



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID: 16403

To cite this version: Ladet, Sylvie  and Sheeren, David  and Fauvel, Mathieu  and Heintz, Wilfried  and Deconchat, Marc  *Mission d'acquisition aérienne LIDAR pour des applications thématiques en écologie du paysage. Le cas des Coteaux de Gascogne.* (2011) In: Ecole thématique du CNRS Images et modèles 3D en milieux naturels, 14 June 2011 - 17 June 2011 (Le Bourget du Lac, France)

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator:
staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

MISSION D'ACQUISITION AÉRIENNE LIDAR POUR DES APPLICATIONS THÉMATIQUES EN ÉCOLOGIE DU PAYSAGE LE CAS DES COTEAUX DE GASCOGNE

ACQUISITION MISSION OF AIR LIDAR FOR THEMATIC APPLICATIONS IN LANDSCAPE ECOLOGY: THE CASE OF THE COTEAUX DE GASCOGNE

SYLVIE LADET ¹, DAVID SHEEREN ², MATHIEU FAUVEL ², WILFRIED HEINTZ ^{1, 3}; MARC DECONCHAT ¹

¹ INRA, UMR 1201 Dynamiques et Ecologie des paysages agriforestiers DYNAFOR, BP 52627, 31326 Castanet-Tolosan, France.

² Université de Toulouse, ENSAT, UMR 1201 DYNAFOR, 31326 Castanet-Tolosan, France.

³ GIP ECOFOR, 42, rue Scheffer, 75116 Paris Cedex 16, France.

Contact : sylvie.ladet@toulouse.inra.fr

RÉSUMÉ

Les recherches en écologie du paysage du laboratoire de recherche DYNAFOR à Toulouse visent à comprendre les relations entre la composition du paysage, son évolution et la biodiversité des agroécosystèmes. Des nouveaux travaux menés dans le cadre des enjeux liés à la protection des cultures ou à la conservation de la biodiversité ont mis en avant l'importance des éléments semi-naturels de faible superficie (haies, bandes enherbées, arbres isolés, fragments boisés, ripisylves, lisières) dans la dynamique des espèces étudiées. Dans le but d'être capable de produire des données spatiales plus adaptées aux besoins des recherches engagées, l'unité a décidé de réaliser une mission d'acquisition d'images à très haute résolution spatiale et spectrale par moyens aéroportés. Des mesures altimétriques très fines ont été effectuées à l'aide d'un système d'un LiDAR topographique. Deux principaux produits ont été dérivés du semis de points bruts : un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à 1m de résolution spatiale représentant le relief et fournissant l'altitude du terrain, et un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) représentant l'enveloppe externe du terrain (incluant le sursol) et permettant ainsi de calculer la hauteur des objets (forêts, haies, etc.) et de construire un modèle de hauteur de la canopée. Quelques premiers résultats de profils sur des fragments boisés suivis par Dynafor sont présentés ici et ouvrent de nouvelles perspectives pour étudier les potentialités d'une cartographie précise de la composition et de la structure (y compris verticale) de certaines forêts étudiées. Ces données seront mises en relation avec la diversité de différentes communautés d'espèces animales ou végétales.

MOTS-CLÉS : LIDAR AÉRIEN, TRÈS HAUTE RÉOLUTION SPECTRALE, MNT, MNE, FORÊT, ÉCOLOGIE DU PAYSAGE.

ABSTRACT

Research in the landscape ecology done by DYNAFOR research laboratory aims at understanding the relationships between the composition of the landscape, its evolution and biodiversity in agroecosystems. New issues related to the protection of crops or the conservation of biodiversity have highlighted importance of the semi-natural small elements (hedges, grass strips, isolated trees, woodland fragments, riparian forests, forest edges) in ecological dynamics of studied species. To be able to produce data more adapted to the needs of the research we carried out a mission to acquire images at very high spatial and spectral resolution by airborne captor. Very fine elevation measurements have been made using a topographic LiDAR system. Two main products were derived from the raw points seedlings: a digital terrain model (DTM) at 1 meter spatial resolution representing terrain and providing the altitude of the land, and a digital elevation model (DEM) representing the outer envelope of the field and to calculate the height of objects (forests, hedges, etc.) and build a model of canopy height. A few first results of profiles on woodland fragments studied by Dynafor are presented here and open new opportunities to study the potential of a precise mapping of the composition and structure (including vertical) studied forests.

KEYWORDS: AERIAL LIDAR, VERY HIGH SPECTRAL RESOLUTION, DTM, DEM, FOREST, LANDSCAPE ECOLOGY.

INTRODUCTION

L'écologie du paysage est une science intégratrice des relations homme-nature et une science utile pour l'aide à la décision pour la gestion des ressources naturelles. Elle s'appuie sur des données spatialisées représentant les activités humaines et les caractéristiques écologiques des milieux. La disponibilité de ces données s'est accrue très fortement et très rapidement dans les dernières années. Elles offrent des opportunités pour aborder plus finement et avec plus d'efficacité des questions cruciales pour l'avenir des territoires ruraux et la conservation des ressources naturelles. La préservation de la biodiversité des forêts rurales est un des enjeux qui bénéficie fortement de ces progrès de la géomatique en donnant

accès à des informations nouvelles nécessaires à une meilleure compréhension et une meilleure gestion des processus écologiques concernés. La caractérisation fine des structures arborées, en 3 dimensions, s'avère ainsi une amélioration majeure pour modéliser les relations entre les pratiques sylvicoles, qui induisent cette structure, et la biodiversité, qui dépend de cette structure. Les données issues du LiDAR ouvrent de nouvelles perspectives de développement de l'écologie du paysage appliquée à la gestion des ressources naturelles dans les paysages ruraux. Nous présentons dans cet article un aperçu de ces possibilités dans le cadre des travaux conduits sur un site d'étude écologique à long terme.

I - CONTEXTE

Dynafor est une unité mixte de recherche INRA-INP/ENSAT/EI Purpan, pluridisciplinaire regroupant chercheurs et enseignants-chercheurs dans le domaine de l'écologie, discipline dominante de l'unité, des biotechniques (foresterie, zootechnie des systèmes d'élevage), de la modélisation informatique et de la géomatique (SIG et télédétection). Elle s'est engagée dans le développement de recherches qui s'inscrivent résolument dans le champ d'une écologie du paysage « pour l'action », c'est-à-dire tournée vers la finalisation des acquis de la recherche pour répondre à des attendus de la société en termes de gestion des ressources naturelles. Dans ces travaux, le paysage est considéré comme le fruit d'une coévolution entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques à des échelles spatiales et temporelles multiples qui correspondent aux différents niveaux d'organisation des processus étudiés (Allen et Starr, 1982 ; Balent, 1996). Un des terrains d'étude de Dynafor, les Coteaux et Vallées de Gascogne, est une plateforme LTSER (Long Term Socio Ecological Research numéro d'enregistrement LTER_EU_FR_003) depuis 2007. C'est un label lancé en 1980 par la National Science Foundation aux Etats-Unis. Le but est de mettre en réseau des sites de recherche à long terme, dans des écosystèmes importants et sensibles à travers le monde. Il en résulte une grande quantité de données de natures diverses qu'il convient de structurer informatiquement. Une des caractéristiques les plus importantes de ce label est le développement de bases de données géographiques contenant des informations sur des données de type écologiques, socio-techniques et sur les conditions environnementales (occupation des sols, climat, relief...) sur les sites étudiés.

Le site des Coteaux de Gascogne est un paysage rural à vocation agricole situé à 80 kilomètres de Toulouse dans la région du Bas-Comminges. Cette zone est vallonnée, d'une altitude comprise entre 200

et 400 m, couvrant 250 km², avec une matrice agricole de polyculture-élevage, marquée par la présence de nombreux bois fragmentés et d'éléments linéaires boisés de type haie, alignement d'arbres, et un habitat dispersé (Deconchat *et al*, 2007). Ce terrain est l'objet, depuis les années 1980, de nombreuses études menées in situ et répétées sur l'évolution de la biodiversité des communautés végétales et animales (insectes, oiseaux), et sur l'évolution des pratiques de gestion des exploitations agricoles et forestières.

Des nouveaux travaux menés dans le cadre des enjeux liés à la protection des cultures ou à la conservation de la biodiversité patrimoniale ont mis en avant l'importance des éléments semi-naturels de faible superficie (haies, bandes enherbées, arbres isolés, fragments boisés, ripisylves, lisières, talus, fossés...) dans la dynamique intra-annuelle des espèces étudiées (Roume *et al*, 2011). La structure spatiale en 3 dimensions des forêts rurales, dont la gestion est très variée, détermine de nombreux processus écologiques liés notamment à la disponibilité en lumière arrivant au sol, mais aussi l'encombrement volumique qui influe sur les possibilités d'utilisation de l'espace par des espèces comme les oiseaux, ou la présence de micro-habitats dans lesquels peuvent se développer des espèces ayant une valeur patrimoniale élevée.

Par leur très haute résolution spatiale et leur capacités à rendre compte de donnée en 3 dimensions, les données LiDAR permettent de produire un modèle numérique de terrain distinguant le sol (dont les micro-reliefs) et le sursol (dont la topographie de la canopée) ce qui offre une large gamme de possibilités d'applications, notamment en écologie du paysage (Cochrane, 2000 ; Vierling *et al*, 2008). On peut mentionner l'utilisation de ce type de données pour la création de cartes d'habitat d'espèces faunistiques et floristiques (Hyde *et al*, 2006), la modélisation des relations entre la présence de différentes espèces d'oiseaux et la

structure verticale des milieux (Davenport *et al.*, 2000 ; Bradbury *et al.*, 2005), la caractérisation de la structure des forêts (densité, hauteurs des arbres, diamètre...) et leur mode de gestion associé (Dubayah *et al.*, 2000). Cependant, malgré ces premières expériences, l'usage des données LiDAR dans le cadre de l'écologie du

paysage, pour caractériser des structures et des objets pertinents pour la gestion de la biodiversité, reste un domaine d'application peu développé et pour lequel des progrès méthodologiques sont nécessaires.

II - ACQUISITION DES DONNÉES

Les mesures de données altimétriques ont été effectuées à l'aide d'un système laser à impulsion, le Riegl LMS-Q560 en Juillet 2010. Il s'agit d'un LiDAR topographique capable de fonctionner selon deux modes d'acquisition différents : enregistrement de plusieurs réflexions de chaque impulsion avec la surface des objets au sol (LiDAR à retour discret) et enregistrement de la totalité de la forme d'onde retour (LiDAR à retour d'onde complète). L'acquisition des données dans les Coteaux s'est faite selon les deux modes, avec un nombre maximal de quatre échos enregistrés par impulsion émise pour le système à retour discret (1^{ère} réflexion, dernière réflexion et deux échos intermédiaires) (Figure 1). La densité moyenne de points acquis est de 4 points par m² pour une fréquence des impulsions de 70 kHz. La précision des données est inférieure à 40 cm en planimétrie et 20 cm en altimétrie. Dans le cas d'un survol d'une zone forestière, les impulsions sont reflétées par la surface du feuillage mais peuvent pénétrer jusqu'au sol. Le produit final est alors un nuage de points 3D géoréférencés décrivant la topographie terrestre (ensemble « sol » + « sur sol »).

Deux principaux produits ont été dérivés du semis de points bruts (par filtrage et interpolation sous le logiciel Global Mapper) : un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à 1 m de résolution spatiale représentant le relief et fournissant l'altitude du terrain, et un Modèle Numérique d'Élévation (MNE) représentant l'enveloppe externe du terrain (incluant le sur-sol) et permettant ainsi de calculer la hauteur des objets (végétation, bâtiments, etc.) et de construire un Modèle Numérique de Hauteur (MNH) de la canopée. De plus à partir du MNT, de nombreuses informations comme par exemple les caractéristiques géomorphologiques et géoclimatiques (pente, orientation, zone de

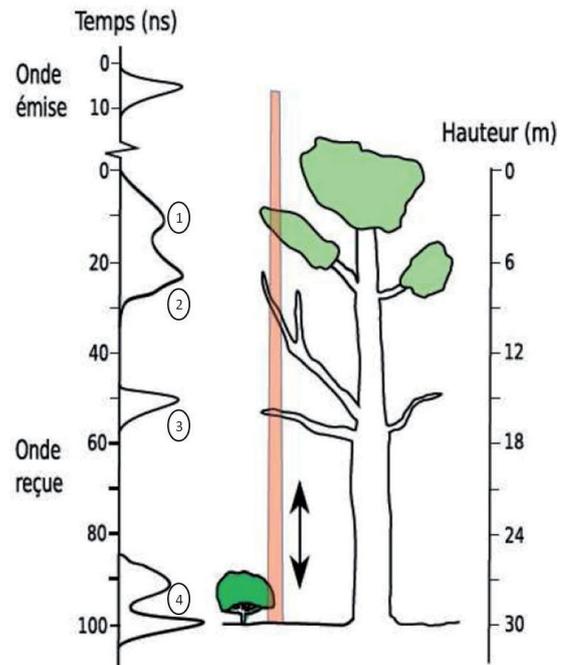


Figure 1 - Ondes laser émises et reçues sur une zone de végétation complexe. Tous les objets suffisamment résolus spatialement contribuent à la forme de l'onde via le retour des 4 échos : 1 : premier retour, 2 et 3 : retours intermédiaires et 4 : dernier retour.

visibilité) peuvent être dérivées et reliées à la hauteur des peuplements (Gachet, 2009). Pour les Coteaux, nous avons couvert 118 km² (ce qui équivaut à 12 gigaoctets de données) qui ont été découpés en 194 dalles de 1 km x 1 km selon un tableau d'assemblage régulier. Par exemple, la dalle dite de « La Broquère » est constituée de 3 600 000 points bruts (Figures 2, 3 et 4).

III - PREMIERS EXEMPLES DE RÉSULTATS OBTENUS SUR LES ÉLÉMENTS BOISÉS

Nous avons focalisé notre attention sur la représentation des éléments boisés (bois, haies) dans ces données LiDAR (Figures 1 et 2) car elles sont au cœur des questions de recherche en écologie concernant la biodiversité des paysages ruraux et la caractérisation des structures forestières est particulièrement difficile dans ces types de forêts.

Dans les Coteaux de Gascogne, les petits bois, d'une surface de 0,5 à 35 ha, appartiennent à un grand nombre de propriétaires privés locaux, souvent des exploitants agricoles, qui les gèrent eux-mêmes. La plupart des parcelles boisées sont des mélanges de chênaie-charmaie, traitées en taillis-sous-futaie ou plus rarement en taillis, utilisées principalement pour le bois de feu et

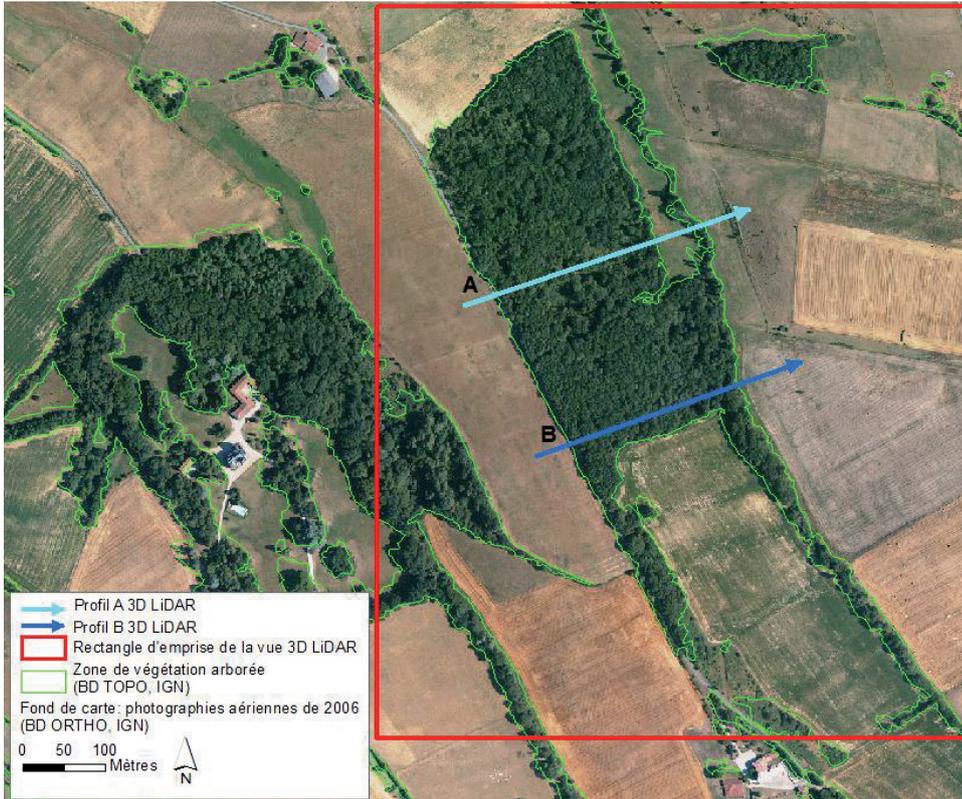
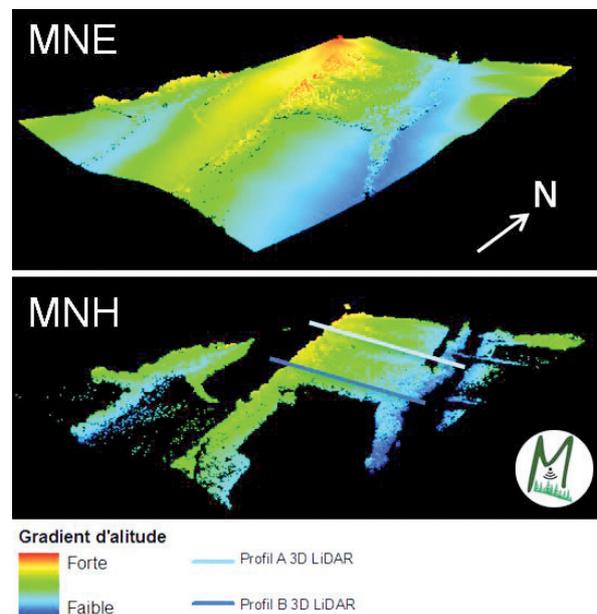


Figure 2 ci-contre - Illustration de la dalle de test, sous le logiciel ArcGis, avec localisation de l'emprise 3D LiDAR et des 2 profils transversaux.

Figure 3 ci-dessous - Vue 3D du rectangle d'emprise du MNE (en haut) et MNH (en bas) représentant la topographie de la canopée du bois de La Broquière sous le logiciel LP360, fonctionnant dans l'environnement ArcGis. Le logo représente la mission d'acquisition couplée de données LiDAR et hyperspectrale par capteurs aéroportés (projet MADONNA) réalisée en juillet 2010 financée par l'INRA et l'INP.

les réserves de bois d'œuvre. Les arbres sont coupés et débardés en quelques mois et la coupe est laissée sans autre intervention notable jusqu'à ce que les arbres soient de nouveau exploitables, quinze à quarante ans plus tard (Andrieu *et al*, 2008). La structure verticale est complexe (multistratée) et diverse en composition spécifique du fait qu'un bois peut appartenir à plusieurs propriétaires et que la gestion forestière n'est pas assujettie à un plan de gestion strict, comme c'est le cas pour les forêts publiques. La reconstitution de l'historique des pratiques de coupe dans ces bois (du Bus de Warnaffe *et al*, 2006) montre que les exploitations sont variables d'un propriétaire à un autre et que pour un même propriétaire ces exploitations se répètent sur des surfaces qui ne sont pas les mêmes d'un cycle de coupe à l'autre. Cela conduit à une juxtaposition de petites unités spatiales ayant subi des histoires d'exploitation différentes. Ces pratiques sont sources d'une forte hétérogénéité interne. Nous posons alors le postulat que les coupes effectuées pour l'exploitation du bois influent à long terme sur la composition des communautés forestières et la préservation de la biodiversité.

Par ailleurs d'autres éléments boisés comme les haies, les alignements d'arbres, ont une fonction écologique reconnue au-delà de l'aspect paysager (Baudry *et al*, 2003). En effet, la présence de haies vives limite le ruissellement et la diffusion des pesticides, favorise l'infiltration de l'eau et la régulation de crues, retient la terre et diminue les effets d'érosion des sols. La haie est aussi un refuge pour de nombreuses espèces (auxiliaires) et participe à la formation de corridors biologiques.



La topographie du terrain de cette zone est caractéristique de la configuration d'un coteau. Le bois s'étale le long du versant Est du coteau. L'observation du MNH permet de repérer des différences dans les hauteurs d'arbre de ce bois de 10 hectares et de visualiser le réseau de haies qui lui est connecté.

Dans les 2 profils, on constate que le bois s'étale le long d'un gradient altitudinal allant de 300 à 330 m avec une hauteur d'arbre maximale de l'ordre de 25 m. Le profil A met en évidence une rupture dans la structure

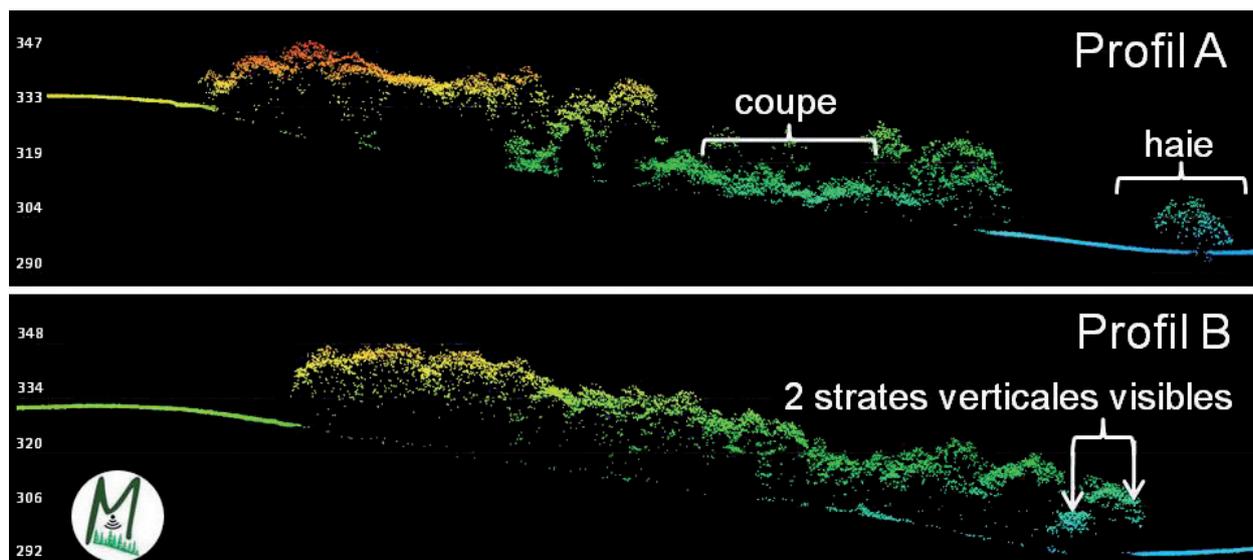


Figure 4 - Profils en travers du semis de points sur le bois de la Broquère chez 2 propriétaires du bois obtenus avec le logiciel LP360.

verticale de la canopée qui est dû à une coupe récente. Par contre le profil B met en évidence une canopée continue sur cette zone avec des différences de hauteur d'arbre et une stratification verticale en 2 strates (10 m et 25 m), surtout dans la partie basse du coteau, la partie haute montrant une structure plus régularisée, mono-

strate, qui correspondrait à une gestion en futaie. On constate en outre que du fait de la densité de la végétation, le profil du sol n'est pas accessible en détail avec les données acquises, sans un traitement particulier qui consisterait à exploiter les points longitudinalement pour interpoler les données manquantes.

CONCLUSION

Le système LiDAR permet de produire finement un modèle numérique de terrain et d'élévation distinguant la topographie à la surface des sols et la topographie de la canopée, la hauteur de la végétation étant ainsi déduite de ces mesures topographiques. Nous prévoyons d'exploiter le potentiel de ces données en étendant ces premières analyses aux autres bois compris dans la zone prospectée pour obtenir la structure verticale de ces forêts tout comme l'a fait Gachet (2009) sachant que la coupe est la principale pratique de gestion de cette forêt et qu'elle modifie la structure forestière verticale. Ces données seront mises en relation avec la diversité de différentes communautés d'espèces animales ou végétales étudiés à Dynafor.

Les données seront mises en relation avec des informations sur les pratiques de gestion des forêts et leur histoire afin de construire des modèles explicatifs et prédictifs des structures de végétation produites par la

gestion. Une attention particulière portera en outre sur les lisières dont les structures verticales sont complexes et difficiles à caractériser sur de grandes surfaces. Ainsi, nous avons déjà constaté que les arbres des lisières avec des prairies pâturées étendent leurs branches plus loin que ceux des lisières avec les cultures, ce qui peut avoir des conséquences importantes pour la biodiversité animale et végétale.

L'acquisition de ces données est essentielle pour compléter la base de données géographique relative au site des Coteaux de Gascogne et valider les résultats obtenus jusqu'à présent à partir de données spatiales à résolution plus grossière. La constitution de cette infrastructure de données comprenant des descriptions et des analyses des paysages à plusieurs grains d'analyse constitue une priorité pour l'unité suite à la labellisation de son site d'étude dans le réseau international d'études écologiques à long terme (réseau ILTER).

Remerciements

Ce travail a reçu le soutien financier de l'Institut National de la Recherche Agronomique (appel d'offre BDINRA 2010) et l'Institut National Polytechnique de Toulouse (appel d'offre BQR 2010).

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN T.F.H., STARR T.B., 1982. *Hierarchy: Perspectives in Ecological Complexity*. University of Chicago Press, Chicago, London.
- ANDRIEU E., DU BUS DE WARNAFFE G., LADET S., HEINTZ W., SOURDRIL A., DECONCHAT M., 2008. Cartographier l'histoire des coupes forestières dans les petits bois. *Revue Forestière Française*, 60, 5, 667-676.
- BALENT G., 1996. La forêt paysanne dans l'espace rural. Biodiversité, paysages, produits. INRA, Collection Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement, 29, 267 p.
- BAUDRY J., JOUIN A., 2003. De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion. Inra, Collection Espaces ruraux, 435 p.
- BRADBURY R.B., HILL R.A., MASON D.C., HINSLEY S.A., WILSON J.D., BALTZER H., ANDERSON G.Q.A., WHITTINGHAM M. J., DAVENPORT I.J., BELLAMY P.E., 2005. Modelling relationships between birds and vegetation structure using airborne lidar data: a review with case studies from agricultural and woodland environments. *Ibis*, 147, 443-52.
- COCHRANE M.A., 2000. Using vegetation reflectance variability for species level classification of hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 10, 2075-2087.
- DAVENPORT I.J., BRADBURY R.B., ANDERSON G.Q.A., HAYMAN G.R.F., KREBS J.R., MASON D.C., WILSON J.D., VECK N.J., 2000. Improving bird population models using airborne remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 13 et 14, 2705-2717.
- DECONCHAT M., GIBON A., CABANETTES A., DU BUS DE WARNAFFE G., HEWISON M., DE GARINE E. GAVALAND A., LACOMBE J.-P., LADET S., MONTEIL C., OUIN A., SARTHOU J.-P., SOURDRIL A., BALENT G., 2007. How to set up research framework to analyse socioecological interactive processes in a rural landscape. *Ecology and Society*, 12, 15. [ONLINE], URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art15>
- DUBAYAH R., DRAKE J.B., 2000. LiDAR remote sensing for forestry applications. *J. Forest*, 98, 6, 44-46.
- DU BUS DE WARNAFFE G., DECONCHAT M., LADET S., BALENT G., 2006. Variability of cutting regimes in small private coppice forests of south-western France. *Annals of Forest Sciences*, 63, 915-927.
- GACHET G., 2009. Analyse et exploitation des données LiDAR aéroportés pour la caractérisation des milieux boisés de la Suisse. Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 278 p.
- HYDE P., DUBAYAH R., WALKER W., BLAIR B., HOFTON M., HUNSAKER C., 2006. Mapping forest structure for wildlife habitat analysis using multi-sensor (LiDAR, SAR/InSAR, ETM plus, Quickbird) synergy. *Remote Sensing of Environment*, 102, 63-73.
- ROUME A., DECONCHAT M., RAISON L., BALENT G., OUIN A., 2011. Edge effects on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) at the woodlot-field interface are short-range and asymmetrical. *Agricultural and Forest Entomology*, doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00534.x
- VIERLING, K.T., VIERLING L.A., MARTINUZZI S., GOULD W., CLAWGES R., 2008. LiDAR: Shedding new light on habitat modeling. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6, 2, 90-98.