

Février 2013

Cartographie des haies à l'échelle de la Martinique

Collaboration de recherche IRD - DEAL - ODE



Catherine GODEFROID

Ingénieur en sciences et techniques
de l'environnement

Consultante en gestion et
conservation de la biodiversité

SIRET : 538 083 767 00029

catherinegodefroid@hotmail.com

Table des matières

1	Contexte et objectifs	- 1 -
2	Approche par télédétection	- 2 -
2.1	Méthodologie.....	- 2 -
2.1.1	Approche orientée-objets	- 2 -
2.1.2	Prétraitements	- 2 -
2.1.3	Segmentation et classification	- 2 -
2.1.4	Post-traitements	- 7 -
2.2	Résultats	- 7 -
3	Approche par photo-interprétation	- 11 -
3.1	Méthodologie.....	- 11 -
3.1.1	Avantages de la photo-interprétation.....	- 11 -
3.1.2	Traitements	- 11 -
3.1.3	Sources d'erreurs potentielles et imprécisions	- 12 -
3.2	Résultats	- 13 -
3.2.1	Résultats globaux	- 13 -
3.2.2	Linéaire de haies par commune	- 16 -
3.2.3	Livrables cartographiques	- 20 -
4	Conclusion et perspectives.....	- 21 -
5	Bibliographie	- 22 -

1 Contexte et objectifs

Cette étude se place dans le contexte de l'inventaire et de la cartographie des corridors écologiques à différentes échelles spatiales sur le territoire de la Martinique. Elle vise à cartographier les haies de la Martinique à partir de photos aériennes couleurs.

Les haies sont définies par l'Inventaire Forestier National (IFN) comme des formations linéaires arborées comportant des arbres et des arbustes sur au moins 25 mètres de long, sans interruption de plus de 10 mètres, sur une largeur d'assise inférieure à 20 mètres et d'une hauteur potentielle supérieure à 2 mètres (y compris les haies taillées de main d'homme) avec une concentration de 80 % de la biomasse sur moins de 2 mètres de largeur [IFN, 2008].

Les haies sont des composantes biologiques et écologiques importantes de l'environnement. En effet, elles exercent différentes fonctions qui peuvent avoir un impact sur leurs formes et leurs structures [VANNIER,2011] :

- Fonction de limite : les haies jouent un rôle de limite entre deux parcelles ou d'enclos ;
- Fonction de production économique : les haies permettent essentiellement de produire du bois, mais aussi du fourrage et des fruits ;
- Fonction biophysique : les haies jouent un rôle de régulation des flux biophysiques comme le vent ou l'eau. La présence de haies permet de lutter contre le ruissellement et l'érosion des sols, le transfert de polluants, le vent, etc. ;
- Fonction biologique et écologique: les haies abritent de nombreuses espèces animales et végétales. La haie peut avoir un rôle d'habitat, d'ombrage, de corridor et de refuge, simultanément ou successivement selon l'espèce considérée ;
- Fonction culturelle : les haies présentent un intérêt social pour le paysage.

S'agissant ici d'une démarche de cartographie sur base de photos aériennes sans inventaires de terrain, nous retiendrons comme caractéristiques structurelles de ces éléments du paysage la longueur minimale et la largeur maximale telles que définies par l'IFN. Comme nous sommes dans le cadre d'une étude portant sur l'ensemble de la Martinique et plus précisément sur ses zones agricoles, les haies situées en zone urbaine ne seront pas prises en compte.

Au vu des objectifs poursuivis, nous adopterons donc la définition suivante : **une haie est une formation linéaire arborée d'origine anthropique ou entretenue par l'homme, comportant des arbres et des arbustes sur au moins 25 mètres de long, sans interruption de plus de 10 mètres, sur une largeur d'assise inférieure à 20 mètres, située le long d'une route, d'un chemin ou d'un canal, ou en bordure de parcelle agricole.**

2 Approche par télédétection

2.1 Méthodologie

2.1.1 Approche orientée-objets

Dans un premier temps, nous avons testé les potentialités de la télédétection dans la cartographie des haies de la Martinique. Nous avons donc appliqué à l'orthophotographie de 2010 mise à notre disposition différents traitements spectraux.

Ces données, à très haute résolution spatiale, nécessitent des méthodes de classification qui tiennent compte de la diversité spectrale des éléments géographiques à classer. Ces méthodes consistent à regrouper les pixels d'une image en objets. Cette approche orientée-objets s'organise en plusieurs étapes successives comprenant des prétraitements, une segmentation, une classification et des post-traitements. Les traitements tests ont été effectués avec les logiciels eCognition 5.0 (Definiens Imaging, Munich) et Arc Gis 10.0 (ESRI Inc.).

2.1.2 Prétraitements

Les orthophotographies 2010 étaient disponibles sous deux formes : une orthophotographie normale comportant les bandes rouge, verte et bleue (RVB), et une orthophotographie infrarouge couleur (IRC) comportant les bandes infrarouge, rouge et verte.

Ces orthophotographies étaient découpées selon un maillage différent, et étaient en format ecw. Nous les avons redécoupées selon le maillage de l'orthophotographie RVB (177 dalles), fixé la résolution à 0,5 m par pixel, et les avons transformées en format tiff pour permettre leur utilisation superposée sur eCognition et réduire les temps de traitement.

2.1.3 Segmentation et classification

La méthode de segmentation utilisée dans ce travail est une segmentation multirésolution. Le premier paramètre à déterminer est celui de l'échelle, c'est-à-dire le niveau d'agrégation des pixels souhaité. Le deuxième paramètre à déterminer est le poids des facteurs de réflectance (bandes spectrales). Le troisième paramètre à déterminer est le poids des facteurs de compacité et de lissage. Ces deux facteurs déterminent la composition du facteur de forme.

Différents paramètres de segmentation ont été testés, et ceux qui ont générés les meilleurs résultats de classification lors d'une phase de tests (meilleure discrimination des éléments d'intérêts) ont été retenus. Nous avons également tenu compte du temps de traitement nécessaire à l'opération.

Nous avons travaillé à deux niveaux. L'objectif du premier niveau de segmentation était de mettre en évidence les objets de la taille d'une parcelle (surfaces cultivées principalement, voir Figure 1 page suivante), tandis que le deuxième niveau visait à mettre en évidence les éléments linéaires boisés, dont font partie les haies (voir Figure 2 page suivante). Le Tableau 1 page 5 présente les critères de segmentation retenus.

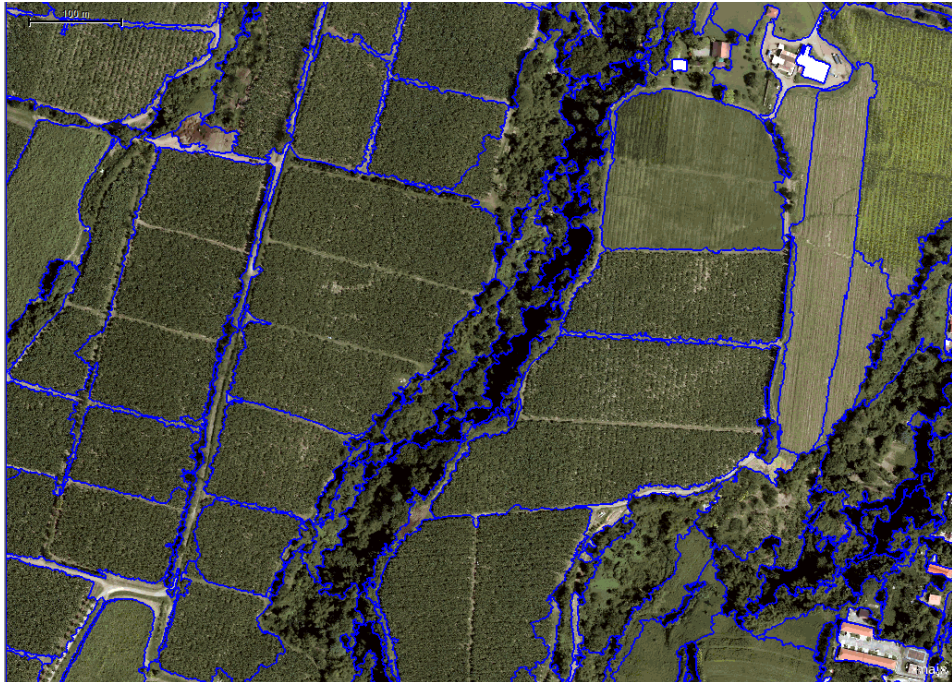


Figure 1 : Exemple de premier niveau de segmentation

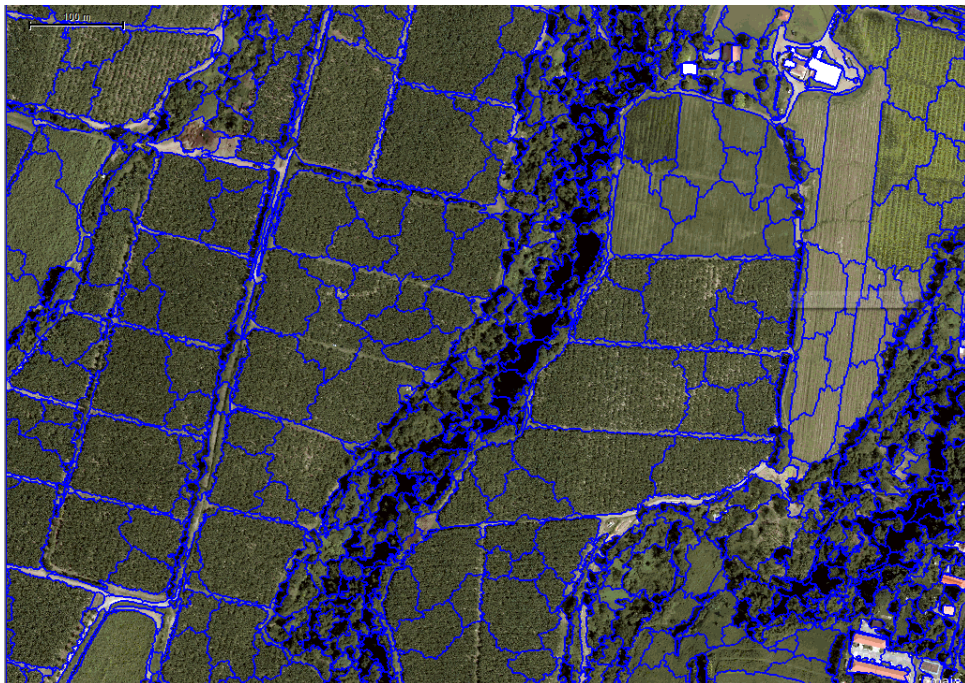


Figure 2 : Exemple de deuxième niveau de segmentation

Le processus de classification des objets ainsi obtenus est basé sur des paramètres de forme, de réflectance et de texture. Ces attributs ont été testés sur un échantillonnage d'objets connus afin de déterminer ceux à utiliser et les seuils limite d'appartenance (un seul ou une combinaison de plusieurs paramètres) qui permettent de définir au mieux une classe. Ces paramètres et attributs peuvent varier en fonction du climat et de la végétation de la zone étudiée (voir point 2.2). La Figure 3 ci-dessous présente le processus de traitement retenu pour la zone de Sainte-Anne et La Figure 4 page 6 présente un processus de classification utilisé en phase de test pour la zone de Grand-Rivière.

<u>surface ni cultivée ni boisée</u>			
Ratio IR/R < 0,9			
<u>surface cultivée ou boisée</u>	<u>élément linéaire boisé</u> Brighthness > 80 Lenght > 25 m Width ≤ 30 m Lenght/Width ≥ 2,5 Rectangular fit < 0,85 Rel. Border to "surface boisée" ≤ 0,7 Rel. Border to "élément linéaire " ≤ 0,7		
Ratio IR/R ≥ 0,9	sinon	<u>grande surface cultivée</u> Mean blue ≥ 75 GLCM Homogeneity (all dir.) > 0,18 Shape index ≤ 2,3	
	sinon	sinon	<u>surface boisée</u> Ratio IR/R ≥ 1
			<u>surface peu boisée</u> sinon

Figure 3 : Processus de classification retenu pour la zone de Sainte-Anne

Tableau 1 : Traitements appliqués sur eCognition

Traitement	Paramètres	Classes en input	Classes en output	Nombre de cycles
Segmentation niveau 1	Poids de 1 pour les bandes rouge, vert, bleu et poids de 2 pour la bande infrarouge Scale parameter : 150 Shape : 0,3 Compactness : 0,5	/	/	1
Classification niveau 1	hierarchial classification	toutes	toutes	3
Segmentation niveau 2	Poids de 1 pour les bandes rouge, vert, bleu et poids de 2 pour la bande infrarouge Scale parameter : 75 Shape : 0,3 Compactness : 0,9	grande surface cultivée, autre surface cultivée, surface ni boisée ni cultivée	/	1
Classification niveau 2	hierarchial classification	toutes	toutes	3

surface non végétale NDVI < 0						
surface végétale sinon	surface diverse peu boisée 1 Ratio IR/R ≤ 1,2					
	surface cultivée ou boisée sinon	surface cultivée Ratio IR/R ≤ 1,7 Brighness ≥ 90 Mean blue ≥ 75 Surface > 500 m ² Rectangular fit ≥ 0,8 Shape index < 2,3 Rel. Border to "massif" < 1				
		surface non cultivée sinon	surface diverse peu boisée 2 Ratio IR/R < 1,25			
		surface boisée sinon	élément linéaire Lenght/Width ≥ 2 Width ≤ 30 m Rel. Border to "massif" ≤ 0,3 Rel. Border to "élément linéaire " ≤ 0,7	élément linéaire boisé Brighness > 80		
		élément non linéaire sinon	ombre d'élément linéaire boisé sinon	surface diverse peu boisée 3 sinon		
			massif Ratio IR/R > 1,3 Mean blue < 100 Soit Surface < 3000 m ² , soit Surface ≥ 3000 m ² et Compactness (polygon) ≤ 0,2 Rel. Border to "élément non linéaire " ≥ 0,3 ou Rel. Border to "massif" ≥ 0,3		massif boisé Brighness > 70 GLCM Homogeneity (all dir.) ≤ 0,22 massif boisé ombragé Brighness ≤ 70	

Figure 4 : Exemple de processus de classification utilisé lors de phase de test pour la zone de Grand-Rivière

2.1.4 Post-traitements

L'ajout de paramètres spatiaux de proximité a permis d'affiner les résultats de la phase de classification. La classe "élément linéaire boisé" a été divisée en "haies" et "autres éléments linéaires boisés" en fonction de sa situation, les haies étant par définition situées le long d'une route, d'un chemin, d'un canal ou en bordure de parcelle agricole. Un modèle de post-traitements a été mis au point sur le logiciel ArcGIS.

2.2 Résultats

Malheureusement, les photographies infrarouge couleur de 2010 disponibles à la DEAL ne couvrent pas toute la Martinique, et les bandes spectrales rouge, verte et bleue présentent des irrégularités qui ne permettent pas un traitement spectral. Nous avons dès lors étudié la possibilité d'utiliser les orthophotographies de 2004 sur certaines zones, mais la bande infrarouge n'était pas disponible sur ces images. Or, les indices de végétation (NDVI, ration IR/R) permettant la différenciation des éléments boisés se basent sur cette information infrarouge. Près de la moitié de la surface de l'île ne pouvait donc pas être traitée par télédétection.

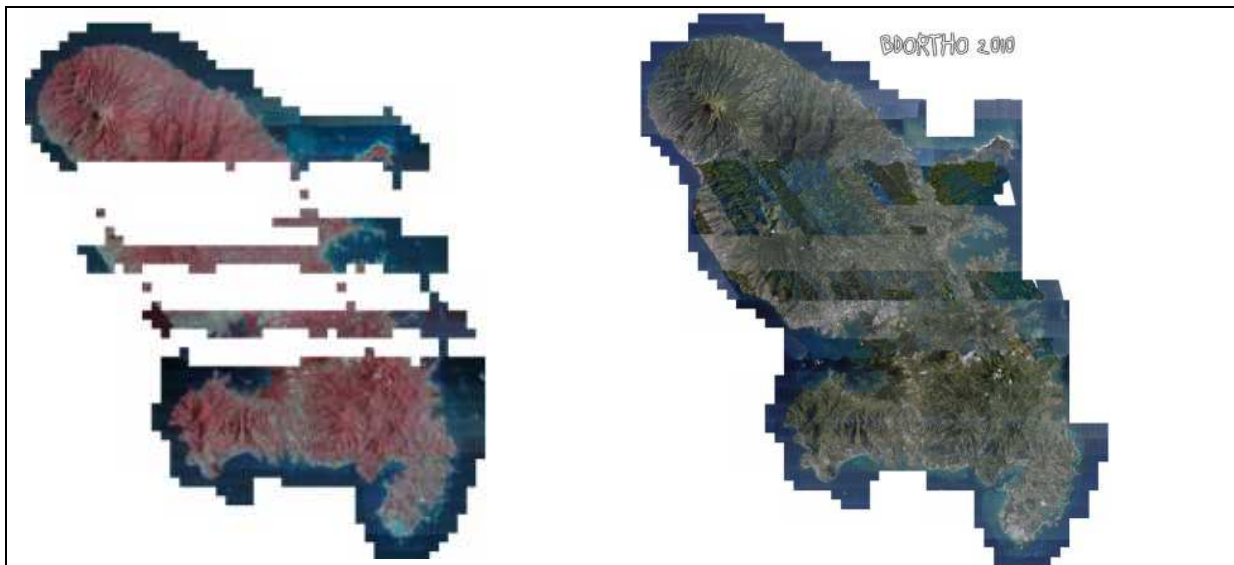


Figure 5 : Représentation des irrégularités et de la couvertures incomplète des photographies infrarouges et couleurs 2010
Source : JC Rouillé (DEAL)

De plus, du fait des différents microclimats qui s'exercent en Martinique, les paramètres de différenciation liés au contenu en eau de la végétation (ratio IR/R principalement) devaient être adaptés aux différentes zones géographiques, ce qui nécessitait une phase de test pour la mise au point d'un processus de traitement pour chaque zone. L'intérêt de l'approche de télédétection, lié à l'automatisation des traitements, en était donc d'autant diminué.

Enfin, les tests réalisés sur les zones géographiques où les informations spectrales étaient disponibles (extrême nord et sud de l'île) n'ont pas donné de bons résultats, quel que soit le paramétrage utilisé. Dans le meilleur cas, seulement 50 % des haies étaient détectées (erreurs d'omission), et de nombreux éléments boisés étaient considérés à tort comme des haies (erreurs de commission).

Ces erreurs de commission s'expliquent par le fait que certaines cultures réalisées en ligne (par exemple les bananeraies) présentent une signature spectrale très proche de celle des haies. De plus, certains objets linéaires respectent les critères spectraux et de forme des éléments linéaires boisés mais sont en réalité situés en bordure d'un massif forestier plus large.

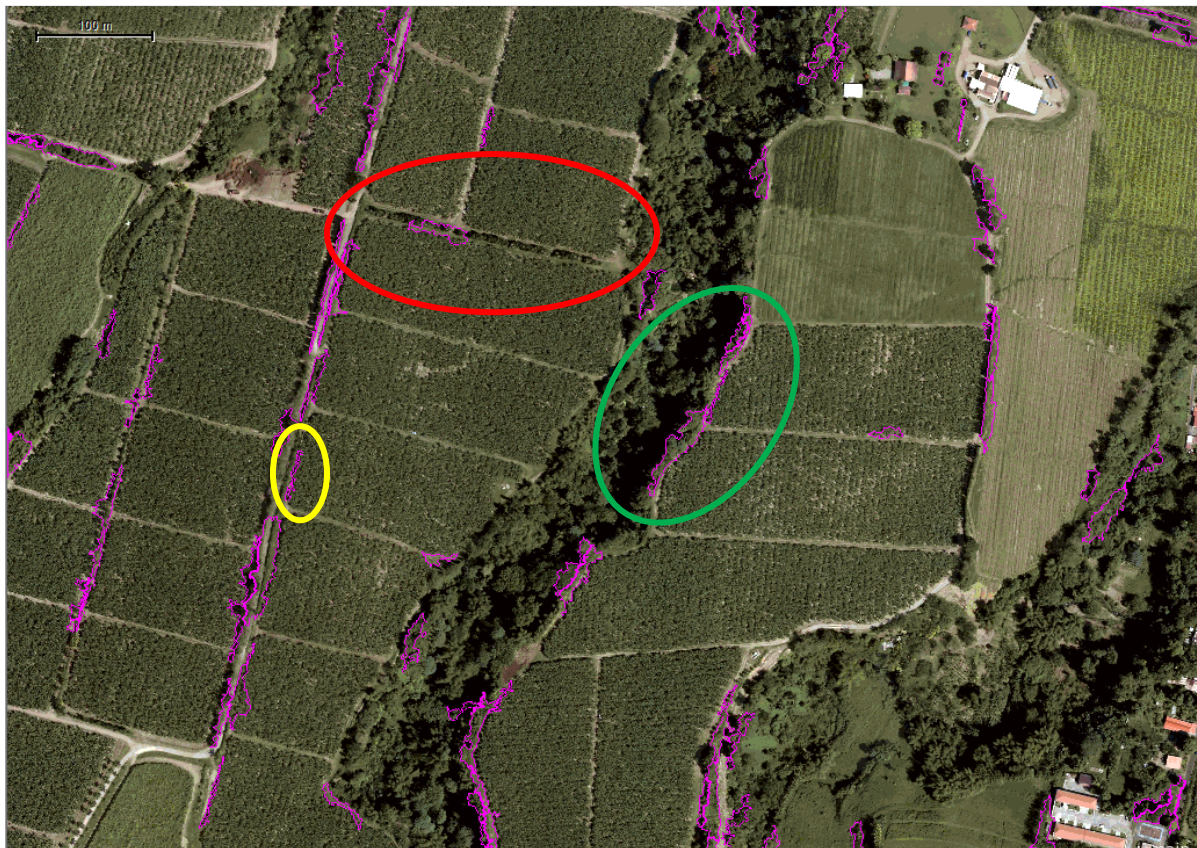


Figure 6 : Exemple d'erreurs d'omission (en rouge) et d'erreurs de commission liées à la présence de bananeraies (en jaune) et de massifs forestiers (en vert)

Dans d'autres secteurs présentant une végétation de type humide, un habitat diffus et un réseau agricole dispersé en très petites parcelles, de nombreux zones de végétation naturelle (fourrés, repousses sur friches, etc.) ont été considérées à tort comme des haies.

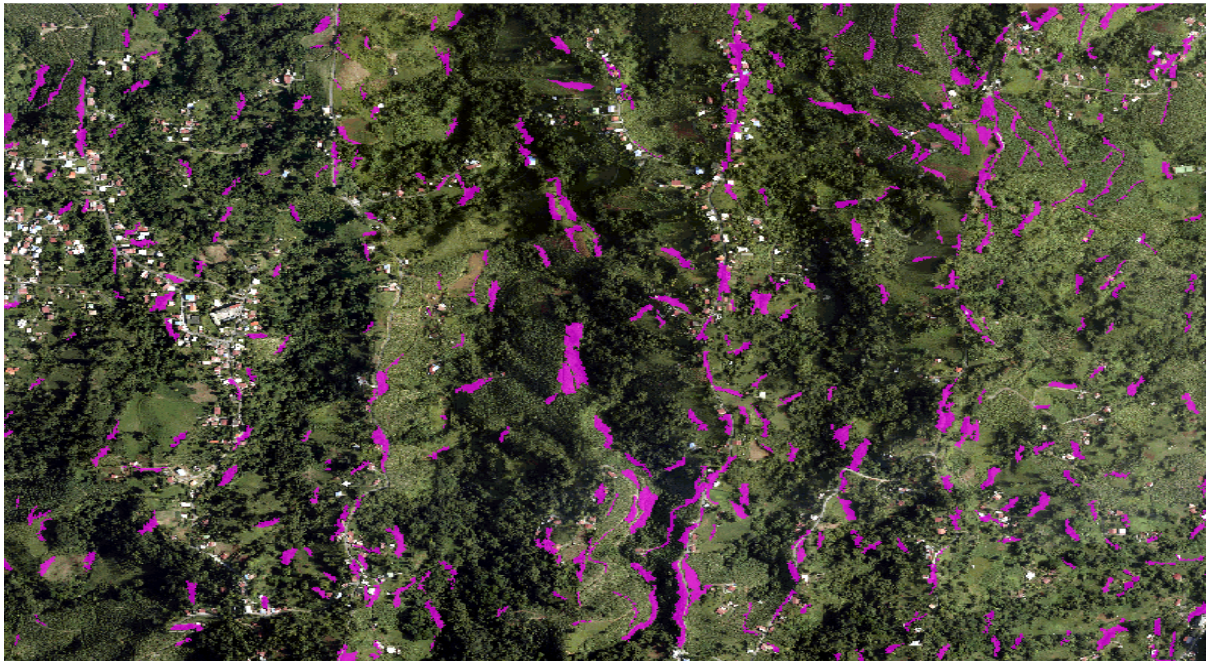


Figure 7 : Exemple d'erreurs de commission liées à l'aspect diffus de l'agriculture et de l'habitat

Les erreurs d'omission résultent souvent d'un mauvais résultat de la segmentation. Certains objets comportent une partie "haie" mais aussi une partie "surface cultivée", car ces deux éléments peuvent avoir une même signature spectrale. Dans ce cas, l'objet fait plus de 20 m de large et n'est donc pas reconnu comme un élément linéaire boisé. La Figure 8 illustre ce cas. La majorité de la haie centrale a été intégrée dans des objets "surfaces cultivées" plus larges.

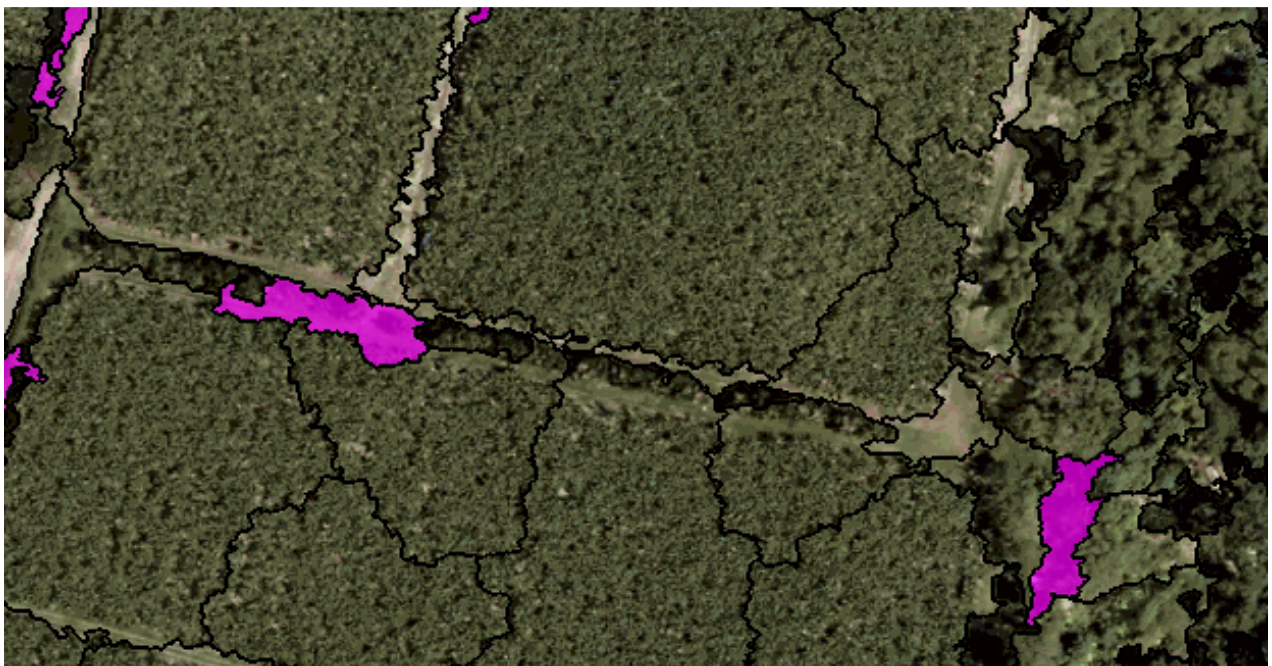


Figure 8 : Erreur d'omission due à une mauvaise segmentation

Ces différentes erreurs pourraient être corrigées au cas par cas, en fonction de la zone géographique concernée (zone de culture de banane, zone à dominance forestière, etc.). En affinant les critères de segmentation et de classification, on pourrait obtenir de bons résultats à l'échelle d'une dalle (9 km²), sous réserve que la portion de l'image considérée ne présente pas d'irrégularités et que l'information infrarouge soit disponible. Néanmoins, tout l'intérêt de la télédétection dans le cadre de notre étude, qui est de permettre un traitement global, répliquable et utilisable sur une zone géographique étendue, serait perdu.

Au vu de la mauvaise qualité des orthophotographies disponibles et des spécificités du paysage martiniquais, une détection automatique fiable des haies n'est donc pas envisageable à l'échelle de l'île entière. Nous avons dès lors abandonné l'approche par télédétection au profit d'une approche basée sur de la photo-interprétation.

3 Approche par photo-interprétation

3.1 Méthodologie

3.1.1 Avantages de la photo-interprétation

Le plus souvent, la cartographie des haies est effectuée à partir d'une numérisation manuelle d'orthophotoplans ou de photographies aériennes sur des sites d'études peu étendus. Toutes les haies sont alors représentées sur la carte [VANNIER, 2011]. Cette démarche nécessite un temps de traitement beaucoup plus important que celle de la télédétection, si celle-ci peut être appliquée à toute la zone d'étude, mais donne des résultats plus fiables, les erreurs d'omission et de commission étant très réduites.

En étant dans une démarche d'interprétation visuelle de l'image en couleurs réelles où les signatures spectrales des pixels ne sont pas utilisées, les irrégularités que présente l'orthophotographie 2010 ne sont pas un obstacle à la reconnaissance des haies. De plus, au vu de l'hétérogénéité des paysages sur l'ensemble de l'île, il est plus rapide de mettre en place un traitement manuel de l'orthophotographie de 2010 sur un logiciel de SIG plutôt que de devoir mettre en œuvre un traitement de télédétection différent pour chaque dalle de cette image.

Néanmoins, la méthodologie par télédétection pourrait éventuellement être appliquée sur une zone géographique plus limitée, lors de l'acquisition d'une image plus récente ou lorsque les corrections radiométriques auront été réalisées sur l'orthophoto 2010. Dans ce contexte, le réseau de haies obtenu par photo-interprétation pourrait servir de référence pour juger de l'efficacité de la détection automatique des haies et le calcul de matrices de contingence ou d'état initial dans un contexte d'urbanisation croissante.

3.1.2 Traitements

Pour éviter au maximum les erreurs d'omission (certaines haies qui ne seraient pas prises en compte), le territoire a été divisé en dalles de 9 km² et ensuite chaque dalle a été divisée en petits secteurs géographiques de 1 km². Les traitements ont été appliqués successivement à chaque secteur, dans l'ordre croissant des numéros de dalles. Le maillage en dalles est le même que celui qui a été utilisé pour les traitements de télédétection.

Dans un premier temps, l'opérateur a recherché les éléments linéaires boisés, d'origine anthropique ou entretenus par l'homme, respectant certains des critères de forme (largeur inférieur à 20 m, sans interruption de plus de 10 m). Les critères de proximité (en bordure de route, de chemin, de canal ou de parcelle agricole) ont ensuite été vérifiés à l'aide de différentes couches de données SIG et par interprétation visuelle.

Rappelons ici que les haies situées en zone urbaine n'ont pas été prises en compte. Cette étude visant à mettre en évidence les corridors écologiques, principalement en zones agricoles, les haies privées (entourant un jardin ou le long d'une habitation) n'ont donc pas été digitalisées. D'autre part, les cordons de végétation situés le long d'un cours d'eau (ripisylves) ont été exclus de l'inventaire, sauf ceux situés le long des canaux.

En effet, les ripisylves ont la plupart du temps une origine et un développement naturels et non anthropiques, et ne correspondent donc pas à la définition de la haie qui a été retenue (voir point 1). Par contre, une attention particulière a été portée aux haies qui constituaient un corridor écologique entre deux massifs forestiers ou bosquets.

Les couches SIG utilisées ont été fournies par l'IRD et la DEAL :

- canaux : BD_Carthage\MQ\shape_WGS84\TRONCON_HYDROGRAPHIQUE_972_polyline.shp;
- cours d'eau : BD_Carthage\MQ\shape_WGS84\COURS_D_EAU_972_polyline.shp ;
- routes et chemins : IGN\BD_TOPO_2004\A_RESEAU_ROUTIER\ROUTE.shp ;
- parcelles agricoles : DAF\RPG-2011\SURFACES-2011-ILOTS_972_20111202.shp ;
- communes : IGN\BD_TOPO_2004\H_ADMINISTRATIF\COMMUNE_remanié.shp.

Les éléments retenus ont ensuite été digitalisés au moyen d'une polyligne sur le logiciel Arc Gis 10.0 (ESRI Inc.). La largeur moyenne de l'élément a été mesurée, et notée dans ses propriétés. Enfin, on a vérifié par traitement SIG si l'élément respectait le critère de longueur minimale. Sa longueur était dès lors ajoutée aux propriétés de chaque haie ainsi identifiée.

3.1.3 Sources d'erreurs potentielles et imprécisions

Plusieurs sources d'erreurs potentielles ou d'imprécisions ont été rencontrées. Dans la majorité des cas, cette source d'erreur potentielle a été notée dans les propriétés de l'élément digitalisé. Différents cas de figure se sont présentés :

- la végétation ligneuse visée (arbres et arbustes) ne peut être distinguée de la végétation non ligneuse (herbacées, plantes de faible hauteur). Dans ce cas, une remarque "végétation non ligneuse ?" est ajoutée aux propriétés de l'élément.
- certaines haies très fines composée de gliricidias ("bois-barrière") peu développés ne peuvent être distinguées de clôtures composées de piquets en bois. Dans ce cas, une remarque "simple clôture ?" est ajoutée aux propriétés de l'élément.
- la distinction entre deux haies de part et d'autres d'une route ne peut être établie parce que les cymes des arbres sont jointives et ne semblent former qu'un seul cordon arboré, la route n'étant pas visible. Dans ce cas, seule une haie est digitalisée.
- certaines portions de l'image satellite sont trop sombres pour être traitées. C'est le cas de certaines portions des dalles 16, 24, 67, 68, 82 à 86, 96, 100, 112, 114, 120, 122, 131, 133, 135 et 164. La numérotation des dalles est consultable dans la couche dalles.shp fournie (voir point 3.2.3).
- la présence de nuages rend le traitement impossible. C'est le cas de certaines parties des dalles 38, 133, 146, 147, 148, 149 et 164.
- la couverture aérienne de 2010 n'est pas complète, certaines portions proviennent clairement d'anciennes photos, par exemple sur la dalle 85.
- certaines orthophotographies ont été prises à un moment de la journée ou d'un angle tel que les ombres projetées sont très importantes, ce qui rend le traitement difficile. C'est notamment le cas de la dalle 85.
- certaines orthophotographies sont floues. C'est le cas de portions des dalles 147, 162 et 163.

D'autres remarques ont été ajoutées dans les propriétés des éléments digitalisés :

- lorsque les haies avaient une largeur variable, une remarque "largeur variable" était ajoutée aux propriétés de l'élément.
- lorsque la largeur de la haie était constante, sauf présence de quelques arbres plus larges, une remarque "quelques arbres plus larges" était ajoutée. C'est notamment le cas des haies de gliricidias où quelques uns sont plus développés que les autres.
- lorsque la haie se situe le long d'un canal, la mention "bordure de canal" est ajoutée.
- lorsque les arbres et arbustes composant la haie sont fort espacés, la mention "risque de discontinuité" est ajoutée.

3.2 Résultats

3.2.1 Résultats globaux

8288 haies ont été digitalisées. Elles représentent un linéaire de 882 km sur l'ensemble de la Martinique.

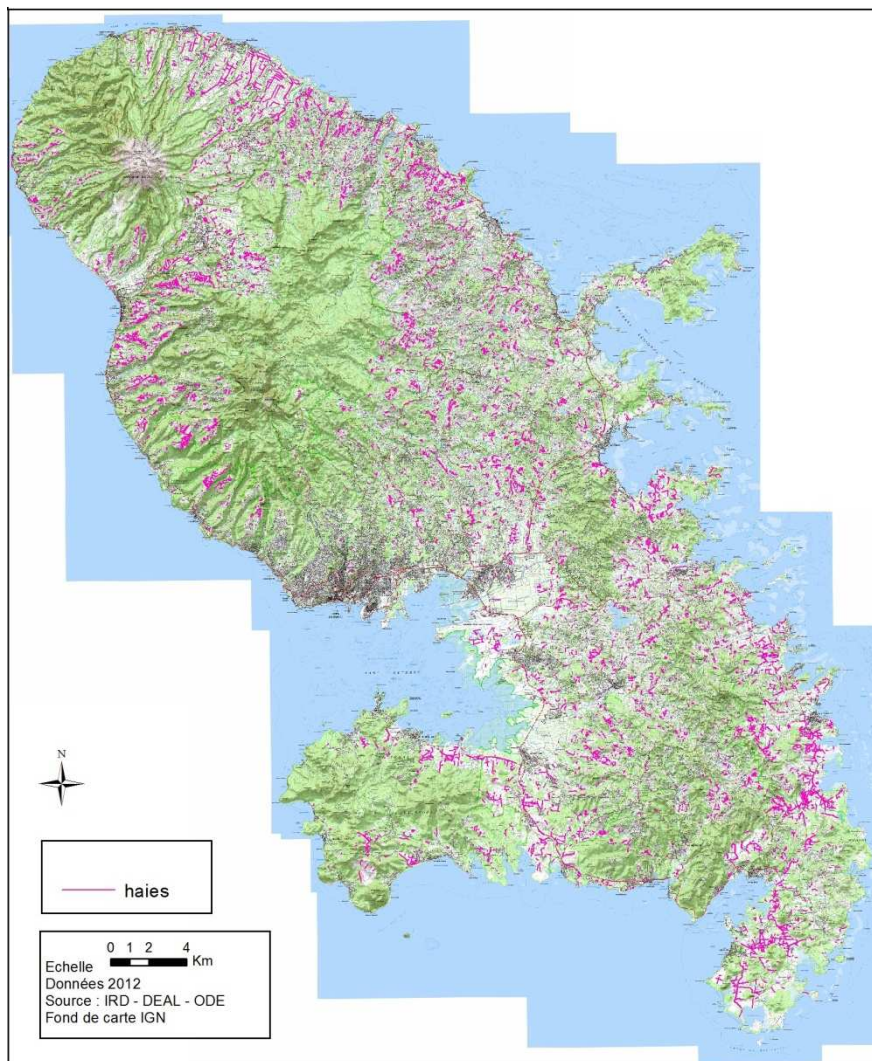


Figure 9 : Réseau de haies à l'échelle de la Martinique

Ces haies ont été affectées à plusieurs catégories, en fonction de leur largeur. Tout d'abord, on retrouve les haies de 1 à 3 m de large, qui comprennent notamment les haies de gliricidia plantées depuis peu et les haies composées de petits arbustes. Ces haies étroites représentent 18 % du linéaire total, soit 162 km.



Figure 10 : Exemple de haie de la catégorie de 1 à 3 m de large (en bleu)

On retrouve ensuite les haies de 4 à 8 m de large, qui représentent 45 % du linéaire total, soit 400 km. Ce sont les haies les plus classiques, composées d'arbustes ou d'arbres.



Figure 11 : Exemple de haie de la catégorie de 4 à 8 m de large (en rose)

Les haies plus larges, de 9 à 14 m, comptent pour 280 km de linéaire, soit 32 %. Ce sont généralement des haies composées d'arbres bien développés.



Figure 12 : Exemple de haie de la catégorie de 9 à 14 m de large (en rose)

Enfin, les haies très larges, entre 15 et 19 m ne représentent que 40 km, soit 5 % de l'ensemble du linéaire. Il semble qu'elles puissent révéler une grande importance en termes de corridors écologiques, car elles constituent souvent des extensions de massifs forestiers ou relient entre eux des bosquets.



Figure 13 : Exemple de haie de la catégorie de 15 à 19 m de large (en bleu)

Rappelons que certains éléments linéaires qui peuvent sembler à première vue être des haies ont été exclus car ils ne répondaient pas à la définition retenue. C'est notamment le cas des éléments linéaires arborés trop larges, pas assez longs, pas entretenus par l'homme (reprise de végétation sur friche, ancienne haie abandonnée etc.).

Le Tableau 2 ci-dessous fait le bilan des remarques et précisions ajoutées aux propriétés des éléments digitalisés. Au niveau de la largeur, 85 km de haies sont d'une largeur variable et 16 km de haies présentent quelques arbres plus larges. En termes d'erreurs potentielles de commission, on a environ 200 éléments qui demanderaient une validation de terrain. D'une part, 104 éléments pourraient ne pas être composés entièrement de végétation ligneuse, d'autre part 100 éléments ne sont peut-être que de simple clôtures. Enfin, un risque de discontinuité existe pour 8 km du linéaire, et 3 éléments sont situés en bordure de canal.

Tableau 2 : Bilan des remarques utilisées

Remarque	Nombre de haies	Linéaire total (en m)
largeur variable	519	84699
quelques arbres plus larges	125	16548
végétation non ligneuse ?	104	14618
simple clôture ?	100	12394
risque de discontinuité	44	7592
bordure de canal	3	1248

Malgré tout le soin apporté au traitement, l'œil humain n'est pas infaillible et certaines haies n'ont pas été détectées par l'opérateur. Le nombre et l'importance de ces erreurs d'omissions ne peuvent pas être estimés sans relancer un tout nouveau traitement ou sans recourir à un inventaire de terrain. Signalons également que l'expérience (croissante au cours du traitement) et une certaine subjectivité interviennent également lors du choix de digitaliser ou non certains éléments dont l'appartenance à la catégorie des haies n'est pas évidente au premier regard. C'est le cas par exemple lorsque l'image est fort sombre ou de manière plus générale lorsque la résolution de l'image n'est pas suffisante (les détails sont "flous", il n'y a pas assez de pixels par unité de longueur). Nous abordons ce point dans les perspectives (page - 21 -).

3.2.2 Linéaire de haies par commune

Nous avons calculé le nombre et le linéaire de haies par commune. Les haies situées à cheval sur deux communes ont été attribuées à la commune sur laquelle la majorité de leur longueur se trouvait. Néanmoins, il n'est pas forcément pertinent de comparer le linéaire de communes n'ayant pas la même surface, et surtout pas la même surface agricole. Nous avons donc utilisé les données du recensement agricole 2010 du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt [AGRESTE, 2012] pour calculer le linéaire de haies par hectare de superficie agricole utilisée (SAU) pour chaque commune. La SAU est définie comme l'ensemble des superficies des terres labourables, des superficies des cultures permanentes, des superficies toujours en herbe, des superficies de légumes, fleurs et des autres superficies cultivées d'une exploitation agricole. Nous avons également étudié comment les haies se répartissaient, pour chaque commune, au sein des quatre catégories de largeurs présentées au paragraphe 3.2.1. Le Tableau 3 page suivante présente les résultats obtenus.

Tableau 3 : Nombre et linéaire de haies par commune et par hectare de superficie agricole utilisée (SAU)

Commune	Superficie agricole utilisée (SAU) en ha	Nombre de haies	Linéaire de haies (en km)	Nombre de haies par ha de SAU	Linéaire de haies (en m) par ha de SAU	Nombre de haies				Linéaire (en km) de haies				Linéaire (en m) de haies par ha de SAU			
						1 à 3 m de large	4 à 8 m de large	9 à 14 m de large	15 à 19 m de large	1 à 3 m de large	4 à 8 m de large	9 à 14 m de large	15 à 19 m de large	1 à 3 m de large	4 à 8 m de large	9 à 14 m de large	15 à 19 m de large
Basse-Pointe	974	351	47,61	0,36	49	72	191	77	11	8,24	24,94	12,27	2,17	8	26	13	2
Bellefontaine	155	166	13,05	1,07	84	10	104	49	3	0,75	7,85	4,25	0,21	5	51	27	1
Case-Pilote	134	114	11,35	0,85	85	14	67	25	8	1,53	6,29	2,50	1,04	11	47	19	8
Ducos	954	211	24,51	0,22	26	28	91	82	10	2,19	11,89	9,42	1,00	2	12	10	1
Fonds-Saint-Denis	100	39	2,68	0,39	27	3	23	9	4	0,11	1,39	0,74	0,44	1	14	7	4
Fort-de-France	70	30	2,47	0,43	35	3	11	13	3	0,23	0,81	1,18	0,26	3	12	17	4
Grand'Rivière	95	11	1,01	0,12	11	0	1	7	3	0,00	0,08	0,66	0,27	0	1	7	3
Gros-Morne	1022	464	46,01	0,45	45	46	198	187	33	3,48	18,50	19,99	4,04	3	18	20	4
La Trinité	1570	275	27,26	0,18	17	18	81	143	33	1,07	7,82	14,70	3,67	1	5	9	2
L'Ajoupa-Bouillon	358	85	7,40	0,24	21	13	47	21	4	1,19	3,76	2,10	0,35	3	11	6	1
Le Carbet	538	302	27,31	0,56	51	40	155	97	10	3,17	13,85	9,41	0,89	6	26	17	2
Le Diamant	226	95	10,96	0,42	48	21	57	16	1	2,76	6,34	1,74	0,12	12	28	8	1
Le François	1487	566	57,61	0,38	39	118	265	167	16	11,57	27,00	17,26	1,77	8	18	12	1
Le Lamentin	2583	439	50,56	0,17	20	96	153	170	20	9,96	19,16	18,81	2,63	4	7	7	1
Le Lorrain	1420	435	40,58	0,31	29	66	198	152	19	5,36	17,79	15,52	1,92	4	13	11	1
Le Marigot	738	162	16,23	0,22	22	47	50	57	8	4,59	4,86	5,94	0,85	6	7	8	1
Le Marin	565	277	32,23	0,49	57	79	123	69	6	9,78	13,65	8,27	0,52	17	24	15	1
Le Morne-Rouge	730	354	37,51	0,48	51	59	165	113	17	6,38	15,93	12,56	2,64	9	22	17	4
Le Morne-Vert	146	98	8,81	0,67	60	16	43	38	1	1,28	3,21	4,27	0,06	9	22	29	0
Le Prêcheur	534	176	15,38	0,33	29	29	85	55	7	2,11	7,35	5,34	0,58	4	14	10	1
Le Robert	830	359	36,79	0,43	44	59	161	118	21	6,04	16,01	12,60	2,14	7	19	15	3
Le Vauclin	1459	622	71,64	0,43	49	173	312	128	9	20,70	35,69	14,44	0,81	14	24	10	1
Les Anses-d'Arlet	247	61	7,53	0,25	30	9	31	19	2	1,31	3,76	2,16	0,30	5	15	9	1
Les Trois-Îlets	399	127	19,04	0,32	48	15	63	48	1	1,48	9,38	8,12	0,06	4	24	20	0
Macouba	533	128	15,74	0,24	30	21	70	32	5	2,80	8,32	4,09	0,54	5	16	8	1
Rivière-Pilote	500	212	18,00	0,42	36	81	98	29	4	6,99	7,63	3,08	0,31	14	15	6	1
Rivière-Salée	1568	368	45,82	0,23	29	81	190	91	6	9,66	23,74	11,53	0,89	6	15	7	1
Sainte-Anne	774	348	48,08	0,45	62	104	193	50	1	13,74	28,17	6,06	0,11	18	36	8	0
Sainte-Luce	669	183	24,52	0,27	37	20	109	47	7	2,06	14,54	6,98	0,94	3	22	10	1
Sainte-Marie	1570	512	48,53	0,33	31	62	180	212	58	5,41	14,89	21,86	6,37	3	9	14	4
Saint-Esprit	616	181	16,41	0,29	27	46	78	53	4	4,49	6,54	4,93	0,45	7	11	8	1
Saint-Joseph	652	232	22,65	0,36	35	63	95	62	12	5,72	8,93	6,87	1,14	9	14	11	2
Saint-Pierre	736	255	23,96	0,35	33	70	96	81	8	5,88	9,17	7,99	0,92	8	12	11	1
Schoelcher	28	50	3,16	1,79	113	1	20	28	1	0,03	0,96	2,04	0,12	1	34	73	4
Total	24980	8288	882,42	0,33	35	1583	3804	2545	356	162,04	400,20	279,69	40,50	6	16	11	2

Les communes présentant le plus grand linéaire de haies sont celles du Vauclin, avec plus de 70 km, et du François, avec près de 60 km. A l'autre extrémité, on retrouve Grand'Rivière, Fort-de-France, Fonds Saint-Denis et Schœlcher, le linéaire de haies de ces communes étant de moins de 4 km.

Les communes du Vauclin, de Sainte-Anne et du François sont celles qui ont le plus grand linéaire de haies étroites, avec un linéaire de plus de 20 km pour le Vauclin, et plus de 10 km pour les deux autres. Ce sont également celles qui ont le plus grand linéaire de haies de 4 à 8 m de large (36, 28 et 27 respectivement). Par contre, ce sont les communes de Sainte-Marie, du Gros-Morne et du Lamentin qui ont le plus grand linéaire de haies larges, avec 22, 20 et 19 km respectivement. On retrouve Sainte-Marie et le Gros-Morne en tête pour les haies très larges, avec 6 et 4 km de linéaire respectivement, suivies par La Trinité, avec un peu moins de 4 km.

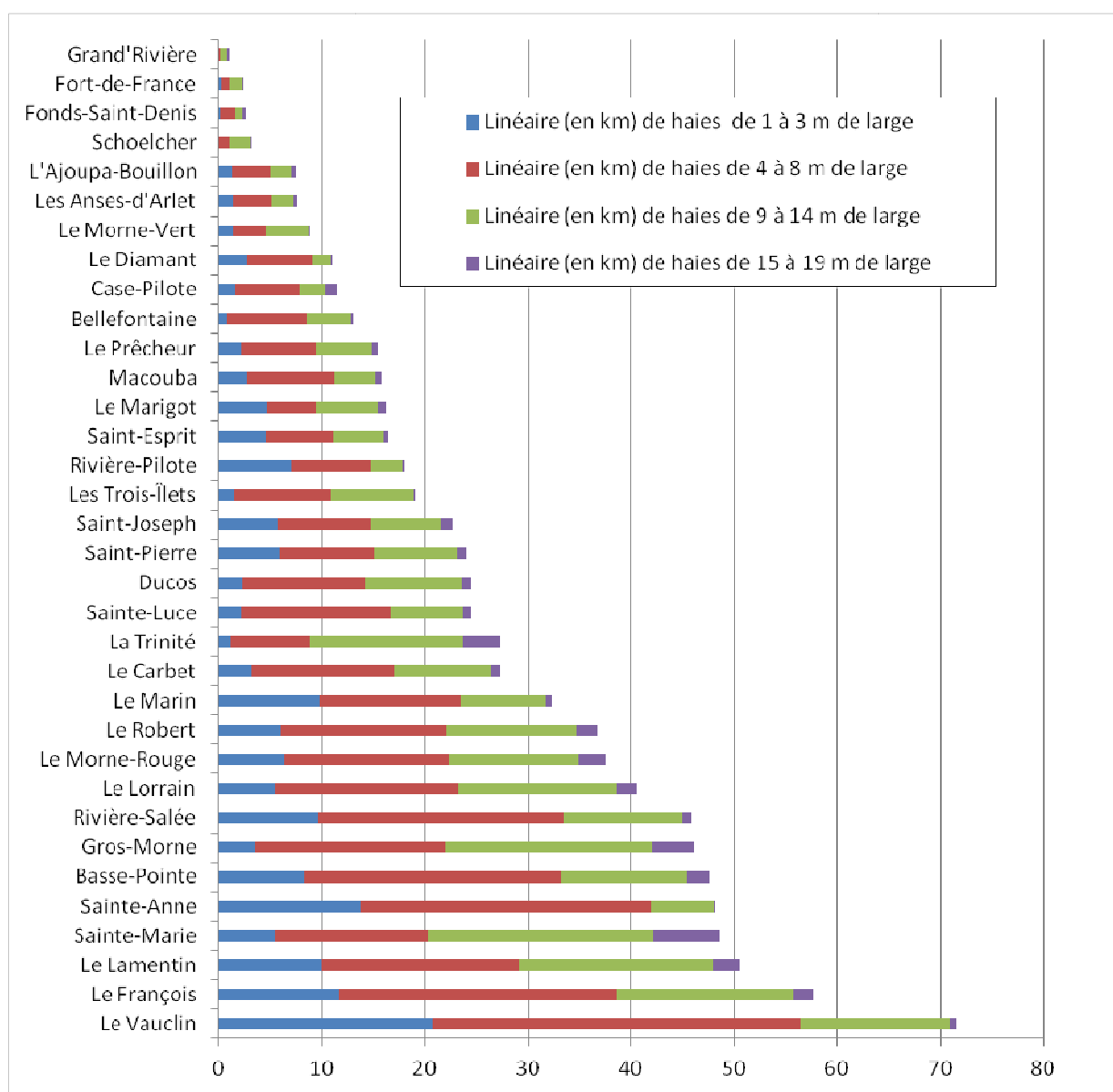


Figure 14 : Linéaire de haies par commune et par catégorie de largeur

Lorsqu'on tient compte de la surface agricole utilisée, les résultats sont bien différents. Les communes présentant la plus grande densité de haies par ha de SAU sont Schoelcher, Case-Pilote et Bellefontaine avec 113, 85 et 84 m/ha respectivement. A l'autre extrémité, on retrouve Grand'Rivière, La Trinité et Le Lamentin, la densité de haies de ces communes étant de 11, 17 et 20 m/ha de SAU respectivement.

Les communes du Vauclin, du Marin et de Sainte-Anne sont celles qui ont la plus grande densité de haies étroites, avec un linéaire de 18, 17 et 14 m/ha de SAU. Par contre, ce sont les communes de Bellefontaine et Case-Pilote qui présentent la plus grande densité de haies de 4 à 8 m de large, environ 50m/ha de SAU, suivies par Sainte-Anne, avec 36m/ha de SAU. C'est la commune de Schœlcher qui a de loin la plus grande densité de haies larges, avec 73 m/ha de SAU, viennent ensuite Le Morne-Vert et Bellefontaine, avec 29 et 27 m/ha de SAU. Enfin, la commune de Case-Pilote est la seule à présenter plus de 5 m/ha de SAU de haies très larges.

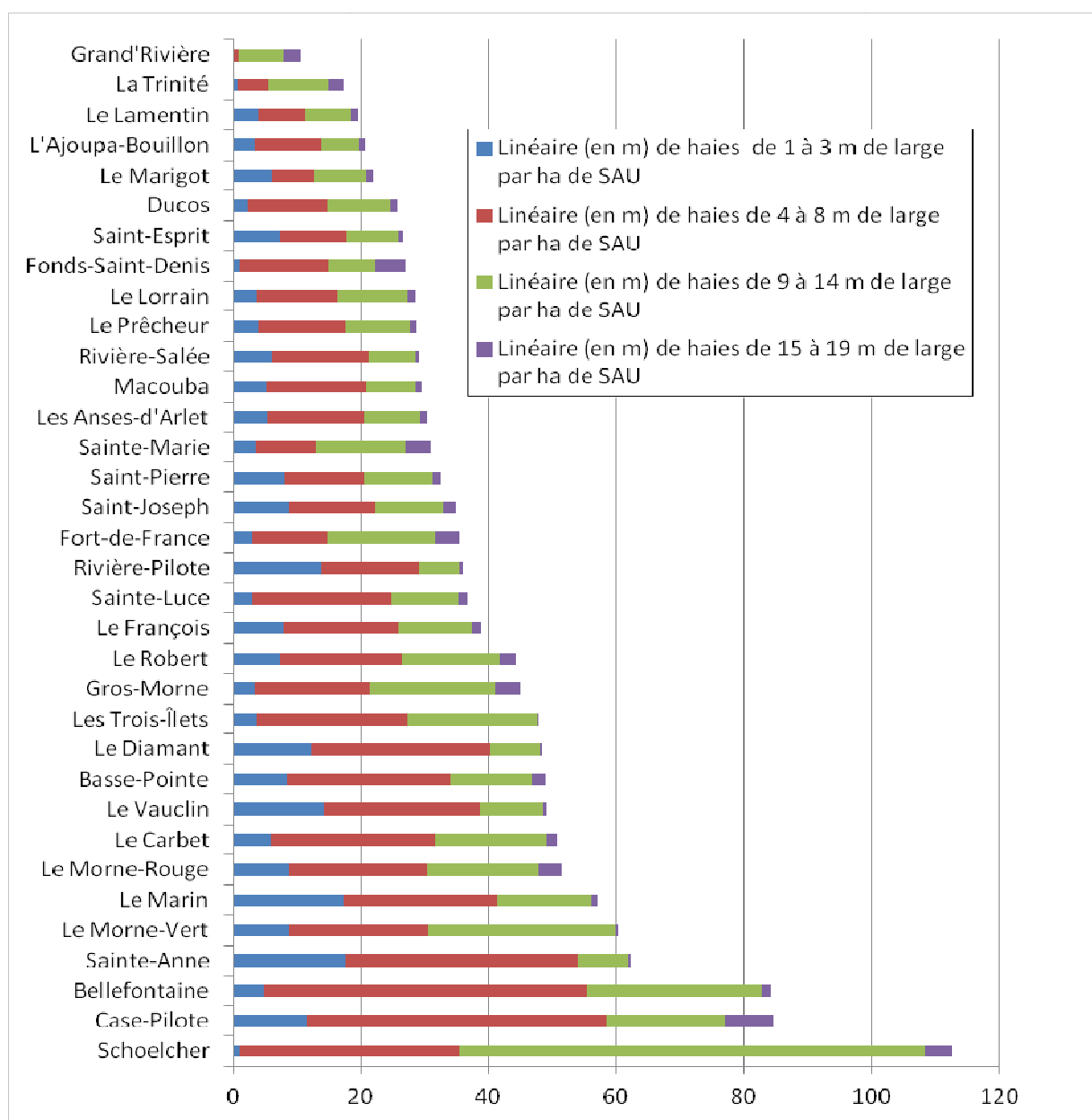


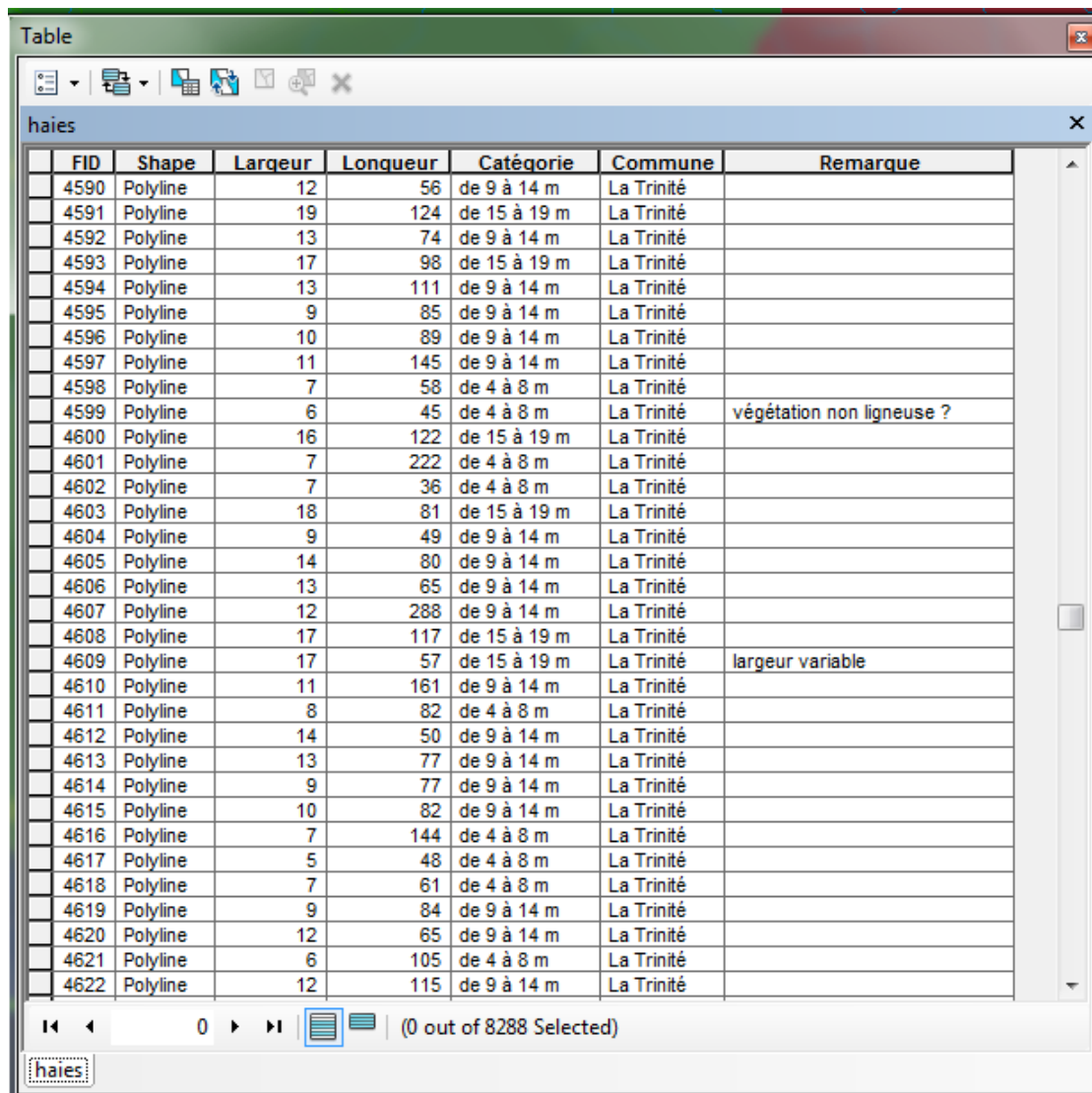
Figure 15 : Linéaire de haies (en m) par hectare de SAU, présenté par commune et par catégorie de largeur

3.2.3 Livrables cartographiques

Les résultats de ce travail sont livrés sous forme cartographique. Il s'agit de :

- la couche SIG des dalles numérotées de 9 km² : dalles.shp ;
- la couche SIG des secteurs de 1 km² : secteurs.shp ;
- la couche SIG des haies : haies.shp.

La couche "haies" comprend 8288 éléments. Chaque élément présente plusieurs attributs : largeur et longueur, catégorie de largeur, commune d'appartenance et une remarque éventuelle.



FID	Shape	Largeur	Longueur	Catégorie	Commune	Remarque
4590	Polyline	12	56	de 9 à 14 m	La Trinité	
4591	Polyline	19	124	de 15 à 19 m	La Trinité	
4592	Polyline	13	74	de 9 à 14 m	La Trinité	
4593	Polyline	17	98	de 15 à 19 m	La Trinité	
4594	Polyline	13	111	de 9 à 14 m	La Trinité	
4595	Polyline	9	85	de 9 à 14 m	La Trinité	
4596	Polyline	10	89	de 9 à 14 m	La Trinité	
4597	Polyline	11	145	de 9 à 14 m	La Trinité	
4598	Polyline	7	58	de 4 à 8 m	La Trinité	
4599	Polyline	6	45	de 4 à 8 m	La Trinité	végétation non ligneuse ?
4600	Polyline	16	122	de 15 à 19 m	La Trinité	
4601	Polyline	7	222	de 4 à 8 m	La Trinité	
4602	Polyline	7	36	de 4 à 8 m	La Trinité	
4603	Polyline	18	81	de 15 à 19 m	La Trinité	
4604	Polyline	9	49	de 9 à 14 m	La Trinité	
4605	Polyline	14	80	de 9 à 14 m	La Trinité	
4606	Polyline	13	65	de 9 à 14 m	La Trinité	
4607	Polyline	12	288	de 9 à 14 m	La Trinité	
4608	Polyline	17	117	de 15 à 19 m	La Trinité	
4609	Polyline	17	57	de 15 à 19 m	La Trinité	largeur variable
4610	Polyline	11	161	de 9 à 14 m	La Trinité	
4611	Polyline	8	82	de 4 à 8 m	La Trinité	
4612	Polyline	14	50	de 9 à 14 m	La Trinité	
4613	Polyline	13	77	de 9 à 14 m	La Trinité	
4614	Polyline	9	77	de 9 à 14 m	La Trinité	
4615	Polyline	10	82	de 9 à 14 m	La Trinité	
4616	Polyline	7	144	de 4 à 8 m	La Trinité	
4617	Polyline	5	48	de 4 à 8 m	La Trinité	
4618	Polyline	7	61	de 4 à 8 m	La Trinité	
4619	Polyline	9	84	de 9 à 14 m	La Trinité	
4620	Polyline	12	65	de 9 à 14 m	La Trinité	
4621	Polyline	6	105	de 4 à 8 m	La Trinité	
4622	Polyline	12	115	de 9 à 14 m	La Trinité	

Figure 16 : Extrait de la table d'attributs de la couche "haies"

4 Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude était de cartographier les haies de Martinique à partir de photos aériennes couleur. L'approche par télédétection s'est révélée non adaptée pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les orthophotographies 2010 présentent de nombreuses irrégularités et le canal infrarouge n'est pas disponible pour certaines zones, ce qui rend très difficile à mettre en œuvre un traitement spectral global adéquat. De plus, du fait des différents microclimats s'exerçant sur l'île et de l'hétérogénéité des paysages rencontrés, les traitements testés ne pouvaient s'appliquer qu'à une zone géographique très limitée, ce qui réduit fortement l'intérêt de cette approche par détection automatique.

L'approche par photo-interprétation a donné de meilleurs résultats. 8288 haies ont été digitalisées et affectées à quatre catégories en fonction de leur largeur. Ces haies représentent un linéaire de 882 km sur l'ensemble de la Martinique. Le linéaire et la densité de haies par hectare de surface agricole utilisée ont été calculés pour chaque commune. Ces données reflètent l'état du réseau écologique dans les différentes communes de l'île. Le réseau de haies obtenu peut maintenant être analysé dans le détail afin de déterminer les corridors écologiques les plus importants, ceux qui présentent une discontinuité à combler ou ceux, manquants, qui sont à mettre en place dans le cadre de la Trame Verte et Bleue.

Néanmoins, la mauvaise qualité de certaines orthophotographies (sombres, floues ou ennuagées) a fait que certaines zones n'ont pas pu être traitées. De plus, la résolution générale des orthophotographies 2010 reste une source d'erreurs potentielles, puisque cette résolution s'est parfois avérée insuffisante pour déterminer si un élément linéaire remplissait bien les critères définis de la haie. Enfin, le recours à des vérifications de terrain serait utile pour valider l'appartenance de certains éléments linéaires à la catégorie des haies.

Nous recommandons d'utiliser à l'avenir des images de meilleure résolution et ne comportant pas d'irrégularités. L'orthophotographie issue de Litto3D par exemple, qui présente une précision plus importante (autour des 20 cm) pourrait être un très bon outil de travail en photo-interprétation, une fois que les problèmes de continuité entre les images auront été résolus.

La méthodologie par télédétection pourrait éventuellement être appliquée dans le cadre d'une étude portant sur une zone géographique très limitée, lors de l'acquisition d'images plus récentes de meilleure qualité. Dans ce contexte, le réseau de haies obtenu par photo-interprétation pourrait servir de référence pour juger de l'efficacité de la détection automatique des haies et le calcul de matrices de contingence, ou représenter un état initial dans un contexte d'urbanisation croissante.

5 Bibliographie

AGRESTE, LA STATISTIQUE AGRICOLE [2012]. *Recensement agricole 2010 : principaux résultats par commune*. Site du Service de la statistique et de la prospective (SSP) du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/recensement-agricole-2010/resultats-donnees-chiffrees>

AKSOY S., AKCAY H.G., WASSENAAR T. [2010]. *Automatic Mapping of Linear Woody Vegetation Features in Agricultural Landscapes Using Very High-Resolution Imagery*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, No.1, p. 511 – 522.

COMMISSION DE VALIDATION DES DONNÉES POUR L'INFORMATION SPATIALISÉE [2009]. *Standard de données COVADIS : Registre Parcellaire Graphique non anonymisé*.

DOMMANGET A., BARNÉRIAS C. [2007]. *Détection des haies et segmentation automatique*. Géomatique Expert No. 57.

FAO [2010]. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010, Rapport National, Martinique*.

GERMAINE M.-A., PUISSANT A., BARNÉRIAS C. [2008]. *Intérêt des données images SPOT 5 et des systèmes d'informations géographiques pour l'extraction et l'identification des formations végétales arborées en milieu bocager. Exemples bas-normands*. Revue Forestière Française.

IFN [2008]. *Inventaire par cartographie des espaces forestiers et naturels de la Martinique*.

IFN [2008]. *Rapport d'activité 2009 de l'Inventaire forestier national : glossaire*.

NABUCET J., HUBERT-MOY L., DUFOUR S. [2011]. *Utilisation des images satellites pour la trame verte : Exemple de la Bretagne*. COSTEL UMR LETG 6554/CAREN-OSUR. Présentation power point.

PUISSANT A., ZHANG W., SKUPINSKI G. [2012]. *Extraction et caractérisation des éléments arborés en milieu urbain – Application à Strasbourg*. Présentation power point. Séminaire MAGIS - GP Suivi des milieux. CNRS / Université de Strasbourg.

SHEEREN D., BASTIN N., OUIN A., LADET S., BALENT G., LACOMBE J.P. [2009]. *Discriminating small wooded elements in rural landscape from aerial photography: a hybrid pixel/object-based analysis approach*. International Journal of Remote Sensing, 30(19), p. 4979-4990.

TANSEY K., CHAMBERS I., ANSTEE A., DENNISS A., LAMB A. [2009]. *Object oriented classification of very high resolution airborne imagery for the extraction of hedgerows and field margin cover in agricultural areas*. Applied Geography, vol. 29, no. 2, pp. 145–157.

VANNIER C. [2011]. *Observation et modélisation spatiale de pratiques agricoles territorialisées à partir de données de télédétection : application au paysage bocager*. Thèse. Université de Rennes 2 Haute-Bretagne.

VANNIER C., VASSEUR C., HUBERT-MOY L., BAUDRY J. [2011]. *Multiscale ecological assessment of remote sensing images*. Landscape Ecology, 26, p. 1053–1069.