



HAL
open science

Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues

M. Vennetier, P. Mériaux, F. Busset, H. Félix, S. Lacombe

► **To cite this version:**

M. Vennetier, P. Mériaux, F. Busset, H. Félix, S. Lacombe. Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 2010, 191, p. 36 - p. 41. hal-00522074

HAL Id: hal-00522074

<https://hal.science/hal-00522074v1>

Submitted on 29 Sep 2010

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.

Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues

Vennetier Michel⁽¹⁻³⁾, Mériaux Patrice⁽²⁻³⁾, Busset Florian⁽²⁾, Félix Huguette⁽²⁾, Sylvain Lacombe⁽⁴⁾

(1) Cemagref, Aix en Provence, Unité de Recherche Ecosystèmes Méditerranéens et Risques

(2) Cemagref, Aix en Provence, Unité de Recherche Ouvrages Hydrauliques et Hydrologie

(3) ECCOREV, FR 3098, Aix-Marseille Université, BP 80 F-13545 Aix en Provence cedex

(4) Fugro GEOID SAS, Montpellier technopole, Parc d'activités Clément Ader, 12 rue des Frères Lumière F 34830 Jacou

Auteurs correspondants: michel.vennetier@cemagref.fr, patrice.mériaux@cemagref.fr

Cemagref, 3275 route de Cézanne, CS 40061, 13182 Aix en Provence Cedex 5

Tél : (33) 04.42.66.99.22 - FAX : (33) 04.42.66.99.23

Résumé

Dans cette étude, nous avons cherché à poser les bases de la reconnaissance automatique de différents types de végétation poussant sur les digues, à l'aide de données LIDAR aéroporté haute définition. Nous avons utilisé des données acquises par le système hélicoptère FLIMAP© 400 de la société FUGRO (120 points/m²). Sur des sites représentatifs de chaque type de végétation, nous avons scindé le nuage de points en 7 classes de hauteur, correspondant aux strates végétales. Puis nous avons extrait les densités de points de ce nuage par strate sur des carrés de taille variable (1 à 25 m²). L'analyse de nombreux paramètres statistiques de ces densités de points a servi d'une part à optimiser la taille du carré de base (9 m²), et d'autre part à définir une surface minimale permettant de caractériser les différents types de végétation de façon fiable. A l'aide d'une combinaison des paramètres les plus pertinents, nous montrons qu'une analyse en composantes principales sépare clairement les différents types de végétation. Ce résultat encourageant, qui doit être maintenant confirmé sur de plus grandes surfaces, ouvre la voie à une cartographie automatique de la végétation.

Mots clefs: LIDAR aéroporté; types de végétation; ripisylve; digue; FLIMAP; nuage de points

Abstract

In this study, we tried to lay the foundations of the automatic recognition of various vegetation types growing on dikes, by means of airborne high definition LIDAR data. We used a FLIMAP© 400 helicopter flight (120 points/m²). On selected sites, representative of each vegetation type, we split the cloud of points into 7 elevation classes, corresponding to vegetation strata. Then we extracted the densities of points of this cloud by stratum on squares of variable size (1 to 25 m²). The analysis of many statistical parameters of point densities served on one hand for optimizing the size of the basic square (9 m²), and on the other hand for defining a minimal surface allowing to reliably characterize the various vegetation types. By means of a combination of the most relevant parameters, we showed that a Principal Component Analysis separates clearly the various vegetation types. This encouraging result, which must be now confirmed on larger areas, opens up the way to vegetation automatic recognition and mapping.

Key words: Airborne LIDAR; vegetation typology; Riparian forest; levee; FLIMAP; Point cloud

1 - Contexte

La gestion et le contrôle de la végétation poussant sur les digues en remblai de protection contre les crues ou d'aménagement hydroélectrique est un point clef de la sécurité de ces ouvrages [Mériaux et al., 2006] : d'une part, les parties souterraines des arbres (racines et souches) favorisent, lors de leur pourrissement, les risques d'infiltrations et d'érosion interne dans le corps de digue [Zanetti et al., 2008]; d'autre part, une végétation non maîtrisée complique les indispensables opérations de surveillance et d'entretien des ouvrages [Mériaux et Royet, 2007]. Faute d'un entretien suffisant au cours des dernières décennies, de nombreuses digues, en France comme ailleurs en Europe, se sont naturellement couvertes d'une végétation dense et parfois de véritables peuplements forestiers, le plus souvent hétérogènes. Caractériser et cartographier cette végétation est un préalable indispensable à la définition de plans d'éradication ou de gestion des peuplements. Mais sur de grands linéaires, le repérage et la cartographie manuels sont des opérations longues qui peuvent donner lieu à des erreurs de

positionnement et à des interprétations subjectives de la part des intervenants.

De nombreux travaux antérieurs ont mis au point des méthodes de reconnaissance des structures et hauteurs de végétation par LIDAR aéroporté [cf. synthèse dans Durieux, 2007]. Par exemple Antonarakis et al. [2008] différencient des peuplements de ripisylve plantés ou naturels et différents types d'occupation du sol à partir des profils de densité de nuages de points LIDAR. Mutlu et al. [2008] améliorent la qualité et la précision spatiale de modèles de structure de végétation combustible en couplant les données LIDAR avec des images satellitales. De nombreux auteurs ont par ailleurs mis au point des modèles de canopée permettant de reconstituer, compter et mesurer les houppiers et la hauteur des arbres par différentes méthodes de segmentation et d'analyse géométrique du modèle numérique d'altitude [Mosdorf et al., 2004; Sexton et al., 2009]. Mais pour les applications forestières, tous les auteurs utilisent des basses densités de points car les méthodes testées doivent être opérationnelles sur de vastes surfaces. Or Lovell et al., [2005] ont montré que la densité de points, traduite par la distance moyenne en 3D entre 2 points,

était primordiale pour la précision des estimations des paramètres du peuplement (hauteur, volume sur pied, structure). Ces évaluations ne peuvent être pertinentes dans le contexte des digues: la hauteur et la largeur de celles-ci sont du même ordre de grandeur que l'incertitude sur les résultats habituels, celle-ci variant de 2 à 5 m pour la hauteur des arbres et de 3 à 20 m pour leur position horizontale, suivant la densité de points et le type de peuplement forestier. D'autre part, la précision des modèles existants, que ce soit pour la cartographie des arbres individuels, la mesure des hauteurs ou la détection des structures, est toujours plus performante en peuplements réguliers et monospécifiques et sur les terrains peu pentus [Durioux 2007]. Or la végétation des digues, boisées spontanément, est quasiment toujours irrégulière, mélangée et multistrates, et les digues et berges ont souvent de fortes pentes.

2 - Objectifs de l'étude

A l'occasion d'une campagne expérimentale de télédétection LIDAR (procédé FLIMAP© de FUGRO) mise en œuvre sur 50 km de digues de la Durance et du Rhône, nous avons procédé à une analyse de la végétation se développant sur un certain nombre de tronçons représentatifs de ces digues. L'objectif général de la mission était de tester la fiabilité et la précision d'un Modèle Numérique d'Altitude pour la gestion des ouvrages hydrauliques, la reconnaissance des désordres (glissements, affaissements, érosion, ouvrages traversants, etc.) y compris sous la végétation qui pouvait être dense. Dans ce cadre, nous avons testé la pertinence des données LIDAR haute définition (120 points/m²) pour reconnaître, caractériser et potentiellement cartographier des types de végétation.

Ces types ont été définis au cours d'études précédentes (Venetier et al., 2001), utilisant des méthodes classiques de reconnaissance terrestre et de cartographie manuelle. Chacun des types correspond à un niveau de risque avéré ou futur pour la digue et donc à des modalités différentes de traitement curatif ou de gestion de la végétation.

3 - Matériel et méthode

Le survol FLIMAP 400 a eu lieu les 5 et 6 mars 2006 avec différentes consignes de vol afin d'évaluer les variations de qualité des données de topographie laser et d'imagerie en fonction notamment de l'altitude de l'hélicoptère. Avec cette technologie permettant de capter jusqu'à 4 retours par impulsion, une fréquence d'impulsions de 150 kHz et un survol à 100 m au-dessus du sol permettent d'obtenir une densité moyenne de 120 points laser /m² sur une largeur de corridor de 100 m. La couverture photo et vidéo haute résolution (16 Mégapixels) concerne une bande légèrement plus étroite. La période hivernale correspond à l'absence de feuilles sur la majorité des végétaux ligneux, ce qui garantit une bonne pénétration du laser jusqu'au sol, indispensable pour l'objectif principal de la mission. Par contre, la végétation est beaucoup plus transparente qu'en été, seule les branches et les troncs participant à l'interception du signal. Dans ces conditions, une des premières interrogations concernait la possibilité de réellement caractériser la végétation.

Dans une première phase d'analyse, essentiellement qualitative, nous avons travaillé sur des « profils en travers bruts laser » (figure 1), générés à l'aide du logiciel FLIP7, et dont nous avons croisé l'examen avec celui des photographies aériennes haute résolution [Clément et al. 2007]. Durant l'été 2008, dans une seconde phase à vocation quantitative et statistique, nous avons repéré sur le terrain au GPS de précision (+/- 1m en xy) des sites représentatifs de chaque type de végétation et extrait des données LIDAR les nuages de points correspondants. Ces nuages de points ont été découpés en 7 couches de hauteur (figure 2a) par rapport au sol, correspondant aux différents types et âges des végétaux caractéristiques, de la strate herbacée jusqu'à celle d'arbres d'une hauteur pouvant dépasser 20 m. La couche de sol et d'herbacées basses, correspondant aux 50 premiers centimètres de hauteur, a été éliminée. Comme la précision de la position verticale des points est d'ordre centimétrique, et la taille des irrégularités du sol réellement décelables de l'ordre de 10 cm même à travers le feuillage [Clément et al. 2007], l'erreur éventuelle sur cette couche est négligeable dans le cadre de ce travail.

Chaque zone a ensuite été découpée en carrés de taille variable suivant une maille systématique (figure 2b). Enfin, nous avons extrait les nombres de points par volume unitaire, correspondant à une tranche de hauteur donnée dans chaque carré de la maille (figure 2c). Nous avons ensuite cherché à optimiser le traitement de ces données en faisant varier :

- la taille du carré de base, de 1x1 m à 5x5 m,
- et le nombre de carrés analysés (figure 3).

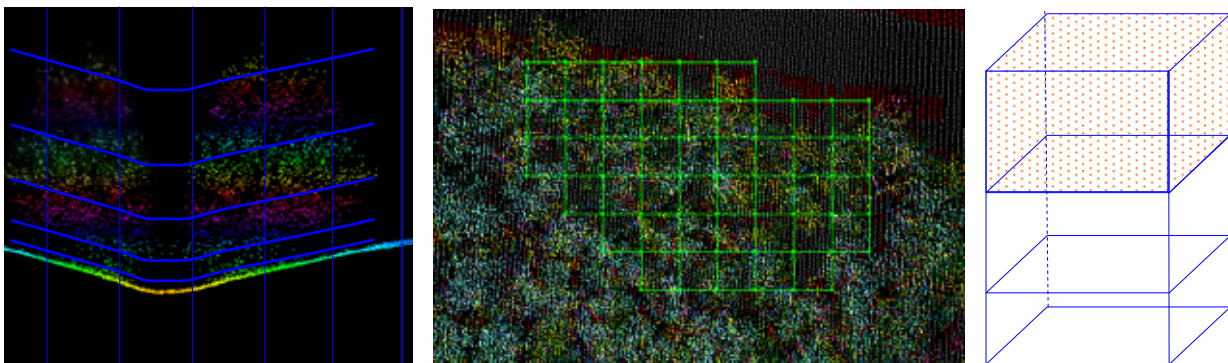
Pour chaque taille de carré, le nombre de carrés analysés a été augmenté jusqu'à observation d'une stabilisation des paramètres statistiques (moyenne, médiane, premier et 3^{ème} quartile, écart-type, maximum et minimum du nombre de points par tranche de hauteur). On a considéré qu'un paramètre était stable au-delà d'un seuil lorsque ses variations n'excédaient plus 5 % de sa valeur moyenne. Cette stabilisation se faisant d'autant plus lentement que la structure du peuplement est irrégulière, nous avons testé des nombres de carrés assez élevés, même si les paramètres semblaient parfois se stabiliser rapidement, pour être sûrs que l'on ne se trouvait pas dans un optimum local.

L'objectif était de définir d'une part la variabilité intrinsèque de chacun des types et la surface minimale permettant de caractériser un type donné, d'autre part la meilleure combinaison [nombre/taille des carrés] permettant de séparer statistiquement de façon fiable, par analyses de données multidimensionnelles, les différents types de végétation prédéfinis.

Une des difficultés de l'étude provient du décalage temporel (2 ans et 4 mois) entre la prise de données LIDAR et les descriptions de la végétation. Dans les types évolués ou relativement stables (grands arbres, peuplements âgés, zones herbacées ou arbustives), les variations de hauteur et de structure sont négligeables entre les deux dates. Dans les peuplements jeunes, des évolutions significatives ont pu se produire en termes de hauteur (jusqu'à +2m) et de densité du couvert. Ces variations ne remettent pas en cause la mise au point de la chaîne de traitement et d'analyse des données. Elles risquent seulement d'accroître l'incertitude sur leur qualité prédictive.



Figure 1 : Effondrement de berge à proximité du pied de digue (1) caractérisée sur le profil en travers laser (2) vue in situ. Ce désordre apparaît clairement bien que masqué par la végétation.



2a = découpage vertical du nuage. 2b = découpage horizontal en carrés de base 2c = extraction des points
 Figure 2 : Découpage du nuage de points et extraction des données (nombre de points par volume unitaire).

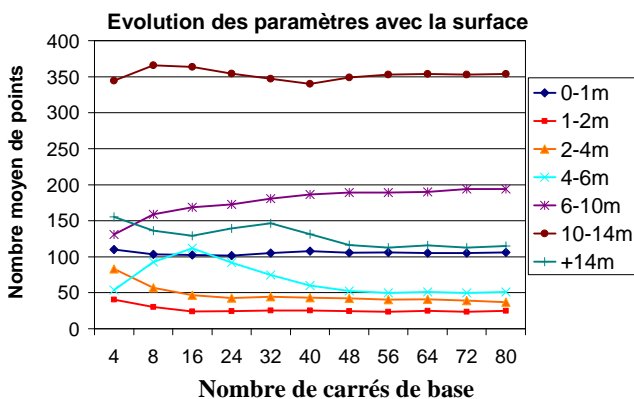


Figure 3 : recherche de la surface minimale permettant de caractériser un type de végétation. Le nombre de carrés est augmenté jusqu'à stabilisation des paramètres statistiques du nuage de points: ici la moyenne du nombre de points par tranches de hauteur, avec un carré de 2x2 m (4 m²), pour un peuplement arboré dense. A partir d'environ 50 carrés, soit 200 m², les valeurs se stabilisent.

4 - Résultats

Au niveau qualitatif, la densité du nuage de points permet (1) d'identifier certaines espèces d'arbres isolés, notamment grands peupliers d'alignement et platanes, qui présentent une architecture caractéristique, (2) de mesurer leur hauteur (ce qui est une opération longue

sur le terrain), avec une précision en général inférieure au mètre, et (3) de repérer et caractériser géométriquement des désordres ou des singularités d'ordre décimétrique et plus grands, sur la digue elle-même, ou dans son environnement, invisibles depuis la photo aérienne du fait de leur masquage par la végétation dense (figure 1) et difficiles d'accès sur le terrain.

L'analyse du nuage de points définit un profil de densité par rapport à la hauteur qui est caractéristique de chaque type (figure 4). Ce profil intègre à la fois la moyenne et sa variabilité spatiale. En raison de la faible largeur des corridors analysés, le carré de base doit être de faible taille (maximum 3x3 m). Au-delà, les effets de bordure deviennent prépondérants. Un carré plus petit n'améliore pas la fiabilité des résultats, ni la vitesse de convergence des paramètres statistiques avec l'accroissement de la surface analysée, mais demande un temps de calcul et de travail beaucoup plus long. Une surface de 200 m² environ est suffisante pour caractériser de façon fiable (figure 3) et séparer en analyse multidimensionnelle (figure 5) les principaux types de végétation, à partir de quelques paramètres par classes de hauteur: moyenne, écart-type et maximum. Il reste une marge d'incertitude de l'ordre de 5 à 10% sur certains paramètres pour les types les plus irréguliers. Au-delà de 400 m², la marge d'incertitude est inférieure à 5% pour tous les paramètres et tous les peuplements. Les peuplements se différencient à la fois par la taille des arbres et la densité des différents étages de végétation (figure 5)

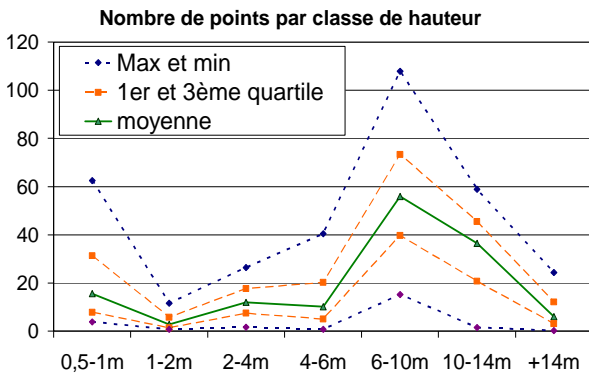


Figure 4 : profil caractéristique d'un peuplement forestier dense d'une hauteur dominante légèrement supérieure à 14 m. Les houppiers de ces arbres s'étalent entre 8 et 14 m. En raison de la densité du couvert, les strates basses ont une faible densité. Un tapis de grandes herbes ou de broussailles basses couvre le sol dans les trouées.

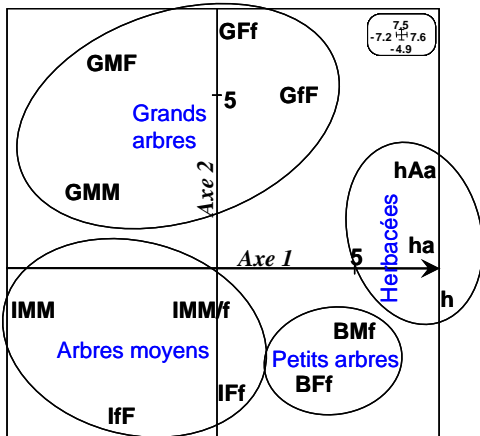


Figure 5 : Classement des types de végétation par ACP sur les moyennes, écart-type et maximum des nombres de points LIDAR par tranches de hauteur. Les types forestiers sont définis par, en 1^{ère} lettre, la hauteur des arbres (grands=G, Intermédiaire=I, bas=B) et par, en 2^{ème} et 3^{ème} lettres, la densité des strates arborées et arbustives (forte=F, moyenne=M, faible=f). Les type h correspondent à des zones herbacées avec ou sans arbustes (a) ou arbres (A) dispersés.

L'analyse a montré que le classement rapide et subjectif de la végétation dans les différents types, sur le terrain par un expert, pouvait donner lieu à des erreurs. Ces erreurs sont détectables sans ambiguïté par les données LIDAR: les points mal classés dans le plan de l'AFC ont tous révélé une hauteur ou une densité erronée après vérification de terrain. Une des causes d'erreur a été la très grande vitesse de croissance (jusqu'à 1,5 m/an pour des peupleraies jeunes) et d'évolution de ces peuplements. Les deux ans et quatre mois qui séparent l'acquisition des données LIDAR (mars 2006) et la reconnaissance de terrain (juillet 2008) ont suffi à certains sites pour changer de catégorie. Cependant, le fait que malgré ces variations la méthode se soit avérée discriminante montre que sa validité serait encore meilleure en cas d'analyse synchrone. L'autre difficulté a été de bien noter la densité du sous-bois, qui est très variable dans

sa composition et donc dans la structure et l'architecture des végétaux.

5 - Discussion

La taille idéale du carré de base que nous définissons dans cette étude, ainsi que les valeurs de 200 et 400 m², pour lesquelles respectivement la plupart et la totalité des paramètres statistiques des nuages de points sont stabilisés, sont spécifiques au cas particulier des environnements linéaires et étroits des digues. Ces peuplements réclament des interventions précises et très localisées. L'hétérogénéité est considérée à une échelle en rapport avec la largeur de ces peuplements (quelques dizaines de mètres au plus). La surface minimale de l'unité de gestion est donc faible, ce qui limite la variabilité potentielle des peuplements.

De façon générale, les plans de gestion de végétation réclament des unités beaucoup plus grandes. On considère l'hétérogénéité à une échelle plus large, ce qui modifie les paramètres de taille et de nombre minimal de carrés de base. Agrandir la dimension des carrés limite le temps de calcul et de travail, et lisse la variabilité des densités de points par volume unitaire. La taille optimale du carré de base doit en fait être calculée de façon à limiter les effets de bords, et donc le pourcentage de carrés qui débordent largement de la frontière de la zone homogène, ce pourcentage augmentant avec la taille des carrés. En pratique, il était intéressant de montrer qu'une cartographie très précise est possible, celle-ci pouvant toujours être lissée par des méthodes d'agrégation éliminant les unités trop petites ou les regroupant en types d'ordre supérieur.

D'autres analyses statistiques pourraient être appliquées à nos données pour faciliter la reconnaissance automatique des types de végétation. Une segmentation par « arbre de décisions » utilisant par exemple les profils de structure de végétation tels qu'ils sont présentés par la figure 4, permettrait la mise au point d'un système expert simple facilement intégrable en routine dans une macro-commande. Ce type d'analyse nécessite cependant plus de données, et particulièrement un nombre important de répétitions par type, dont nous ne disposons pas dans ce travail exploratoire.

Une typologie des histogrammes de densité de points par classes de hauteur a aussi été utilisée par certains auteurs, avec des paramètres comme les coefficients d'aplatissement et de dissymétrie pour caractériser la forme des profils [Antonarakis et al. 2008].

La méthode que nous utilisons donne de bons résultats pour la caractérisation de la végétation en général, et des étages inférieurs en particulier, en raison de l'absence de feuilles au moment de l'acquisition des données LIDAR. La densité de points dans la végétation est même largement supérieure à ce qui serait strictement nécessaire pour cet objectif. Ce qui signifie qu'un vol à plus haute altitude, avec un champ de visée plus large, serait satisfaisant pour une étude de la végétation seule avec le même procédé. Avec les nouveaux LIDAR aéroportés, l'acquisition à 250kHz est désormais possible. On peut alors augmenter la hauteur de vol, donc couvrir un corridor plus large (200m), en conservant la même densité de points et la même précision. Par contre, si l'objectif est de caractériser la structure de végétation, une calibration sur des données avec feuilles serait plus complexe en

raison du fort taux d'interception par les étages supérieurs en cas de peuplement dense. Les surfaces minimales nécessaires seraient sans doute plus grandes, la variabilité de la densité de points dans les tranches inférieures de hauteur augmentant proportionnellement à la variabilité des tranches supérieures. Des algorithmes de correction de l'interception seraient peut-être nécessaires. On peut cependant remarquer que la technique de l'acquisition de données dans trois directions dans le sens du vol avec le procédé FLIMAP® [http://www.flimap.com/site47.php]. (une verticale et deux obliques vers l'arrière et l'avant), ainsi que l'accroissement de la fréquence de prise de vues permettent d'éviter beaucoup de zones d'ombre et de pénétrer suffisamment le couvert [Clément et al. 2007].

6 - Conclusion et perspectives

La faisabilité de la méthode étant démontrée, nous souhaitons maintenant pour les travaux à venir :

- valider ces premiers résultats par une analyse de plus grande ampleur sur des sites plus nombreux et variés ;

- tester en retour la pertinence sur le terrain des types classés à l'aveugle par l'analyse LIDAR afin de définir le taux d'erreurs potentielles de reconnaissance ;

- comparer les performances et les résultats d'une cartographie assistée par exploitation de données LIDAR avec ceux d'une cartographie manuelle classique.

Une fois que la caractérisation et la reconnaissance des types de végétation sera fiabilisée, il sera possible d'envisager une première cartographie automatique ou supervisée de ces types, à l'aide d'un programme classant les données extraites d'une fenêtre glissante de taille adéquate. Cette cartographie serait ensuite complétée et validée sur le terrain.

De façon générale, la méthode et la chaîne de traitement des données peuvent être adaptées à d'autres types de végétation et d'autres contextes, en modifiant certains paramètres de l'analyse (classes de hauteur). Une nouvelle optimisation (nombre et taille des carrés de base) devrait alors être effectuée, et sans doute une validation des paramètres les plus pertinents qui pourraient changer.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés avec l'aide financière de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec les contributions matérielle, logistique ou financière de plusieurs établissements gestionnaires de digues (Compagnie Nationale du Rhône, SYMADREM, SMAVD) et de la société FUGRO-GEOID, ainsi que la collaboration du CEREGE-CNRS.

Bibliographie :

Antonarakis, A. S., K. S. Richards, et al. (2008). "Object-based land cover classification using airborne LiDAR." *Remote Sensing of Environment* 112(6): 2988-2998.

Clément A., Mériaux P., 2007. La télédétection LiDAR : projet Flimap-digues et derniers développements de l'utilisation de méthodes à haut rendement pour la reconnaissance des digues fluviales françaises –

Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection n°186, pp. 87-91.

Durieux S. - 2007. Le LIDAR à retour d'onde complet, nature de l'information enregistrée et perspectives d'utilisation. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* n°186, 15-35.

Lovell, J.L., Jupp, D.L.B., Newnham, G.J., Coops, N.C., Culvenor, D.S., 2005. Simulation study for finding optimal lidar acquisition parameters for forest height retrieval, *Forest Ecology and Management*, (214) 1-3: 398-412.

Mériaux P., Royet P. - 2007. Surveillance, maintenance and diagnosis of flood protection dikes: a practical handbook for owners and operators. Quae Editions, 162 p.

Mériaux P., Vennetier M., Aigouy S., Hoonakker M., Zylberblat M. - 2006. Diagnosis and management of plant growth on embankment dams and dykes. ICOLD, 22nd Conference on Large Dams, Barcelone, juin 2006, p. 551-567.

Morsdorf, F., Meier, E., Kötz, B., Itten, K.I., Dobbertin, M., Allgöwer, B., 2004. LIDAR-based geometric reconstruction of boreal type forest stands at single tree level for forest and wildland fire management, *Remote Sensing of Environment*, (92) 3: 353-362.

Mutlu, M., Popescu, S.C., Zhao, K., 2008. Sensitivity analysis of fire behavior modeling with LIDAR-derived surface fuel maps, *Forest Ecology and Management*, (256) 3: 289-294.

Sexton, J.O., Bax, T., Siqueira, P., Swenson, J.J., Hensley, S., 2009. A comparison of lidar, radar, and field measurements of canopy height in pine and hardwood forests of southeastern North America, *Forest Ecology and Management*, (257) 3: 1136-1147.

Vennetier M., Bedecarrats A., Alibert N., Morin X., Vanden-Eede N., Ripert C., Esteve R. - 2001. Plan de gestion de la végétation des digues du Rhône ; rapport d'étape, première année, diagnostic de la végétation 122 p.

Zanetti Caroline, Vennetier Michel, Mériaux Patrice, Royet Paul, Dufour Simon, Provansal Mireille - 2008. L'enracinement des arbres dans les digues en remblai : étude des systèmes racinaires et impacts sur la sécurité des ouvrages. *Ingénierie EAT*, n°53, p. 49-67.