

UTILISATION DE LA TRES HAUTE RESOLUTION SPATIALE POUR LA CARACTERISATION DES HABITATS DE RONGEURS, VECTEURS DE ZONOSSES A LA REUNION

Christophe Révillion¹, Erwan Lagadec^{3,4}, Gildas Le Minter^{3,4}, Nadine Dessay², Vanina Guernier^{3,4}, Aurélie Sand¹, Pablo Tortosa^{3,4}, Koussay Dellagi^{3,4}, Vincent Herbreteau¹

1: IRD, ESPACE-DEV (IRD, UM2, UR, UAG), Saint-Pierre, La Réunion, France, vincent.herbreteau@ird.fr

2: IRD, ESPACE-DEV (IRD, UM2, UR, UAG), France

3: CRVOI, Sainte Clotilde, La Réunion, France

4: IRD, 97490 Sainte Clotilde, La Réunion, France

Résumé

Connaître la distribution des espèces vectrices de zoonoses est fondamentale pour comprendre les dynamiques épidémiologiques et caractériser les zones à risque. Cette distribution peut être appréhendée à différentes échelles : régionalement, l'aire de répartition de ces espèces définit les limites d'occurrence de la transmission d'agents pathogènes et, localement, leurs niches déterminent l'aléa. Cette dernière échelle requiert une connaissance très précise des milieux qui peut être acquise par l'analyse d'images satellite à très haute résolution spatiale. Dans le cadre d'un projet de recherche sur la leptospirose à La Réunion (LeptOI), cette étude propose de mesurer le potentiel d'utilisation d'une image Pléiades (produit rééchantillonné à 50 cm) pour caractériser la distribution locale de différents petits mammifères terrestres autour de l'Etang de Saint-Paul. Trois campagnes de piégeage ont permis la capture de 134 animaux appartenant à quatre des cinq espèces présentes à La Réunion (*Rattus rattus*, *R. norvegicus*, *Suncus murinus* et *Tenrec ecaudatus*). Une analyse orientée-objet de l'image Pléiades a permis de discriminer dix classes d'occupation des sols avec une précision totale de 83,6%. Des indices paysagers ont été calculés à partir de cette classification autour de chacun des pièges (distances les plus courtes aux classes d'occupation, densité de contours et pourcentages de surface des classes au sein de zones tampon de 50 et de 100 mètres). Trois zones (« humide », « anthropisée » et « sèche ») sont clairement discriminées par ces variables, qui pourront être utilisées comme déterminants écologiques de différents profils épidémiologiques : la zone humide étant propice à la leptospirose et la zone anthropisée étant un lieu de cooccurrence des quatre espèces et ainsi potentiellement une zone d'échanges de pathogènes.

Mots-clés : télédétection, approche orientée-objet, épidémiologie, habitats, rats, rongeurs, Pléiades

Abstract

Knowing the distribution of vectors of zoonoses is fundamental to understand epidemiological dynamics and characterize risk areas. This distribution can be assessed at different scales: regionally, the range of these species defines the limits of occurrence of pathogen transmission and, locally, niches determine the hazard. This latter scale requires a very precise knowledge of the areas that can be gained through the analysis of very high spatial resolution satellite images. As part of a research project on leptospirosis in La Réunion (LeptOI), this study proposes to measure the potential of a Pleiades image (product resampled to to 50 cm) to characterize the local distribution of various small terrestrial mammals in Saint-Paul swamp area. Three trapping campaigns have led to the capture of 134 animals belonging to four of the five species occurring in Reunion Island (*Rattus rattus*, *R. norvegicus*, *Suncus murinus* and *Tenrec ecaudatus*). An object-based image analysis of the Pleiades image allowed discriminating ten land use classes with a total accuracy of 83.6%. Landscape indices were calculated from the classification around each trap (shortest distances to each land use class, edge densities and proportion of each patch within buffers defined by a 50 meters or a 100 meters radius). Three areas ("wet", "urbanized" and "dry") are clearly discriminated by these variables, which can be used as ecological determinants of different epidemiological profiles. The wetland area is known as suitable to leptospirosis whereas the urbanized area is a place of co-occurrence of the four species and thus potentially favorable to the exchange of pathogens.

Keywords : remote sensing, object-based image analysis, epidemiology, habitats, rats, rodents, Pléiades

1. Introduction

Sur l'île de La Réunion, où elles ne sont pas naturellement présentes, plusieurs espèces de mammifères terrestres (rats, souris et insectivores) ont été introduites et se sont installées dans divers habitats (Faulquier *et al.*, 2009). Ces espèces comprennent des rats (le rat noir *Rattus rattus* et le rat brun *Rattus norvegicus*) la souris domestique (*Mus musculus*), la musaraigne musquée (*Suncus murinus*) et le tangué commun (*Tenrec ecaudatus*). Excepté le tangué, d'origine malgache, toutes les autres espèces sont commensales et cosmopolites. Leur introduction remonte à la colonisation de l'île par les hommes et,

plus précisément, au XVII^{ème} siècle pour *Rattus rattus* (Tollenaere *et al.* 2010). Leur prolifération a été favorisée par l'absence de mammifères terrestres indigènes si bien qu'elles occupent aujourd'hui une grande diversité de milieux, des littoraux aux sommets de l'île.

Ces petits mammifères sont considérés à La Réunion comme nuisibles : 1) en causant des dégâts aux cultures et aux denrées alimentaires de même que des dégâts matériels, 2) en mettant en danger certaines espèces endémiques comme le Pétrel de Barau (*Pterodroma barau*) dont les rats peuvent détruire les nids et les œufs (Faulquier *et al.* 2009), 3) en

contribuant à la transmission à l'Homme d'agents pathogènes dont ils sont réservoirs ou vecteurs. Ces impacts négatifs ne sont pas spécifiques à La Réunion mais ils demeurent peu quantifiés. Les principales maladies, dans la dispersion desquelles ils sont impliqués, sont la leptospirose et le typhus murin. De 3 à 10 cas de leptospirose pour 100 000 habitants ont été recensés à La Réunion entre 2004 et 2012 (Pagès *et al.* 2014), alors que le typhus murin reste comparativement sous-diagnostiqué. Les leptospires, bactéries spirochètes responsables de la leptospirose, sont excrétés par l'urine des animaux réservoirs. L'homme se contamine par contact avec un environnement souillé par les urines des animaux infectés. Les leptospires se maintiennent plus favorablement dans un environnement chaud et humide, les îles tropicales présentent des incidences qui sont parmi les plus fortes au monde (Pappas *et al.*, 2008). Cette zoonose est ainsi considérée comme une priorité sanitaire majeure par l'Agence Régionale de la Santé (ARS).

Afin de mieux comprendre le rôle des petits mammifères dans la transmission de zoonoses, il est important de mieux connaître leurs habitats et leur distribution. Pour ce faire, l'étude de l'occupation du sol par télédétection à partir d'images satellite est particulièrement appropriée afin de mettre en évidence des caractéristiques écologiques de leur présence (Ostfeld *et al.*, 2005 ; Herbreteau *et al.*, 2007 ; Dambach *et al.*, 2009 ; Bordes *et al.*, 2013). Dans cette perspective, une telle étude a été lancée en 2012 à La Réunion (projet FEDER LeptOI) pour caractériser l'habitat des petits mammifères potentiellement impliqués dans le maintien et la transmission de la leptospirose. Dans le cadre de ce projet, une analyse à grande échelle a été réalisée autour de l'Étang de Saint-Paul, site présentant une grande diversité de biotopes dans un espace restreint. L'objectif est d'y caractériser des micro-habitats qui seraient révélateurs de variabilités locales de la distribution des espèces, de leur morphologie et des pathogènes associés.

2. Contexte de l'étude

La Réunion se localise dans l'océan Indien, par 55°29 de longitude Est et 21°53 de latitude Sud, à environ 800 km à l'est de Madagascar. D'une superficie de 2 512 km², l'île présente une allure ovoïde avec un diamètre compris entre 50 et 70 km. Elle culmine à 3 069 m, au Piton des Neiges, qui est aussi le plus haut sommet de l'océan Indien. L'insularité et les hauts reliefs de La Réunion engendrent des contrastes climatiques marqués.

Situé au nord-ouest de l'île, l'Étang de Saint Paul est une zone d'intérêt faunistique et floristique majeur et la plus grande zone humide de La Réunion. Ce caractère remarquable a motivé sa mise en Réserve Naturelle Nationale en 2008, sous la gestion de la Mairie de Saint-Paul (<http://www.reserves-naturelles.org/etang-de-saint-paul>). De plus, l'Étang de Saint-Paul est une zone humide pérenne dans la région climatique la plus sèche de l'île (Jumaux *et al.*, 2011), ce qui est propice au maintien des bactéries leptospires. Ainsi, dans une partie de l'île peu touchée par la leptospirose (Pagès *et al.*, 2014), des cas humains sont régulièrement diagnostiqués à proximité de l'étang.

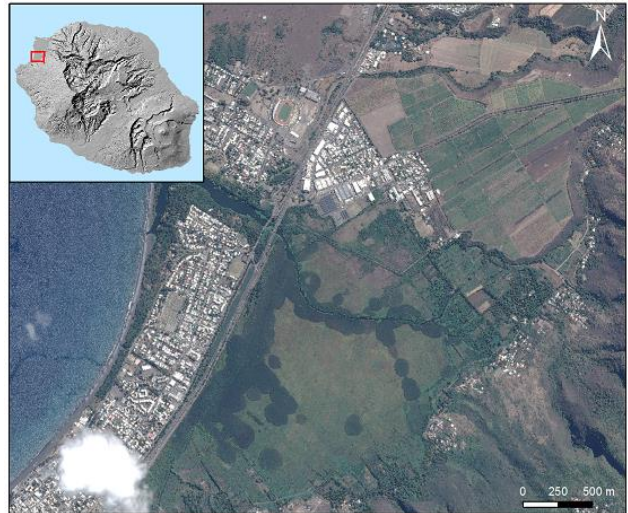


Figure 1 : Zone d'étude et sa localisation à La Réunion (Image Pléiades du 27 août 2012).

3. Matériel et méthodes

3.1 Protocole de capture des rongeurs

Trois campagnes de capture de petits mammifères ont été réalisées sur le site de l'Étang de Saint-Paul : en décembre 2012, en octobre 2013 et en décembre 2013. Le protocole de piégeage est le même sur l'ensemble du projet LeptOI. Les piégeages se sont déroulés sur trois nuits avec un total de 736 nuits/piège. Trois zones ont été choisies : la zone 1 au cœur de la zone humide au centre, la zone 2, plus anthropisée, au nord en bordure de la zone d'activité Savannah et de terres agricoles et la zone 3 sur les pentes sèches au sud-est qui surplombent la zone humide. Les pièges, de type cages métalliques, ont été posés en ligne et espacés d'une dizaine de mètres. Ils ont été géolocalisés avec un GPS. Tous les matins, les pièges ont été relevés et remplacés lorsqu'ils étaient pleins. De nombreuses données ont été renseignées sur l'état du piège et les éventuelles captures. Les animaux capturés ont été étudiés au laboratoire du Centre de Recherche et de Veille sur les maladies émergentes de l'Océan Indien (CRVOI) à Saint-Denis. Une description morphologique (longueurs : tête+corps, queue, oreille, patte arrière, rapport tête+corps sur queue) a été précisément réalisée pour permettre une identification externe des espèces (Herbreteau *et al.*, 2011).

3.2 Analyse de l'occupation des sols par télédétection

a. Données utilisées

La classification de l'occupation du sol a été réalisée par l'analyse d'une image satellite Pléiades par télédétection en menant une approche orientée-objet avec le logiciel eCognition Developer 8.8.

L'image Pléiades (satellite 1A) à Très Haute Résolution Spatiale (THRS), acquise le 27 août 2012, est un produit fusionné à 50 cm de résolution spatiale. Cette scène a été acquise via la Recette Thématique Utilisateur (RTU) du programme ORFEO (Optical and Radar Federated Earth Observation) d'accompagnement Pléiades organisé par le Centre National d'Études Spatiales (CNES).

En complément, la Base d'Occupation du Sol (BOS), mise à disposition par la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DAAF) de La Réunion (<http://www.daf974.agriculture.gouv.fr/La-base-de-l-occupation-du-sol,1309>), a été intégrée comme couche thématique dans le logiciel de traitement. Cette donnée représente les délimitations des zones agricoles basées notamment sur les déclarations de la Politique Agricole Commune (PAC). Elle nous a permis ici de localiser directement les zones agricoles (canne à sucre et verger) en se basant sur ces zonages. Cette donnée a une résolution spatiale de 10 mètres, c'est pourquoi on observe un « effet pixel » sur le résultat final de classification au niveau du contour des zones agricoles.

b. Principe de la classification orientée-objet

A l'inverse de la classification classique « par pixel », principalement axée sur la signature spectrale des états de surface, l'approche orientée-objet opère des regroupements de pixels contigus en se basant sur la valeur spectrale, la forme, le rapport longueur sur largeur, etc., des objets à classer (Benz *et al.* 2004). Cette méthode de classification est particulièrement adaptée aux images THRS qui sont riches en détails (Blaschke, 2010).

L'approche orientée-objet se divise en deux grandes étapes, la segmentation puis la classification proprement dite. La segmentation consiste à regrouper les pixels avec leurs voisins pour créer des objets de plus en plus grands en respectant des seuils d'homogénéité. Ces derniers sont calculés en fonction de plusieurs paramètres tels que la couleur (valeur spectrale) et la forme. Un critère d'échelle permet ensuite de déterminer l'hétérogénéité maximale autorisée (*User Guide, eCognition Developer 8.8*). Quatre types de segmentation sont disponibles sur le logiciel *eCognition*. Ici, la segmentation multi-résolution a été utilisée car c'est la seule qui permet l'utilisation de données de sources et de types variés ainsi qu'une analyse multi-échelle (Baatz et Schaepe, 2000 ; Benz *et al.*, 2004).

La classification permet de regrouper les objets par la formulation d'un certain nombre de règles d'appartenance pouvant être combinées, issues de l'observation et des connaissances du télédéacteur. Chaque objet est décrit par des attributs liés à sa réflectance, à sa texture, à sa géométrie et à son contexte (relations avec les objets voisins et à différents niveaux de segmentation).

Enfin, une phase de post-classification par photo-interprétation, à partir de l'orthophotographie de l'IGN de 2011, a permis notamment de diminuer les confusions entre le sol nu et le bâti.

Pour terminer, les objets contigus de même nature sont fusionnés pour une meilleure visualisation et une utilisation plus fluide sous forme vectorielle.

c. Nomenclature

Une nomenclature en 10 classes a été choisie pour répondre aux objectifs thématiques : rendre compte de la différence entre la zone humide de l'étang et l'espace beaucoup plus sec en amont de celui-ci. Cette typologie de classe est une adaptation en milieu tropical du

premier niveau de la nomenclature utilisée par l'USGS (United States Geological Survey) (Anderson *et al.*, 1976). Les classes d'occupation du sol concernant les zones humides ont été choisies grâce au cahier d'habitats de La Réunion relatif aux zones humides mis en place par le Conservatoire Botanique National des Mascariens (CBNM) (Lacoste *et al.* 2011).

d. Méthode d'évaluation de la classification

Une évaluation de la précision de la classification pour valider le résultat a été réalisée à partir de points de référence. Il est admis qu'à partir de 30 échantillons par classe le résultat est stable (Girard & Girard, 2010). Une mission de terrain spécifique a permis le recueil de 50 points de validation. Ces relevés ont été complétés par des points tirés aléatoirement sur l'orthophotographie de l'IGN de 2011 à 20 centimètres de résolution spatiale. Pour chacun des points, l'occupation du sol de la BD Ortho a été enregistrée. Une matrice de confusion a ainsi été élaborée à partir de ces données de référence et des résultats de la classification.

3.3 Analyses spatiales et statistiques

Des analyses spatiales ont été réalisées avec le logiciel QGIS 2.4.0 - Chugiak (<http://qgis.org>) afin de caractériser l'environnement autour des pièges. Pour chacun des pièges, la distance minimale aux dix classes d'occupation des sols a été calculée. L'environnement immédiat a été décrit par le calcul d'indices paysagers au sein de zones tampon (« buffers »).

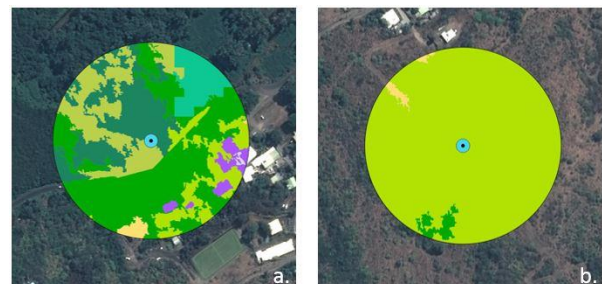


Figure 2 : Exemple du calcul d'indices paysagers dans deux zones tampon de 100 mètres. Ici la zone a. est la plus fragmentée avec une densité de contours de 0,910 contre 0,101 pour la zone b.

Deux rayons ont été choisis (50 et 100 mètres) en considérant la proximité des pièges (10 mètres) et la finesse de la résolution spatiale de l'image. Ces indices comprennent la densité des contours de l'ensemble des classes au sein d'une zone tampon (plus le paysage est fragmenté et plus les contours sont denses, voir figure 2) (McGarigal & Marks, 1995) et les pourcentages de surface de chacune des dix classes d'occupation dans chaque zone tampon. Au total, 33 variables de type indices paysagers ont été calculées.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (R Development Core Team, 2012, <http://www.r-project.org>).

4. Résultats

Résultats des campagnes de piégeage

Au total, 134 petits mammifères ont été capturés sur le site : 104 *Rattus rattus* (77,6%), 14 *Suncus murinus* (10,4%), 11 *Tenrec ecaudatus* (8,2%), et 5 *Rattus norvegicus* (3,7%). Le taux de capture (nombre d'animaux capturés divisé par le nombre de nuits-pièges) est au total de 18,3%. Il est donc élevé pour l'espèce la plus abondante, *Rattus rattus* (14,2%) et très faible pour les trois autres espèces (moins de 2%). Le taux de capture est le plus faible sur la zone 3 « sèche » (11,7%) et le double sur les deux autres : la zone 1 « humide » (23,6%) et la zone 2 « anthropisée » (21,2%) (Tableau 1).

	Zone 1	Zone 2	Zone 3
Nuits - pièges	148	321	264
<i>R. norvegicus</i>	3 (2,0%)	2 (0,6%)	0 (0%)
<i>R. rattus</i>	30 (20,3%)	45 (14,0%)	29 (11,0%)
<i>S. murinus</i>	1 (0,7%)	13 (4,0%)	0 (0%)
<i>T. ecaudatus</i>	1 (0,7%)	8 (2,5%)	2 (0,8%)
Total captures	35 (23,6%)	68 (21,2%)	31 (11,7%)

Tableau 1 : Nombre d'animaux capturés et taux de capture (entre parenthèses) par zone.

Aucun *Rattus norvegicus* et aucun *Suncus murinus* n'a été capturé sur la zone 3 « sèche », alors que les quatre espèces ont été identifiées sur les zones 1 et 2. Ces taux de capture incluent quelques animaux libérés et non intégrés à l'étude morphologique et aux investigations épidémiologiques.

R. rattus, *R. norvegicus* et *Suncus murinus* se différencient nettement par leur morphologie (pas de données de morphologie pour les *T. ecaudatus*). Une analyse en composantes principales (ACP) des cinq variables morphologiques (cf. partie 3.1) des adultes permet de dissocier les trois espèces en projetant ces variables sur les axes factoriels 1 et 2 (Figure 3).

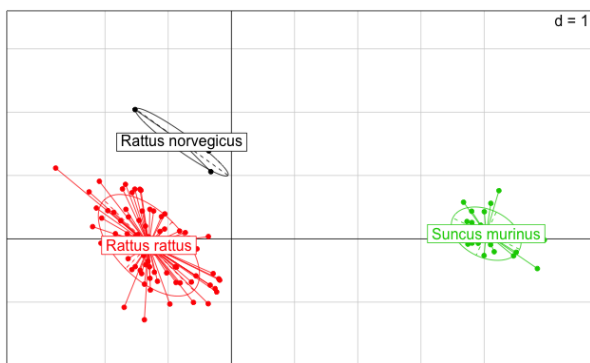


Figure 3 : ACP des variables morphologiques des trois espèces (adultes uniquement).

Une telle ACP sur les *R. rattus* adultes montre de légères différences morphologiques entre les zones et plus spécifiquement la zone 3 où les individus sont plus petits (moyenne de la longueur tête+corps = 179,8 mm contre 184,1 dans la zone 1 et 187,4 dans la zone 2). Les individus des zones 1 et 2 sont plus semblables

avec tout de même des queues plus longues en zone 2 (220,2 mm contre 206,7 mm en zone 1).

Carte de l'occupation du sol et qualité

La carte d'occupation du sol réalisée comprend 10 classes (Figure 4). L'accent a été mis sur l'homogénéité radiométrique dans les paramètres de segmentation. En outre, un seul niveau de segmentation (échelle 200, compacité 0,9 ; couleur (« shape ») 0,1 ; couche thématique : zone agricole) a permis d'avoir des objets représentatifs aussi bien du bâti que des zones naturelles.

Les routes et le bâti ont été différenciés par des critères basés sur la valeur de réflectance (moyenne du Proche InfraRouge (PIR), du bleu et indice de brillance). Les zones d'eau libre ont été simplement extraites à partir de l'indice de brillance et du Normalized Difference Water Index (NDWI=(Vert-PIR)/(Vert+PIR)) (McFeeters 1996) pour discriminer l'eau des zones en ombre. La végétation a été extraite grâce à un indice de végétation basé sur le PIR et le bleu (le Normalized Difference Vegetation Blue Index qui a pour formule : (Bleu-PIR)/(Bleu+PIR)). La nomenclature du CBNM nous a permis de qualifier les zones humides à dominante *Cyperus papyrus* (classe 6) par analyse de la bande du bleu (la valeur radiométrique dans ce canal est très faible pour ces plantes). Les zones de roseaux (*Typha domingensis*) et de fougères (*Cyclossorus interruptus*) ont été classées en végétation humide (classe 7) en faisant le ratio entre les valeurs de réflectance du canal rouge et la somme des valeurs de réflectances des 4 canaux de l'image Pléiades.

Dans l'ensemble, les résultats de la matrice sont plutôt satisfaisants avec un Kappa de 0,836 (Tableau 2).

Classe d'occupation	Précision utilisateur	Précision réalisateur
Urbain, bâti	0,8	0,976
Végétation dense, forêt	0,812	0,837
Végétation arbustive	0,77	0,548
Sol nu, végétation herbacée	0,586	0,810
Canne à sucre	0,949	0,966
Papyrus	0,970	0,923
Végétation humide	0,842	0,923
Zone d'eau libre	0,97	1
Sol artificiel, bitume	0,75	0,882
Verger	0,875	0,933

Tableau 2 : Résultats de la matrice de confusion.

La précision réalisateur (correspondance entre les échantillons de référence et le résultat de la classification) par classe est supérieure à 80% (Tableau 2). Néanmoins, la classe « sol nu et végétation herbacée » a une précision inférieure à 60%, en raison de confusions avec la classe « végétation arbustive » (30%). La précision utilisateur correspond au pourcentage d'objet de la classification correctement classé vis-à-vis de la référence. Là encore les résultats sont globalement satisfaisants mais une forte confusion existe entre les classe de « végétation arbustive » et « sol nu et végétation arborée ». Ce problème vient surement de la date d'acquisition de l'image qui correspond à la fin de la saison sèche. A cette période, les zones herbeuses et arbustives ont une faible activité chlorophyllienne, il est donc difficile de les discriminer. L'intégration d'une image en saison humide dans le

processus de classification pourrait permettre d'y remédier.

Indices paysagers

Les indices paysagers calculés sont fortement corrélés. Une matrice de corrélations et une ACP ont été réalisées pour choisir un petit nombre d'indices peu corrélés : les densités de contour sur les zones tampon

de 100 mètres, le pourcentage de surfaces boisées dans ces mêmes zones tampon, la distance aux zones agricoles et la distance à la végétation de zone humide. Ces quatre variables permettent de discriminer les trois zones d'étude (Figure 5) et les individus liés à ces zones (Figure 6) : les *Suncus murinus* en zone 2 et les *Rattus rattus* avec un ensemble d'individus en zone 3 et le reste dans les zones 1 et 2.

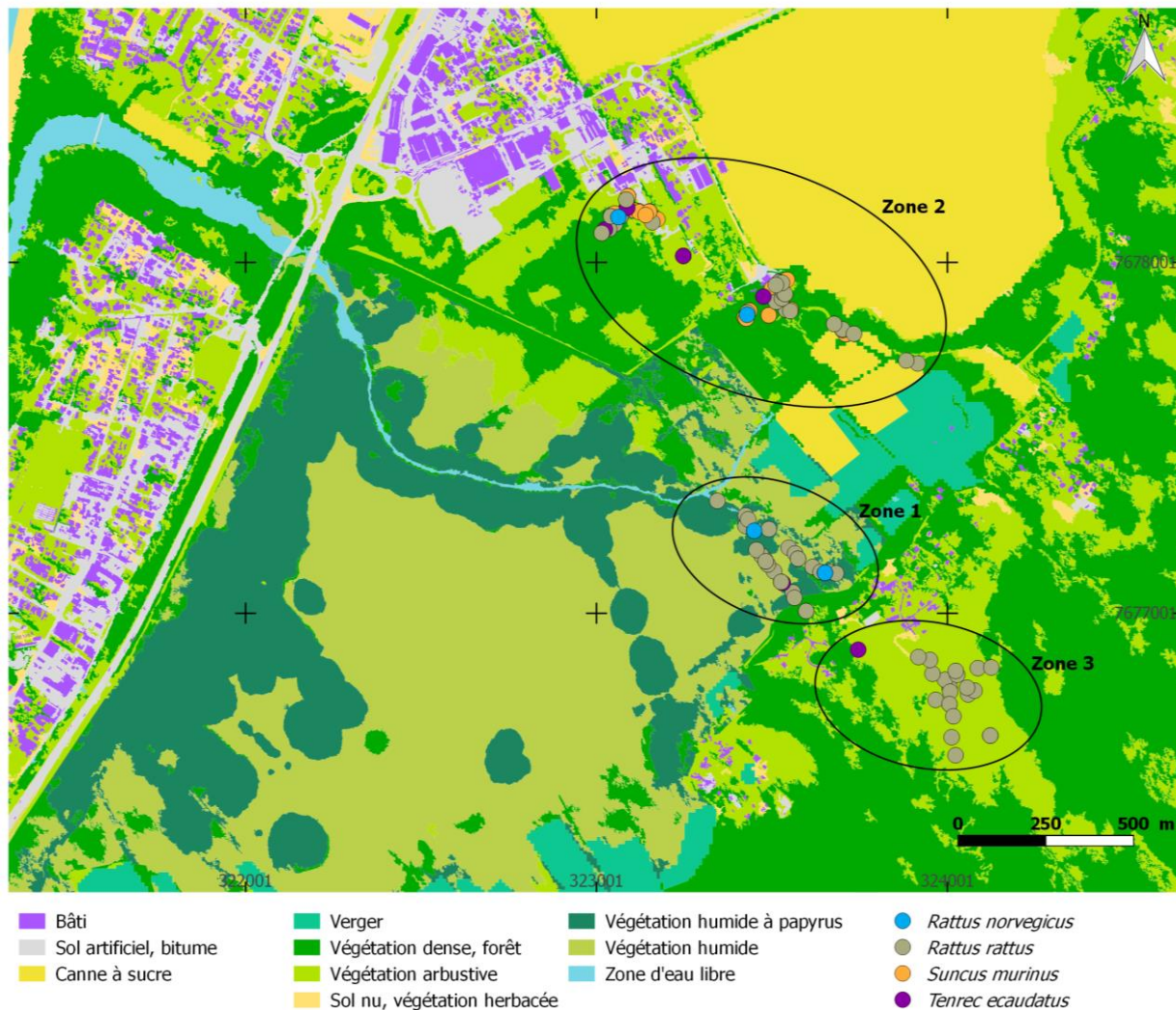


Figure 4 : Classification de l'occupation du sol de l'Etang de Saint-Paul réalisée à partir de l'image Pléiades.

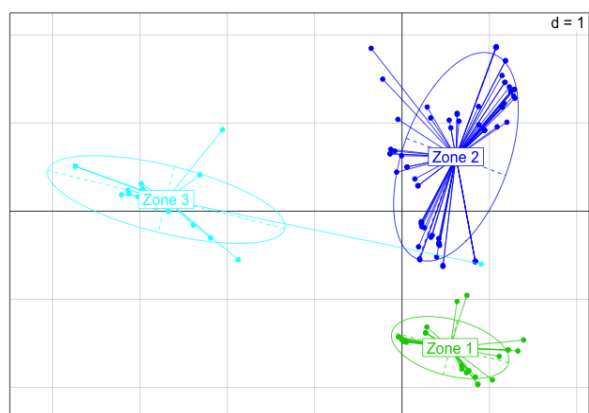


Figure 5 : ACP des indices paysagers pour l'identification des trois zones.

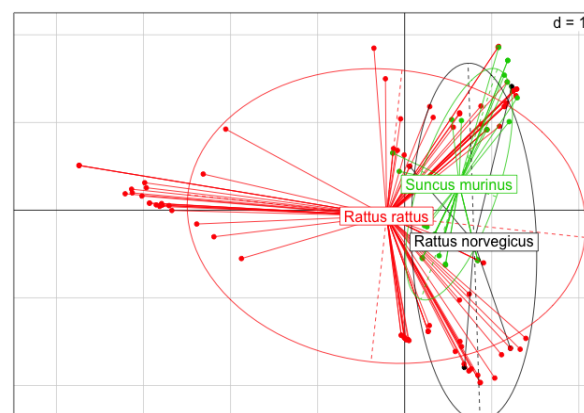


Figure 6 : ACP des indices paysagers pour distinguer les populations.

5. Discussion et perspectives

Cette étude montre les potentialités de l'utilisation d'une image Pléiades pour caractériser précisément les contours de micro-habitats de différentes espèces animales vectrices d'agents pathogènes. Ici, sur une petite zone d'environ 2 km, quatre des cinq espèces de petits mammifères communs à La Réunion ont pu être piégés. La souris domestique, *Mus musculus*, n'a pas été piégée mais les pièges utilisés n'étaient pas adaptés, car trop grands. Bien que ces espèces soient dans des densités différentes, l'étude montre qu'elles sont sympatriques dans les zones 1 et 2. Dans la zone 2 « anthropisée », les quatre espèces ont été capturées sur une distance de 75 mètres. Cette proximité permet d'émettre l'hypothèse d'une circulation d'agents pathogènes non spécifiques entre ces espèces, tels les leptospires. Ce type de milieu, à la frontière entre l'urbain, l'agricole et une zone naturelle humide serait alors propice aux échanges de pathogènes entre communautés. Cette hypothèse devra être vérifiée par des techniques moléculaires. Ces analyses auront lieu durant la suite du projet LeptOI.

Dans la zone 3 « sèche », où les ressources en nourriture semblent plus limitées, seuls des *R. rattus* et deux tangués ont été capturés. La morphologie des *R. rattus*, plus petits que sur les deux autres zones, permet de poser une seconde hypothèse : l'existence de différentes communautés d'une même espèce, l'une dans la zone sèche et l'autre dans la zone humide et péri-urbaine. Là aussi, des analyses de génétique des populations devront être réalisées pour vérifier cette hypothèse.

Ce travail montre que l'approche orientée-objet est particulièrement en adéquation avec la donnée THRS, les objets à classer étant tous composés d'un nombre important de pixels. L'analyse par télédétection de l'image Pléiades a permis de nettement délimiter les routes, le bâti et les espaces naturels sur la zone d'étude. Ce qui est d'autant plus remarquable que cette discrimination s'est faite quasi-exclusivement avec des critères de réflectance. Ceci est certainement dû à la THRS de l'image mais aussi au codage en 12 bits des canaux qui offre une finesse de discrimination plus grande. La classification réalisée répond aux objectifs de l'étude mais elle pourrait encore être affinée, si besoin. Ainsi, en faisant plusieurs niveaux de segmentation, il serait par exemple possible de séparer les arbres des zones herbacées de manière exhaustive. De plus, utiliser une deuxième date durant l'été austral, plus humide, permettrait de mieux discriminer les différentes classes de végétation.

Dans le projet Lept-OI, cette étude locale vient compléter des analyses environnementales réalisées sur l'ensemble de l'île de la Réunion et basées sur l'analyse par télédétection d'images SPOT5 multispectrales à 10 mètres de résolution. Comparativement, l'image Pléiades permet des analyses plus fines, grâce aux résolutions spatiale et spectrale supérieures. Grâce à la première, la résolution infra-métrique de l'image permet de correctement détecter les petites habitations et de mieux caractériser les contours des objets. Pour la seconde, la présence du canal bleu nous a notamment permis de bien détecter la végétation de zones humides

(particulièrement pour les papyrus) et les zones d'eau libre.

Néanmoins le volume des données Pléiades et les temps de calcul inhérents au traitement d'images à THRS n'autorisent pour l'instant que des analyses sur des zones restreintes comme l'Étang de Saint-Paul. Pour l'avenir, il est donc envisagé de continuer à utiliser des images SPOT5 ou Sentinel-2 pour des études à petites échelles et d'utiliser des données Pléiades pour montrer des particularités écologiques locales selon les besoins, comme ce fut le cas pour ce travail.

Jusqu'ici, l'usage de la télédétection pour décrire les milieux favorables aux maladies vectorielles s'est principalement porté sur des analyses à basse résolution spatiale avec une large utilisation d'indices de végétation et plus rarement de classifications d'images pour définir les aires de distribution et les habitats favorables aux espèces (Herbreteau *et al.*, 2007). Pourtant, la connaissance fine de la distribution des espèces et des lieux de cooccurrence est nécessaire pour comprendre la dynamique des pathogènes qu'elles véhiculent (transferts entre espèces et éventuelle transmission à l'Homme). Cette étude montre que le seul usage d'une image Pléiades, par sa classification et l'extraction d'indices paysagers, a permis de discriminer cette distribution locale des rongeurs.

La méthodologie utilisée ici est transférable à d'autres études de maladies vectorielles, comme celles transmises par les moustiques et plus généralement à l'étude fine des distributions d'espèces.

Remerciements

Ce travail a été financé par le projet LeptOI « Evaluation du risque de leptospirose dans les îles de l'Océan Indien : analyse phylogéographique, environnementale et modélisation spatiale » (FEDER POCT 31569). Le CNES a financé l'image Pléiades (© CNES (2012), distribution Airbus Defense and Space / Spot Image) via la RTU et l'a gracieusement fournie pour cette étude. Les auteurs remercient la Mairie de Saint-Paul, gestionnaire de la Réserve Naturelle Nationale de l'Étang Saint-Paul et la Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DEAL), qui ont permis l'accès à la réserve et délivré les permis de captures.

Références

- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T. & Witmer R.E., 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 964.
- Benz U.C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I. & Heynen M., 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(3), 239-258.
- Blaschke T., 2010. Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1), 2-16.

- Bordes F., Herbreteau V., Dupuy S., Chaval Y., Tran A. & Morand S., 2013. The diversity of microparasites of rodents: a comparative analysis that helps in identifying rodent-borne rich habitats in Southeast Asia. *Infection ecology & epidemiology*, 3.
- Dambach, P., Sié, A., Lacaux, J. P., Vignolles, C., Machault, V., & Sauerborn, R., 2009. Using high spatial resolution remote sensing for risk mapping of malaria occurrence in the Nouna district, Burkina Faso. *Global Health Action*, 2.
- Faulquier L., Fontaine R., Vidal E., Salamolard M. & Le Corre M., 2009. Feral Cats *Felis catus* Threaten the Endangered Endemic Barau's Petrel *Pterodroma barau* at Reunion Island (Western Indian Ocean). *Waterbirds*, 32(2), 330-336.
- Girard M.-C. & Girard C.-M., 2010. Traitement des données de télédétection. Deuxième édition. Dunod.
- Herbreteau V., Jittapalapong S., Rerkamnuaychoke W., Chaval Y., Cosson J.-F. & Morand S., 2011. Protocols for field and laboratory rodent studies. In. Kasetsart University Press Bangkok.
- Herbreteau V., Salem G., Souris M., Hugot J.-P. & Gonzalez J.-P., 2007. Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: From early promises to lasting frustration. *Health & Place*, 13(2), 400-403.
- Lacoste M., Delbosc P. & Picot F., 2011. Cahier d'habitats de la Réunion, zones humides. Rapport n°6, Conservatoire Botanique de Mascarin, Saint-Leu, Réunion.
- McFeeters S.K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
- McGarigal K. & Marks B.J., 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. In. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station*.
- Ostfeld R.S., Glass G.E. & Keesing F., 2005. Spatial epidemiology: an emerging (or re-emerging) discipline. *Trends in ecology & evolution*, 20(6), 328-36.
- Pagès F., Polycarpe D., Dehecq J.S., Picardeau M., Caillere N., Jaffar-Bandjee M.C., Michault A. & Filleul L., 2014. Human leptospirosis on Reunion island: past and current burden. *International journal of environmental research and public health*, 11(1), 968-82.
- Pappas G., Papadimitriou P., Siozopoulou V., Christou L. & Akritidis N., 2008. The globalization of leptospirosis: worldwide incidence trends. *International Journal of Infectious Diseases*, 12(4), 351-7.
- Tollenaere C., Brouat C., Duplantier J.M., Rahalison L., Rahelinirina S., Pascal M., Mone H., Mouahid G., Leirs H. & Cosson J.F., 2010. Phylogeography of the introduced species *Rattus rattus* in the western Indian Ocean, with special emphasis on the colonization history of Madagascar. *Journal of Biogeography*, 37(3), 398-410.