

## Colloque scientifique

### TRIDIFOR – Méthodes innovantes d'analyse de données 3D en forêt

20 au 22 septembre 2022

14h30-17h30 en France (UTC+02:00) ; 8h30h-11h30 au Québec (UTC-04:00)

Lieu : Visioconférence

ONF, INRAE et GIP Ecofor, France – Université de Sherbrooke, Ressources naturelles Canada, Québec

La **reconstitution non destructive de scènes forestières en trois dimensions (3D)** est un domaine innovant et en pleine expansion de la dendrométrie avec l'accessibilité croissante à des moyens d'acquisition performants. Cette approche ouvre de nouvelles perspectives pour de nombreuses applications forestières : cartographie de variables forestières (hauteur, surface terrière, volume, etc.) et des houppiers (hauteur, taille de couronne, etc.), reconstruction de l'architecture des arbres et estimation de leur volume, caractérisation de la structure 3D d'habitats, etc. **L'acquisition de données forestières tridimensionnelles**, que ce soit par **photogrammétrie**, par **lidar aéroporté ou satellitaire** ou par **lidar terrestre**, se généralise au sein d'équipes scientifiques de plus en plus nombreuses. La couverture du territoire français, belge et des provinces canadiennes, dont le Québec, par lidar aéroporté, fournira à brève échéance une masse de données sans équivalent, avec de nombreuses applications forestières potentielles.

Le traitement des données 3D brutes issues des capteurs de données lidar nécessite des algorithmes informatiques spécifiques. Reconstituer la forme d'un arbre avec son tronc et son houppier, la surface d'une canopée, ou un modèle numérique de terrain à partir d'un nuage de points en 3D nécessite en effet des algorithmes pour classifier les points, les segmenter, et les relier pour construire des structures géométriques et topologiques fidèles à la réalité.

Le colloque s'inscrit dans la continuité des ateliers LiDAR-t pour la communauté francophone organisés de 2010 à 2018. **Il s'adresse à l'ensemble de la communauté scientifique francophone utilisant des données 3D de scènes forestières.** Il a pour objectif de créer un **espace d'échanges multidisciplinaires sur l'état de l'art, les perspectives et les enjeux attachés aux traitements de ces données dans un contexte forestier.**

#### Inscription obligatoire :

[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfJj8B4AtColwdbSj9sDVreTevX7DaNsallhvYBDb4pUukl4A/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfJj8B4AtColwdbSj9sDVreTevX7DaNsallhvYBDb4pUukl4A/viewform?usp=sf_link)

Le lien de connexion à la visioconférence vous sera envoyé à l'adresse mail renseignée lors de l'inscription.



## Programme

### Mardi 20 septembre

La 1<sup>re</sup> session sera principalement dédiée au LiDAR aéroporté.

14h30 UTC+2 (Paris) 8h30 UTC-4 (Québec)	Mot de bienvenue, introduction de la 1 <sup>re</sup> session Modérateur : Alexandre PIBOULE (ONF)
14h40 UTC+2 (Paris) 8h40 UTC-4 (Québec)	Étude de cas d'inventaire forestier LiDAR dans les Landes Jose Luis TOMÉ, Santiago MARTIN, David GARCIA CASTILLO (Agresta S. Coop)
15h05 UTC+2 (Paris) 9h05 UTC-4 (Québec)	Simulation d'acquisitions LiDAR aéroportées en milieu forestier pour l'entraînement de réseaux de Deep Learning Olivier STOCKER (Université Laval), Jean-François COTE (Ressources Naturelles Canada), Antonio FERRAZ (Jet Propulsion Laboratory NASA), Eric GUILBERT (Université Laval)
15h30 UTC+2 (Paris) 9h30 UTC-4 (Québec)	Construction de modèle numérique de terrain à partir de la classification de sol par intelligence artificielle Van-Tho NGUYEN, Étienne CLABAUT (XEOS Imagerie)
15h55 UTC+2 (Paris) 9h55 UTC-4 (Québec)	Pause
16h10 UTC+2 (Paris) 10h10 UTC-4 (Québec)	Reconstruire l'histoire et l'impact des perturbations naturelles au sein des vieilles forêts boréales à l'aide du LiDAR aéroporté Maxence MARTIN, Osvaldo VALERIA (Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue)
16h35 UTC+2 (Paris) 10h35 UTC-4 (Québec)	Analyse comparative de modèles de hauteur de canopée haute précision : imagerie satellitaire stéréo/tri-stéréo, lidar, drone et in situ Mathieu VARIN, Anne-Marie DUBOIS, Raphaël GADBOIS-LANGEVIN, Bilel CHALGHAF (CERFO)
17h00 UTC+2 (Paris) 11h00 UTC-4 (Québec)	Clôture de la 1 <sup>re</sup> session



## Mercredi 21 septembre

La 2<sup>e</sup> session sera dédiée aux logiciels de manipulation et visualisation des données 3D

14h30 UTC+2 (Paris) 8h30 UTC-4 (Québec)	Introduction de la 2 <sup>e</sup> session Modérateur : Jean-François COTE (Ressources Naturelles Canada)
14h40 UTC+2 (Paris) 8h40 UTC-4 (Québec)	Apprentissage par transfert pour discriminer le bois/feuille des Drone laser scanning (DLS) Yuchen BAI (Inria)
15h05 UTC+2 (Paris) 9h05 UTC-4 (Québec)	Cartographie des routes forestières au Québec et mise en production à grande échelle avec lidR Jean-Romain ROUSSEL (Université Laval)
15h30 UTC+2 (Paris) 9h30 UTC-4 (Québec)	Plateforme Computree : Etat des lieux et perspectives ; Sortie de la version 6. Alexandre PIBOULE (ONF)
15h55 UTC+2 (Paris) 9h55 UTC-4 (Québec)	Pause
16h10 UTC+2 (Paris) 10h10 UTC-4 (Québec)	L'algorithme L-Vox pour l'estimation de la densité de surface foliaire de placettes à partir de données lidar terrestre et une représentation 3D par voxels des forêts Van-Tho NGUYEN (Université de Sherbrooke), Richard A. FOURNIER (Université de Sherbrooke), Jean-François COTE (Ressources naturelles Canada), François PIMONT (INRAE)
16h35 UTC+2 (Paris) 10h35 UTC-4 (Québec)	"aRchi" an R package for QSM computation and analyses Olivier MARTIN, Bastien LECIGNE
17h00 UTC+2 (Paris) 11h00 UTC-4 (Québec)	Détection des singularités de l'écorce à partir de données Lidar en vue du classement qualité Florian DELCONTE (Université de Lorraine), Isabelle DEBLED RENNESSON (Université de Lorraine), Phuc NGO (Université de Lorraine), Thiéry CONSTANT (INRAE), Bertrand KERAUTRET (Université Lumière Lyon 2)
17h25 UTC+2 (Paris) 11h25 UTC-4 (Québec)	Clôture de la 2 <sup>e</sup> session



## Jeudi 22 septembre

La 3<sup>e</sup> session sera dédiée au LiDAR terrestre.

- |   |  |
|---|--|
| 14h30 UTC+2 (Paris)<br>8h30 UTC-4 (Québec)  | Introduction de la 3 <sup>e</sup> session<br>Modérateur : Thiery CONSTANT (INRAE)  |
| 14h40 UTC+2 (Paris)<br>8h40 UTC-4 (Québec)  | Utilisation du Lidar terrestre et de l'approche par trait fonctionnel pour évaluer les services écosystémiques procurées par les arbres dans les forêts urbaines à Antananarivo<br>Narinjanahary ANDRIAMANANJATOVO (Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, département des eaux et forêts), Michiel VAN BREUGEL (Yale-NUS College, Singapore), Philipp URECH (Department of Architecture, ETH Zurich), Bruno RAMAMONJISOA (Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo)                    |
| 15h05 UTC+2 (Paris)<br>9h05 UTC-4 (Québec)  | Équations allométriques dérivées de données LiDAR terrestres et importance pour l'estimation de la biomasse aérienne dans les forêts de Miombo de la RDC<br>Jonathan ILUNGA MULEDI (Université de Lubumbashi, République démocratique du Congo), Stéphane MOMO TAKOUDJOU (IRD), Pierre PLOTON (UMR AMAP), Augustin LAMULAMU (Représentation FAO en RDC), Blaise MUPARI (Université de Lubumbashi), David NKULU (Université de Lubumbashi), Benoit AMISI MUSHABAA (Ministère de l'Environnement et Développement Durable, RDC), Nicolas BARBIER (IRD) |
| 15h30 UTC+2 (Paris)<br>9h30 UTC-4 (Québec)  | Utilisation du LIDAR terrestre pour l'estimation de la biomasse et du carbone forestier<br>Ny Tolotra RAZAFIMBELO (Université Laval)   |
| 15h55 UTC+2 (Paris)<br>9h55 UTC-4 (Québec)  | Pause  |
| 16h10 UTC+2 (Paris)<br>10h10 UTC-4 (Québec) | Mobile and Terrestrial Laser Scanning for Tree Volume Estimation in Temperate Hardwood Forests<br>Bastien VANDENDAELE (Université de Sherbrooke), Olivier MARTIN-DUCUP (Freelance), Richard A. FOURNIER (Université de Sherbrooke), Gaëtan PELLETIER (Institut de Recherche sur les Feuillus Nordiques)  |
| 16h35 UTC+2 (Paris)<br>10h35 UTC-4 (Québec) | Table ronde – Conclusion<br>Modérateur : Richard FOURNIER (Université de Sherbrooke)   |



# Résumés des présentations

## Session 1

Étude de cas d'inventaire forestier LiDAR dans les Landes .....	6
Simulation d'acquisitions LiDAR aéroportées en milieu forestier pour l'entraînement de réseaux de Deep Learning .....	6
Construction de modèle numérique de terrain à partir de la classification de sol par intelligence artificielle .....	7
Reconstruire l'histoire et l'impact des perturbations naturelles au sein des vieilles forêts boréales à l'aide du LiDAR aéroporté .....	7
Analyse comparative de modèles de hauteur de canopée haute précision : imagerie satellitaire stéréo/tri-stéréo, lidar, drone et in situ.....	8

## Session 2

Apprentissage par transfert pour discriminer le bois/feuille des Drone laser scanning (DLS) .....	8
Cartographie des routes forestières au Québec et mise en production à grande échelle avec lidar9	
Plateforme Computree : Etat des lieux et perspectives ; Sortie de la version 6 .....	9
L'algorithme L-Vox pour l'estimation de la densité de surface foliaire de placettes à partir de données lidar terrestre et une représentation 3D par voxels des forêts .....	10
"aRchi" an R package for QSM computation and analyses.....	10
Détection des singularités de l'écorce à partir de données Lidar en vue du classement qualité..	11

## Session 3

Utilisation du Lidar terrestre et de l'approche par trait fonctionnel pour évaluer les services écosystémiques procurées par les arbres dans les forêts urbaines à Antananarivo .....	11
Équations allométriques dérivées de données LiDAR terrestres et importance pour l'estimation de la biomasse aérienne dans les forêts de Miombo de la RDC .....	12
Utilisation du LIDAR terrestre pour l'estimation de la biomasse et du carbone forestier .....	13
Mobile and Terrestrial Laser Scanning for Tree Volume Estimation in Temperate Hardwood Forests .....	13

## Étude de cas d'inventaire forestier LiDAR dans les Landes

Jose Luis TOME, Santiago MARTIN, David GARCIA CASTILLO

*Agresta S. Coop*

Une étude de cas d'inventaire forestier a été menée dans les Landes (France) sur une zone forestière de 5 000 hectares. Il a été fait dans le cadre d'un projet européen SME H2020, FORESTMAP. Ce projet a pour but de développer et promouvoir l'utilisation des données Lidar au sein de la filière forestière européenne en collaboration avec les acteurs de la chaîne de valeur. 7 cas d'études ont été réalisés dans différents pays (le Portugal, l'Espagne, l'Italie, la France, la Slovénie, l'Allemagne et la Finlande).

Dans les Landes, en l'absence de données Lidar récentes, un vol habité au-dessus de la zone cible a été effectué en 2021 (Lidar aérien). Des données forestières de terrain (diamètres, hauteurs, densité, description sylvicole) ont été collectées sur 70 parcelles localisées avec un GPS sub-métrique.

Le traitement des données a été effectué par Agresta S.Coop, une entreprise espagnole spécialisée depuis plus de 10 ans dans la valorisation des données forestières de type Lidar (en Espagne et d'autres pays d'Europe et Amérique). Cette étude a été réalisée en collaboration avec l'entreprise SylGéCo basée à Castets (40). Les données forestières obtenues alimentent la plateforme numérique ForestMap, à laquelle peuvent accéder des utilisateurs de différents profils et définir une zone spécifique sur laquelle les informations seront affichées.

Les informations fournies sont organisées en quatre domaines : caractérisation sylvicole (densité, volume, hauteur et autres données forestières), prescriptions (coupes à effectuer, volume à extraire, urgence), carbone (stock en tn et croissance) et risques d'incendie (modèle de combustible).

## Simulation d'acquisitions LiDAR aéroportées en milieu forestier pour l'entraînement de réseaux de Deep Learning

Olivier STOCKER<sup>1</sup>, Jean-François COTE<sup>2</sup>, Antonio FERRAZ<sup>3</sup>, Eric GUILBERT<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Doctorant, Université Laval*

<sup>2</sup> *Chercheur scientifique - Inventaire forestier, Centre canadien sur la fibre de bois, Ressources naturelles Canada*

<sup>3</sup> *Jet Propulsion Laboratory NASA, Pasadena, California, Affiliated Research Scientist*

<sup>4</sup> *Université Laval, Québec, Directeur du CRDIG*

Les algorithmes de Deep Learning (DL) ont largement prouvé leur performance en vision par ordinateur et sont donc des outils de choix pour l'analyse et la sémantisation du milieu forestier. Les méthodes de DL 3D permettent de s'assurer de l'utilisation optimale de l'information géométrique contenue dans les nuages de points LiDAR. Malheureusement, la principale limitation du DL, la quantité de données d'apprentissage, est une problématique exacerbée par la spécificité du milieu forestier puisque la complexité de la structure végétale freine la vitesse d'annotation et réduit sa qualité. Par conséquent, l'ensemble des travaux actuels sont passés par une phase de labélisation manuelle chronophage.

Pour répondre à ce manque de données d'apprentissage, nous proposons une stratégie de simulation LiDAR sur une forêt virtuelle. La simulation permet de générer automatiquement l'annotation associée à chaque retour. La modélisation forestière est faite de façon à réduire le décalage entre la distribution statistique d'une acquisition réelle et d'une acquisition virtuelle, tout en maintenant une informativité optimale. Nous utilisons une bibliothèque d'environ 1000 arbres issus de scans LiDAR terrestres. Les nuages de points virtuels ainsi créés sont utilisés pour l'entraînement de modèles de deep learning spécifique à l'analyse 3D récents (KPConv, Rand-LA-Net et PointTransformer). Nous appliquons ensuite ces modèles sur des scans LiDAR réels pour évaluer la transférabilité de l'apprentissage. Nous présenterons nos résultats sur le cas d'application de la forêt boréale ouverte, pour une problématique de segmentation sémantique d'espèces d'arbres.



## Construction de modèle numérique de terrain à partir de la classification de sol par intelligence artificielle

Van-Tho NGUYEN, Étienne CLABAUT

*XEOS Imagerie*

L'exactitude de la reconstruction de MNT à partir de données de LiDAR aéroporté est fortement influencée par la classification du sol. Le défi majeur dans les zones forestières est l'incertitude de la classification des points de sol et de végétation. Des méthodes de classification automatique conventionnelles laissent souvent des points de végétations dans le sol, ce qui nécessite un nettoyage en post-traitement par des opérateurs humains. Le développement récent de l'intelligence artificielle dans le traitement de nuage de points ouvre une nouvelle voie pour améliorer la qualité de la classification du sol et donc l'exactitude des MNTs par rapport aux méthodes conventionnelles.

L'objectif principal de cette recherche est de produire automatiquement des MNTs avec une qualité égale ou supérieure à celle obtenue par des procédés laborieux et coûteux. La méthode proposée est de classer les points de sol par un réseau de neurone convolutif directement sur le nuage de points et appliquer ensuite un algorithme de post- traitement pour réduire les anomalies dans le MNT. Le réseau de neurone est entraîné sur une grande quantité de données annotées (environ 300 kilomètres carrés) réparties sur plusieurs municipalités québécoises pour avoir une grande représentativité des topographies qui peuvent être rencontrées.

Avec une erreur moyenne de 4 cm entre les prédictions et les références, les résultats préliminaires sont considérés comme étant très prometteurs. Cette affirmation est également corroborée par une évaluation qualitative effectuée par des experts.

## Reconstruire l'histoire et l'impact des perturbations naturelles au sein des vieilles forêts boréales à l'aide du LiDAR aéroporté

Maxence MARTIN, Osvaldo VALERIA

*Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue*

Les vieilles forêts se définissent par une remarquable diversité de structures et d'habitats résultant d'historiques de perturbations naturelles spécifiques. Cette hétérogénéité est encore mal identifiée par les inventaires forestiers, ce qui limite l'établissement de stratégies de conservation efficaces. Nous avons par conséquent évalué la capacité du LiDAR aéroporté à améliorer notre vision de la diversité interne des vieilles forêts dans deux territoires boréaux du Québec, Canada : l'un où la principale perturbation naturelle est le feu et l'autre où les perturbations naturelles combinent feux et épidémies d'insectes. En utilisant un nombre limité d'indices LiDAR, nous avons établi dans le premier territoire un modèle capable (i) de discriminer avec haute précision (95%) des vieilles forêts définies par différents historiques de feux (brûlé il y a 115 ans ou non-brûlé depuis au moins 250 ans), et (ii) d'identifier des stades de succession intermédiaires (vieilles forêts de 150-200 ans). Dans le second territoire, nous avons utilisé les mêmes indices LiDAR que précédemment en combinaison avec des indices extraits d'images satellite pour discriminer des vieilles forêts caractérisées par des perturbations de différente nature et sévérité. La précision du modèle était moindre que pour le précédent (82%), majoritairement en raison de la forte variabilité spatiale de sévérité des épidémies d'insecte. Ces résultats démontrent l'efficacité du LiDAR aéroporté pour permettre une meilleure identification de la diversité de formes que prennent les vieilles forêts. L'acquisition à large échelle de données terrain adaptées aux vieilles forêts sera toutefois nécessaire pour affiner et élargir la portée de nos modèles.

## Analyse comparative de modèles de hauteur de canopée haute précision : imagerie satellitaire stéréo/tri-stéréo, lidar, drone et in situ

Mathieu VARIN<sup>1</sup>, Anne-Marie DUBOIS<sup>1</sup>, Raphaël GADBOIS-LANGEVIN<sup>1</sup>, Bilel CHALGHAF<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre d'enseignement et de recherche en foresterie, CERFO

<sup>2</sup> Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Une bonne connaissance du milieu physique est nécessaire à toute planification forestière bien articulée, notamment pour bien préserver des milieux écologiquement sensibles. L'utilisation de couples stéréoscopiques satellitaires donne la capacité d'extraire des modèles 3D haute précision dont l'échelle est adaptée aux opérations de récolte. Étant donné leur coût d'acquisition avantageux, les images satellites stéréo pourraient représenter une alternative aux données LiDAR. L'objectif de cette étude était d'évaluer la qualité des modèles de hauteur de canopée (MHC) dérivés de la stéréoscopie (drone et satellite) et de comparer ceux-ci aux MHCs dérivés du LiDAR ainsi qu'à des échantillons terrain de hauteur d'arbres pour deux sites d'étude (1- conifère, 2- feuillu). Plusieurs combinaisons de résolution et de choix de bandes ont été testées afin de déterminer quelle technique de modélisation 3D offrait la meilleure performance. Pour le site conifère, c'est le MHC produit avec uniquement la bande panchromatique en stéréo à 50 cm de résolution qui a obtenu la plus faible erreur quadratique moyenne (RMSE : 1.31 m). Pour le site feuillu, le modèle issu de la tri-stéréo satellitaire a produit un résultat légèrement plus performant avec un RMSE de 1.2 m. Le modèle tri-stéréo a également été comparé à celui produit avec les données du drone, où un RMSE de 1.3 m a été calculé. À l'échelle de l'arbre individuel, lorsque les mesures terrain de hauteur d'arbre ont été comparées aux valeurs de MHC issu des modèles satellitaires, lidar et drone, les RMSE étaient de 2.8, 2.0 et 2.0 m respectivement.

## Apprentissage par transfert pour discriminer le bois/feuille des Drone laser scanning (DLS)

Yuchen BAI

Inria

La segmentation bois/feuille peut reposer sur des informations géométriques extraites du nuage de points, au sens où seules leurs positions sont disponibles et non pas des informations spécifiques à un type de LiDAR (Morel et al., 2020 ; Wang et al., 2018 ; Krisanski et al. 2021). Ces méthodes récentes ont été appliquées avec un certain succès principalement aux nuages de points dérivés de lidar terrestre (Terrestrial Laser Scanner, TLS). Les nuages issus de TLS sont typiquement très denses permettant une représentation détaillée de la structure de la forêt, ce qui facilite la discrimination des échos de type « bois » et des échos de type « feuille » sur critères géométriques. L'adaptation de ces approches à des données issues de drone, beaucoup moins denses notamment en sous-canopée et moins résolues (taille d'empreinte supérieure) est étudiée ici. A cette fin, des acquisitions simultanées réalisées en TLS et DLS sur un ha de forêt dense tropicale dense sont utilisées. La cohérence géométrique des deux nuages de points est validée par comparaison des modèles numériques de canopée, des modèles numériques de terrain et de points de contrôle homologues dans les deux nuages. La seconde étape consiste à entraîner un modèle de réseau de neurones (Deep Learning) à partir des données TLS labellisées. Ensuite, les labels de TLS sont transférés au nuage de points DLS par la méthode des k plus proches voisins (KNN) afin d'obtenir des données labellisées de DLS. Enfin, nous utilisons ces données pour ré-ajuster aux données DLS le modèle de classification pré-entraîné sur les données TLS. Le modèle développé sera appliqué à des mesures répétées acquises par DLS dans la forêt tropicale guyanaise, dans le cadre du programme PhenOBS. L'objectif est d'obtenir des cartes en 3D des variations saisonnières des densités foliaires pour mieux comprendre les interactions entre le climat et les échanges gazeux, telles que mesurées par la tour à flux présente sur le site.



## Cartographie des routes forestières au Québec et mise en production à grande échelle avec lidR

Jean-Romain ROUSSEL  
*Université Laval*

De nombreux algorithmes sont développés dans le milieu universitaire chaque année, mais très rares sont ceux menant à la production d'un logiciel ou même d'un script qui permettra à la communauté scientifique de tester, comparer, éprouver ces méthodes décrites dans la littérature. Souvent, ces mêmes méthodes sont développées sur des jeux de données restreints de sorte qu'elles ne sont pas faciles à appliquer à plus grandes échelles. Dans l'optique de contribuer au renversement de cette tendance dans le domaine de l'utilisation du LiDAR aérien pour des applications forestières, le package R lidR a été conçu afin de permettre de développer et partager facilement de nouvelles méthodes prêtes pour une mise en production réelle. Au Québec la cartographie des routes forestières est un enjeu majeur. Dans ce contexte, nous développons un algorithme de cartographie dans R, au moyen de lidR, afin d'améliorer et de corriger les cartes routières existantes qui sont souvent inexactes. Basée sur la notion de chemins de moindre coût notre méthode «conduit» numériquement sur le réseau routier afin de produire une carte vectorielle topologiquement valide, ce qui diffère des méthodes traditionnelles de classification de pixels. Le développement de telles méthodes est évidemment complexe, mais leur mise en production à grandes échelles est d'une grande simplicité dans le package lidR. Dans cette présentation nous décrirons les méthodes développées pour cartographier les routes et présenterons comment cela peut être appliqué à de vastes territoires avec les outils offerts par le package lidR.

## Plateforme Computree : Etat des lieux et perspectives ; Sortie de la version 6

Alexandre PIBOULE  
*ONF*

A partir de 2010, le département RDI de l'ONF a développé Computree, une plateforme de traitement des nuages de points 3D en forêt. Depuis 2018, Computree est gérée et financée par un regroupement de partenaires, sous la coordination du GIP Ecofor. Cette plateforme modulaire permet à différentes équipes, de mettre en commun leur travaux dans ce domaine, et en particulier pour l'analyse de données LIDAR terrestre et aéroporté. Cette présentation vise à faire le point sur les évolutions récentes de la plateforme, ainsi que les perspectives, avec en particulier la sortie de la version 6 de Computree.



## L'algorithme L-Vox pour l'estimation de la densité de surface foliaire de placettes à partir de données lidar terrestre et une représentation 3D par voxels des forêts

Van-Tho NGUYEN<sup>1</sup>, Richard A. FOURNIER<sup>1\*</sup>, Jean-François CÔTÉ<sup>2</sup>, François PIMONT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département de géomatique appliquée, Centre de Recherche en TELédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke, Sherbrooke (QC), Canada

<sup>2</sup> Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts – Centre canadien de la fibre de bois, Québec (QC)

<sup>3</sup> Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), Avignon, France

\* Auteur pour la correspondance

La densité de surface foliaire (*Plant Area Density*, PAD en  $m^2.m^{-3}$ ) se définit par la surface totale d'un côté des éléments d'une plante à l'intérieur d'un volume prédéterminé. C'est une variable clé pour caractériser les processus d'échange entre l'atmosphère et la surface terrestre. Le lidar terrestre (*Terrestrial laser scanning* : TLS) procure un niveau de détails sans précédent sur la structure 3D des couverts forestiers. Des études récentes ont utilisé des estimateurs statistiques de PAD appliqués sur des nuages de points TLS subdivisés en cubes 3D, appelés voxels. Ces estimateurs ont été intégrés dans un algorithme, appelé L-Vox qui permet le traitement des données TLS et l'application d'options. L-Vox permet l'estimation du PAD et de l'impact de l'occlusions du signal laser dans les forêts. À ce titre une approche de simulation a été préconisée car les mesures *in situ* sont laborieuses et imprécises. La modélisation 3D des forêts à l'aide de voxels fournit un cadre efficace pour valider le PAD estimé.

L'étude présentée porte sur l'estimation du profil vertical du PAD, calculé à l'aide de L-vox, à partir de scans TLS en entrée. Les données lidar proviennent de deux sources. D'abord de scans simulés qui utilisent des maquettes 3D de forêts de conifères et de feuillus. Ensuite, à partir de scans TLS en forêt naturelle d'arbres feuillus. Les profils verticaux du PAD estimée par L-Vox sont fortement corrélées avec les données de référence pour la forêt virtuelle de placettes de conifères avec un  $R^2$  de 0,98. Dans les parcelles de feuillus, nous avons obtenu des corrélations similaires pour la partie inférieure (moyenne  $R^2 = 0,97$ ) de la canopée. Cependant, L-Vox a sous-estimé le PAD de la partie supérieure de la canopée du fait des occlusions ( $R^2$  moyen = 0,76). Les tests sur les données *in situ* nous ont permis d'établir l'impact de la dimension du voxel, du nombre de scans en forêt naturelle et une estimation des taux d'occlusion en fonction de la hauteur.

## "aRchi" an R package for QSM computation and analyses

Olivier MARTIN, Bastien LECIGNE

Quantitative Structural Models (QSM) obtained from LiDAR data describe the whole topology and geometry of a tree. They are increasingly used in tree architecture and biomass estimation approaches. While very promising there is a lack of tools to analyse them and extract variables of interest on individual trees. The "aRchi" R package provides a set of tools to make QSMs and to manipulate, visualize and compute metrics from them. The organization of the package, the basic functions and possible improvements will be presented.

## Détection des singularités de l'écorce à partir de données Lidar en vue du classement qualité.

Florian DELCONTE<sup>1</sup>, Isabelle DEBLED RENNESSON<sup>1</sup>, Phuc NGO<sup>1</sup>, Thierry CONSTANT<sup>2</sup>, Bertrand KERAUTRET<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Lorraine, LORIA, ADAGlo

<sup>2</sup> Université de Lorraine - AgroParisTech, INRAE, SILVA

<sup>3</sup> Université Lumière Lyon 2, LIRIS, Imagine

Depuis longtemps, la géométrie tridimensionnelle du volume d'un tronc ou d'une grume est une composante importante de la détermination de sa qualité, puisque l'absence de rectitude, l'ovalité des sections, une conicité importante sont autant de caractéristiques négatives pour le rendement matière lors de la première transformation. Dans l'évaluation de la qualité, les singularités sur l'écorce, souvent définies par un relief anormal, révèlent la présence d'un défaut interne, comme un nœud, et constituent des critères importants mais les moins évidents à prendre en compte par l'expert dans l'établissement de son classement.

Aujourd'hui les outils de numérisation 3D sont de plus en plus accessibles, et les méthodes d'intelligence artificielle ont révolutionné les méthodes de reconnaissance de forme. Il est ainsi légitime de s'interroger si la combinaison d'une description 3D à haute résolution des troncs et de méthodes d'intelligence artificielle ne permettrait pas d'assister l'expert dans son travail de classement. Un objectif est de lui fournir une cartographie de la présence et du type de singularités à la surface de l'écorce, pour justifier son classement et éventuellement inclure cet élément dans une chaîne d'information de l'amont vers l'aval de la filière.

Le LORIA et l'INRAE travaillent ensemble dans le projet ANR WoodSeer visant à développer et évaluer des méthodes d'apprentissage profond permettant de prédire la distribution intérieure des singularités à partir de leurs géométries extérieures. Plus précisément, les travaux présentés ici comparent des méthodes d'apprentissage profond avec des méthodes classiques pour des tâches de segmentation et de classification de singularité en surface de grume de bois.

## Utilisation du Lidar terrestre et de l'approche par trait fonctionnel pour évaluer les services écosystémiques procurées par les arbres dans les forêts urbaines à Antananarivo

Narinjanahary ANDRIAMANANJATOVO<sup>1</sup>, Michiel VAN BREUGEL<sup>2</sup>, Philipp URECH<sup>3</sup>, Bruno RAMAMONJISOA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, département des eaux et forêts

<sup>2</sup> Environmental Studies, Yale-NUS College, Singapore

<sup>3</sup> Chair of Landscape Architecture, Department of Architecture, ETH Zurich

<sup>4</sup> Mention Foresterie et Environnement, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo

Face à l'urbanisation croissante et aux pressions exercées par le changement climatique touchant particulièrement les villes africaines dont Antananarivo, les zones boisées en sont des solutions pour maintenir la qualité de vie urbaine à travers les services écosystémiques qu'ils procurent. Cependant, les zones boisées ne recouvrent que 2% de l'agglomération dont la majorité se situe dans les zones péri-urbaines. De plus, il y a eu très peu de recherches sur les arbres à Antananarivo étant données que la capitale n'abrite pas la biodiversité exceptionnelle de Madagascar. De ce fait, cette recherche

s'intéresse particulièrement aux services écosystémiques liés à la régulation de l'eau procurés par les arbres et cherche particulièrement à fixer les espèces qui seront les plus intéressantes sur cela. Pour cela, l'approche par trait fonctionnel en appliquant des modèles d'équations structurelles est utilisée. L'évaluation des traits des arbres se fait à partir de scan lidar terrestre. L'extraction des traits des arbres se fait à partir de deux approches : l'approche par méthode de fraction d'espace à travers la voxelisation des nuages de points du houppier pour extraire les attributs liés au feuillage, l'approche par reconstruction en 3 D en utilisant le modèle QSM pour les traits morphologiques liés aux branches, troncs et aux volumes. L'évaluation des facteurs abiotiques (altitude, humidité du sol) se fera à partir des techniques de télédétection. Les données obtenues par espèces seront testées dans l'équation structurelle pour comparer les espèces.

## Équations allométriques dérivées de données LiDAR terrestres et importance pour l'estimation de la biomasse aérienne dans les forêts de Miombo de la RDC

Jonathan ILUNGA MULEDI<sup>1</sup>, Stéphane MOMO TAKOUDJOU<sup>2</sup>, Pierre PLOTON<sup>3</sup>, Augustin LAMULAMU<sup>4</sup>, Blaise MUPARI<sup>1</sup>, David NKULU<sup>1</sup>, Benoit AMISI MUSHABAA<sup>5</sup>, Nicolas BARBIER<sup>2</sup>

† Co-premier auteurs : Présentateur : Stéphane MOMO

<sup>1</sup> Ecologie, Restauration Ecologique et Paysage, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, République démocratique du Congo

<sup>2</sup> IRD

<sup>3</sup> UMR AMAP, IRD, CNRS, CIRAD, INRA, Université de Montpellier

<sup>4</sup> Représentation FAO en République démocratique du Congo

<sup>5</sup> Direction des Inventaires et des Aménagements Forestiers (DIAF) du Ministère de l'Environnement et Développement Durable, République démocratique du Congo

L'estimation précise des stocks de biomasse aérienne (AGB) dans les forêts tropicales est devenue une priorité internationale nécessaire à la mise en œuvre du processus de Mesure, de Notification et de Vérification (MNV). Dans le cadre de la finalisation du MNV de la République Démocratique du Congo, une étude de calibration et de validation des équations allométriques (EA) spécifiques aux forêts sèches du Miombo dérivées des données LiDAR terrestres (TLS) a été réalisée dans le Katanga. Des relevés TLS ont été effectués dans deux sites et cinq parcelles d'1 ha chacune qui ont été préalablement inventoriées. Des carottes de bois ont été collectées sur 194 individus pour déterminer la densité spécifique individuelle du bois. Le traitement des données TLS a conduit à l'estimation du volume de 214 individus qui ont été convertis en AGB en utilisant la densité spécifique corrigée par la méthode de Momo et al. XX. Ainsi, quatre EA ont été calibrées et présentent toutes des critères de performances ( $R^2$ ) élevés (allant de 91 à 93%) et un biais relatif faible (+3 à -0.23%). Une analyse multivariée (NSCA) réalisée sur les données floristiques et de structure indique un fort contraste de composition et de structure entre les sites étudiés. Ainsi, même si l'ensemble de la variabilité du biotope n'a pas été échantillonné, nous pouvons déjà investiguer la transportabilité des résultats au sein des forêts de Miombo. Une procédure de validation croisée a de fait permis de démontrer la robustesse des EA obtenues entre sites. Les prédictions d'AGB obtenues avec la meilleure EA ont également été confrontées avec les EA présentes dans la littérature. Globalement, une sous-estimation de l'AGB variant de -23,39 à -5 % a été observée lorsque ces EA de la littérature sont utilisées dans notre région d'étude.

## Utilisation du LIDAR terrestre pour l'estimation de la biomasse et du carbone forestier

Ny Tolotra RAZAFIMBELO

Université Laval

L'utilisation du LIDAR terrestre s'est considérablement démocratisée ces dernières années dans le domaine de la foresterie. De nombreuses techniques de traitement des données issues de ce type de capteur ont ainsi vu le jour. Le laboratoire Digital Forest Lab de l'université Laval ambitionne de faciliter le traitement de ces données à travers la conception d'un logiciel qui soit à la fois efficace et facile à utiliser notamment pour les personnes issues des premières nations. Pour ce faire, ce projet de doctorat tâchera tout d'abord de tester l'efficacité du nouveau logiciel qui s'appuyera principalement sur LeWoS : un outil entièrement automatique permettant d'automatiser la séparation des feuilles et du bois de l'arbre, en se basant uniquement sur des informations géométriques à l'échelle de la parcelle et de l'arbre individuel (Wang et al., 2019). Le but sera d'estimer la biomasse forestière et de comparer les résultats obtenus avec ceux de méthodes destructives dans plusieurs milieux différents. Et ensuite, il sera question d'utiliser des méthodes de sciences sociales auprès des personnes issues des premières nations pour mesurer et améliorer la qualité de l'expérience utilisateur. Plus concrètement, nous allons utiliser le questionnaire User Experience Questionnaire (UEQ) (Schrepp et al., 2017). L'objectif général de ce projet de recherche est d'arriver à mettre au point un logiciel de traitement des données issues de capteur LIDAR terrestre performant et agréable à utiliser pour l'estimation de la biomasse forestière.

## Mobile and Terrestrial Laser Scanning for Tree Volume Estimation in Temperate Hardwood Forests

Bastien VANDENDAELE<sup>\*1</sup>, Olivier MARTIN-DUCUP<sup>2</sup>, Richard A. FOURNIER<sup>1</sup>, Gaëtan PELLETIER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Université de Sherbrooke

<sup>2</sup> Freelance

<sup>3</sup> Institut de Recherche sur les Feuillus Nordiques (IRFN), Edmundston (Nouveau-Brunswick), Canada

The major bottleneck of the conventional in-situ inventory system is that data collection is laborious, of low-sampling intensity and time-consuming. This, in turn, can limit the spatial and temporal resolution of field surveys, making them inadequate to support today's needs for accuracy, spatial detail, and timely updates. Recently, mobile laser scanning (MLS) demonstrated their potential for quick and effective assessment of tree- and plot-level attributes. This study aimed to evaluate the potential of MLS data to estimate several forest inventory attributes in a mature hardwood stand: (i) diameter at breast height, tree height and crown dimensions, and (ii) wood volume by branching order using geometric QSM techniques. Error estimate is made from a comparison between the volume estimates from the MLS and TLS point clouds, and those from destructive field measurements. Results indicate that mobile scanning platforms provide accurate estimates of DBH ( $R^2 = 0.99$ , RMSE = 1.21 cm (3.07%)), tree height ( $R^2 = 0.93$ , RMSE = 0.42 m (1.78%)), crown projected area ( $R^2 = 0.99$ , RMSE = 3.23 m<sup>2</sup> (5.75%)) and merchantable wood volume ( $R^2 = 0.95$ , RMSE = 0.39 m<sup>3</sup> (18.57%)), when compared to TLS. They also show great potential for estimating merchantable wood volume ( $R^2 = 0.94$ , RMSE = 0.42 m<sup>3</sup> (21.82%)), compared to destructive field measurement or the allometric equations ( $R^2 = 0.93$ , RMSE = 0.16 m<sup>3</sup> (14.7%)). The results of this study are expected to provide guidance for exploring new horizons of in-situ quantitative forest mapping using mobile platforms.

