

Elaboration d'un modèle de décision pour la création de nouvelles stations d'observation acridienne. Cas du sud-ouest de Madagascar

Developing a decision making model to define new locust stations (southwestern Madagascar)

V. RATIARSON¹
F. RAFAMANTANANTSOA¹
D. HERVÉ²

(1) Ecole Nationale d'Informatique, Université de Fianarantsoa, BP 1484, Fianarantsoa 301, Madagascar

(2) Institut de Recherche pour le Développement (IRD UMR 220), BP 64501, 34394 Montpellier, France

Résumé

Depuis 1932, un centre national antiacridien (CNA) a été mis en place au sud-ouest de Madagascar pour assurer la lutte anti-acridienne. Une des préoccupations majeures du CNA est de se procurer un outil d'aide à l'actualisation de son parc de stations d'observation acridienne, dont certaines sont anciennes et ne répondent plus aux critères requis. Ces stations sont situées dans une mosaïque paysagère hétérogène qui a évolué sous l'effet d'une transition de forêt à savane. Différents états d'occupation du sol peuvent être distingués dont les transitions sont gouvernées par des règles recueillies par des agronomes et des écologues auprès des agriculteurs.

L'objectif de ce travail est d'élaborer un modèle de décision couplé à un modèle de transition afin de prédire, à une date donnée, l'état d'occupation du sol et de proposer de nouvelles configurations des stations d'observation en fonction de cet état, des conditions pluviométriques locales et de la densité de la population acridienne recueillies dans la zone.

L'ensemble du Sud de Madagascar est découpé en 24 zones de même taille, caractérisées chacune par sa couverture satellitaire et par la matrice de transition qui y est associée.

Une acquisition d'images satellitaires SPOT a été réalisée dans 3 sites (Soalara, Betioky et Mikea) représentatifs de la zone de densation grégarigène, au sud-ouest de Madagascar, dans lesquels 3 dates d'images permettent de construire des matrices de changement d'occupation du sol à deux périodes.

Pour chaque zone d'étude, le modèle de transition est validé en le simulant par chaînes de Markov depuis la date initiale et en comparant les distributions observées et simulées aux autres dates à l'aide d'un test statistique χ^2 .

Dans un second temps, le modèle de décision est implémenté en développant une application web pour visualiser dynamiquement les cartes de l'aire grégarigène du sud-ouest et simuler par chaînes de Markov les évolutions temporelles de l'état d'occupation du sol des différentes zones. Ce simulateur est utilisé pour prédire à une date donnée des zones susceptibles d'être converties en nouvelles stations d'observation en superposant l'état d'occupation du sol en savane, le plus favorable aux acridiens, aux conditions pluviométriques optimales et aux densités acridiennes relevées les plus élevées.

Mots-clés: image satellitaire, lutte antiacridienne, Madagascar, Markov, modèle de décision, occupation du sol

Abstract

Since 1932, a National anti-locust Center (NAC) was set up in the southwestern Madagascar to ensure the anto-locust fight. One of the main concerns of NAC is to obtaining a tool to assist in the updating of its fleet of locust monitoring stations, some of which are old and no longer meet the criteria. These stations are located in a heterogeneous mosaic landscape that has evolved as a result of transitions from forest to savannah. Different land use states can be distinguished and transitions are governed by rules collected by agronomists and ecologists from farmers.

The objective of this work is to develop a decision making model coupled with a transition model to predict, on a given date, the state of land use and to propose new configurations of the observation stations depending on this state, the local rainfall conditions and density of the locust population gathered in the area.

The whole of the southern Madagascar is divided into 24 zones of equal size, each characterized by its satellite coverage and transition matrix associated with it.

Acquisition of images was performed at 3 sites (Soalara, Betioky and Mikea) representative of the locust zone, in the southwestern Madagascar; these three dates of images are used to construct matrices of change of land use in both periods.

For each study area, the transition model is validated by simulating the Markov chain from the initial date and comparing the observed and simulated distributions in other dates using a χ^2 statistical test.

In a second step, the decision model is implemented by developing a web application to view dynamically the maps of the outbreak area of the southwest and simulate with Markov chain temporal evolution of the land use states. This simulator is used to predict at the given date the areas likely to be converted into new observation stations by combining the savanna land use state, the most favourable to locusts, to the optimal rainfall conditions and to the recorded highest locust densities.

Keywords: satellite image, fight against locusts, Madagascar, Markov, decision making model, land use

Introduction

Depuis 1932, un centre national antiacridien malgache (CNA) a été mis en place au sud-ouest de Madagascar pour rendre un service de lutte antiacridienne. Ce centre dispose de 918 stations d'observation et 138 stations météorologiques géoréférencées réparties dans l'aire grégarigène où l'on

collecte annuellement des données sur la population acridienne et les conditions pluviométriques. Dans la situation actuelle, certaines de ces stations sont anciennes et ne répondent plus aux critères requis.

Un des soucis majeurs du CNA est de disposer d'un outil d'aide à l'actualisation de son parc de stations d'observation (Rafamantanantsoa *et al.*, 2012). Les zones dans lesquelles sont localisées les stations se caractérisent soit par de la savane, soit par une mosaïque paysagère hétérogène comportant des forêts sèches ou des fourrés xérophiles (Humbert, 1927). Les transitions entre les différents états d'occupation du sol sont liées à des dynamiques écologiques ou des successions culturelles ; elles sont gouvernées par des règles recueillies auprès des agriculteurs par des agronomes et des écologues.

Le suivi de l'évolution d'un paysage à partir de son état passé a donné lieu à des modèles de changement d'état conçus pour étudier la dynamique paysagère mais qui requièrent de nombreuses données fiables pour le calibrage des paramètres : des modèles agrégés comme les équations différentielles (Dobson *et al.*, 1997), des modèles markoviens (Lippe *et al.*, 1985 ; Turner, 1987), des modèles explicitant l'espace comme les automates cellulaires (Landzer & Fillar, 2002).

En outre, au CNA, un outil d'aide à la décision basé sur un SIG a été élaboré pour le suivi et l'évaluation de la situation du criquet migrateur et la prévision du risque acridien (Andriamaroahina, 2005). Le principal facteur de régulation des effectifs du criquet est la pluviométrie (Zolotarevsky, 1933 ; Launois, 1974) dont la plage optimale a été définie à un niveau compris entre 50 et 150 mm de pluie par mois (Andrianasolo Ravoavy, 1979 ; Darnhofer & Launois, 1974).

L'objectif de ce travail est d'élaborer un modèle de décision couplé à un modèle de transition afin de prédire à une date donnée, l'état écologique d'une zone et de proposer de nouvelles localisations des stations d'observation en fonction de leur état de végétation, des conditions pluviométriques et de la densité de la population acridienne recueillie dans la zone.

Méthode

DESCRIPTION DES ZONES D'ÉTUDE

Les zones d'étude sont localisées au sud-ouest de Madagascar dans l'aire grégarigène (environ 100 000 km²) du criquet migrateur *Locusta migrator capito* (Saussure, 1884) qui peut changer de phase en fonction de sa densité de population (Duranton *et al.*, 1982).

Les 3 zones d'étude sont considérées comme représentatives de l'aire grégarigène du criquet migrateur au sud-ouest de Madagascar : Soalara et district de Betioky au Sud de Toliara pour les fourrés xérophiles, la forêt de Mikea (principalement la commune d'Analamisampy) pour la forêt sèche. Dans les zones étudiées, les populations paysannes pratiquent la culture sur brulis pour produire du maïs, du manioc et des légumineuses ainsi que l'élevage de zébus et de petits ruminants, principalement caprins.

Dans ces trois sites, les stations d'observation acridienne ont été visitées et la pluviométrie sur chacune des zones d'étude a été recueillie dans les registres du CNA.

OBTENTION DES DONNÉES

Une acquisition d'images satellitaires SPOT 5 a été réalisée par des géomaticiens et les différents états d'occupation du sol ont été répertoriés et les classifications d'images vérifiées à l'occasion de plusieurs missions de terrain de 2010 à 2013. Nous disposons des données sur (1) la distribution spatiale des états

d'occupation du sol à 3 dates (1989, 2001, 2010 pour Soalara et Betioky ; 1990, 1999, 2010 pour Mikea), en termes de pourcentages de la surface totale, et (2) les changements d'occupation du sol entre les 2 périodes délimitées par les trois dates : 1989-2001 et 2001-2010 pour Soalara et Betioky, 1990-1999 et 1999-2010 pour Mikea.

Les données sur les populations acridiennes et la pluviométrie, recueillies par décades par les agents prospecteurs du CNA, sont agrégées par année puisqu'on ne s'intéresse qu'à la moyenne annuelle, le modèle décidant chaque année du maintien ou du changement de chaque station acridienne.

Les données acridiennes sont recueillies dans les stations fixes acridiennes (prospection intensive) et autour de ces stations (prospection extensive). Les stations fixes acridiennes sont regroupées en postes antiacridiens, eux-mêmes regroupés en zones antiacridiennes, l'ensemble de leurs localisations étant référencé par coordonnées géographiques. Les données pluviométriques sont recueillies dans des stations météorologiques fixes situées à proximité des stations acridiennes, à raison d'une station météorologique par poste antiacridien. Nous disposons par ailleurs des shapefiles de l'ensemble de stations, postes et zones antiacridiennes, ainsi que les limites des communes et des districts pour pouvoir cartographier l'ensemble de l'aire grégarienne.

DYNAMIQUE DE L'USAGE DU SOL POST-FORESTIÈRE EN FORÊT SÈCHE

Des modèles de transition ont été élaborés par des agronomes et des écologues pour représenter les dynamiques écologiques et les successions culturales observées sur les 3 sites d'étude : Soalara, Betioky et Mikea. On distingue :

- 1) 3 états d'occupation du sol : Fourré bas, Fourré bas dégradé, Zone Agricole, pour Soalara ;
- 2) 3 états d'occupation du sol : Fourré haut, Savane, Zone Agricole, pour Betioky ;
- 3) 4 états d'occupation du sol : Forêt dense sèche, Recrus, Savane, Zone Agricole, pour Mikea.

Ces différences entre zones s'expliquent car la zone agricole de Soalara est réduite et la catégorie correspondante intègre du même coup cultures et recrûs herbacés ; par ailleurs un gradient pluviométrique Nord-Sud explique la différence de végétation ligneuse entre la forêt sèche et le fourré haut d'une part, et Est-Ouest entre le fourré haut et le fourré bas d'autre part.

En forêt sèche, l'unité paysagère est vue comme un système dynamique dont l'évolution peut être visualisée à l'aide d'un graphe d'états où les nœuds représentent les états d'occupation du sol et les arcs, les transitions étiquetées par un événement discret résultant de la décision d'un agriculteur ou un événement continu dans le cas de processus écologiques. Les transitions entre ces états sont gouvernées par des règles basées sur des durées de séjour dans chaque état, recueillies auprès des agriculteurs et par observation pluriannuelle par des agronomes et des écologues.

DESCRIPTION DU MODÈLE DE DÉCISION

L'objectif de ce travail est d'élaborer un modèle de décision pour l'actualisation des stations d'observation antiacridiennes du CNA. Ce modèle est couplé à un modèle de transition, pour réduire à une date donnée, l'occupation du sol sur une zone donnée et pouvoir ainsi proposer de nouvelles configurations des stations d'observation. Trois critères sont définis par le CNA pour choisir une nouvelle station : 1) son état d'occupation du sol, savane ou autre, mais non forêt ni fourré ; 2) des conditions pluviométriques favorables aux populations de criquets (pluviométrie mensuelle de 50-150 mm cumulés) ; et 3) une densité élevée de la population acridienne recueillie sur le site. On admet l'hypothèse qu'il n'y a pas de criquets dans les aires protégées, forestières par définition, ni plus largement dans les forêts sèches et fourrés xérophiles.

La démarche consiste à découper spatialement l'aire grégarigène au Sud de Madagascar dans un maillage de 24 zones de surface égale afin de déterminer la couverture satellitaire disponible sur chaque unité de la maille.

On observe que la zone du sud-est n'a pas de stations antiacridiennes ni d'invasion acridienne car elle se situe en bordure d'une falaise où s'est maintenu un couloir de forêt ombrophile. Au Sud, c'est la savane qui domine. Dans le sud-ouest, les modèles de transition des forêts sèches trouvent leur limite à l'Est avec la généralisation d'une couverture de savane. Les aires protégées du sud-ouest et de l'ensemble du Sud de Madagascar doivent être prises en compte car, étant par définition forestières, on admet qu'elles ne sont pas grégarigènes.

Les transitions ont été étudiées en forêts sèches dans le sud-ouest car cette zone de densation des populations de criquets est soumise à des changements d'occupation du sol, en premier lieu la déforestation, à la différence du Sud où la savane est maintenue par de feux récurrents. Mais les 3 sites d'étude choisis dans le sud-ouest ont montré des différences d'états d'occupation du sol qui obligent à les traiter séparément, au moins dans un premier temps, pour des modèles de transition spécifiques. Les zones de validation de chacun de ces modèles sont à préciser autour des 4 sites de Soalara (fourrés bas en bande littorale), Betioky (fourrés hauts sur plateaux calcaires), Mikea (forêt sèche sur sables) et savanes plus à l'Est. On associe à chaque site avec son extension une matrice de transition décrivant la dynamique paysagère observée sur la petite zone représentative étudiée dans chaque site.

Le modèle de décision est basé sur des critères de choix d'une zone susceptible d'être convertie en une nouvelle station d'observation, qui peuvent être formalisés sous forme de règles de décision (Figure 1) :

R1: SI pluviométrie mensuelle favorable entre 50 et 150 mm,

ET forte densité observée de population acridienne,

ET état d'occupation du sol en savane, ou autre (zone agricole, jachère), mais ni forêt, ni fourré, ni aire protégée,

ALORS la zone délimitée peut être maintenue en station antiacridienne si la zone correspond aux critères de sélection,

R2 : Si ces conditions ne sont pas remplies, alors l'ancienne station antiacridienne localisée hors savane peut être déplacée vers un autre emplacement plus favorable situé de préférence dans la même commune ou à défaut dans la commune ou le district les plus proches.

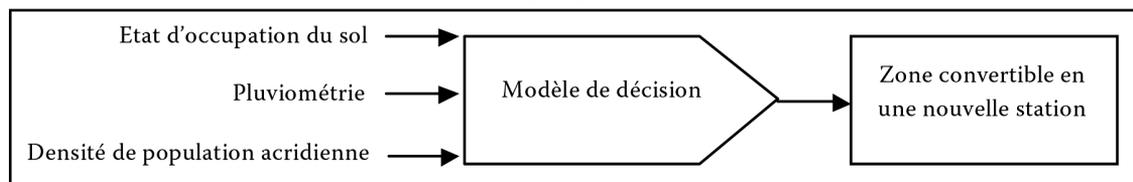


Figure 1 : Schéma simplifié du modèle de décision : choix de nouvelles stations acridiennes

L'état d'occupation d'une zone délimitée est calculé à chaque pas du temps annuel par un modèle de Markov.

La pluviométrie est recueillie mensuellement. Il faut définir une règle convertissant les données mensuelles en un indicateur annuel de satisfaction de ce critère climatique.

La densité acridienne se réfère à une mesure décadaire qui peut être agrégée sur l'année par une comparaison à un seuil de population suffisant pour justifier le maintien d'observations à cet endroit.

CHOIX DU MODÈLE MARKOVIEEN

En écologie du paysage, le modèle markovien est un outil pour simuler l'évolution temporelle de l'état d'un paysage et *prédire* les évolutions futures des occupations du sol. La dynamique d'occupation du sol pour une unité paysagère observée en forêt sèche peut être considérée comme une succession d'états dans laquelle l'état suivant dépend conditionnellement de l'état précédent. Nous nous intéressons à une chaîne de Markov d'ordre 1 à temps discret, fondée sur l'hypothèse que l'état futur du processus ne dépend que de son état présent qui résume tout son passé (Hagstrom, 2002).

Une chaîne de Markov est définie par 3 éléments : (1) un espace fini de n états, (2) une matrice des probabilités de transition entre les différents états et (3) une distribution initiale.

L'évolution des occupations du sol en forêt sèche peut être modélisée par un modèle de Markov caractérisé par une distribution initiale et une matrice de transition markovienne obtenue à partir des surfaces des états d'occupation du sol, après avoir normalisé la matrice des probabilités de changement d'utilisation des sols, de telle manière que la somme de chaque colonne soit égale à l'unité. Etant donné que les espaces d'états sont différents d'un site à l'autre : Bas fourré (BF), Bas fourré dégradé (BFD), Zone agricole (ZA) pour le modèle de Soalara ; Bas fourré, Bas fourré dégradé, Zone agricole, Savane (Sv) pour le modèle Betioky et Forêt dense sèche, Recru, Savane, Zone Agricole pour Mikea, les dynamiques d'usage du sol ne sont pas comparables entre les sites et l'on doit considérer que chaque site a sa propre dynamique.

Résultats

MATRICES DE TRANSITION

Tableau I : Distributions spatiales des états d'occupation du sol à Betioky en 1989, 2001, 2010

Etats	1989		2001		2010	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Haut Fourré	140 281,65	44,20	126 049,41	39,72	89 018,64	28,05
Savane	29 948,40	9,44	19 959,75	6,29	33 831,54	10,66
Zone Agricole	147 129,39	46,36	171 350,28	53,99	194 509,26	61,29
TOTAL	317 359,44	100,00	317 359,44	100,00	317 359,44	100,00

Tableau II : Matrices de changement d'utilisation des sols à Betioky aux périodes 1989-2001, 2001-2010

Matrice de transition (ha) 1989-2001				Matrice de transition (ha) 2001-2010			
Etat final	Etat initial			Etat final	Etat initial		
	Haut fourré	Savane	Zone Agricole		Haut fourré	Savane	Zone Agricole
Haut fourré	1 170 815	1 967	227 767	Haut fourré	785 239	232	203 625
Savane	131	185 673	35 971	Savane	6 253	203 880	165 773
Zone Agricole	387 739	145 120	1 371 033	Zone Agricole	609 057	17 663	1 534 494

Tableau III : Matrices de transition markovienne des occupations du sol observées à Betioky par télédétection pour 2 périodes

Matrice de transition 1989-2001				Matrice de transition 2001-2010			
Etat final	Etat initial			Etat final	Etat initial		
	Haut Fourré	Savane	Zone Agricole		Haut Fourré	Savane	Zone Agricole
Haut Fourré	0,75	0,006	0,14	Haut Fourré	0,561	0,001	0,107
Savane	0	0,558	0,02	Savane	0,004	0,919	0,087
Zone Agricole	0,25	0,4361	0,84	Zone Agricole	0,435	0,080	0,806

Les tableaux I, II, III présentent l'obtention des matrices de transition à Betioky.

VALIDATION DU MODÈLE DE TRANSITION

Pour décrire la dynamique d'occupation du sol, nous proposons 2 modèles markoviens :

- 1) un modèle de Markov homogène par période (Le Maire & Mauffrey, 1975 ; Chiquet, 2003) en supposant que la matrice de transition est constante dans chaque intervalle de temps, mais varie d'un intervalle à un autre ;
- 2) un modèle de Markov basé sur une seule matrice de transition moyenne supposée homogène durant la période de 20 ans considérée.

Dans un premier temps, pour chaque zone d'étude, nous validons le modèle de transition en le simulant par le modèle Markov par période depuis la date initiale (1989 pour Soalara et Betioky, 1990 pour Mikea) et en comparant les distributions observées et simulées (en 2001 et 2010 pour Soalara et Betioky, 1999 et 2010 pour Mikea), à l'aide du test statistique χ^2 (Yao *et al.*, 2010). Sous l'hypothèse nulle H_0 : « les proportions simulées sont identiques à celles observées », soit :

$$p_i^{sim} = p_i^{obs} \text{ pour } 1 \leq i \leq n, \text{ la statistique de test } St = \sum_{i=1}^n N \frac{(p_i^{sim} - p_i^{obs})^2}{p_i^{obs}}$$

suit une loi de χ^2 avec (n-1) degrés de liberté au seuil de signification α , où n désigne le nombre des états possibles, N la taille de l'échantillon, P_i la distribution de l'état i.

Tableau IV : Validation du modèle de transition markovien homogène par période pour le site de Betioky

Etats	%Observé en 1989	%Simulé en 2001	%Observé en 2001	%Simulé en 2010	%Observé en 2010
Haut Fourré	44,2028	10.329	39,7182	12,932	28,0498
Savane	9,4367	16.672	6,2893	37,618	10,6603
Zone Agricole	46,3605	72.999	53,9925	49,450	61,2899
Test de χ^2 à un risque de 5%		2 degrés de liberté ; St (20,91) < Sc (5,99), donc H_0 rejetée		2 degrés de liberté ; St (19,91) < Sc (5,99), donc H_0 rejetée	

Dans le tableau IV qui représente le cas de Betioky, le test de Khi2 prouve que ce premier modèle n'est pas validé car il existe des écarts significatifs entre les distributions observées et simulées en 2001 et 2010 (Tableau IV).

C'est ce qui nous amène à retenir le modèle de Markov basé sur une seule matrice de transition (Tableau V) dont la validité est confirmée par le test de Khi2 à un risque de 5% (Tableau VI). On peut donc conclure que la dynamique de l'occupation du sol pour une unité paysagère localisée dans la zone d'étude peut être décrite à l'aide d'une chaîne de Markov homogène basée sur une matrice d'ordre 1 à temps discret.

Tableau V : Matrice de transition unifiée observée à Betioky

Etat final	Etat initial		
	Haut Fourré	Savane	Zone Agricole
Haut Fourré	0,6559	0,0035	0,1231
Savane	0,0023	0,7386	0,0545
Zone Agricole	0,3418	0,2579	0,8223

Tableau VI : Validation du modèle de Markov basé sur la matrice de transition 1989-2010 pour le site de Betioky

Etats	%Observé en 1989	%Simulé en 2010	%Observé en 2010
Haut Fourré	44,2028	22,92	28,05
Savane	9,4367	13,46	10,66
Zone Agricole	46,3605	63,62	61,29
St (1,65) < Sc (5,99), donc H0 acceptée, alors modèle validé			

IMPLÉMENTATION ET VALIDATION DU MODÈLE DE DÉCISION

Dans un second temps, nous implémentons le modèle de décision en développant une application web avec PHP et Mapserver pour la visualisation dynamique des cartes d'occupation du sol qui recouvrent l'aire grégariène. Cette application permet de visualiser une succession de cartes simulées à partir des évolutions temporelles de l'état d'occupation du sol obtenues par chaînes de Markov pour les différentes zones délimitées dans le Sud de Madagascar. Nous utilisons ce simulateur pour prédire à une date donnée des zones susceptibles d'être converties en nouvelles stations d'observation si l'état d'occupation du sol est une savane et les conditions pluviométriques sont favorables, et la densité de la population acridienne est élevée. Le simulateur offre aussi la possibilité de déplacer, dans la carte, des zones hors savane vers un autre emplacement proche, en savane.

Conclusion

Ce travail répond à la demande du CNA d'un outil d'actualisation des stations d'observation acridienne. L'objectif est d'élaborer un modèle de décision couplé à un modèle de transition afin de prédire dans le temps l'état d'occupation du sol d'une zone.

De nouvelles configurations sont proposées pour les stations d'observation en fonction de leur état de couverture végétale, des conditions pluviométriques et de la densité de la population acridienne recueillie dans la zone sur chacun des 3 sites d'étude choisis. Pour chaque site, un modèle de transition a été proposé pour représenter la dynamique d'occupation du sol. Les modèles de transition sont simulés et validés par une chaîne de Markov basée sur une matrice construite à partir des distributions spatiales observées à 3 dates et des matrices de changement d'utilisation des sols dans les deux périodes ainsi délimitées. Le modèle de décision est basé sur des critères de choix d'une zone susceptible d'être convertie en une nouvelle station d'observation. Nous implémentons le modèle de décision en développant une application web pour visualiser à différentes dates les cartes de l'aire grégarigène du sud-ouest et simuler les évolutions temporelles de l'état d'occupation du sol dans différentes zones.

Références bibliographiques

Andriamaroahina T., 2005 : *Création d'un outil (SIG) pour le suivi et l'évaluation de la situation du criquet migrateur malgache, Locusta migratoria capito dans une région pilote, la zone d'Ejeda (Madagascar)*. Master SILAT, ENSA-M Montpellier, CIRAD-Amis-UPR-50, Acridologie (ex-Pritas), 39 p.

Andrianasolo Ravoavy J., 1979 : *Relations entre la climatologie et les pullulations d'insectes phytophages dans le sud-ouest de Madagascar*. Thèse de doctorat d'Etat Paris VI, Sorbonne, 242 p.

Chiquet J., 2003 : *Estimation des températures journalières à l'aide de techniques markoviennes*. DEATIS, Université de Technologie de Compiègne, Gaz de France, 56 p.

Darnhofer T.O., Launois M., 1974 : *L'optimum pluviométrique du Criquet migrateur malgache, principe et application. Etude globale de l'influence de la répartition spatio-temporelle des pluies sur les populations du criquet migrateur à Madagascar*. Projet PNUD-FS /FAO 70/523 – Recherche sur le criquet migrateur malgache. Rome, FAO, 77 p.

Dobson A.P., Bradshaw Ad, Bakar A.J.M., 1997 : « Hopes for future : restoration ecology and conservation biology ». *Science*, 277 : p. 515-22.

Duranton J.F., Launois M., Launois-luong M.H., Locoq M., 1982 : *Manuel de prospection acridienne en zone tropicale sèche. I. De la théorie... II. ... à la pratique*. Paris : Ministère des Relations Extérieures – Coopération et Développement / GERDAT (collection Les Acridiens n°1s0), 1496 p.

Haggstrom O., 2002 : *Finite Markov Chains and Algorithmic Applications*. Cambridge : Cambridge University Press, 114 p.

Humbert, 1927 : *La destruction d'une flore insulaire par le feu. Principaux aspects de la végétation à Madagascar*. Mémoire de l'Académie Malgache, Fasc. IV, 47 p.

Landzer A.T.S., Fillar V.D., 2002 : « Probabilistic cellular automata model and application to vegetation dynamics ». *Community Ecology*, 3(2) : p. 159-167.

Launois M., 1974 : *Influence du facteur pluviométrique sur l'évolution saisonnière de Criquet migrateur malgache en phase solitaire : leur importance sur la dynamique des populations et la grégarisation*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris, Faculté des sciences d'Orsay. Ministère de la Coopération, Paris V, 245 p.

Le Maire B., Mauffrey G., 1975 : « Chaînes de Markov non homogènes, à causalité constante : matrices d'écart de causalité ». *Revue Statistique Appliquée*, 23(4) : p. 41-76.

Lippe E., Desmidt J.T., Glena Lewin D.C., 1985 : « Markov models and succession: a test for heathland in the Netherlands ». *Journal of Ecology*, 73 : p. 775-791.

Rafamantanantsoa F., Ratiarson V., Hervé D., 2012 : *Modèles «Actualisation des stations acridiennes» et «Transitions post-forestières en forêt sèche»*. Rapport des missions de l'ENI auprès du CNA et des réunions entre modélisateurs et écologues, Toliara et Betioky, 10-20 avril, 27 juin – 7 juillet, 4-10 décembre 2012, Projet FSP/PARRUR « Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar », Rapport FPPSM N° 10, 13 p.

Turner M.G., 1987 : « Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models ». *Landscape ecology*, 1(1) : p. 29-36.

Yao S.S.B., Mathieu W.E., Claude T.A.N., François N.K., Jan B., 2010 : « Modélisation de la dynamique du paysage forestier dans la région de transition forêt-savane à l'Est de la Côte d'Ivoire ». *Revue Télédétection*, 9(2) : p. 129-138.

Zolotarevsky B.N., 1933 : *Contribution à l'étude biologique du Criquet migrateur (Locusta migratoria capito Sauss.) dans ses foyers permanents*. Thèse de doctorat Sciences naturelles, Université de Paris, Marcel Bry, 96 p.

Transitions agraires

au sud de Madagascar



Résilience et viabilité

deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**



Institut de recherche
pour le développement



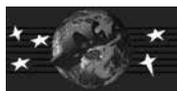
Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation

Editeurs scientifiques

**Dominique Hervé, Samuel Razanaka, Solofo Rakotondraompiana,
Fontaine Rafamantanantsoa, Stéphanie Carrière**

**Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM :
«Forêts, Parcs, Pauvreté au Sud de Madagascar»
Antananarivo, 10-11 juin 2013**

Antananarivo 2015



Mise au point des manuscrits et mise aux normes de la collection PARRUR

Noly Razanajaonarijery

Traduction des titres, résumés et mots clés en anglais

Domoina Rakotomalala

Conception de la couverture

François Adoré Razafilahy, MYE

Auteurs des photos de couverture

En recto de couverture, photo de Stéphanie Carrière

En dos de couverture, photo de Dominique Hervé

Référence de l'ouvrage pour citation

Hervé D., Razanaka S., Rakotondraompiana S., Rafamantanantsoa F., Carrière S. (eds.), 2015. Transitions agraires au sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation. Actes du séminaire de synthèse du projet FPPSM «Forêts, Parcs, Pauvreté au sud de Madagascar», 10-11/06/2013, Antananarivo, IRD-SCAC/PARRUR, Ed. MYE, 366 p.