

Études antérieures sur la télédétection et l'analyse spatiale des plantations de litchi

1.3.1 Identification de plantations de litchi par télédétection

En 2015, KOARA a commencé à caractériser les plantations de litchi de la côte Est malgache, dans le district de Tamatave. L'objectif principal de son étude était d'établir les critères d'identification par photo-interprétation d'image à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) des litchis et de leurs plantations et d'automatiser cette identification par des techniques de télédétection. Il a caractérisé les différents types d'organisation spatiales observées en les classant suivant trois types de système de culture : la monoculture, le parc arboré, et l'agroforêt.

Son travail a abouti aux critères suivants pour la photo-identification des litchis :

- ✓ Une forme circulaire ponctuelle de diamètre variable selon la taille de la plante, forme prenant l'allure d'une boule surtout quand la plante est jeune (correspondant à la couronne de l'arbre) ;
- ✓ Une couleur vert-sombre pour les litchis adultes, et vert-tendre pour les litchis jeunes. La teinte est relativement élevée par rapport à la végétation environnante ;
- ✓ Une ombre projetée est de petite taille. Elle est quasi inexistante chez les jeunes plantes.

Tandis que pour la classification, il a retenu comme critères, le mode d'association et la texture.

La monoculture (MO ou MN)

La monoculture est une plantation composée uniquement de litchis. Les espaces interstitiels peuvent être utilisés comme pâturage. Les critères définis pour ce type de système sont :

- ✓ Une forme géométrique de la parcelle ;
- ✓ Une teinte verte plus élevée que la végétation environnante ;
- ✓ Une texture grenue homogène avec des éléments fins (difficile à observer) pour les jeunes plantations. Elle est grenue hétérogène et grossière pour les vieilles plantations ;
- ✓ Une structure ponctuée, répartition majoritairement ordonnée mais parfois désordonnée (distance régulière ou irrégulière entre les éléments).

Le parc arboré (PA)

Dans ce type de plantation, le litchi est associé à d'autres cultures. En général, les pieds de litchi sont les plus nombreux. Les critères définis pour ce type de système sont :

- ✓ Une forme partiellement géométrique de la parcelle ;
- ✓ Une teinte relativement plus sombre que celle des monocultures ;
- ✓ Une texture grenue hétérogène, moyenne à grossière de densité variable selon les parcelles ;
- ✓ Une structure généralement ponctuée, organisation diffuse à tendance ordonnée, répartition moins uniforme que dans les monocultures. Couverture végétale moyennement compacte.

L'agroforêt (AF)

Les agroforêts sont en général localisées à proximité des villages. Dans ce cas, les litchis font partie d'un système d'association de différentes cultures avec d'autres arbres et plantes tels que le jacquier, le cocotier, le ramboutan, le bananier, le café avec souvent en sous-bois de la vanille. Les critères définis pour ce type de système sont :

- ✓ Une forme géométrique irrégulière ;
 - ✓ Une teinte moins élevée que les deux autres types ;
 - ✓ Une texture grenue hétérogène et répartition pseudo-aléatoire, éléments fins à grossiers ;
 - ✓ Une structure ponctuée et désordonnée, répartition non-uniforme et densité très variable ;
 - ✓ Une couverture végétale compacte constituant une contrainte forte à la distinction des litchis.
- En particulier, la présence de grands arbres constitue une limite à la distinction des couronnes de jeunes litchis. Les couronnes de ces arbres forment une entité visuelle homogène avec celle des litchis adultes.

Sur la base de ces critères d'identification et de classification, KOARA a pu détecter 268 parcelles de litchi sur la zone de Tamatave dont 61 sont des monocultures, 84 sont des parcs arborés et 123 sont des agroforêts.

1.3.2 Travaux sur la distribution spatiale des plantations de litchi de la côte Est malgache

En 2016, RAMAMONJY a étudié l'organisation spatiale des plantations de litchi de la côte Est malgache, son travail consistait à appliquer la photo-interprétation à l'échelle régionale pour pouvoir comprendre l'organisation spatiale des plantations de litchi en faisant une analyse spatiale à partir de ses propres résultats. RAMAMONJY a pu effectuer la photo-interprétation partiellement par rapport à l'ensemble de la zone d'étude. Diverses contraintes dans la réalisation de l'étude ont fait que l'analyse spatiale se portait seulement sur les données de KOARA en 2015, les données d'inventaire de GLOBALGAP, les parcelles prospectées par le CHTT, et quelques parcelles qu'il a pu détecter par photo-interprétation.

1.3.3 Reprise de la photo-interprétation

En 2017, HERIMANDIMBY a repris le travail sur la photo-interprétation des litchis sur la zone d'étude (côte Est malgache). Pour la détection du litchi, il a apporté des améliorations afin de rendre le plus précis possible les critères d'identifications proposées par les études précédentes.

Pour la photo-identification, les critères suivants ont été ajoutés :

Échelle d'observation : 1 : 2090 à 1 : 2364, qui s'obtient à une altitude d'observation entre 498 m à 561 m. Ce critère dépend de la taille et de la résolution de l'écran utilisé ;

Diamètre de la cible (litchi) : variable suivant l'âge, pouvant aller jusqu'à 20 m pour les plantes adultes ;

Couleur : vert tendre qui s'assombrit avec la taille de l'arbre, avec une présence de gradient entre la partie exposée aux rayons du soleil et la partie sous l'ombre, indiquant ainsi une silhouette ronde. La teinte peut varier en fonction de chaque arbre, des images (qualité et heure de prise de vue) et de la saison de prise de vue ;

Teinte : moins élevée que celle des girofliers ;

Texture : grenue homogène à éléments fins à l'intérieur de la couronne, mais relativement lisse par rapport aux autres espèces. Elle devient de plus en plus grossière avec l'âge de l'arbre.

1.4 Généralité

1.4.1 La photo-interprétation

1.4.1.1 Photographies aériennes

Les photographies aériennes et spatiales sont des documents issus de prises de vues à partir de satellite, d'un avion ou de tout autre appareil volant et sur lesquels on peut identifier des objets, des formes ainsi que leur arrangement spatial, leurs relations (BAKIS et BONIN ,2000 ; CHEVALLIER ,1965 ; GAGNON, 1974).

L'analyse d'une photo s'effectue en fonction du but de la recherche en extrayant un maximum d'informations sur un objet. Il s'agit également de recouper les informations et d'en tirer des conclusions. La vérification terrain fait partie du processus (DEBAINE *et al.*, 2013 ; GARRY et CAMOU, 1984). La photo-interprétation doit se référer à des recherches documentaires et aux connaissances de l'expert afin de dégager le résultat final (BAKIS et BONIN, 2000 ; BIORET *et al.*, 2005 ; CHEVALLIER, 1965 ; GAGNON, 1974).

Elle associe 2 phases : la photo-identification et la photo-analyse (BAKIS et BONIN, 2000)

a. La photo-identification

C'est l'observation de l'ensemble de l'image, identification des détails, étude des formes, délimiter les ensembles homogènes (BAKIS et BONIN, 2000)

Pour analyser correctement les formes et les dimensions, le photo-interprète recense également la texture des objets, la couleur, l'organisation spatiale.

La texture : aspect superficiel de la petite zone que l'on peut individualiser sur une photo dans laquelle un changement de caractère n'est pas décelable (caractère=ton-taille-forme). C'est donc un groupe de pixels connexes dessinant un motif (une forme).

La structure : organisation des éléments texturaux, les uns par rapport aux autres, c'est-à-dire les relations spatiales qui existent entre eux dans une image.

b. La photo-analyse

La reconnaissance de la forme d'un objet ne suffit pas, dans certains cas, à identifier réellement ce qu'il représente. Il est donc nécessaire d'analyser l'environnement de l'objet pour aider à le déterminer (BAKIS et BONIN, 2000).

C'est la mise en place des hypothèses recréant des relations entre certaines composantes de l'image. L'objet n'est pas visible directement, mais déduit.

C'est l'acte d'examiner les photographies dans le but d'identifier des objets et juger leur signification.

1.4.2 L'analyse spatiale

1.4.2.1 Définition

a. Notion d'analyse

L'analyse est un processus cognitif et itératif qui utilise différents opérateurs pour mieux connaître un objet ou un phénomène tout en le situant dans un plus grand ensemble afin d'améliorer notre modèle cognitif de la réalité (BETARD et CHAMPOUX, 1992).

b. Analyse spatiale

Pour définir l'analyse spatiale, il faut ajouter les notions de position, d'orientation, de taille et de forme. L'analyse spatiale est donc l'analyse, dans l'espace, des phénomènes ou des objets dont on connaît la localisation et l'étendue dans cet espace. Cette analyse peut être effectuée sur un seul phénomène ou sur un groupe de deux ou plusieurs phénomènes. Elle permet de mieux connaître les caractéristiques spatiales des phénomènes (y compris les objets) sur le territoire ainsi que interrelations dans l'espace (BETARD et CHAMPOUX, 1992).

L'analyse spatiale est un processus cognitif et itératif qui utilise différents opérateurs, dont un spatial au moins, pour déduire les caractéristiques descriptives ou spatiales d'un objet ou d'un phénomène isolé ou groupé, réel ou simulé dans l'espace (BETARD et CHAMPOUX, 1992).

1.4.2.2 Autres définitions

Rechercher, dans les caractères d'unités spatiales, ce qui relève de leur position géographique, en particulier relative, ce qui oblige à modéliser la structure spatiale (BIORET *et al.*, 2005 ; CHEVALLIER, 1965).

C'est l'ensemble de méthodes mathématiques et statistiques visant à préciser la nature, la quantité, la qualité attachée aux lieux et aux relations qu'ils entretiennent, l'ensemble constituant l'espace en étudiant simultanément attributs et localisations (CHEVALLIER, 1965).

a. Les opérateurs

Une étude des opérateurs utilisés en analyse spatiale a permis d'en identifier deux types :

Non spatiaux : opérateurs qui effectuent des opérations arithmétiques ou logiques.

Spatiaux : opérateurs qui effectuent des opérations se rapportant à l'aspect métrique des phénomènes ou à leur aspect topologique, c'est-à-dire les relations spatiales qui existent entre les phénomènes.

- Les opérateurs non spatiaux

Les opérateurs non spatiaux sont subdivisés en deux catégories : les opérateurs logiques et les opérateurs arithmétiques.

Les opérateurs logiques sont appliqués aux valeurs qualitatives (échelles de mesure nominale et ordinale) et booléennes, alors que opérateurs arithmétiques sont appliquées aux valeurs quantitatives (échelle de mesure intervalle et ratio). Les opérateurs logiques incluent « plus grand », « égal », « plus petit », etc. Les opérateurs arithmétiques incluent l'addition, la soustraction, la multiplication et d'autres opérateurs plus complexes (Σ , écart type, moyenne, log, etc.) (BETARD et CHAMPOUX, 1992).

- Les opérateurs spatiaux

La documentation scientifique et publicitaire fournit très peu de définitions des opérateurs spatiaux utilisées dans l'analyse spatiale (BETARD et CHAMPOUX, 1992).

Les opérateurs spatiaux se subdivisent aussi en deux catégories : les opérateurs métriques et les opérateurs topologiques.

Les opérateurs métriques de base sont les suivants :

L'opérateur position : utilisé pour déterminer la position des entités géométriques

L'opérateur orientation : utilisé pour déterminer l'orientation des entités géométriques

L'opérateur longueur : utilisé pour déterminer la ou les dimensions des entités géométriques

L'opérateur superficie et volume : utilisé pour déterminer la surface et le volume des entités géométriques.

La dernière catégorie d'opérateurs spatiaux comprend des opérateurs spatiaux topologiques. Ceux-ci sont utilisés pour décrire et distinguer les relations spatiales existant entre les entités géométriques.

Conclusion partielle 1

Dans cette première partie, une description de la filière litchi a été développée qui a prouvé que le litchi tient une place importante dans la vie des agriculteurs de la côte Est de Madagascar, c'est un produit destiné à l'export et de plus, la demande des exportateurs n'a cessé d'augmenter pendant les dix dernières années. A priori, la production annuelle est estimée à 100 000 tonnes dont 90 % est produit par la côte Est malgache d'où l'intérêt de l'étude dans cette zone qui s'étend de Soanierana Ivongo jusqu'au sud-ouest de Brickaville. En effet, l'objectif principal de cette présente étude est de connaître la répartition spatiale des plantations de litchi dans la zone de Tamatave, un sujet qui a été déjà amorcé par des études antérieures. Les principales méthodologies utilisées sont présentées dans la partie suivante.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 La zone d'étude

2.1.1 Situation géographique

La zone d'étude se trouve dans la partie Est de Madagascar, entre les longitudes 49° 00' et 49° 45' Est et entre les latitudes 16° 30' et 19° 12' Sud. Elle est composée de deux régions, la région d'Analanjirifo et la région d'Atsinanana. La région d'Analanjirifo est constituée par les trois districts suivants : Vavatenina, Soanierana Ivongo, Fenoarivo Atsinanana et la région d'Atsinanana, elle est composée de deux districts : Tamatave II et Brickaville.

Sa superficie est de 21 384,7 km² avec une longueur de 315 km qui s'étend de Soanierana Ivongo jusqu'au Sud-Ouest de Brickaville (Ranomafana Est) et une largeur d'environ 71 km. Dans le cadre de cette étude, la zone d'étude a été divisée en 3 zones, ce choix est dû au fait que lors de l'exploration de la zone d'étude au cours de la photo-interprétation, des différences ont été observées sur les images en ce qui concerne les caractéristiques des plantations de litchi. De ce fait, le district de Tamatave II a été divisée en deux : Tamatave II sud et Tamatave II nord (cf. figure 8). Tamatave II sud est délimitée au nord par les communes d'Ambalahasina, Ambodiampalibe, Namahoaka, Mahatsara, et délimitée au sud par les communes de Tsarahonenana, Ambodirafia, Ambodiriana. Pour Tamatave II sud, elle est délimitée au nord par les communes d'Ambodiara, Sahambala, Ambotiatafana, et délimitée au sud par les communes d'Ambodibonara, Ambodikininina, Ankarefo.

La première zone de production est le **bassin nord**, c'est l'ensemble des districts de Vavatenina, Soanierana Ivongo, Fenoarivo Antsinanana, plus la partie nord de Tamatave II.

La deuxième zone est le **bassin centre**, c'est la partie sud de Tamatave II

La troisième zone est le **bassin sud**, c'est le district de Brickaville

2.1.2 Caractéristiques géographiques

La côte Est de Madagascar est dominée par des forêts dense et humide. Elle est réputée pour les cultures de rente comme la vanille et le girofle. Les conditions nécessaires et favorables pour la culture du litchi sont réunies dans cette zone de Tamatave (MAHAMARO, 2010). Elle a une altitude comprise entre 0 et 1500 m. De plus, la côte Est de Madagascar possède des grands cours d'eau qui sont très denses et qui peuvent alimenter les différentes cultures (ANDRIANTSOA, 2015). Cette région a un climat chaud et humide. Selon les données de la météo Madagascar en 2014, elle reçoit un maximum de pluie de 3,70 m avec 260 jours, respectivement de 1,20 m et 1,70 m avec 130 jours et 160 jours de pluies par an. Les pluies sont spécialement abondantes de janvier à avril. La température moyenne annuelle décroît assez régulièrement de 26°C à 23°C. Cette région est aussi réputée par son exposition aux cyclones destructeurs provenant de l'Océan Indien (ANDRIANTSOA, 2015).

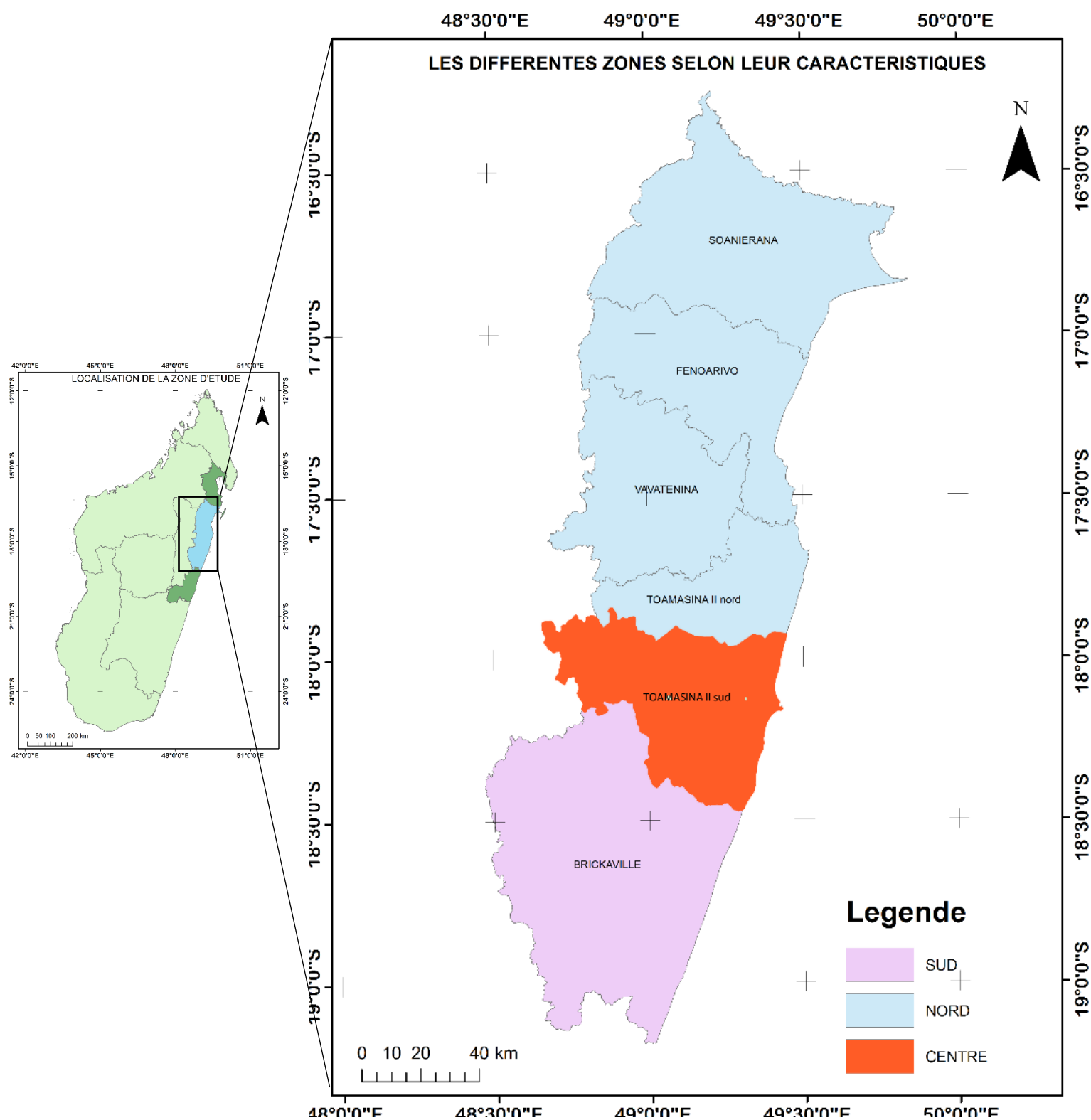


Figure 8: Présentation de la zone d'étude

2.2 Classification des parcelles détectées par photo-interprétation

2.2.1 Matériels

2.2.1.1 Base de données de la photo-interprétation de litchi en 2017

L'étude s'est basée sur les données élaborées par HERIMANDIMBY en 2017 qui sont au format kml. Cette base de données comprend 29 801 entrées. Ces entrées sont des polygones correspondant à la délimitation par photo-interprétation de l'espace occupée par un litchi individuel ou un groupement de litchis contigus.

2.2.1.2 Google Earth pro

C'est un logiciel géospatial sous forme de globe virtuel qui permet la visualisation des images satellitaires de qualité THRS (Très Haute Résolution Spatiale) accessible au large public. Plusieurs outils sont disponibles dans le logiciel pour faciliter la manipulation et l'édition de données à caractère spatial.

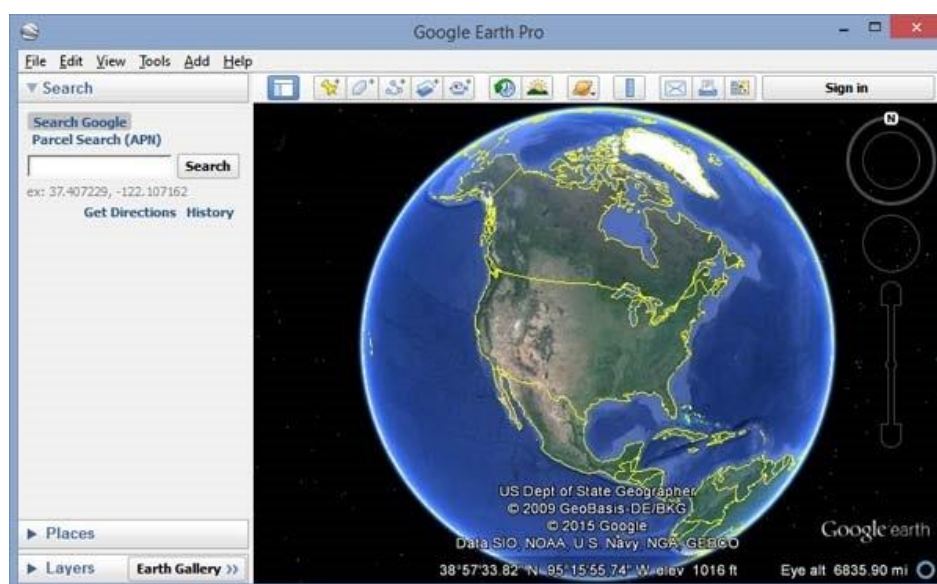


Figure 9: Interface de Google Earth pro Capture : Auteur

2.2.2 Méthode

2.2.2.1 La photo-interprétation

En principe, cette étape consiste à identifier la classe (monoculture, parc arboré, agroforêt) de chaque parcelle détectée par photo-interprétation par les études antérieures.

Elle se fait par l'exploration des images Google Earth à l'échelle d'observation à laquelle les clés d'identification restent valables. Lorsque les clés sont satisfaites (en totalité ou en majorité), les polygones sont nommés en fonction des critères observés sur les images. Les résultats correspondants à cette manipulation sont stockés sous format kml et exportable dans ArcGIS pour la manipulation lors de l'analyse spatiale.

Pour la classification par photo-interprétation, les critères définis par les études précédentes ont été améliorés après la première exploration des images Google Earth dans le cadre de cette étude.

Les critères retenus pour la classification des cas les plus évidents sont :

a. **La monoculture (MO ou MN)**

Généralement, une monoculture (MO) est caractérisée par :

- Une culture d'une seule espèce végétale dans une exploitation agricole.
- Une culture unique ou largement dominante d'une espèce végétale dans une région (LAROUSSE).

➤ **Jeune monoculture**

La monoculture est le système de plantation de litchi le plus facile à identifier lorsqu'il est d'âge moyen

Les clés spécifiquement pour ces dernières sont :

- Un groupement d'arbre de diamètre de couronne moyen (entre 5 à 15m) dont principalement des litchis ;
- Une structure ordonnée généralement régulière par rapport à l'alignement et aux distances entre les arbres des litchis à l'intérieur de la plantation ;
- Une forme géométrique apparente d'une partie ou de la totalité de la parcelle.



Figure 10: Jeunes monocultures Source : Google Earth

➤ **Vieille monoculture**

Pour les litchis adultes au sein d'une monoculture, les clés spécifiques pour ces derniers sont :

- Un groupement d'arbres avec une limite de couronne difficilement identifiable ;
- Une densité importante de la parcelle semblable à celle des agroforêts où aucun interstice n'est observable entre les pieds ;
- Une texture grenue homogène (témoin d'une unique espèce) à une certaine échelle (498m à 561m d'altitude d'observation) ;
- Une teinte plus sombre que celle des jeunes monocultures.



Figure 11: Vieilles monocultures Source : Google Earth

b. Le parc arboré (PA)

C'est une parcelle de litchi associé à d'autres cultures, dans laquelle les arbres sont répartis par bouquets (2 à 4 pieds groupés ou alignés) sur herbacés pour laquelle le seuil d'espacement minimum entre les arbres est de 15 m.

Les clés d'identification suivantes peuvent être définies pour le parc arboré :

- Un type de plantation combinant deux à trois espèces d'arbres ;
- Une structure désordonnée avec agencement très aléatoire des arbres dans la parcelle ;
- Une couverture végétale entre les interstices plus importante que sur les monocultures ;
- Un ou plusieurs litchis intercalés d'autres arbres avec une strate inférieure de hauteur relativement faible par rapport au litchi.



Figure 12: Parcs arborés Source : Google Earth

c. L'agroforêt (AF)

Les agroforêts sont généralement des plantations comprenant plusieurs espèces ligneuses associées avec des arbres de taille importante. Elle est caractérisée par :

- Une forte densité des arbres environnants ;
- Une localisation souvent à proximité des villages ;
- Un système à couvert végétal important contenant quelques pieds, constitué principalement de grands arbres avec une diversité spécifique apparente (c'est-à-dire, observable).



Figure 13: Agroforêts Source : Google Earth

d. Les cas particuliers

Par contre, pour les cas difficiles et moins évidents, des études cas par cas sont plus appropriées. Les cas étudiés suivants sont les cas les plus fréquents observés sur la totalité de la zone d'étude

Prioritairement, lors de la classification des cas les plus difficiles à interpréter, la considération des critères suivants sont nécessaires.

- **Structure et organisation** : groupée ou isolée, ordonnée ou désordonnée, espacée ou serrée et alignée ou en bouquets
- **Environnement (association)** : en tenant compte de l'influence de l'environnement vis-à-vis du litchi saisi par photo-interprétation

Le tableau suivant montre les cas les plus difficiles à interpréter :

Tableau II: Etude des cas difficiles à interpréter

	Sur ces images, les polygones saisis possèdent un groupement de 3 pieds de litchi non intercalés par d'autres espèces ou un espace interstitiel, sur le plan agronomique. Son environnement indique considérablement qu'il s'agit bien d'un PA. Ce bouquet de litchi (agglomération de 2 à 4 litchis) évolue au sein d'un espace herbacé bien visible.
	Conclusion à retenir : un pied ou deux ou trois de litchis qui sont repartis sur un espace herbacé est classé en PA quel que soit la structure.



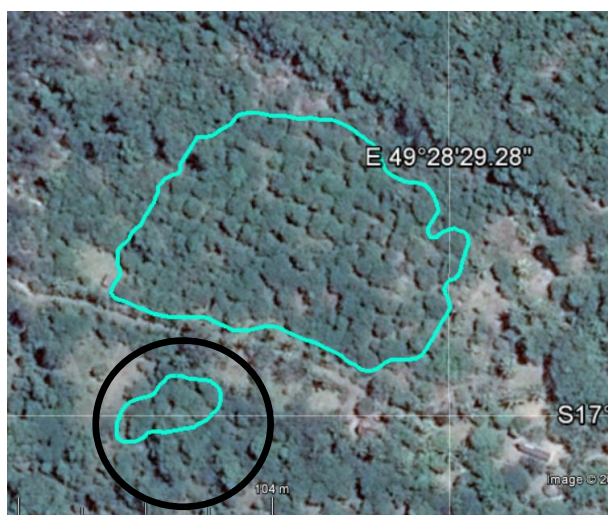
Dans ces 2 cas, l'environnement extérieur prend le dessus par rapport à l'effet interne entre les groupements de litchis avec 1 à 4 litchi, car les litchis ou groupement de litchis sont associés à des arbres de fortes densités.

La présence de ces grands arbres indique qu'il s'agit forcément d'une AF.

Conclusion à retenir : un pied ou un groupement de litchis composé de 2 à 4 pieds qui évoluent sur un environnement agroforestier est classé en AF.

Dans ce cas, la présence des cocotiers en faible effectif par rapport au nombre de pieds de litchi présent dans la parcelle ne change pas le fait qu'il s'agit d'une MO. C'est donc un système à forte dominance de litchi.

Conclusion à retenir : un système à forte dominance de litchis, c'est à dire plus de 90 % de litchis, est classé comme MO.



Sur ces images, les polygones entourés en noir sont classés en MO, l'influence interne entre les groupes de litchis qui sont composés au minimum de 5 pieds prend le dessus par rapport à l'influence de l'environnement extérieur. Il est à noter que ce nombre « 5 » est un choix arbitraire.

Conclusion à retenir : un groupement de litchis plus ou moins bien structuré, composé d'au moins 5 pieds de litchi est classé en MO quel que soit son environnement.