

CARTOGRAPHIE DES VEGETATIONS HERBACEES DES MARAIS LITTORAUX A PARTIR DE DONNEES TOPOGRAPHIQUES LIDAR

Sébastien Rapinel^{1,2}, Anne Bonis², Johan Oszwald¹, Florent Taureau³, Jérôme Mansons³, Jan-Bernard Bouzillé²

1: LETG-RENNES COSTEL UMR CNRS 6554, Université Rennes 2, Rennes
sebastienrapinel@gmail.com

2: ECOBIO UMR CNRS 6553, Université Rennes 1, Rennes

3 : Etablissement public du Marais Poitevin, Luçon

Résumé

La microtopographie, et par extension le régime hydrique joue un rôle primordial dans la répartition spatiale des végétations des zones humides. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'intérêt des données topographiques LiDAR pour la cartographie des communautés végétales prairiales. La méthode appliquée repose sur le seuillage du Modèle Numérique de Terrain en fonction des valeurs altimétriques caractérisant les différents relevés phytosociologiques sur un site de 35 ha du Marais Poitevin. Les résultats montrent que les communautés mésophiles, méso-hygrophiles et hygrophiles ont pu être classées automatiquement avec une précision globale de 89,6% ($Kappa = 0,83$). La cartographie produite au 1:5000ème constitue un support pour le suivi et la gestion des habitats naturels.

Mots-clés : télédétection, végétation, phytosociologie, Directive Habitat.

Abstract

Microtopography and, by extension, the water regime play a key role in the spatial distribution of vegetations in wetlands. This study aims to assess the interest of topographical LiDAR data for vegetation mapping in grasslands. Method is based on the Digital Terrain Model thresholding in respect with vegetation relevés distributed over a 35 ha site in the Poitevin marsh. Results show that mesophilic, meso-hygrophilic and hygrophilic plant communities have been automatically classified with 89.6% global accuracy ($Kappa = 0.83$). The map produced at 1:5 000 scale provides a support for monitoring and managing natural habitats.

Keywords: remote sensing, vegetation, phytosociology, Habitat Directive.

1. Introduction

La cartographie des végétations naturelles, et le suivi de leurs dynamiques, constitue un enjeu majeur de la Directive Européenne Habitat 92/43/EEC et de la stratégie nationale pour la biodiversité (Gauthier and Delduc, 2012). Dans ce contexte, le Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie a lancé le programme CarHab (Cartographie des Habitats) qui vise à établir une cartographie des séries de végétations sur l'ensemble du territoire français au 1:25 000ème à l'échéance de 2025 (Commagnac, 2012).

Les inventaires de végétation sur le terrain permettent de cartographier les communautés végétales (Clément et al., 2011 ; Sawtschuk and Bioret, 2012) mais sur des superficies restreintes à quelques hectares en raison de l'importance des ressources humaines mobilisées. Pour des cartographies de grande envergure spatiale, c'est-à-dire supérieure à quelques dizaines d'hectares, le recours à des données de télédétection apparaît incontournable. En outre, elles offrent l'opportunité d'actualisations régulières de l'état des végétations naturelles, comme préconisé par la Directive Européenne Habitat 92/43/EEC.

Des études ont montré l'intérêt des données multispectrales pour l'identification d'unité de végétation dominée par un taxon (Laba et al., 2007 ; Barillé et al.,

2010). En revanche, dès lors que plusieurs taxons composent l'unité de végétation, le recours aux données hyperspectrales, très onéreuses, devient nécessaire pour déterminer et cartographier les communautés végétales (Belluco et al., 2006 ; Schmidlein et al., 2007). Les données LiDAR permettent de caractériser des strates de végétation (Genç et al., 2004; Hellesen and Matikainen, 2013) mais leur capacité à discriminer les communautés herbacées *via* une relation topographique reste peu étudiée et limitée aux végétations de bord de mares (Ecker et al., 2010) ou de marais salés (Moeslund et al., 2011).

En effet, dans les marais, la distribution spatiale des espèces végétales est déterminée, pour l'essentiel, par le régime hydrique (Ellenberg et al., 1991). Sur le terrain, ce paramètre reste une variable environnementale difficile à déterminer sans instrumentation lourde, d'où l'intérêt d'une prédiction par télédétection. Dans les systèmes de marais littoraux, le régime hydrique est fortement lié à la microtopographie héritée des vasières. Pour ces milieux, l'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain - MNT - dérivé des données LiDAR permet d'accéder aux niveaux topographiques avec une précision altimétrique de 10 cm (Rapinel et al., 2015). Cette précision semble appropriée à la cartographie des communautés mésophiles, méso-hygrophiles et hygrophiles respectivement adaptées à des conditions peu

humides, moyennement humides et très humides (Amiaud et al., 1996).

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'intérêt du MNT dérivé des données LiDAR pour discriminer les communautés végétales herbacées de prairies littorales et ce, à une échelle spatiale fine (1:5000ème). La méthode appliquée repose sur le seuillage du MNT selon des valeurs altimétriques caractérisant des relevés phytosociologiques réalisés sur un site de 35 ha du Marais Poitevin.

2. Matériel et méthode

2.1. Site d'étude

Les recherches ont été menées sur un site de 35 ha situé dans le Marais Poitevin (Figure 1). Issu de poldérisations successives depuis le Xème siècle, le marais présente une géomorphologie relativement plane, avec de légères dépressions et replats appelés respectivement « baisses » et « belles ». L'altitude du site est comprise entre 1,5 et 3,5 m. Un important réseau de drainage conditionne le régime hydrique du marais qui est principalement alimenté en eau par les précipitations. Les prairies y sont pâturées par des troupeaux de bovins et d'équins. La végétation herbacée est typique des marais sub-halophiles thermo-atlantiques (Foucault (de), 1984) avec la présence des associations végétales se rattachant au *Carici divisae - Lolietum perennis* (niveau mésophile), à l'*Alopecuro bulbosi - Juncetum gerardii* (niveau méso-hygrophile), au *Ranunculo ophioglossifolii - Oenanthetum fistulosae* (niveau hygrophile) (Amiaud et al., 1996). La distribution des communautés végétales est conditionnée par des variations topographiques de quelques centimètres, liée à leur tolérance à l'humidité (Figure 2). Les communautés mésophiles sont situées dans les parties les plus sèches et élevées à l'inverse des communautés hygrophiles situées dans les dépressions longuement inondées. Les communautés méso-hygrophiles sont distribuées dans les secteurs intermédiaires entre replats et dépressions.

2.2. Relevés terrain

Des relevés terrain phytosociologiques ont été effectués entre mai et juillet 2013. Pour chaque relevé, les espèces vasculaires ont été inventoriées et caractérisées par leur indice d'abondance-dominance (Braun-Blanquet, 1932) au sein de quadrats de 4x4 m. Au total, 138 relevés de végétation ont été géoréférencés à l'aide d'un GPS différentiel (précision planimétrique ± 25 cm). Chaque relevé a été classé en type mésophile, méso-hygrophile ou hygrophile selon sa composition floristique.

2.3. Données LiDAR

Les données LiDAR ont été fournies par l'Institut National Géographique (IGN) sous forme de nuage de points (format .las) classés en "sol" et "sursol" (Bretar et al., 2007). La précision altimétrique des données LiDAR est de 10 cm. La densité moyenne des points "sol" est de 3 pts/m. Le vol d'acquisition des données LiDAR a

été effectué le 30 novembre 2011, date à laquelle les secteurs topographiques les plus bas sont exondés. L'absence d'eau dans ces secteurs a permis de les caractériser topographiquement. Les points classés "sol" ont été interpolés à 50 cm de résolution pour en dériver un Modèle Numérique de Terrain.

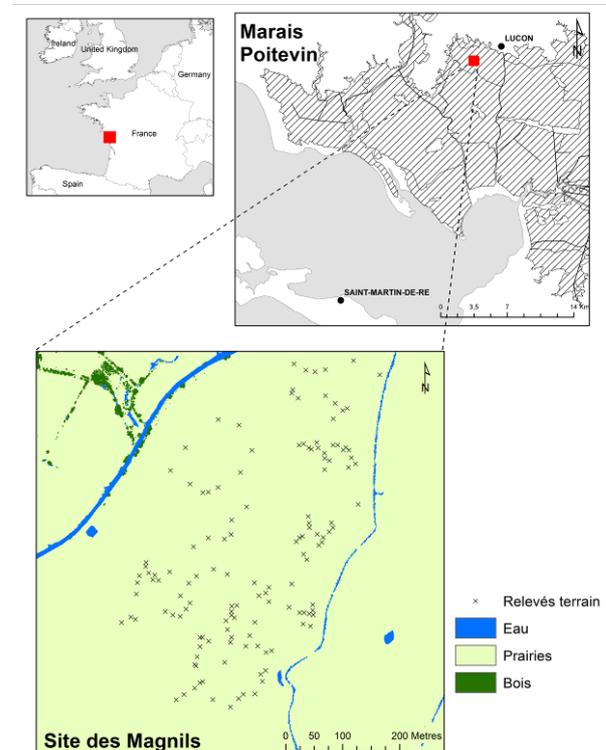


Figure 1 : Localisation du site d'étude et distribution spatiale des relevés terrain.

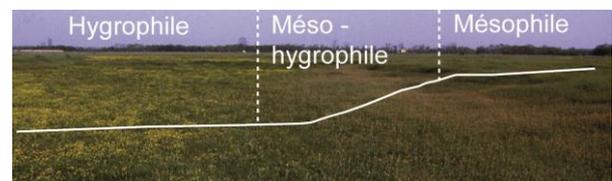


Figure 2 : Distribution spatiale des communautés végétales en fonction de la microtopographie ($\Delta 40$ cm). Crédit photo Anne Bonis.

2.4. Classification des communautés végétales

Afin de focaliser l'analyse sur les prairies, les surfaces boisées et les surfaces en eau ont été identifiées et masquées à partir de couches thématiques. Une analyse croisée sous SIG des relevés de végétation avec le MNT a permis de déterminer l'altitude de chaque relevé. Les valeurs de seuillage pour l'identification des classes « mésophile », « méso-hygrophile » et « hygrophile » ont été déterminées par une analyse de la variance altimétrique des relevés. Le MNT a ensuite été classé selon les valeurs altimétriques de seuillage. La classification des communautés végétales a été validée statistiquement par croisement avec les relevés terrain. Pour ce faire, une matrice de confusion, un indice de précision

globale et un indice de Kappa (Congalton et al., 1983) ont permis d'évaluer la qualité de la classification.

3. Résultats

3.1. Analyse de variance

Le croisement des relevés terrain avec le MNT dérivé des données LiDAR a permis de déterminer les seuils altimétriques pour chacun des types de communautés (Figure 3). Les communautés mésophiles sont présentes à des altitudes en général supérieures à 2,4m NGF, les communautés méso-hygrophiles entre 2,2 et 2,4 m et les communautés hygrophiles à des altitudes inférieures à 2,2 m.

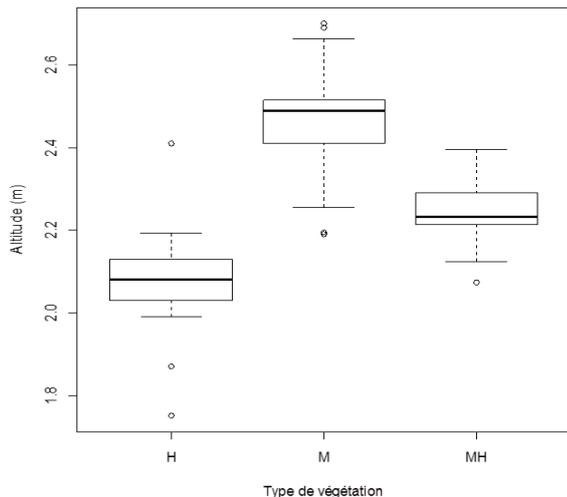


Figure 3 : Variations des valeurs altimétriques dérivées des données LiDAR pour les trois types de communautés végétales (H= hygrophile; M=mésophile; MH=méso-hygrophile).

3.2. Cartographie des communautés prairiales

La validation des résultats cartographiques montre que les grands types de végétation ont pu être localisés sur la base du MNT LiDAR avec une précision globale de 89,3 % (Kappa 0,83) (Tableau 1). Malgré ces résultats satisfaisants, quelques erreurs ont pu être notées. La classe "mésophile" est sous-détectée à 18 %, mais très peu sur-détectée. La classe "méso-hygrophile" est légèrement sous-détectée (14,3 %) et sur-détectée (18,9 %). La classe "hygrophile" est très peu sous-détectée (1,8 %) et légèrement sur-détectée (11,9 %). Ces erreurs sont très probablement dues à des relevés de végétation se situant à des niveaux topographiques de transition et donc d'un gradient végétal dont l'identification phytosociologique n'a pas rendu compte. Les erreurs peuvent aussi être expliquées par la précision altimétrique des données LiDAR (10 cm) qui peut paraître limitante compte tenu du faible gradient altimétrique observé, *i.e.*, 40 cm, entre les différentes communautés végétales. Le résultat cartographique est présenté Figure 4 et met en évidence la spatialisation des différentes unités de végétation: les végétations hygrophiles sont bien représentées dans les dépressions, les végétations mésophiles sur les plateaux, et bien que peu étendues, les végétations méso-hygrophiles en bordure des dépressions. Les

erreurs sont essentiellement localisées sur la partie nord du site d'étude pour laquelle les données terrains sont aussi les moins nombreuses.

Classification	Code	Référence			Sur-détection	
		1	2	3		
Mésophile 1		41		1	42	02.4
Méso-hygrophile 2		7	30		37	18.9
Hygrophile 3		2	5	52	59	11.9
Total colonne		50	35	53	138	
Sous-détection		18,0	14,3	1,8		

Précision globale 89,3 (%)
Indice de Kappa 0,83

Tableau 1 : Matrice de confusion entre la classification du MNT LiDAR et les données de référence.

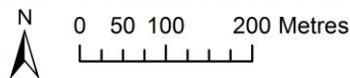
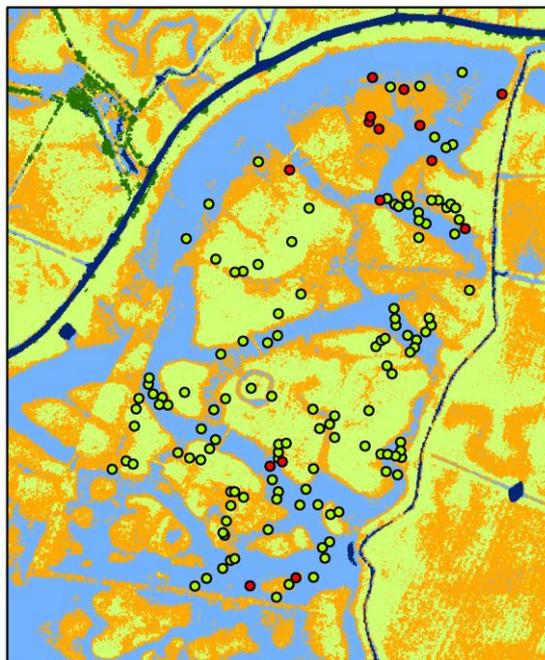
4. Discussion

Ce travail montre l'intérêt de l'information topographique dérivée des données LiDAR pour identifier les différents régimes hydriques des zones humides. La relation entre le régime hydrique et les types de végétation a pu être spatialisée. Le seuillage du MNT à partir des relevés terrain a permis de cartographier des végétations mésophiles, méso-hygrophiles et hygrophiles au 1:5000ème (précision globale 89,3%). Ces résultats confirment de précédents travaux appliqués sur des zones humides de bas fonds (Rapinel, 2012). En complément de la topographie, l'apport des variables de pente et d'orientation dérivées des données LiDAR seraient pertinentes pour affiner la classification de la végétation en milieu humide (Ecker et al., 2010).

Ces résultats soulignent le potentiel des données LiDAR pour la cartographie automatique des habitats naturels aux échelles fines, notamment dans le cadre du programme national CarHab. En effet, cette cartographie des communautés végétales constitue une aide à la prospection terrain mais aussi à la prédiction de présence d'espèces végétales qui peuvent être indicatrices des dynamiques des habitats ou des pressions de pâturage (Marion et al., 2010). De plus, l'échelle cartographique accessible (1:5000ème) permet de rendre compte des espaces de transitions souvent de faible extension (< 2m), telles que les communautés méso-hygrophiles. Ces zones sont difficilement identifiables sur des cartographies dérivées d'images multispectrales ou hyperspectrales dont la résolution spatiale est généralement supérieure à 2 m (Schmidlein et al., 2007).

Un couplage des données LiDAR et multispectrales serait intéressant pour affiner la typologie proposée. En effet, la cartographie dérivée des données LiDAR permettrait de contraindre, au sein des unités mésophiles, méso-hygrophiles et hygrophiles, l'identification à une échelle plus fine des espèces végétales à partir de la classification d'une image multispectrale.

Les seuils altimétriques déterminées pour l'identification des différents régimes hydriques sont dépendants de la



- Relevé mal classé
- Relevé bien classé
- Eau
- Bois
- Mésophile > 2.4m
- Méso-hygrophile 2.2 - 2.4 m
- Hygrophile < 2.2 m

Figure 4 : MNT dérivé des données LiDAR (en haut) et cartographie des communautés herbacées (en bas).

micro-topographie mais aussi du réseau de drainage. Des travaux sur différents sites du Marais poitevin (Tournade and Bouzillé, 1991) ont mis en évidence un gradient altimétrique de 40 cm entre les végétations hygrophiles et mésophiles. Cependant, les valeurs altimétriques absolues discriminant les 3 grands types de végétation peuvent varier de 80 cm d'un site à l'autre et sont conditionnées par la gestion de chaque casier hydraulique, *ie* unité homogène de gestion du réseau hydraulique. Une application de la méthode de classification du MNT des sites plus étendue demandera à adapter les seuils altimétriques pour chaque casier hydraulique à partir de données terrain de calibration.

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme CarHab (Cartographie des Habitats) financé par le Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie. Les données LiDAR ont été mises à disposition par le laboratoire MATIS - Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN). Nous remercions la mairie des Magnils-Reigniers, le Parc Interrégional du Marais Poitevin et l'Etablissement Public du Marais Poitevin pour l'autorisation d'accès aux sites et les facilités de mise en place des protocoles terrains. Merci à Valérie Gouesbet, Marianne Laslier, Almudena San Roman et Olivier Jambon pour leur aide sur le terrain.

Références

- Barillé L., Robin M., Harin N., Bargain A., Launeau P., 2010. *Increase in seagrass distribution at Bourgneuf Bay (France) detected by spatial remote sensing*. Aquatic Botany, 92: 185–194.
- Belluco E., Camuffo M., Ferrari S., Modenese L., Silvestri S., Marani A., Marani M., 2006. *Mapping salt-marsh vegetation by multispectral and hyperspectral remote sensing*. Remote Sensing of Environment, 105: 54–67.
- Braun-Blanquet, J., 1932. Plant Sociology. The study of plant communities. Hafner, London, UK.
- Bretar, F., Mallet, C., Flamanc, D., David, N., 2007. *Traitement de données LiDAR aéroportée : vers une solution globale*. Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection, 186(2): 36–47.
- Clément B., Aidoud A., Lebas J.F., Nogues E., 2011. *Restauration de la Tourbière de Landemarais, vingt années de suivi*. Sciences Eaux & Territoires, 5: 48–53.
- Congalton R.G., Oderwald R.G., Mead R.A., 1983. *Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 49: 1671–1678.
- Commagnac L., 2012. Spécification et méthodologie de production du fond blanc. Premier rapport intermédiaire, projet CarHAB. Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN), 24 p.

- Ecker K., Waser L.T., Kuchler M., 2010. *Contribution of multi-source remote sensing data to predictive mapping of plant-indicator gradients within Swiss mire habitats*. *Botanica Helvetica*, 120:29–42.
- Ellenberg H., Weber H.E., Dull R., Wirth, V., 1991. *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Goltze, Göttingen, Germany.
- Foucault (de) B. 1984. *Systématique, structuralisme et synsystématique des prairies hygrophiles des plaines atlantiques françaises*. PhD thesis, Université de Rouen, Rouen, France.
- Gauthier O., Delduc P., 2012. *La stratégie nationale pour la biodiversité*. Responsabilité et environnement, 4:35–39.
- Genç L., Dewitt B., Smith S., 2004. *Determination of wetland vegetation height with LiDAR*. *Turkish Journal of agriculture and forestry*, 28: 63–71.
- Hellesen T., Matikainen L., 2013. *An object-based approach for mapping shrub and tree cover on grassland habitats by use of LiDAR and CIR orthoimages*. *Remote Sensing*, 5: 558–583.
- Laba M., Downs R., Smith S., Welsh S., Neider C., White S., Richmond M., Philpot W., Baveye P., 2008. *Mapping invasive wetland plants in the Hudson River National Estuarine Research Reserve using Quickbird satellite imagery*. *Remote Sensing of Environment*, 112:286–300.
- Moeslund J.E., Arge L., Bøcher P.K., Nygaard B., Svenning J.-C., 2011. *Geographically comprehensive assessment of salt-meadow vegetation-elevation relations using LiDAR*. *Wetlands*, 31: 471–482.
- Marion B., Bonis A., Bouzillé J.B., 2010. *How much does grazing-induced heterogeneity impact plant diversity in wet grasslands?* *Ecoscience*, 17(3):229-239.
- Rapinel S., Hubert-Moy, L., Clément, B., Nabucet, J., Cudennec, C., 2015. *Ditches' network extraction and hydrogeomorphological characterization using LiDAR-derived DTM in wetlands*. *Hydrology Research* 46(2): 276–290.
- Rapinel S., 2012. *Contribution de la télédétection à l'évaluation des fonctions des zones humides: de l'observation à la modélisation prospective*. PhD thesis, Université Rennes 2, Rennes, France.
- Sawtschuk J., Bioret F., 2012. *Analyse diachronique de la dynamique spatiale de la végétation de l'estuaire de la Loire*. *Photo interprétation*, 48(3):15–28.
- Schmidtlein S., Zimmermann P., Schüpferling R., Weiß C., 2007. *Mapping the floristic continuum: Ordination space position estimated from imaging spectroscopy*. *Journal of Vegetation Science*, 18:131–140.
- Tournade F., Bouzille J.B., 1991. *Relations entre sol et végétation dans les prairies naturelles humides du Marais Poitevin. Mise en évidence d'un modèle d'organisation*. *Science du sol*, 29:339–357.