



HAL
open science

Mise en forme de la base de données images et cartographie par approche orientée objet des zones forestières de l'OPE de l'ANDRA : compte rendu d'activité. Convention ANDRA-IRSTEA. Analyse de données de télédétection multi-sources pour le suivi temporel des écosystèmes forestiers au sein de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement de l'ANDRA en Meuse/Haute-Marne

M. El Hajj, S. Durrieu

► **To cite this version:**

M. El Hajj, S. Durrieu. Mise en forme de la base de données images et cartographie par approche orientée objet des zones forestières de l'OPE de l'ANDRA : compte rendu d'activité. Convention ANDRA-IRSTEA. Analyse de données de télédétection multi-sources pour le suivi temporel des écosystèmes forestiers au sein de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement de l'ANDRA en Meuse/Haute-Marne. irstea. 2012, pp.20. hal-02598275

HAL Id: hal-02598275

<https://hal.inrae.fr/hal-02598275>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COMPTE RENDU D'ACTIVITE

Convention ANDRA –IRSTEA

Analyse de données de télédétection multi-sources pour le suivi temporel des écosystèmes forestiers au sein de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement de l'ANDRA en Meuse/Haute-Marne

Rapport Phase 1

Mise en forme de la base de données images et cartographie par approche orientée objet des zones forestières de l'OPE de l'ANDRA

Mohammad EL Hajj

Sylvie Durrieu



Sommaire

1.	Contexte de l'étude	3
1.1.	Présentation de la phase 1	3
1.2.	Zone d'étude	4
1.3.	Résultat attendus	4
2.	Mise en forme de la base de données images	5
2.1.	Données disponibles	5
2.1.1.	Images optiques	5
2.1.2.	Données Lidar	5
2.1.3.	Données Radar	6
2.2.	Prétraitement des données.....	7
2.2.1.	Vérification de la qualité radiométrique.	7
2.3.	Corrections géométriques des données optiques et radar	7
2.4.	Fusion des images panchromatiques et multispectrales (P-XS)	8
2.5.	Réalisation de MNT, MNS, MNC à partir des données Lidar.....	9
2.6.	Données radar	9
2.7.	Re-projection.....	9
3.	Cartographie forestière par segmentation et classification orientée objet	9
3.1.	Premier niveau de segmentation et de classification (Niveau 0)	10
3.2.	Deuxième niveau de segmentation et de classification (Niveau 1)	14
3.3.	Troisième niveau de segmentation et de classification (Niveau 2).....	18
4.	Conclusion	19

1. Contexte de l'étude

1.1. Présentation de la phase 1

La phase 1 s'inscrit dans le cadre de l'accord entre l'ANDRA et IRSTEA. Le présent accord a pour objet la collaboration scientifique et technique, pour la réalisation d'une étude intitulée: Analyse de données de télédétection multi-sources pour le suivi temporel des écosystèmes forestiers au sein de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement de l'ANDRA en Meuse/Haute-Marne.

La phase 1 se focalisera tout d'abord sur l'obtention des données dites « primaires », à savoir la composition spécifique, la hauteur, et le nombre de tiges à l'hectare. Le suivi temporel de ces variables nécessite de quantifier les erreurs associées aux différentes techniques de télédétection, afin d'optimiser le choix de la méthode (ou la combinaison de méthodes) à utiliser en fonction des besoins. L'échelle étudiée sera celle du peuplement et de la placette forestière. On pourra descendre le cas échéant à des informations au niveau de l'arbre pour les agréger ensuite à un niveau supérieur.

Cette phase comprendra les étapes suivantes :

- **Tâche 1-1 Mise en forme des bases de données existantes**

Les différentes données de télédétection seront rassemblées. Toutes les données seront mises dans le même référentiel cartographique et la qualité du géoréférencement sera vérifiée. La base de données, incluant des données de télédétection et des relevés de terrain, sera organisée.

- **Tâche 1-2 Analyse exploratoire des données de télédétection**

Une première analyse des données prises de façon indépendante les unes des autres sera réalisée afin d'évaluer le contenu informatif des différentes sources de données. Ce travail sera fait en parallèle de visites de terrain indispensables pour interpréter certaines images.

- **Tâche 1-3 Délimitation et caractérisation des formations végétales : cartographie des peuplements**

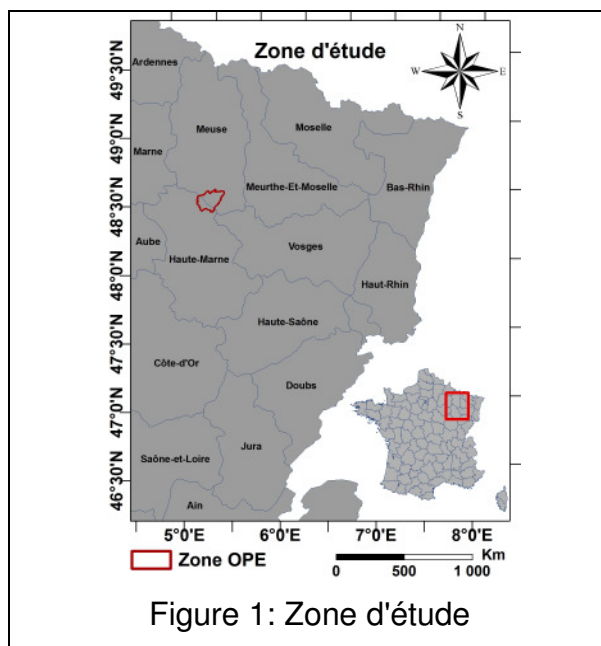
Les peuplements seront cartographiés sur la base d'une typologie prenant en compte la composition spécifique, la hauteur, et le nombre de tiges à l'hectare. La hauteur d'un peuplement et sa densité sont des facteurs centraux pour ensuite

calculer le volume, la biomasse ou la minéralomasse contenues dans une forêt. Ce sont donc des données primaires très importantes à estimer par télédétection.

Le présent rapport présente les Tâches 1-1 et 1-3 réalisées dans le cadre d'un contrat à durée déterminée de 6 mois.

1.2. Zone d'étude

La zone d'observation, à l'est du Bassin Parisien entre la Meuse et la Haute Marne (figure1), présente les caractéristiques d'un milieu rural profond avec une densité démographique faible (de l'ordre de 15 hab. /km²). Elle est située dans une région caractérisée par une vaste zone de plateaux calcaires, dont l'altitude varie de 300 à 400 mètres. Elle est occupée majoritairement par de vastes espaces agricoles exploités de manière intensive pour des cultures ou des prairies (60%), qui alternent avec des massifs boisés de superficies variables et qui sont entaillés de vallées encaissées.



L'écosystème forestier couvre près de 35% du territoire et est dominé par des forêts mélangées de feuillus présentant différents modes de sylviculture.

1.3. Résultat attendu

a- la mise en place de la base de données images et la livraison des différents produits géoréférencés en Lambert 1 ;

b- une carte des types de peuplements basée sur la structure et la composition des peuplements. Le cas échéant d'autres caractéristiques des écosystèmes forestiers seront cartographiées (taux de couvert, humidité...) ;

c- Un premier rapport intermédiaire portant notamment sur la préparation et l'évaluation des données, l'analyse exploratoire et enfin la cartographie des types de peuplements.

2. Mise en forme de la base de données images

2.1. Données disponibles

Dans le cadre de l'accord entre l'ANDRA et IRSTEA, il été possible d'obtenir des images optiques, des données radar, et des données Lidar.

2.1.1. Images optiques

L'ANDRA a fournie huit images optiques, une image Spot5 et sept images Formosat-2, de résolution 2 m x 2m chacune. Ces données (*Tableau 1*) ont été acquises pendant l'automne (2011), l'hiver (2010), le printemps (2007, 2010, et 2011), et l'été (2009, et 2010). Chaque image est composée de plusieurs bandes (image multi-spectrale) et fournie avec un ou plusieurs niveaux de prétraitement, 1A (pas de correction géométrique), 2A (image géo-référencée), 3 (image Ortho-rectifiée).

Date	Capteur	Niveau	Projection	Bandes dans l'ordre
2 mai 2007	Spot-5	1A	None	PIR, V, B
29 juin 2009	Formosat-2	3 (ortho)	WGS84	R, V, B, PIR
5 mars 2010	Formosat-2	1A, 2 A, 3 (ortho)	WGS84	R, V, B, PIR (pas de PIR pour le niveau 3)
24 mai 2010	Formosat-2	1A, 2 A, 3 (ortho)	WGS84	R, V, B, PIR
2 mai 2011	Formosat-2	3 (ortho)	WGS84	R, V, B, PIR
11 octobre 2011	Formosat-2	3 (ortho)	WGS84	R, V, B, PIR
26 juillet 2012	Formosat-2	3 (ortho)	WGS84	R, V, B, PIR

Tableau 1: Liste des images optiques disponibles à l'ANDRA

2.1.2. Données Lidar

Les données Lidar sont issues des deux vols réalisés pendant l'hiver 2010 et l'été 2011 (acquisition 2011 réalisée dans le cadre du projet ANR FORESEE). Ces données ont été fournies sous format LASer (LAS) et XYZ et couvrent une bonne partie de la zone OPE (*figure 2*), ainsi que la zone archéologique qui se trouve au

Nord de la zone OPE. Le format LAS est un format d'échange standard des nuages de points 3D approuvé par l'ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) et contient sous format binaire une large gamme d'informations dérivées de l'analyse du signal lidar. Les fichiers XYZ sont générés à partir des données LAS et contiennent les informations suivantes : x, y, élévation, classification, identification des points Lidar, Date GPS, nombre de retours, le code de retour, l'intensité, et la direction du scan. Les coordonnées planimétriques (x,y) sont référencées dans le système de projection Lambert zone 1, basé sur le système géodésique (datum) NTF (Nouvelle Triangulation Française). L'ensemble des données Lidar dérivées des données LAS sont contenus dans 2028 fichiers de format XYZ dont 1014 fichiers décrivent le MNT (modèle numérique du terrain) et 1014 décrivent le MNS (modèle numérique de surface). Chaque fichier correspond à une dalle selon un découpage régulier de la zone sur laquelle des données Lidar ont été acquises.

2.1.3. Données Radar

Les données radar sont composées d'une image de rétrodiffusion radar (Format tif) et des 80 fichiers (format XYZ) qui décrivent le MNT et le MNS dérivés de l'analyse des données radar. Chaque fichier XYZ est constitués de trois colonnes, X, Y et élévation. Les données radar ont été acquise avec le même système de projection que les données Lidar, et englobe la zone OPE (*figure 2*).

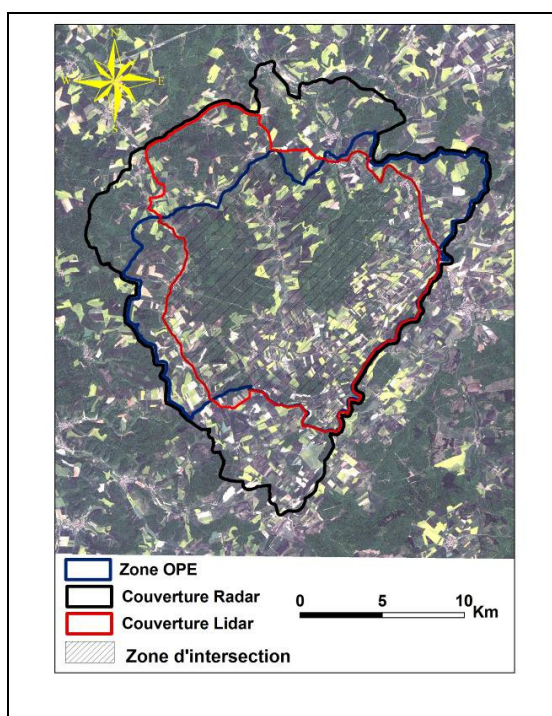


Figure 2 : Couverture des données radar, optiques, et Lidar

2.2. Prétraitement des données

Plusieurs prétraitements ont été appliqués sur l'ensemble des données optiques, Lidar, et radar. L'objectif de cette étape est de vérifier la qualité radiométrique et géométrique des images optiques et radar. Des modèles numériques de terrain, de surface, et de canopée ont en outre été créés à partir des données Lidar et radar.

2.2.1. Vérification de la qualité radiométrique.

Les images optiques ont subi une calibration radiométrique. Cependant, la présence des nuages dans certaines images rend l'image inutilisable pour réaliser des traitements. Les images acquises les mois de juin 2009 et mai 2010 ont une forte et faible présence de nuages, respectivement. Nous avons exclu l'image de juin 2009 car la couverture nuageuse et l'ombre couvre la totalité de la forêt. Cependant, l'image de mai 2010 a été utilisée dans les analyses de la zone forestière car les nuages ne perturbent pas trop les radiométries au niveau de la forêt (figure 3).

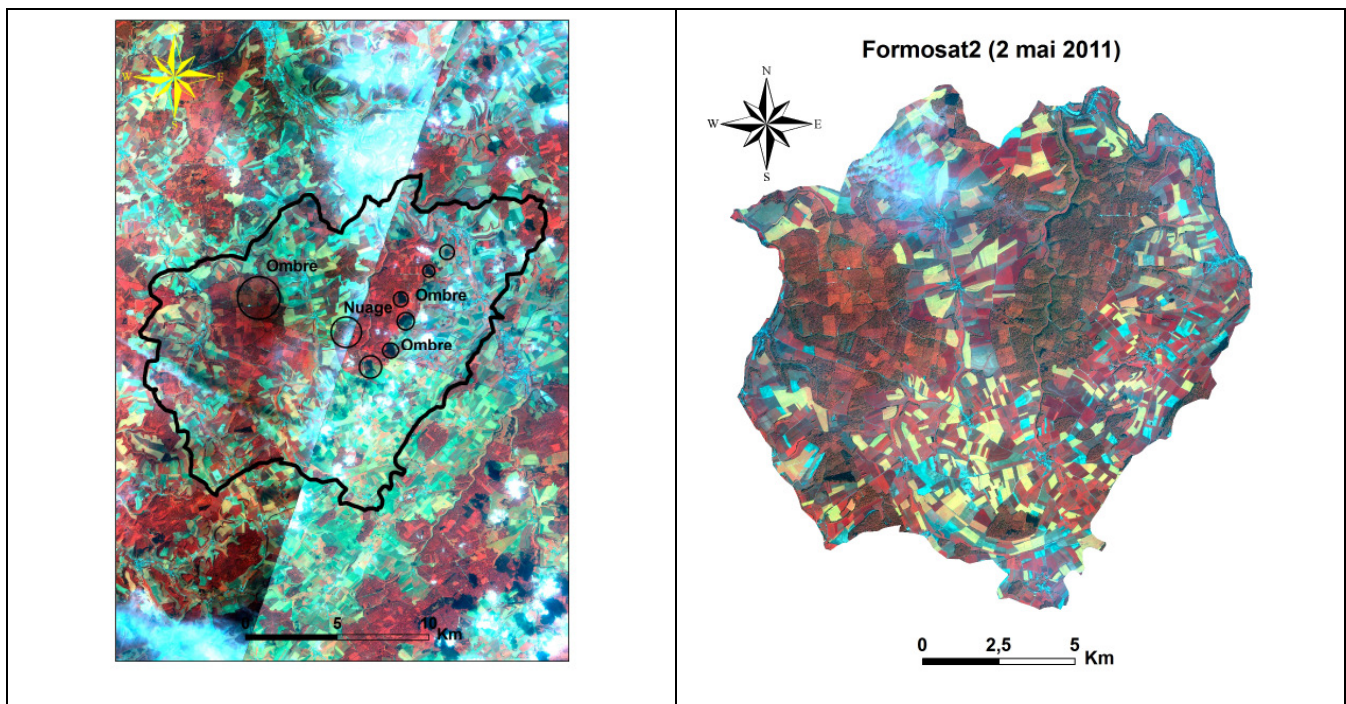


Figure 3: Couverture nuageuse (a) Juin 2009, et (b) mai 2011

2.3. Corrections géométriques des données optiques et radar

L'objectif était de : (1) vérifier la qualité de l'ortho-rectification des images, (2) réaliser l'ortho-rectification des images qui n'étaient pas géo-référencées. Pour vérifier l'ortho-rectification des images, nous les avons superposées avec une image ortho-

rectifiée (BD Ortho) produite par l'IGN avec une résolution 0.5 m X 0.5 m. La comparaison par rapport à l'image BD Ortho montre que l'image radar et les images optiques, à l'exception de l'image Spot-5, sont bien ortho-rectifiées et projetées en Lambert zone 1 et WGS 84, respectivement. Finalement, nous avons réalisé l'ortho-rectification de l'image spot-5, et les quatre scènes Formosat-2 acquises le 5 mars 2011 car l'image ortho-rectifiée à cette date n'était formée que de 3 bandes spectrales (R, V, B) et il manquait la bande PIR. L'ortho-rectification a été réalisée avec le logiciel ERDAS en utilisant une image de référence planimétrique (images BD Ortho) et altimétrique (MNT). Le MNT a été créé en fusionnant le MNT de l'IGN (BD ALTI) et le MNT générée à partir des données Lidar de résolution 25 m x 25 m et 0,5 m x 0,5 m, respectivement. Les résultats de l'ortho-rectification présentent une erreur quadratique moyenne de 1.7 m et 2.7 m pour l'image Spot5 et Formosat-2, respectivement. Cette erreur est considérée acceptable car proche de la résolution de l'image optique sur laquelle on réalise la géo-référencement. En superposant l'image Spot avec l'image de référence ont trouve que cette images a été bien ortho-rectifiée. Cependant l'image Formosat-2 présente des faibles décalages qui s'accroissent sur les zones de relief. Les décalages sont cependant sensiblement les mêmes que ceux observés sur l'image fournie par le prestataire. L'origine de ce problème n'a pu être identifiée. L'hypothèse d'un effet combiné d'un angle de visée fort du satellite et d'une résolution insuffisante du MNT (25 m x 25 m), résolution faible par rapport à la résolution de l'image optique, a été émise. Plusieurs essais d'orthorectification ont été réalisés en combinant le MNT IGN avec le MNT Lidar, en augmentant le nombre de points d'amer... sans amélioration notable du résultat. Finalement, l'image Formosat-2 a été exclue des analyses.

2.4. Fusion des images panchromatiques et multispectrales (P-XS)

La fusion des images panchromatiques et multi-spectrales consiste à obtenir une image multi-spectrale ayant la résolution de l'image panchromatique. La fusion a été réalisée par les fournisseurs des images sauf pour les images qui datent d'octobre 2011 et juillet 2012. Pour ces deux images, plusieurs méthodes de fusion P-XS ont été testées (huit méthodes). La méthode soustractive (subtractive resolution merge) développée sous ERDAS s'est révélée la plus satisfaisante en matière de conservation de l'information spectrale.

2.5. Réalisation de MNT, MNS, MNC à partir des données Lidar

Pour vérifier les contenus des fichiers Lidar de format XYZ les données LAS ont été explorées en utilisant le module LAS Tools disponible sous ArcGIS version 10.1. Cet outil nous permet de manipuler les données LAS et de retrouver la hauteur du premier et dernier retour du signal Lidar. Vu les gros nombres de fichiers LAS, environ 2028 fichiers, il a été difficile d'explorer ces fichiers individuellement. Nous avons donc développé un outil en Python pour automatiser le processus de LAS Tools sous ArcGIS. Le but de cet outil est de : (a) enregistrer les coordonnées (X,Y,Z) des fichiers LAS dans des fichiers en format XYZ (texte), (b) vérifier les fichiers XYZ existants, et (c) créer un MNT, MNS, et MNC en format raster avec une résolution de 0.5 m x 0.5 m . Les contenus des fichiers XYZ existants ont pu ainsi être vérifiés, et des MNT, MNS, et MNC en format raster sous la projection Lambert zone 1 ont été créés.

2.6. Données radar

Les fichiers radar de format XYZ ont été transformés en format raster (IMG, format d'ERDAS Imagine) pour obtenir des images de MNT, MNS, et MNC référencées en Lambert zone 1. Ces images ont une résolution spatiale de 5 m x 5 m.

2.7. Re-projection

Toutes les données optiques ont été re-projetées en Lambert zone 1. Cette opération a été effectuée utilisant le logiciel ArcGis 10.1.

3. Cartographie forestière par segmentation et classification orientée objet

La classification orientée objet a été réalisée avec le logiciel eCognition Developer de Definiens. L'approche par la méthode dite expertisée utilisant les fonctions d'appartenance a été adoptée pour cartographier la forêt. Une première étape consiste à créer des segments à partir d'une ou plusieurs sources d'information suivant un niveau de segmentation défini (taille moyenne des segments) et en ayant la possibilité de mettre un poids plus ou moins important sur la forme ou sur les informations enregistrées au niveau des pixels des différentes images (radiométrie, élévation, classe...). Ensuite, des seuillages calculés sur chaque segment seront appliqués pour classifier la forêt ou des

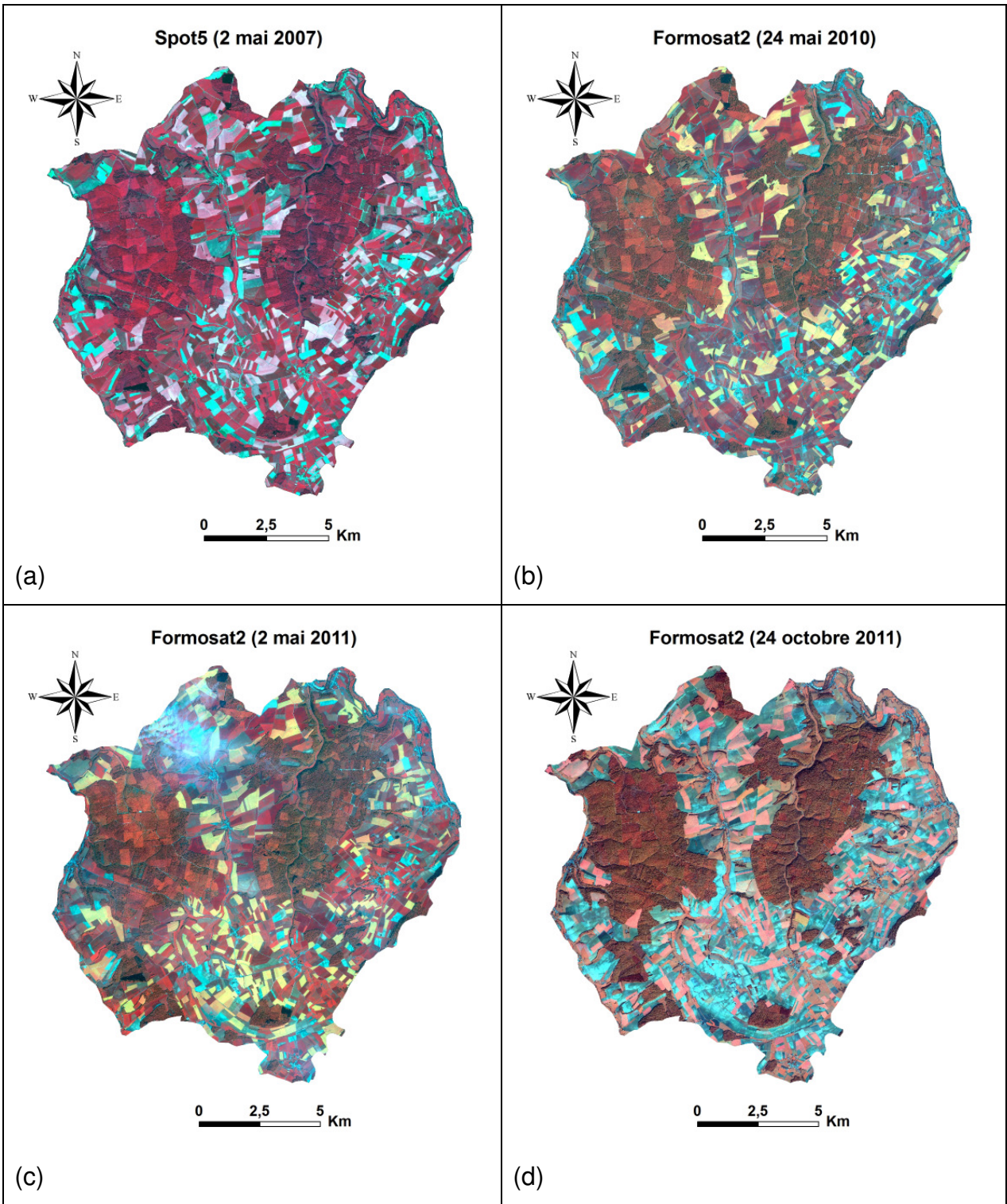
types de peuplements. Un projet eCognition a été créé en combinant les données suivantes:

- 1- Les images optiques multi spectrales
- 2- L'image MNC (résolution 0.5 m x 0.5 m)
- 3- L'image MNC lissée avec un filtre morphologique alternant une phase de dilatation (filtre maxima local) suivie d'une phase d'érosion (filtre minima local) sur une fenêtre de 24 pixels x 24 pixels
- 4- L'image de rétrodiffusion radar (résolution 1 m x 1m)
- 5- Les images des indicateurs de textures dérivés des matrices de cooccurrences et calculées sur les images radar, et panchromatiques (Octobre 2011 et Juillet 2012).

En utilisant ces données, trois niveaux de segmentation ont été réalisés dans le but de cartographier les grands types de peuplements.

3.1. Premier niveau de segmentation et de classification (Niveau 0)

Le but de ce niveau est de délimiter les massifs forestiers en utilisant seulement l'image acquise en juillet 2012. Nous avons choisie cette image car ses caractéristiques radiométriques permettent de discriminer facilement les différents types d'occupation du sol. En effet, l'affichage de l'image juillet 2012 (*figure 4, e*) en mode fausse couleur (PIR, R, V) montre un bon contraste radiométrique entre la forêt et les autres types d'occupation du sol. Pour les autres images (*figure a, b, c, et d*) les parcelles agricoles possèdent, comme une partie de la forêt, une réponse radiométriques importante dans le PIR, rendant la discrimination forêt/non forêt plus difficile sur ces images.



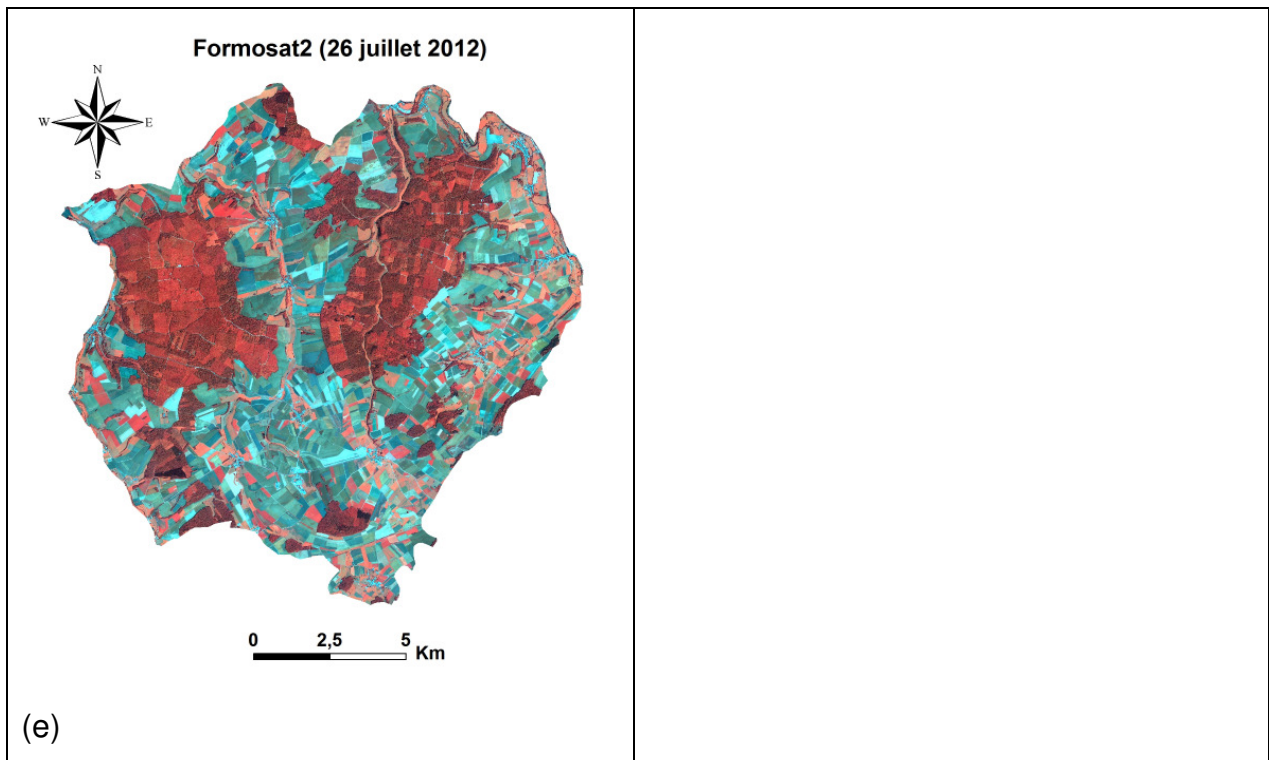


Figure 4: images optiques affichées en compositions colorées fausses couleurs

Les segments de niveaux 0 ont été créés en combinant les quatre canaux de l'image optique avec des poids égaux, et une échelle radiométrique égale à 100. En outre, nous avons attribué un poids de 0.7 pour la radiométrie et 0.3 pour la forme. Le résultat de la segmentation montre que des petits bouts de parcelles agricoles sont parfois intégrés dans des segments à dominante forestière. Ce problème de segmentation est toujours présent même en modifiant les paramètres d'échelle et les poids. En effet, les parcelles agricoles possèdent parfois des réponses radiométriques importantes dans le PIR. De plus, les trouées en forêt et les ombres projetées des arbres apportent une forte hétérogénéité radiométrique et de texture au sein de la classe forêt (*figure 5*).

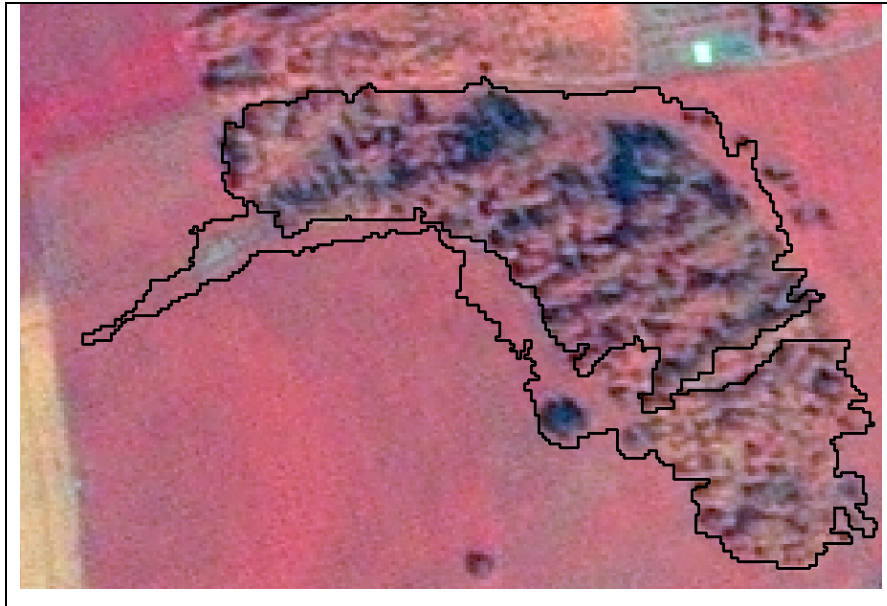


Figure 5 : Erreur de segmentation due à la radiométrie des parcelles agricoles

La classification de niveaux 0 (Foret_0, Autre_0) a été réalisée en appliquant des seuillages sur les critères radiométriques, et de texture. Les valeurs radiométriques (PIR, Bleu) ont permis de discriminer la forêt d'une partie des parcelles agricoles qui avaient des réponses radiométriques importantes et faibles dans le PIR et le Bleu, respectivement. Les indicateurs de texture ont permis d'éliminer les parcelles agricoles assimilées à de la forêt sur la base des seuls critères radiométriques. La figure 6 montre les limites des zones forestières sur la zone d'étude.

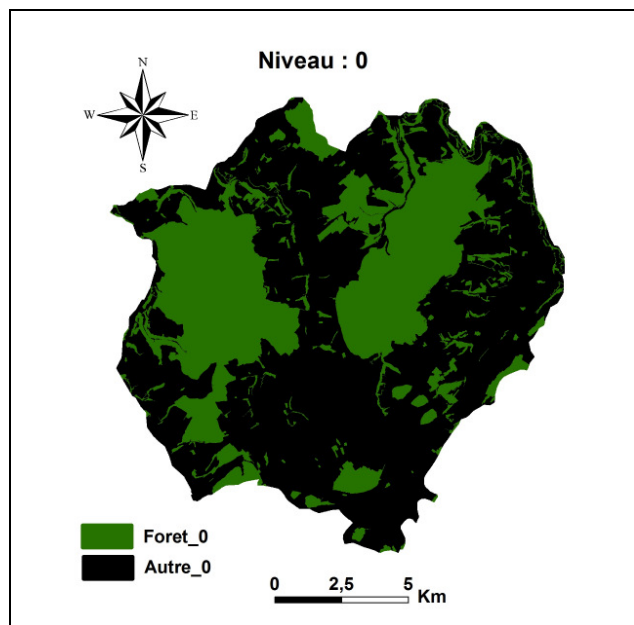


Figure 6: Carte de Niveau 0 Forêt/Non forêt

3.2. Deuxième niveau de segmentation et de classification (Niveau 1)

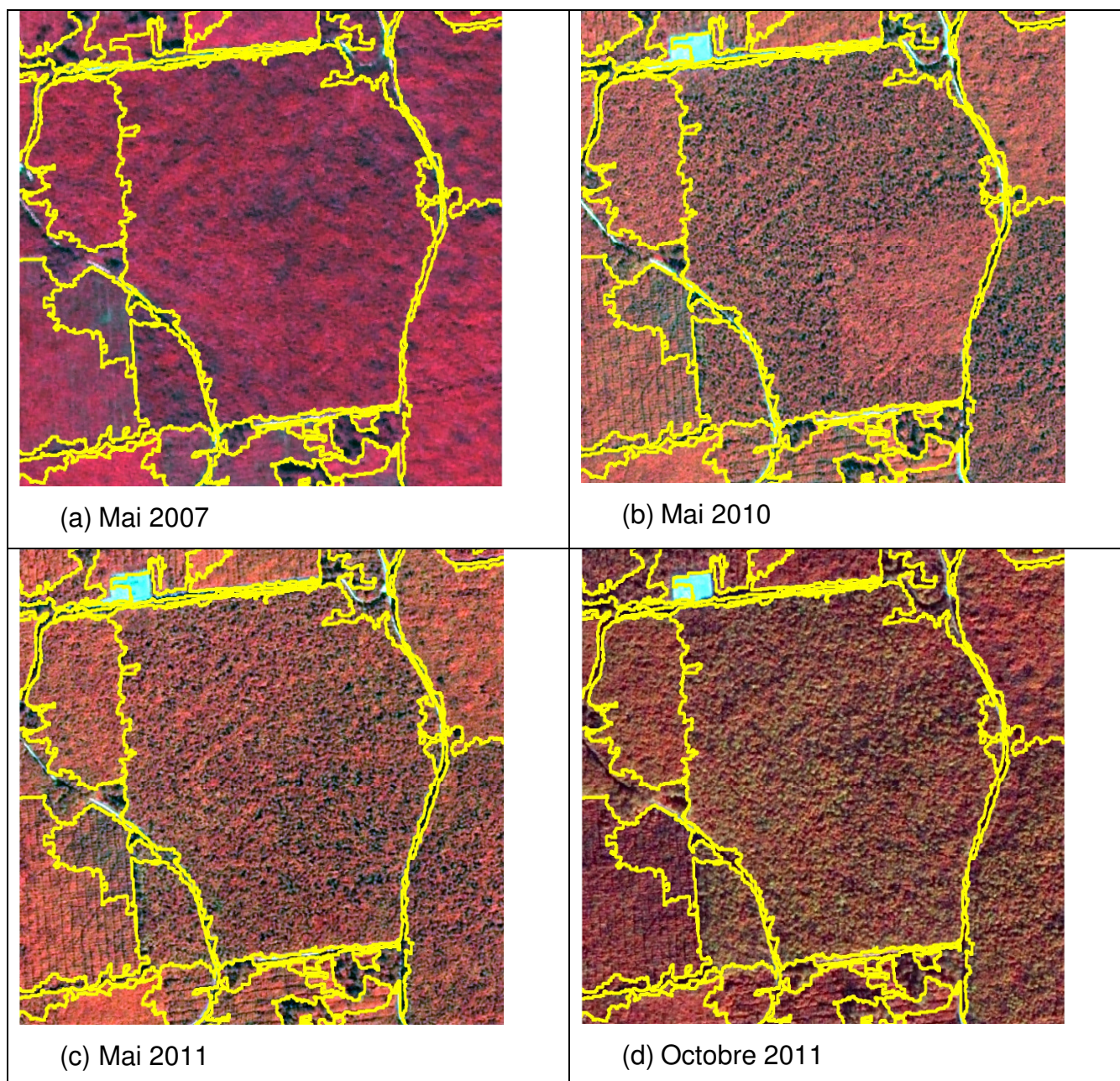
A l'aide de l'option « class related feature » il est possible de récupérer une classe de niveau donné pour lui appliquer de nouveaux traitements. Cette opération a été réalisée sur la classe Forêt_0 sur laquelle un niveau de segmentation plus fin a été appliqué pour délimiter les peuplements. Un peuplement est identifié sur l'image par une homogénéité radiométrique et texturale sur une surface de forme généralement régulière correspondant à une parcelle forestière. Pour créer le niveau 1 nous avons segmenté à l'intérieur de la classe Forêt_0 en utilisant les canaux PIR des cinq dates disponibles, l'image de texture radar (cinq bandes), et l'image radar lissée en appliquant des poids différents à chaque image (*Tableau 2*) et une échelle égale à 100. Un poids important a été attribué à l'image de mai 2010 car elle présente un découpage parcellaire important par rapport aux autres images. Pour ce niveau nous avons retenu un poids faible pour l'indice de forme (Poids = 0.1).

Couche	Poids
PIR 2 mai 2007	5
PIR 24 mai 2010	6
PIR 2 mai 2011	5
PIR 11 octobre 2011	5
PIR 26 juillet 2012	5
Texture radar Mean	0.2
Texture radar Variance	0.2
Texture radar Homogeneity	0.2
Texture radar Contrast	0.2
Texture radar Dissimilarity	0.2
Image MNC lidar lissé	0.125

Tableau 2 : Poids attribués à chaque couche

Le résultat de la segmentation a permis de délimiter par des segments différents un grand nombre de parcelles contenant un peuplement homogène (*figure 8*). Par contre, certains peuplements d'homogénéités radiométriques différentes ont été englobés par un seul segment (*figure 7, b*) car certains

découpages parcellaires sont apparents uniquement dans une des images de la série temporelle. La figure 7 montre que dans l'image de mai 2010 on peut distinguer une limite qui n'apparaît pas sur les autres images.



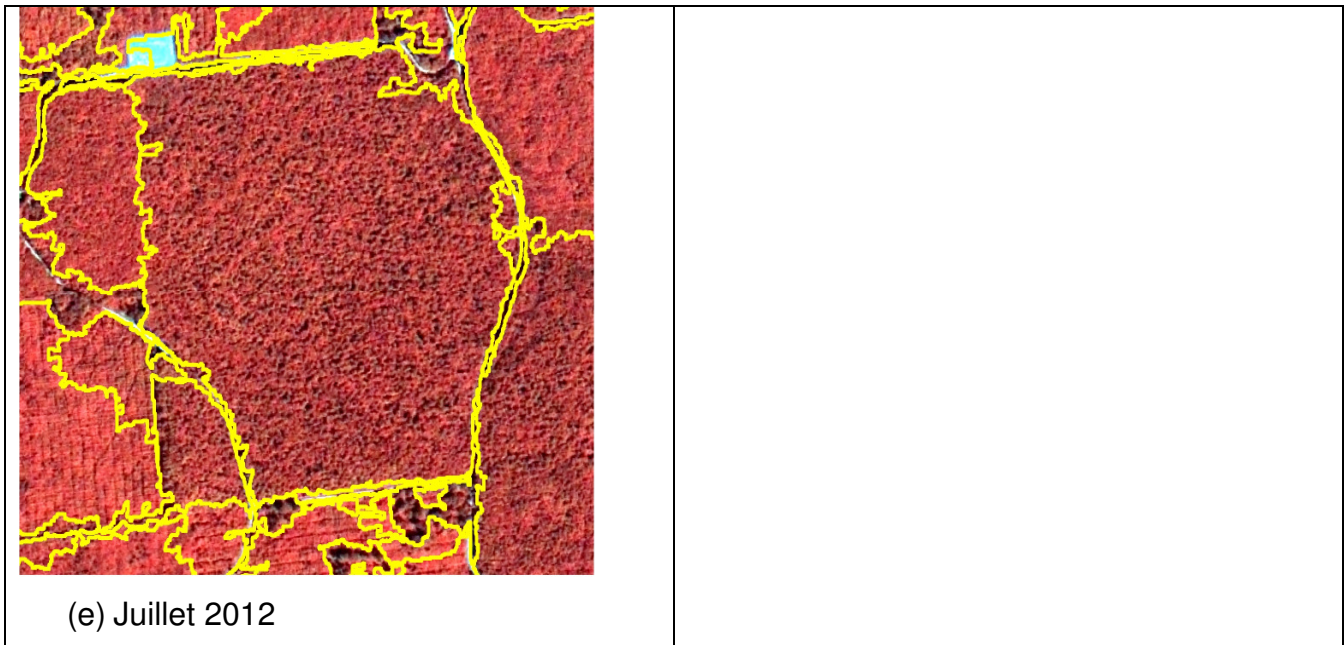


Figure 7: Erreur sur la segmentation niveau-1

Une analyse en composantes principales à été réalisée pour identifier les variables susceptibles d'aider à bien discriminer les différents types de peuplements présents sur la zone d'étude. Pour ce faire, une base de données formée de 215 individus (parcelles ou extraits de parcelles sélectionnés dans l'image) a été créée. Les différents groupes d'individus représentent des peuplements qui semblent radiométriquement homogènes. Les individus sont caractérisés par plusieurs variables (a) la moyenne et l'écart type des indices des textures calculées sur l'image radar (Mean, Variance, Homogeneity, Contrast, Dissimilarity, Entropy, Second Moment, Correlation) (b) la moyenne et l'écart type des valeurs radiométriques des bandes PIR. Le résultat de l'ACP montre qu'avec ces variables on arrive à expliquer 76.10 % de la variabilité des peuplements. Pour identifier les différents groupes d'espèces par l'ACP, nous avons représenté sur un graphique les individus en fonction des deux premiers axes importants. La figure 8 montre que l'ensemble des individus en couleur rouge sont bien discriminés des autres individus. Ces points ont été identifiés à partir de la mission terrain, il s'agit de peuplements résineux.

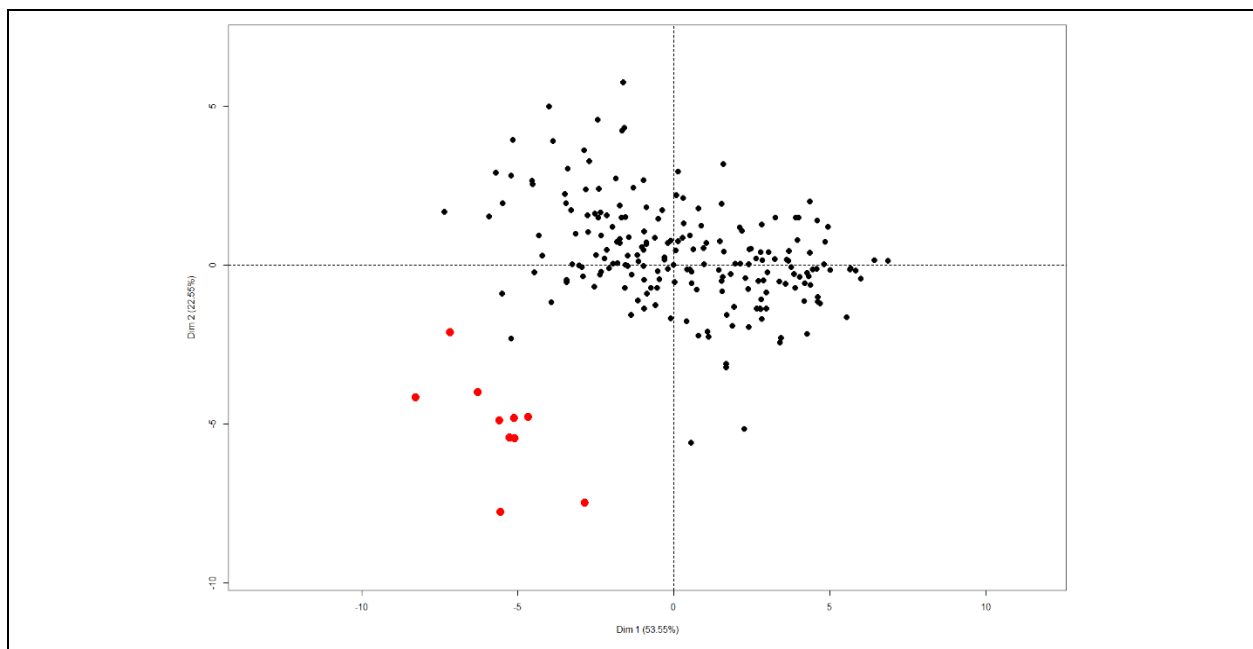


Figure 8: Analyse en Composantes Principales- Parcelles analysées représentées selon les deux premières composantes principales.

Le ACP montre que la classification feuillus résineux peut se réaliser en appliquant des seuils sur les variables (a) écart type calculé sur l'image de texture radar, et (b) moyenne radiométrique calculée à partir de la couche PIR de l'image de mai 2010. Aucune discrimination entre les différents mélanges de feuillus ne s'est révélée possible malgré l'information multi-temporelle.

Pour attribuer une hauteur dominante à chaque peuplement nous avons classé le MNC lidar en quatre classes de hauteurs (*Tableau 3*). Ensuite, nous avons calculé la classe majoritaire et sa fréquence pour chaque segment. La figure 9 montre la segmentation niveau 1, la classification niveau 1, et la classe de hauteur dominant dans chaque segment. La hauteur ainsi attribuée à chaque parcelle donne une idée du stade de développement.

Hauteur (m)	Identifiant de classe	Non de la Classe
0 – 1	0	Hauteur < 1m
1 – 3	1	Jeune < 3 m
3 – 12	2	Jeune
12-20	3	Adulte
> 20	4	Agé

Tableau 3 : Classification réalisée sur le MNC Lidar lissé

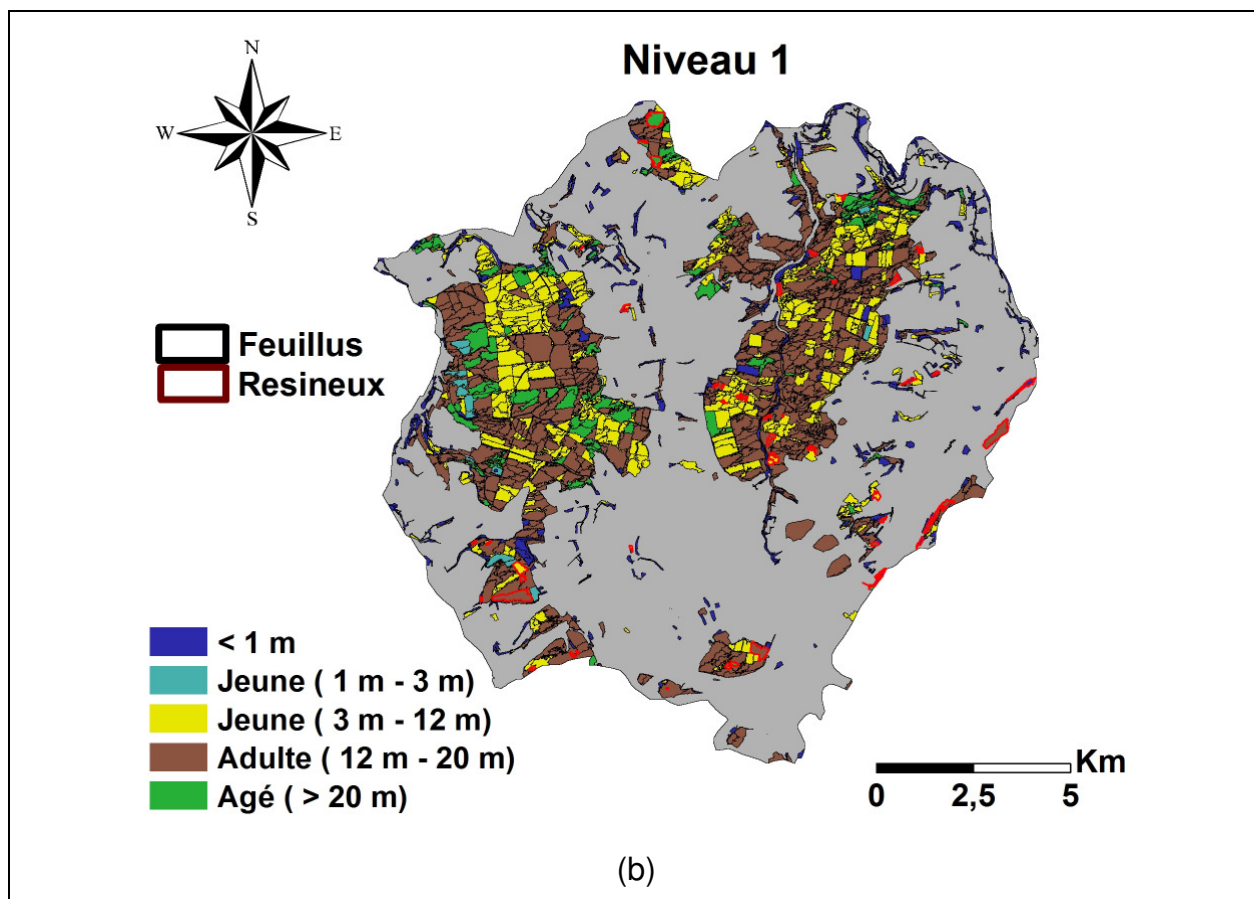


Figure 9 : segmentation et classification niveau 1

3.3. Troisième niveau de segmentation et de classification (Niveau 2)

Le but de ce niveau est de segmenter au niveau de l'arbre ou du groupe d'arbre pour visualiser et localiser les classes de hauteurs dans chaque parcelle forestière du niveau 1. La segmentation (par classe de hauteur) a été réalisée sur l'image de MNC classée en quatre groupes de hauteurs par vectorisation de l'image raster sous ArcGIS. Ensuite, nous avons réalisé l'intersection spatiale entre les niveaux 1 et cette dernière segmentation pour obtenir le niveau 2. La figure 10 montre deux peuplements, l'un feuillus et l'autre résineux, dans lesquels on observe la distribution spatiale des classes des hauteurs.

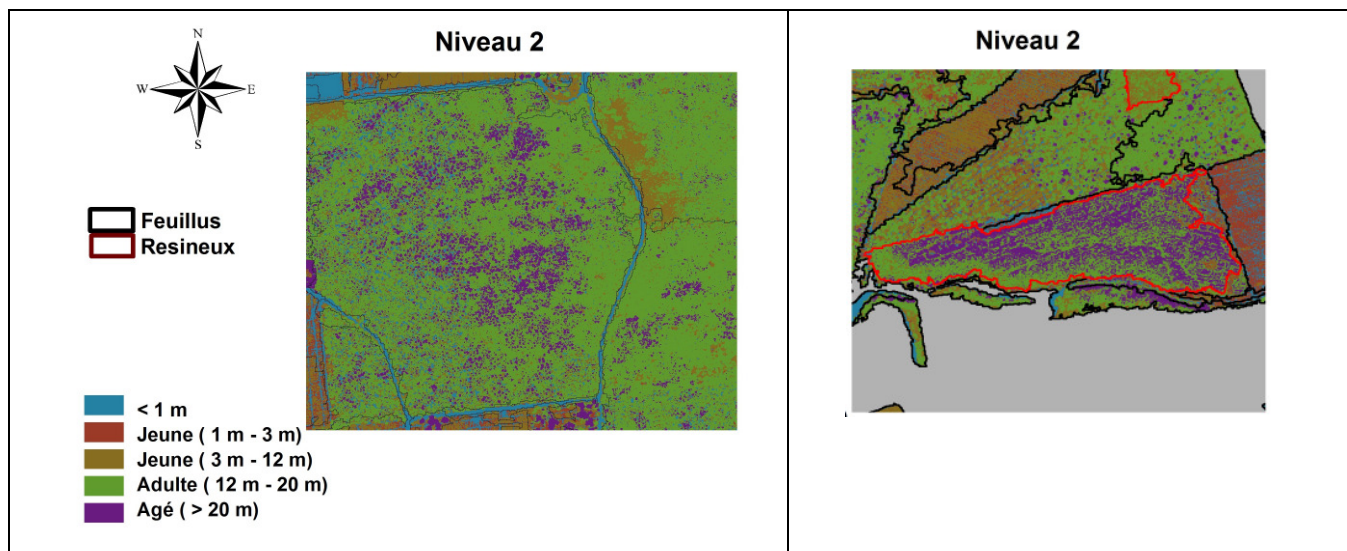


Figure 10: Segmentation et classification de niveau 2 : représentation de l'hétérogénéité des hauteurs au sein d'une parcelle forestière.

4. Conclusion

La mise en place de la base de données images a nécessité beaucoup plus de travail que prévu initialement en raison de l'hétérogénéité des données disponibles (niveau de traitement et qualité des produits). Une série d'images de télédétection est aujourd'hui disponible sur la zone d'étude dans le système de projection Lambert 1 et peut-être mobilisée pour d'autres études. En raison du temps passé pour la mise en forme des données, la cartographie des peuplements par segmentation et classification orientée objet s'est limitée à une cartographie basée sur les grands groupes d'espèces combinés à un critère de stade de développement. Celui-ci est basé sur la classe de hauteur la plus représentée dans chaque parcelle. L'identification de groupes d'essences plus précis que mélange de feuillus et résineux ne s'est pas révélée possible malgré l'information temporelle contenue dans la série d'images disponible (images à différentes périodes de l'année). En revanche l'attribution de critères de structure plus précis est tout à fait envisageable par une analyse plus fine des données Lidar au sein de chaque peuplement délimité. Les objectifs de départ ont donc été atteints et d'autres cartes, précisant la structure des peuplements, pourront être produites dans le futur.

Les cartes disponibles à l'issue de ce travail sont :

- Niveau 0 : forêt / non forêt
- Niveau 1 : types de peuplements selon des classes combinant un information de composition selon les grands groupes d'essences (feuillus ou résineux) et une information sur le stade de développement (peuplements très jeunes, jeunes, adultes et âgés)

- Niveau 2 : représentation de l'hétérogénéité des classes de hauteurs par parcelle

Les algorithmes de segmentation et de classification orientée objet ont permis de mettre en évidence les grands types de peuplements forestiers sur le site d'étude OPE, avec une précision relativement satisfaisante. Pour améliorer la segmentation et supprimer les erreurs de classification causées par l'effet de l'ombre en bordure et au sein des massifs forestiers une rectification manuelle s'avère nécessaire. Elle n'a pu être totalement finalisée dans le cadre de cette étude mais les principales erreurs ont été rectifiées. Il est à noter que les deux premiers niveaux de cartographie produits ont nécessité un très grand nombre d'essais pour obtenir les meilleurs critères de segmentation et de classification. Sur une zone de cette dimension la délimitation par photo-interprétation assistée par ordinateur du parcellaire forestier aurait pu être envisagée comme une alternative guère plus coûteuse en temps et avec un niveau de qualité identique voire légèrement meilleurs. Cependant l'approche orientée objet présente l'avantage de pouvoir être réutilisée sur d'autres zones plus étendues moyennant quelques adaptations. Ainsi si la méthode développée ne peut être reproduite à l'identique sur une autre zone, les choix faits dans cette étude, incluant le choix des images et des indicateurs de textures utiles à la segmentation, les valeurs utilisées pour les paramètres de segmentation (poids des différents critères de forme et pondération des différents plans image), et les paramètres et seuils utilisés pour les classification, pourront servir de guide pour faciliter la reproduction de la démarche sur d'autres sites.