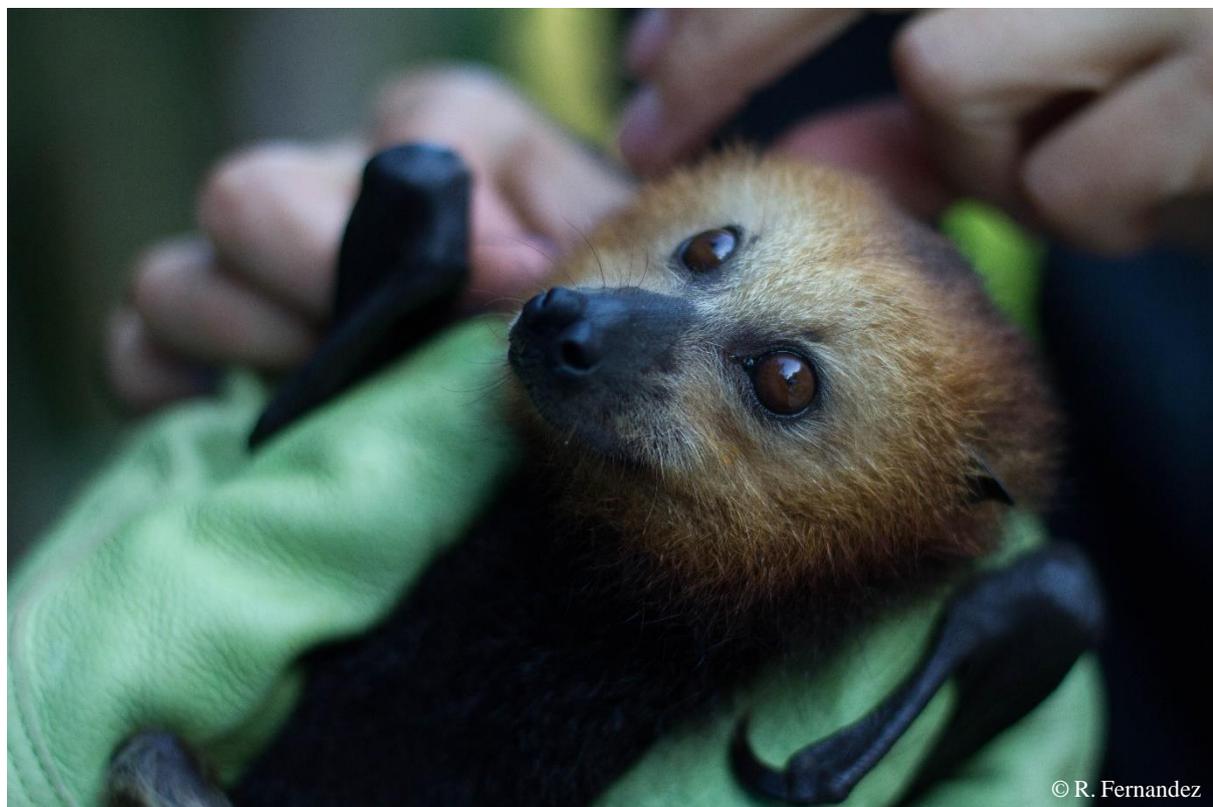


# La télédétection au service de l'amélioration des connaissances des essences d'arbres fréquentées par *Pteropus niger* et de sa conservation sur l'île de La Réunion



© R. Fernandez

Etudiant stagiaire : Romain FERNANDEZ<sup>1</sup>

Tuteurs scientifiques : Thomas CORNULIER<sup>2</sup> & Gildas MONNIER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>École Pratique des Hautes Études, Les Patios Saint-Jacques 4-14 rue Ferrus 75014 Paris

<sup>2</sup>Room 1.05 Cruickshank building, School of Biological Sciences, University of Aberdeen, St Machar Drive, Aberdeen AB24 3UU, UK

<sup>3</sup>Groupe Chiroptères Océan Indien, 180 Chemin de Ligne, La Saline, 97460, Ile de La Réunion



École Pratique  
des Hautes Études



## **Résumé :**

Les études menées par le Groupe Chiroptères Océan Indien sur *Pteropus niger* ont permis le déploiement de balises GPS et d'accumuler un nombre important de données de géolocalisation sur cette espèce dans le but d'améliorer la connaissance de son régime alimentaire. L'étude cherche à identifier par la télédétection les essences d'arbres utilisées par l'espèce dont certaines pour se nourrir. La première étape consiste à segmenter les différents houppiers par l'utilisation de données dérivées du LiDAR. Dans un second temps, les espèces de houppiers ont été discriminées à l'aide d'images multispectrales Pléiades dont découlent des prédicteurs spectraux et texturaux. Le faible nombre de données de terrain a rendu l'interprétation des résultats difficile. La discrimination des nombreuses espèces d'arbres a été délicate mais les prédicteurs utilisés semblent pouvoir discriminer certaines espèces d'arbres. Les pistes d'amélioration de la méthode sont abordées pour espérer pouvoir discriminer plus d'espèces d'arbres dans des études ultérieures.

**Mots clés : Géomatique – Segmentation – Classification – Roussette – Ile de La Réunion**

## **Abstract :**

Studies realized by the Groupe Chiroptères Océan Indien on *Pteropus niger* allowed to equip bats with GPS and to create a lot of moving data in order to improve the knowledge of its diet. The aim of this study is to identify, by remote sensing, the trees used by these species, some of them for food. The first step includes a segmentation of different tree crowns with the use of LiDAR data. For the second step, the tree crowns species are discriminated between all species through Pléiades multispectral images, with which ones spectral and textural predictors were calculated. Interpretation of these results is difficult because there is little field data. The discrimination between all tree species was difficult but predictors that were used seem to be able to discriminate some tree species. Areas for improvement of this method are discussed to hope to discriminate more tree species in futures studies.

**Keywords : Geomatic – Segmentation – Classification – Flying fox – Réunion island**

## **Introduction**

Les études menées à l'interface entre le domaine agricole et de la conservation ont souvent pour objectif de trouver des solutions à des problématiques agro-environnementales pouvant être, ou devenir, conflictuelles entre les deux secteurs. La Roussette noire (*Pteropus niger*) est une espèce de chiroptères présente sur l'île Maurice et l'île de La Réunion qui est à l'origine de l'une de ces problématiques suite à son régime frugivore ainsi qu'à la présence de cultures fruitières à forts enjeux économiques sur ces deux îles. La méconnaissance de l'écologie de cette espèce et de ses interactions avec les agrosystèmes peuvent mener à des situations de crise comme celle qu'a pu connaître l'île Maurice en 2018, avec un abattage massif de 20% de la population de *P. niger* (Tollington et al. 2019). Afin d'anticiper des situations similaires sur l'île de La Réunion, suite à au retour naturel de *P. niger* en 2015 (Probst and Sanchez 2015) et à l'apparition d'interrogation de la part du secteur agricole réunionnais, des études sont menées sur l'écologie de cette espèce pour apporter des réponses et des solutions à d'éventuelles problématiques émergentes. La présente étude pourrait permettre de mettre en évidence la fréquence et la saisonnalité des visites sur les différentes espèces d'arbres, dont ceux cultivés, afin de mettre en place des dispositifs de protection sur des espèces cibles à des périodes précises. Lors d'une première étude menée par le Groupe Chiroptères Océan Indien (Prohac et al. 2019), plusieurs individus de *P. niger* ont été équipés de balises GPS permettant de suivre leurs déplacements en recueillant de nombreux points de géolocalisation. L'identification des arbres ciblés par ces points GPS, au travers de prospections pédestres, s'est avérée très chronophage en raison de la difficulté d'accès sur le terrain, la large zone de fréquentation des individus équipés et du nombre important de points à visiter. La présente étude vise donc à tester une méthode alternative pour caractériser les essences d'arbres présentes à l'endroit de ces nombreux points GPS grâce à la télédétection, au travers de l'analyse d'images satellites à Très Haute Résolution (THR). Cette méthode, innovante sur l'île de La Réunion, pourrait permettre une description plus exhaustive des essences fréquentées par *P. niger* sur l'île et ainsi améliorer les connaissances sur l'écologie alimentaire de cette espèce pour sa conservation.

## **Matériel et méthode**

Cette étude a pour objectif d'améliorer les connaissances sur l'utilisation des espèces d'arbres par *P. niger* grâce à l'analyse des milliers de données GPS récoltées par le Groupe Chiroptères Océan Indien lors de la pose de 4 balises GPS MILSAR RadioTag-14. Ces balises enregistrent à une fréquence de 4 points/min plusieurs informations, dont la localisation géographique et la vitesse de déplacement de l'individu. L'étude cherche à identifier, par des prédicteurs spectraux et texturaux issus d'images satellites, les différentes espèces d'arbres géolocalisées par les

points dont la vitesse est nulle ( $V_0$ ), susceptibles d'indiquer les essences d'arbres fréquentées par *P. niger* pour s'alimenter. La méthodologie proposée se décompose en 3 grandes étapes. Premièrement, la segmentation permet d'isoler les houppiers des différents arbres de la zone d'étude fréquentée par les Roussettes noires équipées (appelées *Individual Tree Crown* (ITC)) pour qu'ils soient superposés aux points  $V_0$  enregistrés lorsque l'espèce d'arbre correspondant à chaque houppier sera identifiée. Deuxièmement, grâce aux images multispectrales à THR deux méthodes de classifications des signatures spectrales et texturales des houppiers ont été réalisées (classification supervisée mais également non-supervisée suite à l'imprécision de la première). Troisièmement, une phase de terrain a été réalisée pour créer un jeu de données de validation utilisé dans les classifications (Annexe 1).

### Segmentation

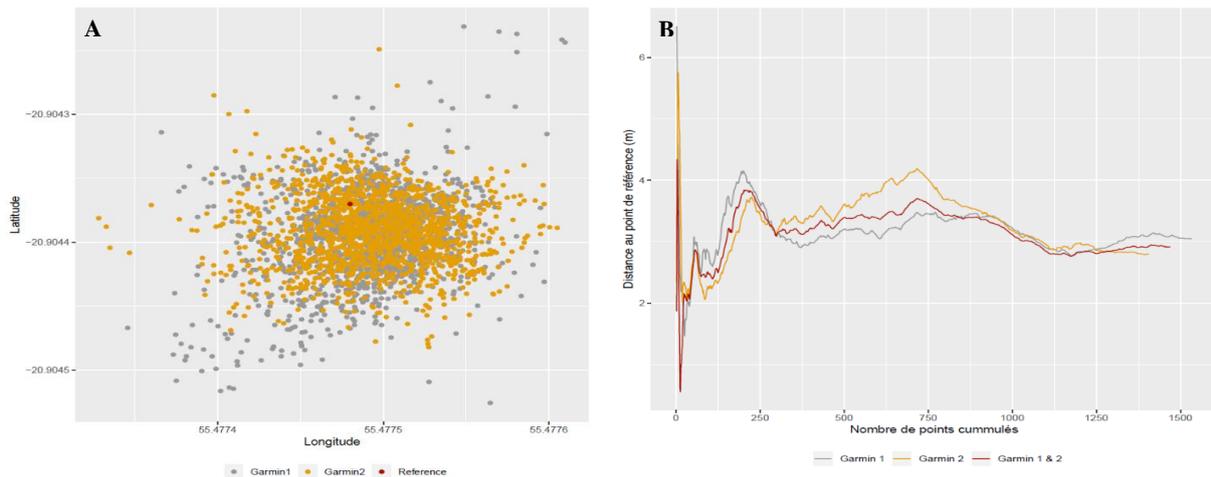
Cette segmentation d'image est réalisée grâce à la création d'un Modèle Numérique de Canopée (MNC) qui correspond à la soustraction des valeurs du Modèle Numérique de Surface (MNS) et du Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ces modèles numériques sont issus de données LiDAR (*Light Detection and Ranging*) acquises lors d'une campagne menée par l'IGN (Institut Géographique National) sur l'île de La Réunion en 2009. Le MNT est produit uniquement par les levées LiDAR de 2009, il est donc composé d'une résolution plus faible ( $0.5\text{pt}/\text{m}^2$ ) que le MNS qui a une résolution améliorée par corrélation avec des images aériennes à THR. Le MNC est ensuite filtré par un filtre de convolution Gaussien pour lisser les valeurs de pixels par rapport aux pixels voisins et ainsi éviter la sur-segmentation des houppiers (Barnes et al. 2017). La segmentation n'étant utile que sur les surfaces forestières, deux couches masques ont été appliquées pour éliminer les pixels du MNC n'appartenant pas au milieu forestier. Le premier masque vise à éliminer toutes les zones inférieures à 2 mètres d'altitude grâce à l'utilisation du MNT (le sol nu, les pelouses, les arbustes). Ce seuil a été fixé grâce aux connaissances acquises sur l'écologie de *P. niger* lors de la première année d'étude du projet, montrant une fréquentation faible (1.03% des arbres prospectés) pour les arbres inférieurs à 5 mètres de hauteur (Prohac et al. 2019). Le second masque vise à exclure les zones de plus de 2m d'altitude n'appartenant pas au couvert forestier, caractérisé par une valeur de 0.65 d'indice NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée), calculé à partir d'images multispectrales Pléiades (Gougeon and Leckie 2003). Des images en zone périurbaine soumises à différents seuils NDVI ont permis d'établir le seuil utilisé grâce à l'appréciation visuelle de la surface de toiture et de champs de canne éliminée sans tronquer les houppiers d'arbres. Par la suite, l'algorithme de segmentation *Marker-Controlled Watershed Segmentation* (du package R « *ForestTools* ») a été utilisé sur le MNC pour déterminer les ITC suite aux bons résultats pouvant être obtenus

d'après la littérature (Mei 2003, Zaki et al. 2015). Dans un premier temps les cimes des arbres ont été extraites pour servir ensuite dans la simulation d'un modèle de flux de remplissage des houppiers, considérés ici comme des « vallées », dont leurs profondeurs sont déterminées par la valeur de hauteur du MNC autour de la cime de l'arbre. Le taux d'erreur de cette segmentation est calculé avec l'indice utilisé par Zaki et al. (2015), en comparant les résultats de la segmentation automatique à ceux d'une délimitation manuelle réalisée sur 40 houppiers tirés aléatoirement sur l'ensemble de la zone segmentée. Cette délimitation manuelle a été faite grâce à QGIS 3.4.12 et à la bande proche infrarouge des images multispectrales Pléiades pour faciliter la visualisation des limites des houppiers.

### Données de validation (terrain)

Les classifications testées dans le but d'identifier les ITC à l'espèce, ont nécessité la création d'une base de données de validation avec des houppiers précisément géolocalisés dont l'espèce est vérifiée sur le terrain. Les analyses réalisées sous QGIS 3.4.12 permettant de sélectionner les zones de prospection pour créer ce jeu de données sont décrites en annexe 2. Il a été décidé d'utiliser les points  $V_0$  pour cibler les zones à échantillonner à l'échelle de l'île afin de constituer une base de données composée d'espèces d'arbres fréquentées par *P. niger* ou d'espèces spatialement voisines. Des identifications sur le terrain d'espèces d'arbres à l'endroit des points  $V_0$  ont été réalisées pour disposer d'une base de données de secours, d'espèces fréquentées par *P. niger*, si la méthodologie de télédétection mise en place n'était pas capable d'identifier l'ensemble des essences sous les points  $V_0$  avec une précision suffisante à la fin de l'étude. Afin d'obtenir des pointages GPS précis des houppiers identifiés sur le terrain et d'éviter les superpositions avec les houppiers voisins, deux GPS Garmin 64S ont été utilisés. Chaque houppier a été géolocalisé par 2 jeux de 20 points GPS (1pt/30s pendant 10 minutes d'acquisition). Un point médian était ensuite calculé pour géolocaliser le plus précisément possible le houppier relevé. Les analyses sur la précision des GPS réalisées en milieux fermés, comparant les traces de ces deux GPS fixes à leur point de référence (coordonnées réelles des GPS  $\pm 50$ cm, issues des images Pléiade à THR), ont permis de mettre en évidence l'existence d'un biais (Fig. 1A) et d'une erreur d'environ 3m (Fig. 1B), entraînant l'exclusion des houppiers de moins de 6m de diamètre sous peine d'être mal géolocalisés. Les arbres intégrés à la base de données de validation devaient remplir deux autres critères pour être géolocalisés : avoir une hauteur de plus de 2m pour ne pas être filtrés au préalable sur MNC et posséder un houppier facilement discernable sur les images satellites Pléiade à THR pour que l'erreur de segmentation associée au houppier soit la moins importante. Le nombre maximum d'arbres correspondant à ces trois critères ont été géolocalisés sur les 40 zones sélectionnées de

500×500m. Au final, seulement 20 zones situées dans les bas de l'île ont été prospecté suite aux résultats préliminaires des classifications qui ont mis en évidence qu'un nombre important de répliquats par espèce d'arbre était nécessaire pour obtenir des résultats optimisés. L'effort de prospection a donc été maintenu dans les bas de l'île où la richesse floristique est moins importante, afin d'obtenir plus de répliquats par espèce. Engager des prospections dans les hauts de l'île aurait permis de géolocaliser un nombre plus important d'espèce mais avec moins de répliquats en raison du temps de terrain limité disponible dans cette étude.



**Figure 1 :** Analyses de la précision GPS. **A** - Projection des coordonnées des points acquis par les GPS fixes et celui du point de référence. **B** - Variation de la distance des GPS au point de référence par l'ajout successif de plusieurs points médians calculés sur des intervalles de 10 minutes.

## Classification

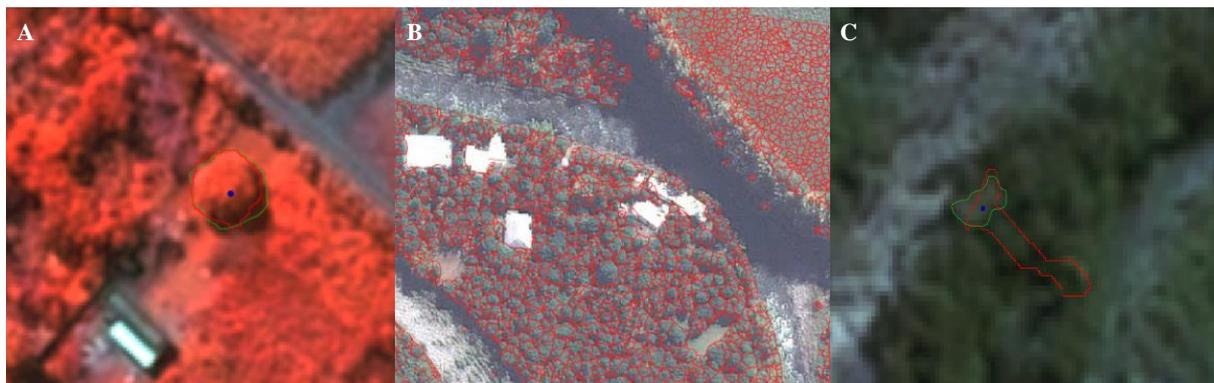
L'image Pléiade a été reçue sous format *bundle* et a été fusionnée sous le logiciel Envi avec l'algorithme *Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening*, donnant de bons résultats d'après la littérature (Sun et al. 2014). Ces images ont permis de calculer l'indice NDVI et les prédicteurs de texture grâce à la bande infrarouge (Haralick et al. 1973). La matrice de corrélation a ensuite permis d'exclure les prédicteurs peu informatifs, corrélés à plus de 80%. Dans un premier temps la création d'un modèle de classification supervisée orientée objet est réalisé avec comme objectif d'identifier l'ensemble des ITC fréquenté par *P. niger* (houppier sous les points  $V_0$ ). La valeur moyenne des prédicteurs pour chaque ITC de la base de données de validation est extraite, pour créer le modèle SVM (*Support Vector Machine*). Ce modèle crée une fonction qui maximise les distances des distributions de chaque classe à cette dernière, on parle de la création d'hyperplans. La base de données est divisée en deux : 80% pour entraîner le modèle et 20% pour calculer son taux d'erreur grâce à la matrice de confusion. Les nombreux paramétrages du modèle SVM sont optimisés automatiquement par la fonction « *tune()* » et par validation croisée. Le modèle SVM a été sélectionné car il est largement utilisé dans la littérature suite aux résultats optimaux obtenus avec un jeu de données pourvu de nombreuses

dimensions et peu de données d'entraînement (Pal and Mather 2005). La classification supervisée n'ayant pas donné de résultats concluants, une classification non supervisée orientée pixel a été réalisée pour tester si des espèces (ou groupes d'espèces) étaient distinguables au sein des ITC identifiées grâce au jeu de données de validation. Pour cela, les valeurs des pixels de tous les ITC identifiées sont extraites pour l'ensemble des prédicteurs. Ces données sont ensuite injectées dans le modèle de mélange estimé par Espérance-Maximisation (EM) pour réaliser la classification de ces pixels sous forme de clusters. Le modèle va représenter la distribution des pixels par des courbes Gaussiennes qui correspondent chacune à un cluster. A la première itération du modèle, les courbes ont des paramètres simulés aléatoirement qui sont par la suite optimisés grâce au suivi de la variation du log de la vraisemblance, qui va se stabiliser progressivement (Dempster et al. 1977). L'indice NMI (*Normalized Mutual Information*) a permis d'optimiser le nombre de clusters et d'évaluer la performance du modèle EM (D. Manning et al. 2008). Les étapes de cette méthode ont été codées en langage R (version 3.6.1) sur plusieurs scripts disponibles à l'adresse suivante : <https://github.com/Romainfer/Pteropus-niger-on-Reunion-Island>.

### **Résultats** : Segmentation des ITC sur la zone d'étude

La délimitation manuelle des houppiers tirés aléatoirement pour le calcul du taux d'erreur de segmentation s'est avérée parfois difficile dans les zones de forêts denses ou sur les espèces n'ayant pas de limite de houppier clairement identifiable (Ex : *Bambusoideae*). Cette dernière a donc été réalisée uniquement sur les arbres ayant un houppier visible ce qui oriente le calcul de l'erreur vers les zones où les arbres sont plus isolés suite à la fragmentation de l'habitat (Fig. 2A) ou vers des parcelles de fruitiers (Fig. 2B, Sud). Ces zones sont souvent situées dans les bas de l'île où la segmentation est meilleure que sur le couvert forestier complexe situé dans les reliefs des hauts de l'île. De nombreux champs de canne à sucre ayant une hauteur supérieure à 2m et un indice NDVI supérieur à 0.65 ont été segmentés, malgré les filtres appliqués pour les éliminer (Fig. 2B, Nord-Est). Sur l'ensemble de la zone, des phénomènes de sous-segmentation (Fig. 2C) ou de sur-segmentation sont visibles en fonction de la forme du houppier des espèces. Sur l'ensemble des polygones délimités manuellement l'indice de précision de segmentation est en moyenne de  $D = 0.205$  (Annexe 3). La précision de la segmentation est cependant hétérogène, certains houppiers sont parfaitement bien délimités comme le montrent des valeurs de  $D$  proche de 1 mais d'autres le sont beaucoup moins  $D_{\max} = 0,63$  (Annexe 3). Au vu de l'erreur de la segmentation et des résultats de la classification (ci-dessous), les ITC ont été remplacées par des zones tampons de 1m de rayon autour des pointages GPS de chaque houppier géolocalisé sur le terrain. Ceci permet de s'affranchir de

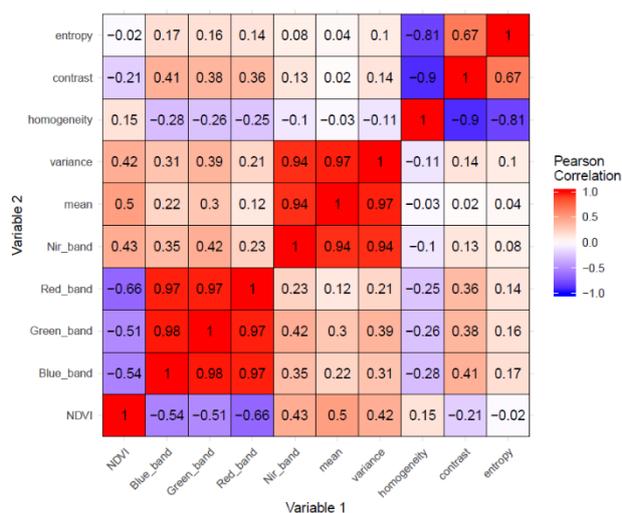
l'erreur de la segmentation dans l'étape de classification et d'éviter d'introduire du bruitage par les arbres voisins dans les signatures spectrales et texturales de chaque houppier (Annexe 1).



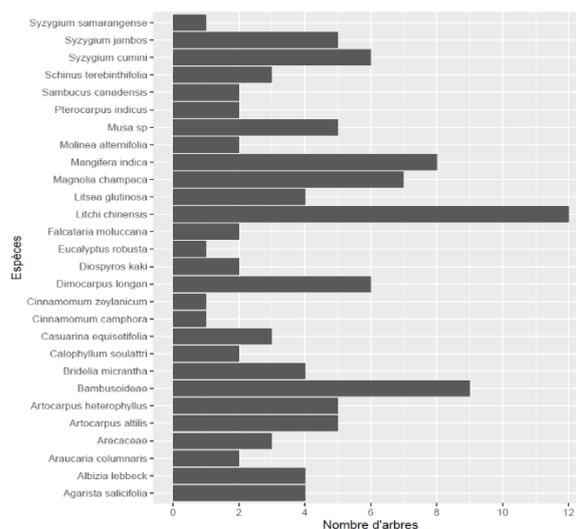
**Figure 2** : A- Arbre isolé délimité automatiquement (ligne rouge) et manuellement (ligne verte). B- Délimitation automatique des vergers d'Îlet Coco (St Benoit). C- Importante erreur de sous-segmentation d'un ITC en zone forestière complexe.

### Classification non supervisée

Afin de pouvoir réaliser la classification non supervisée et supervisée, les prédicteurs conservés ont été : l'indice NDVI, la bande bleue (images Pléiades) et les indices de texture de type moyenne, contraste et entropy (Fig. 3). Seuls les résultats de la classification non supervisée sont présentés dans cette partie car l'ensemble du jeu de données validation ne comporte pas suffisamment de répliquats par espèce de houppier pour obtenir des résultats robustes à l'issue de la classification supervisée (Fig. 4). Après plusieurs essais de paramétrage, le modèle SVM était structuré avec un nombre de points supports proche du nombre de points d'entraînement, permettant de conclure sur le manque de fiabilité de la classification avec ce jeu de données.



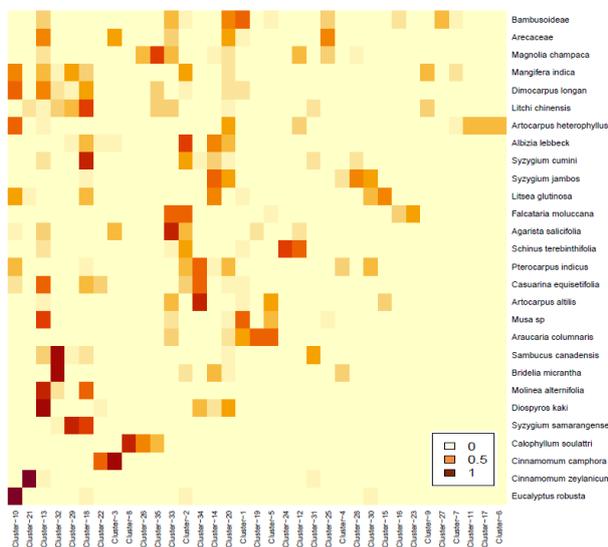
**Figure 3** : Matrice de corrélation des prédicteurs calculés



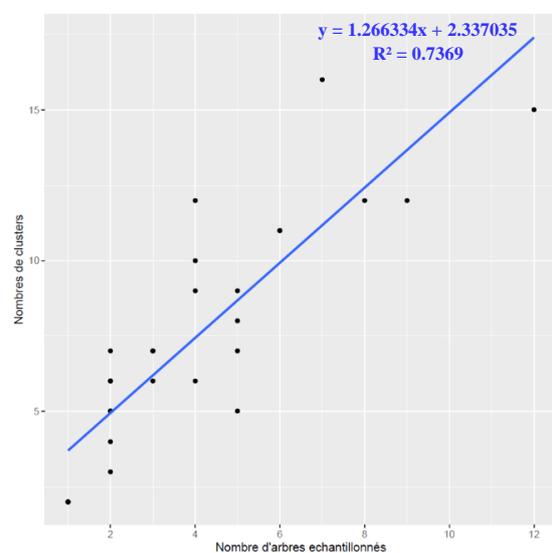
**Figure 4** : Nombre de houppiers géolocalisés par espèce

Le calcul de l'indice NMI, qui a permis de tester différentes classifications (5 à 60 clusters avec un pas de 5), montre une valeur optimale autour de 35 clusters avec un nombre réel de 28 espèces de houppiers présentes dans le jeu de données de validation. Comme le confirment

les résultats de la Fig. 5 (et annexe 4), une même espèce est souvent attribuée à différents clusters, d'où le nombre de clusters optimaux important. Au minimum, les espèces sont attribuées à deux clusters (*Cinnamomum camphora* et *Syzygium samarangense*). Cependant certains clusters sont composés exclusivement de pixels appartenant à une seule espèce (C6 et C17 : *Artocarpus heterophyllus*, C8 : *Calophyllum soulattri*, C23 : *Falcataria moluccana*, C24 : *Schinus terebinthifolia*, C27 : *Bridelia micrantha*). Pour chacune des espèces précédentes, l'ensemble des pixels des houppiers ne sont pas contenus dans un unique cluster, elles ne sont donc pas totalement discriminées. D'autres clusters sont dominés par une espèce (C3 et C22 : *C. camphora*, C10 : *Eucalyptus robusta*, C21 : *Cinnamomum zeylanicum*) mais d'autres pixels de ces mêmes espèces sont classés également dans d'autres clusters (Fig. 5 ou annexe 5).



**Figure 5 :** Matrice de probabilité d'appartenance de chaque espèce géolocalisées aux différents clusters.



**Figure 6 :** Nombre de houppiers échantillonnés en fonction du nombre de cluster d'attribution par chaque espèce.

Un effet « poivre et sel » (des pixels d'un même houppier attribués à des clusters différents) est également présent comme exposé sur la Fig. 6, où le nombre de clusters auquel est attribuée une espèce est souvent supérieur au nombre de houppiers échantillonnés chez la même espèce. De plus, la relation linéaire positive observable sur cette même figure montre que, dans le jeu de données classifiées, les espèces en plus grand nombre appartiennent à un plus large panel de clusters et sont donc moins bien discriminées. Les groupes d'espèces difficilement discriminables (ou non discriminables) sont également mis en évidence dans la Fig. 5 par leur probabilité d'appartenance à des clusters similaires (C13 : *Diospyros kaki*, *Molanea alternifolia*, C32 : *B. micrantha*, *Sambucus canadensis*, C34 : *Pterocarpus indicus*, *Casuarina equisetifolia*, *Artocarpus altilis*, *Musa sp.*). Le chevauchement de distribution entre espèces est largement présent, mais comme pour *S. samarangense* et *M. alternifolia* qui sont tous les deux très

probables dans le cluster 18, *S. samarangense* peut être discriminé grâce à un second cluster d'appartenance le n°29. Certains pixels de houppier, comme ceux de *A. heterophyllus* ou *Bambusoideae*, sont isolés dans un ou plusieurs clusters à faible probabilité d'appartenance pour l'espèce (respectivement C6-17-11 et C27).

### **Discussion : Segmentation**

L'erreur de segmentation se rapproche de la précision obtenue par Zaki et al. (2015) avec une méthode de segmentation similaire. Le modèle *Watershed* étant plus efficace sur des arbres isolés dont la forme des houppiers respecte l'hypothèse de « bassin » (Mei 2003). Le calcul de l'erreur uniquement sur les houppiers clairement identifiables sur images satellites ne permet pas d'évaluer la segmentation des houppiers plus complexes et difficilement délimitables dans les hauts de l'île. L'erreur de segmentation plus importante dans les hauts de l'île pourrait être amplifiée par la faible densité du nuage de point LiDAR (0.5pt/m<sup>2</sup>) et à la densité du couvert végétal empêchant les faisceaux d'atteindre le sol et diminuant ainsi la précision du MNT (Couturier 2020). Une approche alternative par l'utilisation du contraste des pixels, détaillée par Wagner et al. (2018), pourrait donner de meilleurs résultats sur la segmentation des houppiers complexes dans les hauts de l'île. Certaines zones difficiles à segmenter, notamment dans les hauts, devront certainement être exclues de la segmentation par des filtres spécifiques afin d'éviter une segmentation aberrante, comme par exemple les nombreux houppiers enliantés par *Hiptage benghalensis*. Afin d'éliminer efficacement les champs de cannes résiduels segmentés, un filtre basé sur un indice de texture pourrait être testé (Beguet et al. 2014).

### Classification non supervisée

Le nombre de clusters isolant des pixels appartenant entièrement ou en majorité à une espèce est un indicateur de l'efficacité des prédicteurs pour la discrimination des espèces. Cependant, un trop faible nombre d'espèces est discriminé de la sorte pour plusieurs raisons. L'une des principales limites de cette classification est le manque de réplicat par essence d'arbre dans le jeu de données de terrain, qui empêche d'extraire une signature spectrale et texturale claire de chaque espèce et donc de conclure précisément sur l'efficacité des prédicteurs. A ceci s'ajoute l'erreur de précision des points de validation auquel le tampon est appliqué, entraînant potentiellement l'extraction de pixels n'appartenant pas aux arbres ciblés. L'extraction des signatures des espèces d'arbre par l'application d'un tampon, au lieu d'utiliser les ITC, permet de limiter ces pixels extérieurs grâce au diamètre du tampon (1m) inférieur au diamètre des arbres géolocalisés (> 6m). Ces pixels périphériques au houppier n'ont pas la même signature spectrale et texturale mais sont cependant difficiles à différencier des pixels du vrai houppier

au sein des espèces (Fig. 5). Ceci est dû au faible nombre de pixels total par espèce de houppier ne produisant ainsi pas une signature précise et donc une forte probabilité d'appartenance de l'espèce à un cluster spécifique. Ce bruitage et ce manque de donnée sont des facteurs à l'origine d'une sur-classification des espèces de houppiers lorsque le nombre de réplicats augmente (Fig. 6). L'une des méthodes pour réduire l'erreur de précision des GPS et donc ce bruit dans la classification serait de procéder à une géolocalisation des points de validation avec un GPS centimétrique en y associant le diamètre du houppier cible, dans le but d'appliquer une zone tampon spécifique à chaque point. L'augmentation de cette précision est d'autant plus importante sur les houppiers à faible diamètre comme les *Araucaria columnaris* (houppier colonnaire de 15m de haut), pour éviter d'introduire dans la signature spectrale et texturale un grand nombre de pixels situés hors du houppier. La corrélation des bandes rouge, verte et bleue des images multispectrales Pléiades (Fig. 3) confirme la limite de l'utilisation d'indices spectraux sur ces images (Ndao et al. 2015). L'utilisation d'images payantes comme WorldView2, avec un nombre de bandes spectrales plus important, pourraient être l'une des perspectives pour améliorer la discrimination des espèces (Wagner et al. 2018). La THR spatiale des images Pléiades permet le calcul d'indices texturaux fins pour réaliser des classifications précises à l'échelle des structures forestières d'après Beguet et al. (2014). Ceci conforte l'idée selon laquelle des indices texturaux plus complexes que ceux utilisés pourraient permettre une meilleure classification des ITC. Une autre voie d'amélioration pourrait être d'utiliser de la phénologie des espèces d'arbres. Elle est peu connue à La Réunion, mais l'utilisation d'images satellites à plusieurs saisons associée aux calculs d'indices spectraux ou texturaux pourrait permettre de discriminer certaines espèces comme *Diospyros kaki* qui présente des feuilles vertes en été austral et oranges en hiver austral.

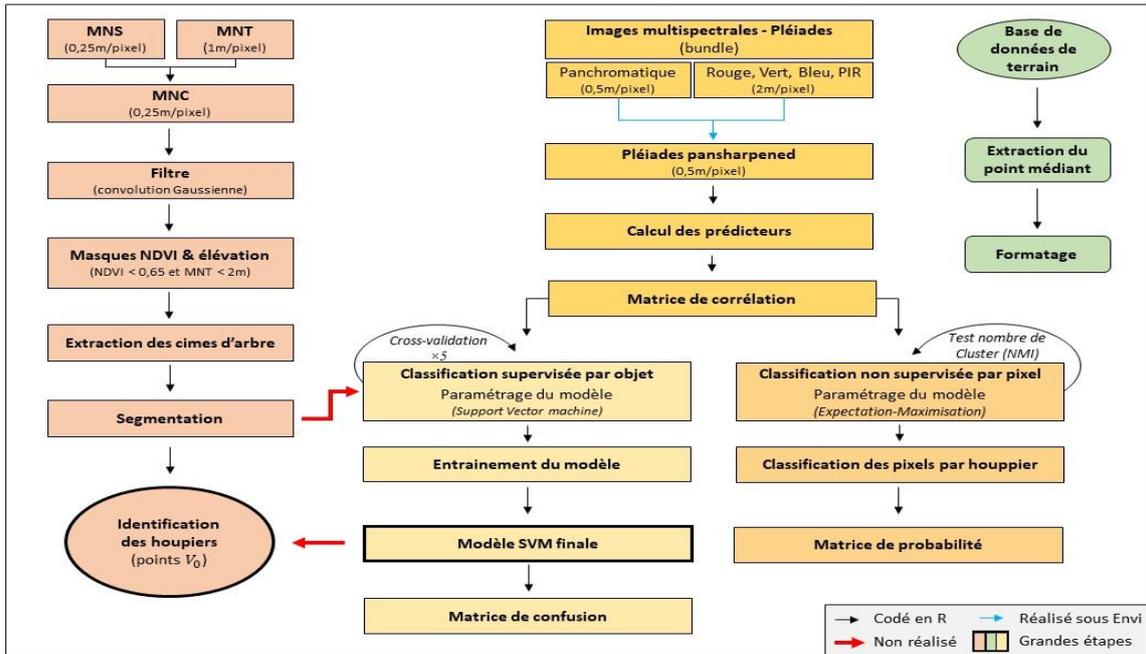
## **Conclusion**

Ce premier travail de recherche au sein du GCOI sur l'utilisation de la télédétection pour analyser des points d'arrêts de *P. niger* a permis de mettre en place un cadre méthodologique facilement modifiable grâce à l'utilisation du langage R et améliorabile en fonction des importantes limites et perspectives mises en exergue. Certaines pistes sont à privilégier comme : la segmentation en utilisant le contraste des pixels, l'amélioration de la précision de géolocalisation des arbres ou encore l'utilisation d'images spectrales supérieures à 4 bandes. Ce défi technologique pour segmenter et classer des houppiers sur l'île de La Réunion semble s'inscrire dans un cadre plus large en intéressant d'autres acteurs réunionnais de la conservation, suite aux réponses qu'il peut apporter à certaines problématiques écologiques locales.

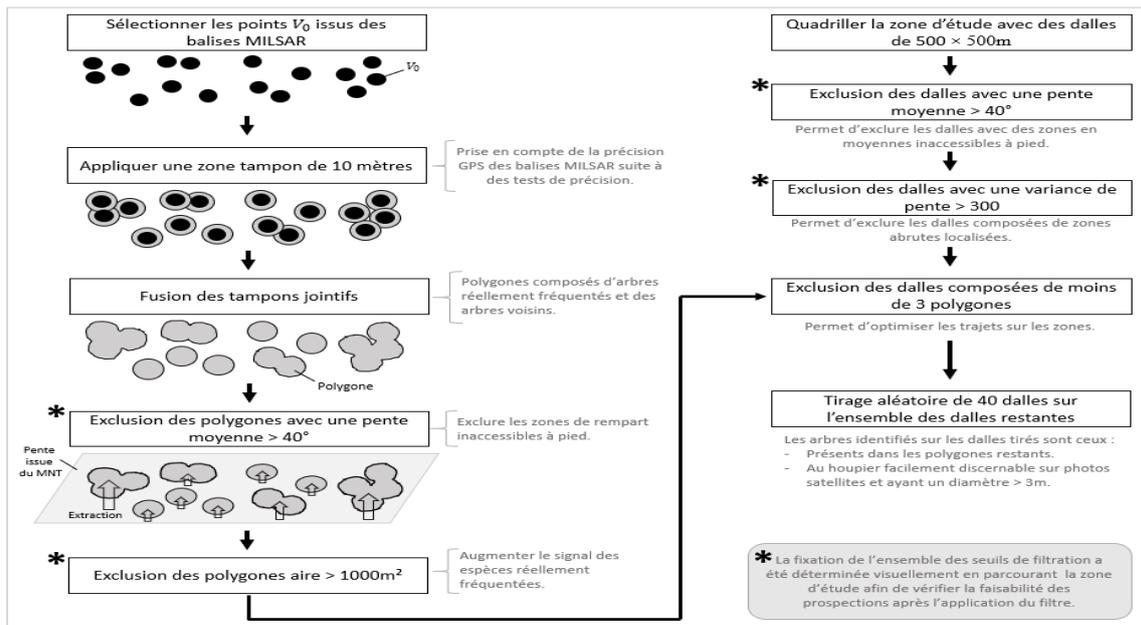
## Bibliographie

- Barnes, C., H. Balzter, K. Barrett, J. Eddy, S. Milner, and J. C. Suárez. 2017. Individual Tree Crown Delineation from Airborne Laser Scanning for Diseased Larch Forest Stands. *Remote Sensing* 9:231.
- Beguet, B., N. Chehata, S. Boukir, and D. Guyon. 2014. Classification of forest structure using very high resolution Pleiades image texture. 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium:2324–2327.
- Couturier, Y. 2020. Discussion mail sur l'acquisition de données LiDAR sur l'île de La Réunion.
- D. Manning, C., P. Raghavan, and H. Schütze. 2008. *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge University Press. Angleterre.
- Dempster, A. P., N. M. Laird, and D. B. Rubin. 1977. Maximum Likelihood from Incomplete Data Via the EM Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 39:1–22.
- Gougeon, F. A., and D. G. Leckie. 2003. Extraction d'information forestière à partir d'images à haute résolution spatiale en utilisant une méthode de reconnaissance individuelle des cimes d'arbres. Page 34. Rapport technique, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Victoria.
- Haralick, R. M., K. Shanmugam, and I. Dinstein. 1973. Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC-3*:610–621.
- Mei, C. 2003. Délimitation de Houppiers à partir d'Images à Haute Résolution et de Modèles Numériques de Surface. Page 73. Mémoire, Cemagref UMR3S, Montpellier.
- Ndao, B., I. Thiaw, M. D. Diop, and V. Soti. 2015. Apport des images Pléiades pour la caractérisation d'un parc agroforestier dans la zone de Bambey (Diourbel/Sénégal).
- Pal, M., and P. M. Mather. 2005. Support vector machines for classification in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 26:1007–1011.
- Probst, J.-M., and M. Sanchez. 2015. Découverte d'une nouvelle colonie de Roussette des Mascareignes *Pteropus niger* (Kerr, 1792) dans l'Est de La Réunion. *Bulletin Phaethon* 41:1–4.
- Prolhac, E., S. Fouraste, and G. MONNIER. 2019. Ecologie alimentaire de la Roussette noire, interactions avec les cultures fruitières et implications pour la conservation de l'espèce sur l'île de La Réunion. Page 81. Rapport technique, Groupe Chiroptère Océan Indien, La Réunion.
- Sun, W., B. Chen, and D. Messinger. 2014. Nearest-neighbor diffusion-based pan-sharpening algorithm for spectral images. *Optical Engineering* 53:013107.
- Tollington, S., Z. Kareemun, A. Augustin, K. Lallchand, V. Tatayah, and A. Zimmermann. 2019. Quantifying the damage caused by fruit bats to backyard lychee trees in Mauritius and evaluating the benefits of protective netting. *PLOS ONE* 14:e0220955.
- Wagner, F. H., M. P. Ferreira, A. Sanchez, M. C. M. Hirye, M. Zortea, E. Gloor, O. L. Phillips, C. R. de Souza Filho, Y. E. Shimabukuro, and L. E. O. C. Aragão. 2018. Individual tree crown delineation in a highly diverse tropical forest using very high resolution satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 145:362–377.
- Zaki, N. A. M., Z. A. Latif, M. Z. Zainal, and K. Zainuddin. 2015. Individual tree crown (ITC) delineation using watershed transformation algorithm for tropical lowland dipterocarp. Pages 237–242 2015 International Conference on Space Science and Communication (IconSpace).

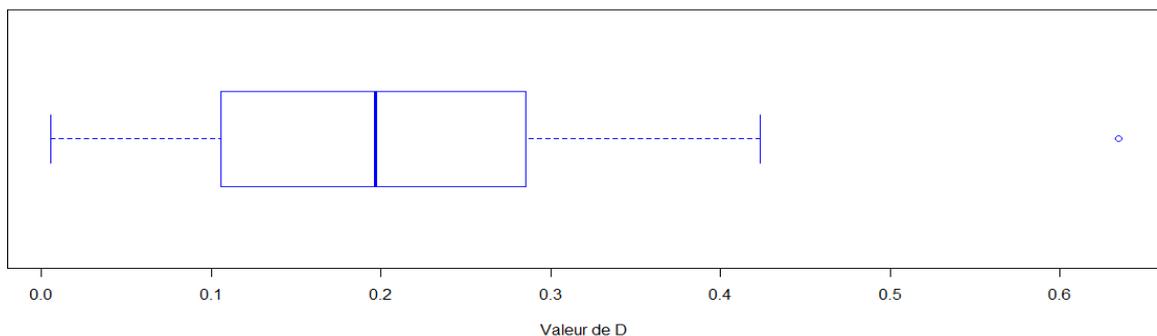
## Annexes



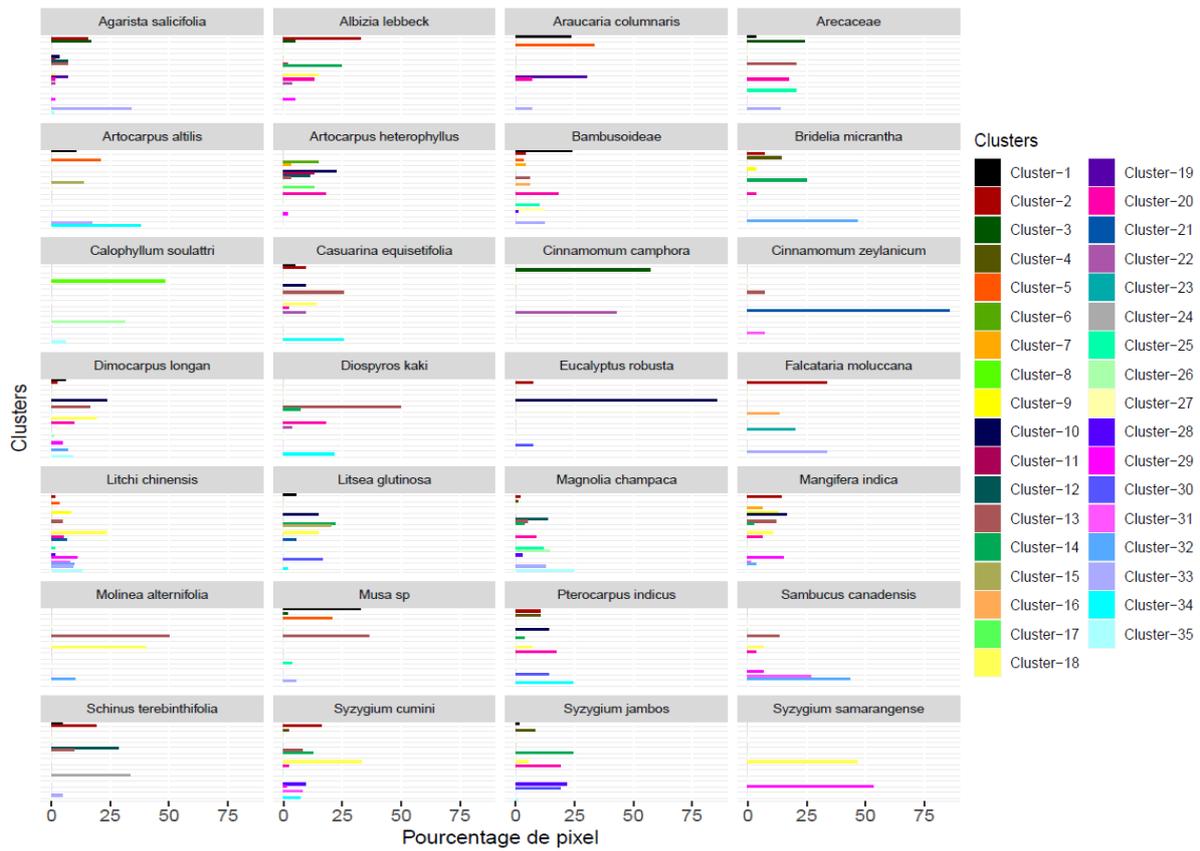
Annexe 1 : Synthèse schématique de la méthodologie utilisée pour l'identification des arbres sous les points  $V_0$  enregistrés par les balises MILSAR RadioTag-14.



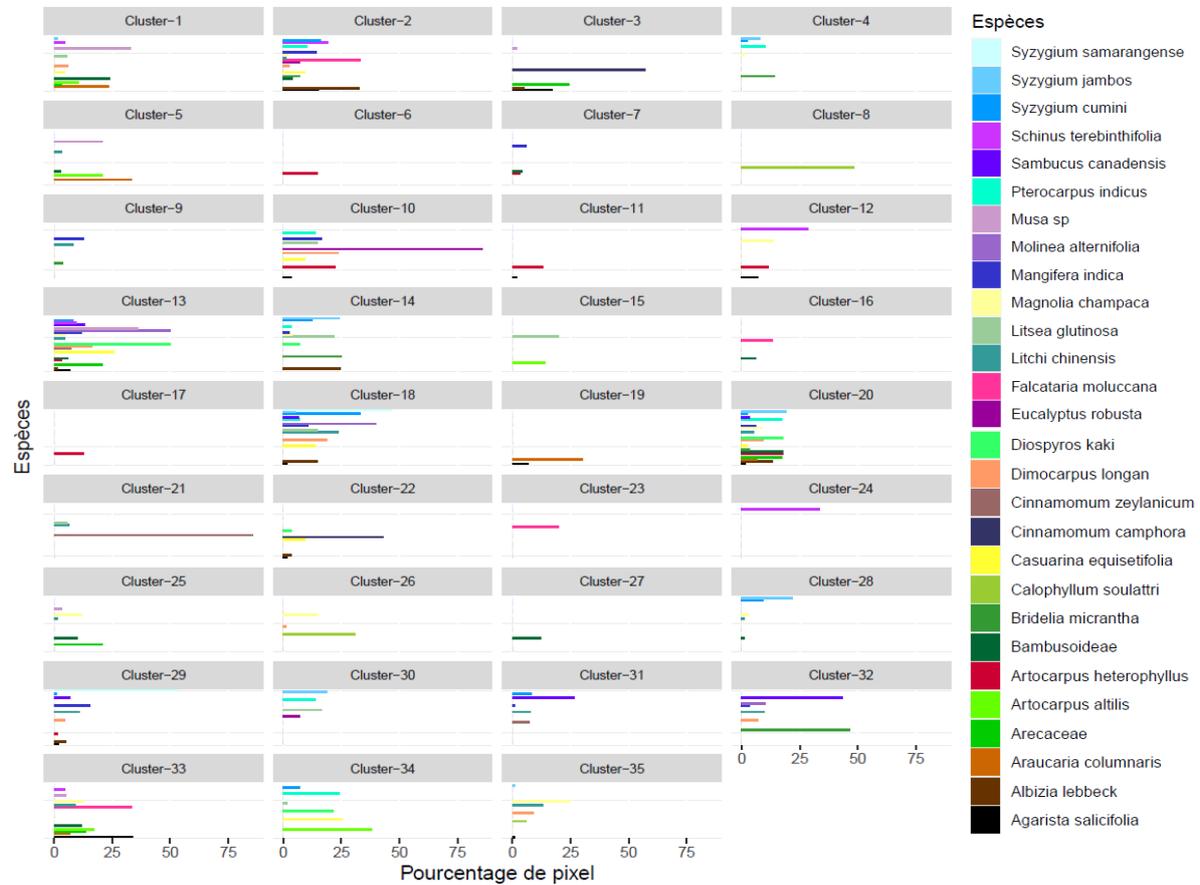
Annexe 2: Synthèse schématique du protocole réalisé sous SIG pour cibler les zones à prospector



Annexe 3 : Résultat du calcul de l'indice de précision de la segmentation ( $D$ ) selon la méthode de Zaki et al. (2015).



*Annexe 4* : Distribution de la proportion de pixel (pixel du cluster n° x / pixel total des polygones de l'espèce) de chaque cluster par espèce.



*Annexe 5* : Distribution de la proportion de pixel (pixel du cluster n° x / pixel total des polygones de l'espèce) de chaque espèce par cluster.