l'arbre de décision CART (*Classification And Regression Tree*), est une méthode de classification qui fonctionne par choix arbitraire. Il part d'une racine principale où toutes les classes à déterminer sont de même valeur. À chaque nœud, une décision de seuillage est prise pour séparer au mieux les classes. Ces décisions établissent des règles de classification. Étant donné que le comportement spectral des couverts végétaux dépend de plusieurs facteurs (type de végétation, stade de développement, teneur en eau, structure du couvert, etc.) la combinaison des réflectances dans différentes bandes a permis de calculer des indices qui varient en fonction du comportement spectral de chaque espèce. Les seuils de séparations entre classes ont été mis en évidence par les images satellites combinées des indices résultants, qui sont : NDVI, NDWI, MNDWI et IB (Figure 1).

- Le NDVI (Indice de Végétation Normalisé) permet de suivre la végétation, car il mesure l'activité physiologique des plantes. Sa formule est : $NDVI = (PIR - Rouge) / (PIR + Rouge)$ (Tucker 1979). C'est un indice qui permet d'identifier la couverture végétale verte (biomasse aérienne chlorophyllienne) et de suivre son évolution temporelle.

- Le NDWI (*Normalized Difference Water Index*) a pour formule : $NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR)$ (GAO 1996). L'indice permet de maximiser la réflectance de l'eau en utilisant les longueurs d'onde du vert, de minimiser la réflectance des masses d'eau en utilisant le proche infrarouge. L'indice peut également être utilisé pour détecter la turbidité de la surface qui est un indicateur de la présence de chlorophylle-a (Houry et al 2012), ainsi il affecte énormément la réflectance du couvert végétal.

- Le MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), est un indice qui permet de mettre en évidence les masses d'eau en supprimant de manière plus efficace que le NDWI le bruit des terrains bâtis, ainsi que celui de la végétation et du sol. Le NDWI de Mcfeeters a été modifié par l'utilisation du moyen infrarouge au lieu du proche infrarouge. Les masses d'eau sont ainsi mieux délimitées, par discrimination efficace des surfaces en eau et des surfaces sèches.

- L'IB (Indice de Brillance) a pour formule : $IB = \text{racine}(\text{PIR}^2 + R^2)$. Cet indice présente une sensibilité à l'humidité des sols ; l'augmentation de la teneur en eau s'accompagnant d'une diminution de la luminance de la couleur. Cet indice est donc sensible à la brillance de l'occupation du sol, dont la végétation. Il oppose les surfaces bâties très réfléchies aux surfaces absorbantes comme les sols très humides.

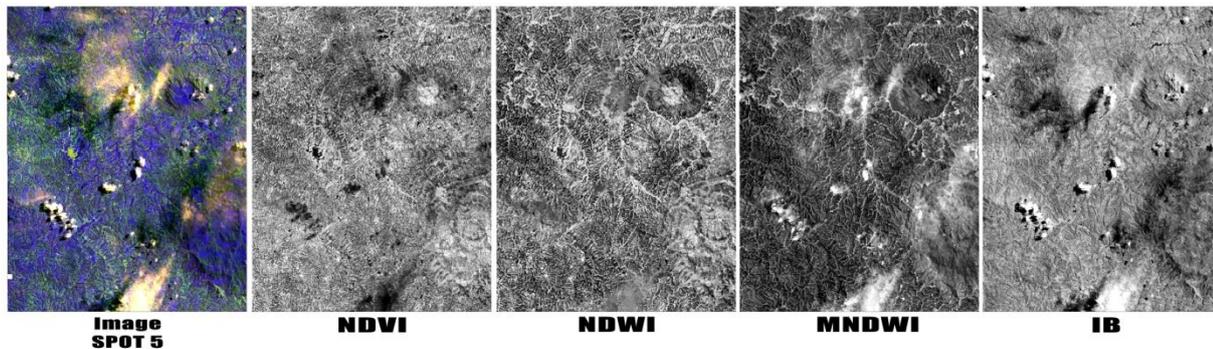


Figure 1 : Les indices utilisés dans l'algorithme « *Random Forest* »

Le deuxième principe de l'algorithme RF est le « *Tree Bagging* » (Krogh et al 1995) qui a consisté à assembler plusieurs classifieurs d'un même type en un unique classifieur. Le *Tree Bagging* réunit une multitude d'arbres de décisions CART qui déterminent chacune des prédictions de classification. À la suite de quoi, les prédictions de ces arbres ont été agrégées et les prédictions majoritaires ont été conservées.

Enfin, le troisième principe de l'algorithme, le « *Bootstrap* » qui est le fait qu'à chaque arbre CART, une partie des échantillons est prise aléatoirement avec remise parmi les observations initiales. Ainsi, chaque arbre construit est alors relativement non-corrélé, ce qui rend les arbres indépendants les uns des autres. Les 2/3 des échantillons sont utilisés pour ces entraînements de « bootstrappés », pour le reste, ils sont utilisés dans le OOB (*Out Of Bag*), pour évaluer la pertinence de classification, un aspect de RF qui permet de préjuger les erreurs de classification, avant même d'avoir réalisé la validation externe en utilisant le jeu de données de validation de l'utilisateur. L'ensemble de ces critères font de RF un algorithme très efficace, non seulement pour traiter des données complexes et hétérogènes, mais également de gros volumes de données. Le paquet RF du logiciel R est librement utilisable et est utilisé dans le traitement de très nombreuses applications réelles.

Élaboration de la carte de biodisponibilité des ressources fourragères

Un inventaire des ressources fourragères dans une région pastorale, spatialement extensive, doit employer au maximum des données de télédétection (FAO 2014). La cartographie est une observation transversale de l'ensemble d'un système. Elle vise à donner une image instantanée de la population à un instant défini. L'élaboration d'une cartographie du couvert végétal est un outil essentiel au suivi et

à la gestion d'un milieu déterminé. Une carte caractérisant les zones de pâturage à l'échelle régionale est ainsi exploitable pour la gestion de pâturage suivant les surfaces disponibles par unité de bétail. L'algorithme RF permet une optimisation de la cartographie des surfaces de la zone d'étude (Butler 2015). Pour ce faire, la série temporelle de cinq images satellitaires optiques ainsi que les différents indices résultants (Figure 2) ont été ouverts et classés par date et par ordre d'indice dans le logiciel QGIS (Spot5_date1 ; NDVI_date1 ; NDWI_date1 ; MNDWI_date1 ; IB_date1 ; Spot5_date2 et ainsi de suite). Cette série d'images a été concaténée par l'outil OTB (*Orfeo Tool Box*) de QGIS afin d'obtenir une seule image à 48 bandes. Les données statistiques de second ordre de cette image concaténée ont été recalculées pour pouvoir créer le modèle de classification RF. Ce modèle a été obtenu par l'application des polygones d'apprentissage contenant les vérités terrains (au moins 20 parcelles par espèce et ayant une superficie supérieure 2 500 m²/classe) sur l'image concaténée en utilisant le module « *Train Images Classifier (rf)* » d'OTB. 20% du jeu de données d'apprentissage a été utilisé pour la validation de cette classification. Enfin, pour avoir la cartographie de la disponibilité des ressources fourragères de cette zone, le modèle RF a été lancé sur l'ensemble de l'image masquée des parties non-fourragères par l'utilisation du module « *Image Classification* » d'OTB. Le masque est un Raster binaire contenant les zones à classer et excluant les zones masquer telles que les routes, les villages, les terrains bâtis, les forêts, etc. La cartographie obtenue a été ensuite validée après vérification par reconnaissance qualitative des classes d'occupation du sol sur le terrain.

RESULTATS ET DISCUSSION

Matrice de confusion

La matrice de confusion (Tableau 1) permet de vérifier la qualité de la classification (Congalton 1991). Elle se compose, en ligne, des occurrences réelles de références d'une classe et, en colonne, des occurrences estimées par la classification. L'*Overall accuracy* (OA) donne la précision globale de la classification (Girard et Girard 1999). Il est calculé à partir de la somme des individus bien classés divisés par le total des individus. La modélisation a donné une *Overall accuracy* de 77,6% qui indique une précision assez élevée de classification.

Tableau 1 : Matrice de confusion (Diaz 2016)

		PREDICTION					Producer Accuracy
		Aristida	Brizantha	Cynodon	Eleusine	Hyp/Het	
REFERENCE	Aristida	23	0	0	0	6	79,30%
	Brizantha	1	18	1	0	2	81,80%
	Cynodon	0	0	10	1	0	90,90%
	Eleusine	0	1	0	9	1	81,80%
	Hyp/Het	6	2	0	3	23	67,60%
User Accuracy		76,70%	85,70%	90,90%	69,20%	71,90%	

L'indice Kappa (Cohen 1968) donne une évaluation globale et intra-classe de la classification (Congalton 1991) en prenant en compte le déséquilibre entre les tailles de population dans les classes. Kappa est calculé à partir de l'*Overall accuracy* et le rapport entre les totaux des classes estimées. Ainsi, Kappa a indiqué une précision globale de 71% en prenant en considération le nombre d'individus prédit suivant la taille de l'ensemble. Selon Pontius (2000) et Oloukoi (2006), une étude de l'occupation du sol peut être validée si le coefficient kappa est supérieur à 50 %.

D'une part, « *User Accuracy* » (UA) évalue le nombre d'individus bien classés au sein d'une classe par rapport aux classes de référence. Il correspond au rapport entre le nombre d'individus bien classés et le total des individus de la classe elle-même. Notre UA affirme que nous avons une assez bonne précision de classification pour chaque espèce, car il varie entre 69,2% pour *Eleusine* et 90,9% pour *Cynodon*. D'autre part, « *Producer Accuracy* » évalue le nombre d'individus bien classés par rapport aux classes estimées. Cet indice est obtenu par le rapport entre nombre d'individus bien classés d'une espèce déterminée et l'ensemble des individus de toutes les espèces confondues. Pour cette partie, les précisions varient entre 67,6% pour le mélange *Hyparrhenia & Heteropogon* et 90,9% pour *Cynodon*. Enfin, « *f-score* » (Figure 2) est l'indice le plus important de la classification, car il indique

la précision spécifique d'une espèce déterminée tout en considérant les individus de la classe, mais aussi la population toute entière. Cet indice est obtenu à partir de la moyenne harmonique des *User* et *Producer Accuracy*. En résumé, cette classification ayant pour but de déterminer les différentes zones de pâturages de Tsiroanomandidy, effectuées à partir de l'algorithme RF a donné une précision globale de 77,6%. Plusieurs auteurs attribuent de bonnes critiques sur l'usage de RF pour la classification par sa robustesse et sa facilité d'utilisation (Gislason 2006). Le meilleur résultat de classification est celui de *Cynodon dactylon* avec une précision de classification d'environ 91%. Cependant, ce résultat nécessite encore d'autres investigations, car il est obtenu à partir de seulement 11 parcelles d'entraînement. Ainsi, cette précision de classification de *Cynodon dactylon* peut encore varier au fur et à mesure que nous ajouterons d'autres parcelles dans la modélisation. La plus faible précision de classification est celle de la savane herbeuse composée d'un mélange d'*Hypanthia ruffa* et *Hétéropogon contortus* qui est d'environ 70% sur 30 parcelles d'entraînement. Contrairement à celle du *Cynodon*, cette précision de classification ne va plus beaucoup varier du fait du nombre de parcelles d'entraînement assez élevé. Il est admis qu'à partir de 30 échantillons par classe, le résultat de la classification peut être considéré comme stable (Girard et Girard, 2010). Cependant, la faible précision est due au fait que cette savane herbeuse recouvre une grande majorité de la région sur de très grandes hétérogénéités de proportion et de constituant tertiaire. En général, cette étude mérite d'être approfondie, notamment sur une augmentation du nombre de parcelle et d'images satellites pour la modélisation. Ou encore sur l'utilisation de nouvelles technologies en matière de satellite comme le « Sentinel » ou le couple SPOT 6 et 7.

Carte de biodisponibilité des ressources fourragères

Dans les systèmes spatialement extensifs, il s'avère utile de dresser une carte de bilan de la distribution fourragère. De telles cartes identifient les sites où les fourrages sont, soit en déficit, soit en surplus par rapport au besoin local. La carte de biodisponibilité est une cartographie permettant de géo-localiser les différentes zones de pâturage et les espèces constituantes, prédites par modélisation. Ainsi, sans aucun déplacement sur le terrain, cette carte permet une reconnaissance rapide de la région à partir des informations sur la distribution des fourrages sur de larges zones éloignées. Ce genre d'approche est principalement utile pour les parcours qui sont souvent spatialement extensifs et difficiles en termes d'accessibilité. Cependant, quel que soit le système d'élevage, le diagnostic a pour finalité d'apprécier l'adéquation entre les apports alimentaires et les besoins quantitatifs du cheptel. Le plus souvent un cheptel donné utilise plusieurs types de ressources alimentaires et leur mode de gestion est en étroite relation avec le niveau d'intensification. Ainsi, une expertise technique dans divers aspects des systèmes de production animale, notamment en élevage, en pâturages, en géostatistique, et en systèmes

de données spatiales a permis de déterminer que sur une surface totale d'environ 600 km² dans la région de Tsiroanomandidy, 31511 ha sont exploitables en tant que zones de pâturage, soit 52,7% de la surface totale. Cependant, 39,7% de cette surface sont représentés par l'*Aristida multicaulis* qui est plante typique de la savane herbeuse à faible valeur fourragère. *Aristida* est une graminée qui couvre généralement les pentes et les sommets sur des sols dégradés et érodés (Dubois 2004). Une fois lignifiée cette espèce n'est plus du tout appréciée par les bovins. Pour y remédier, les exploitants pratiquent les feux de pâturage pour stimuler une légère repousse d'herbe verte à la fin de la saison sèche lorsque de légères précipitations commencent à apparaître. Une estimation de Boudet (1977) précisait que 10 ha de savane principalement composée d'*Aristida* sont nécessaires pour couvrir les besoins d'un bovin adulte (UBT) sur une année. Ainsi, les surfaces occupées par cette espèce peuvent nourrir environ 1 250 zébus/année. Après *Aristida*, l'*Hyparrhenia* et d' *Heteropogon* sont également présentes en grande quantité dans la région de Tsiroanomandidy. Elles représentent 27,8% des surfaces pâturables, mais elles ne sont pas dominantes et la surface qu'elles recouvrent diminue au cours de la saison sèche et des années au profit de l'*Aristida*. Pour certains éleveurs la présence d'*Hyparrhenia* et d' *Heteropogon* sur une surface est un indicateur de fertilité du sol. Ainsi, ces derniers sont souvent sujets de la dynamique du changement d'utilisation de l'occupation du sol en faveur des cultures vivrières. Ces changements peuvent avoir des impacts économiques, sociaux et environnementaux dans la région. De plus, ces terres sont généralement soumises à des conflits entre l'agriculture et élevage (Ahouangansi 2017) du fait de leur potentialité d'exploitation dans les deux systèmes de production. Il existe, en outre, quelques autres graminées qui occupent une faible partie de la surface non occupée par ces espèces fourragères. Il s'agit de *Cynodon dactylon* et *Eleusine indica* qui représentent respectivement 16,4% et 10,2% des surfaces occupées par les fourrages est sont présente en « tâche » sur les plateaux (Ranaivoarivelo 2002). La validation sur le terrain a indiqué une légère confusion de classification entre ces deux classes, ceci est probablement dû à la présence de ces deux espèces sur une même parcelle. Par contre, une grande majorité de l'*Eleusine* tend à s'implanter sur les endroits humides près du fleuve de Manambolo. Ces types de fourrages sont généralement récupérés en sac par les éleveurs laitiers dans les zones périurbaines et qui ne disposent pas de terrain pour alimenter leur cheptel en stabulation. Enfin, le *Brachiaria brizantha* qui est une espèce fourragère introduite, représente une surface totale de 1859 ha qui équivalent à 5,9% des surfaces occupées par les fourrages. La géolocalisation de cette espèce permet de définir un zonage des élevages laitiers. En effet, les surfaces constituées de *Brachiaria* sont généralement localisées à proximité des élevages laitiers de la région. Ainsi, à partir des données statistiques sur les élevages, cette cartographie permet de déterminer la pression animale sur les ressources, c'est-à-dire le nombre de surface disponible par unité de bétail et de biomasse végétale moyenne théoriquement disponible par unité de bétail. Avec

plus de données et d'investigation, ce genre d'analyse pourrait être effectué sur la totalité de l'espace en incluant toutes les espèces végétales et animales constituantes. Notamment sur les zébus qui sont alimentés à partir de ressources naturelles spontanées. Cette analyse nécessitera l'utilisation de cartes de distribution du bétail dressées à partir des informations comme les rapports de vaccination des vétérinaires de la région pour les éleveurs sédentaires et les rapports de délivrance de passeport au niveau des communes environnante pour les éleveurs nomades. Les cartes permettent donc d'informatiser et de cartographier la disponibilité spatiale et les besoins en fourrage.

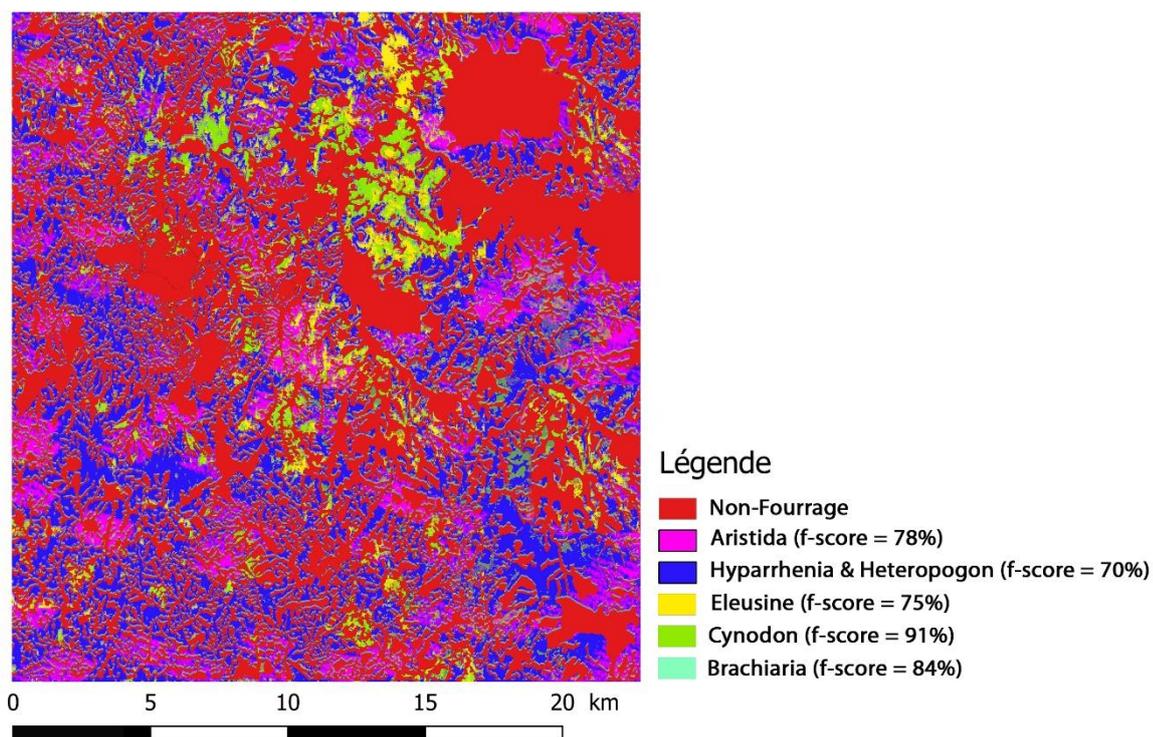


Figure 2 : Carte de la biodisponibilité des ressources fourragères

La carte des besoins fourragers des troupeaux est alors comparée avec la carte de disponibilité en ressources fourragères, pour en dresser une carte de surplus ou de déficit, qui s'avère une connaissance utile pour le développement de la gestion des ressources à l'échelle régionale. Les résultats obtenus peuvent être extrapolés en terme de besoin animal pour pouvoir estimer le nombre d'animaux pouvant être supporté par la région. Selon la schématisation de Roberge (1988), le système d'élevage de Tsiroamandidy pourrait être classé dans le niveau 1 d'intensification de système d'élevage. Ce niveau stipule qu'il à y une légère amélioration du pâturage naturel par l'introduction d'espèce fourragère améliorante sur une petite proportion des surfaces. La quantité de biomasses produite dans ce niveau d'intensification est estimée entre 1 à 3 t MS/ha/an et la charge relative est de 1 à 2 UBT/ha/an. Ainsi,

théoriquement la région de Tsiroanomandidy peut supporter une charge allant jusqu'à 29 752 zébus durant une année (Tableau 2). Quoique les données de télédétection puissent estimer la biomasse sur de larges étendues, l'ensemble de celles-ci peut ne pas être disponible par l'existence d'une topographie impraticable, ou de larges trajets. De plus, les modèles de prédiction de notre étude nécessitent encore plusieurs investigations en termes de volume de données satellitaires et de terrain pour avoir de meilleurs résultats de classification. Malgré cela, ces premiers résultats peuvent déjà être utilisés en tant que base de départ pour mieux ajuster l'offre des espèces fourragères par rapport aux besoins des animaux. La cartographie s'avère être indispensable pour une meilleure vision instantanée, transversale de l'ensemble du système en vue de faciliter le déplacement des éleveurs vers les lieux de pâturage inexploités. Ces modèles de prédiction des différentes classes des espèces fourragères peuvent être combinés à des modèles de prédiction de la quantité de biomasses fourragère (Razafinarivo 2017) pour une meilleure gestion des ressources.

Tableau 2 : Capacité de charge animale (UBT) suivant les surfaces occupées.

Occupation du sol	Superficie (ha)	Pourcentage d'occupation	Capacité de charge (UBT)
Non-fourrage	28 280,14		
<i>Aristida multicaulis</i>	12 509,89	39,7	1 250,98
<i>Hyparrhenia</i> / <i>Heteropogon</i>	8 760,08	27,8	13 140,12
<i>Cynodon dactylon</i>	5 167,81	16,4	7 751,73
<i>Eleusine indica</i>	3 214,13	10,2	4 821,20
<i>Brachiaria brizantha</i>	1 859,15	5,9	2 788,73
TOTAL	59 791,22	100	29 752,76

Conclusion

Il est souvent difficile, voire impossible, de gérer la production fourragère dans les systèmes d'élevage spatialement extensifs du fait de l'insuffisance de données à grande échelle. Ainsi, la présente étude a contribué à une amélioration du système d'élevage extensif de la région de Tsiroanomandidy Madagascar, par l'utilisation combinée de la télédétection et de la modélisation. Une série temporelle d'images satellitaires optiques à haute résolution spatiale SPOT 5 a été utilisée pour créer une carte d'occupation du sol par l'utilisation de l'algorithme RF. Ces procédés ont permis d'effectuer une

classification des différentes espèces constituant les pâturages à une précision globale de 77,6%. Une cartographie de la répartition spatiale des différentes espèces fourragères tirée de cette classification a été utilisée pour calculer la capacité de charge de la région. Il est fort probable que cette approche soit utile dans beaucoup de domaines comme la gestion des ressources fourragères, la gestion des conflits entre les agriculteurs et les éleveurs, l'aménagement du territoire, etc. Plusieurs scénarios pourront être testés en fonction des besoins des utilisateurs suivant la disponibilité des surfaces par catégorie d'espèce fourragère. Cependant, cette étude est loin d'être exhaustive et mérite d'être approfondie, notamment sur l'augmentation du nombre de parcelles et d'images satellites pour conforter les travaux de modélisation. Il est également envisageable d'utiliser de nouvelles technologies en matière de satellite comme le couple SPOT 6 et 7 ou encore « Sentinel ».

Remerciements

Nous tenons à remercier le projet BIOVA aux appuis techniques et financiers pour la réalisation de cet article.

Références bibliographiques

- Ahouangansi M. 2017 Résoudre durablement les conflits agriculteurs-éleveurs, Libre Afrique <http://www.librefrique.org/MauriacAHOUANGANSI-conflits-agriculteurs-eleveurs-200217>
- Benoît M., Girard C., Vaubernier E. 1988 Comparaison du comportement spectral de prairies permanentes en Lorraine avec leur type d'utilisation. *Agronomie*, EDP Sciences, 1988, 8 (3), p. 265-272.
- Boudet G. 1977 Désertification ou remontée biologique au Sahel. *Cah. ORSTOM Série Biol.*, 12 (4): p. 293-300
- Breiman L. 2001 Random forests. *Machine learning*, vol. 45, no 1, p. 5-32.
- Butler S. 2015 Optimisation de la cartographie des surfaces agricoles en Afrique de l'Ouest (Koumbia, Burkina-Faso 2014), Rapport de stage de Master 2 Télédétection et Géomatique appliquées à l'environnement, Université Paris-Diderot Paris 7, Laboratoire d'accueil : Cirad, UMR TETIS, 63 p.
- Cohen J. 1968 Weighted kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin* 70(4): 213-220.
- Congalton R. G. 1991 A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- DeFries R., Achard F., Brown S., Herold M., Murdiyarto D., Schlamadinger B., de Souza C. 2007 Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science and Policy* 10(4): 385-394.
- Diaz S. 2016 Cartographie de l'occupation du sol et caractérisation des cultures à partir de séries temporelles Sentinel-2/-1 et d'images THRS sSpot6 : application à la région des hautes terres malgaches, Rapport de stage de Master 2 Géomatique, Université Paul Valéry Montpellier 3, Laboratoire d'accueil : Cirad, UMR TETIS, 76 p.
- Dubois C. 2004 Gestion des ressources pastorales et pratiques d'alimentation des bovins dans les bassins versants d'Imamba-Ivakaka (Lac Alaotra, Madagascar), Ecole nationale vétérinaire de Lyon, Thèse n° 143

- FAO 2014 La conduite d'évaluations nationales des aliments pour animaux, par Michael B. Coughenour & Harinder P.S. Makkar. Manuel de Production et de santé Animales FAO No. 15. Rome, Italie.
- Gao B C. 1996 NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 58: 257-266
- Girard M. C., Girard C. M. 1999 Le traitement des données de télédétection. Dunod, Paris, 529 p. + CD-Rom.
- Gislason P. O., Benediktsson J. A., Sveinsson J. R. 2005 Random Forest for land cover classification. *Pattern Recognition Letters*, 27 (4), 294-300
- Houry L., Clement R., Isenmann M., Porteret J., Jacqueminet C. 2012 Application de la télédétection et de l'analyse spatiale pour le développement d'indicateurs de pression sur les zones humides Rhône-Alpines, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Saint Etienne, Université Jean Monnet de Saint Etienne. 101 pages
- Krogh A., Vedelsby J. 1995 Neural network ensembles, cross validation and active learning. In D. S. Touretzky G. Tesauro and T. K. Leen, eds., *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 231-238, MIT Press.
- Lhoste P. 2004 Les relations agriculture-élevage. *Agriculture / Elevage : NORD-SUD*, Cirad-DS, délégué aux sciences de l'animal. 30p.
- Liaw A., Wiener M. 2002 Classification and Regression by Randomforest. *R News*, 2, 18-22. <http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>
- Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W. 2008 *Remote sensing and image interpretation*. Hoboken, NJ, USA: Wiley.
- MAEP 2004 UPDR – Océan consultant, Actions du Ministère du Ministère, Filières de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, , filière bovins à viande, Mise à jour : Juillet 2004
- MAEP 2005 Textes législatifs et règlementaire sur les secteurs domanial et foncier, Agriculture, élevage et pêche. Républican' i Madagasikara, Ministère de l'agriculture de l'élevage et de la pêche. Janvier 2005, 901 pages.

- Mc Feeters S. K. 1996 The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 17, Iss. 7, <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Oloukoi J., Mama V. J., Agbo F. B. 2006 Modélisation de la dynamique de l'occupation des terres dans le département des collines au Bénin. *Téledétection*, 6(4), 305-323.
- Pontius R. G. 2000 Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 66(8), 1011-1016
- Ranaivoarivelo N. 2002 Elevage bovin et exploitation d'un espace agropastoral dans le sud-ouest de Madagascar (région de Sakaraha). Thèse de doctorat en Géographie, Université Louis Pasteur de Strasbourg : 259p.
- Rasambainarivo J. H., Razafindratsita R., Rakotozandrindrainy R. 2004 Country Pasture / Forage Resource Profiles <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agp/agpc/doc/counprof/Madagascar/madagascarfr.htm>.
- Razafinarivo T.D., Rahetlah V.B., Rakotozandry J.N., Salgado P., Degenne P. 2017 Development of a cartographic tool for the management of pastoral resources through a combined approach of remote sensing and modeling, *Livestock Research for Rural Development* 29 (11) 2017, <http://www.lrrd.org/lrrd29/11/raza29204.html>
- Roberge G. 1988 L'intensification fourragère et l'irrigation en milieu tropical sec, *Sénégalaise des Recherches Agricoles et Halieutiques - Vol. 1 - no1*
- Schowengerdt R.A. 2007 *Remote sensing: models and methods for image processing*. Oxford, UK: Elsevier/Academic Press
- Tucker C.J. 1979 Red and photographic-infrared 1/near combinations for monitoring vegetation *Remote Sens Environ* 8(2) 127-150



Direction Générale de la Recherche Scientifique

Téléphone : +261(0)20 26 256 04

E-mail : spdgrp12@gmail.com

Site web: www.recherches.gov.mg

www.mesupres.gov.mg



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

