

---

# Caractérisation des arbres par données LiDAR et hyperspectrales de la forêt boréale

Florent Guiotte\*<sup>1</sup> and Jorma Laaksonen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Science [Aalto] – Finlande

## Résumé

Dans ce travail, nous présentons une étude des espèces d'arbres de la forêt boréale en utilisant des images hyperspectrales aériennes et une segmentation d'arbres à partir de nuages de points LiDAR. Nous utilisons des annotations d'espèces provenant de relevés terrain forestier et effectuons une validation qualitative en utilisant une bibliothèque spectrale pour comparer nos résultats et évaluer des modèles simples.

### Données

La zone d'étude couvre une zone forestière à Hyytiälä, dans le sud de la Finlande. Les principales espèces d'arbres de la zone sont le pin sylvestre (*pinus sylvestris*), l'épicéa commun (*picea abies*) et le bouleau verruqueux (*betula pendula*).

Les données utilisées dans cette étude se composent d'images hyperspectrales aériennes et de nuages de points LiDAR, ainsi que de relevés terrain et d'une bibliothèque de spectres de réflectance des feuilles et des aiguilles.

Les images hyperspectrales ont été acquises par un avion survolant la zone d'étude. L'image finale est un composite de deux capteurs qui produisent ensemble une image hyperspectrale avec 140 bandes dans la plage de longueurs d'onde de 380 nm à 2 450 nm, avec une résolution pixel de 125 cm.

Les données LiDAR ont été acquises par un système laser aéroporté et post-traitées pour produire des fichiers de nuages de points avec une densité d'environ 50 points par mètre carré.

Les relevés terrain forestier se composent d'annotations couvrant 20 parcelles de référence d'environ 600 m<sup>2</sup> chacune. Chaque parcelle possède un inventaire d'arbres individuels. L'ensemble de données annoté se compose d'un total de 1 342 arbres. Chaque arbre est annoté avec une étiquette pour son espèce et ses coordonnées X et Y, qui sont utilisées pour établir une correspondance dans le nuage de points LiDAR. De plus,

---

\*Intervenant

chaque parcelle est annoté avec une étiquette pour indiquer l'espèce d'arbre principale la composant.

Enfin, la bibliothèque spectrale contient des mesures hyperspectrales de feuilles et d'aiguilles d'espèces d'arbres de forêt boréale. Les mesures ont été effectuées avec un spectroradiomètre dans un environnement de laboratoire. Les quantités mesurées sont la réflectance hémisphérique directionnelle dans la plage de longueurs d'onde de 350 à 2 500 nm. La résolution spectrale du spectromètre est de 3 nm dans les longueurs d'onde du visible à l'infrarouge proche ( $\leq 1\ 000$  nm) et de 10 nm dans les longueurs d'onde de l'infrarouge à ondes courtes ( $> 1\ 000$  nm). Les spectres ont été interpolés par intervalles de 1 nm (Hovi, Raitio, and Rautiainen 2017).

#### Segmentation d'instances d'arbres

Notre étude utilise une nouvelle méthode pour la détection et la segmentation individuelle d'arbres à partir de nuages de points LiDAR.

Cette méthode se base sur un maillage triangulaire pour connecter les points, puis applique un filtrage simple pour obtenir un modèle de surface avant d'utiliser un filtrage morphologique sur les composantes connexes pour détecter les arbres individuels, et enfin effectuer la segmentation d'instances d'arbres. La méthode proposée est efficace d'un point de vue computationnel et ne nécessite que d'un seul paramètre pour régler la sensibilité de la détection. À notre connaissance, cette approche est la première méthode qui utilise un filtrage par composantes connexes dans un nuage de points LiDAR sans avoir recours à une rasterisation intermédiaire. Cette approche non pixelisée conduit à plusieurs améliorations significatives, dont celle d'être multi-échelle et de s'adapter aux densités irrégulières des nuages de points LiDAR tout en maintenant le plus haut niveau de précision pour la détection et la segmentation (Guiotte, Kostensalo, and Laaksonen 2024).

Après la segmentation, un algorithme glouton simple est utilisé pour faire correspondre les arbres annotés des relevés terrain aux arbres détectés par LiDAR.

#### Agrégation de données hyperspectrales

Les segmentations d'instances d'arbres à partir du LiDAR sont ensuite projetées des points en 3D à des polygones en 2D. Nous utilisons les polygones pour masquer l'image hyperspectrale et agréger les spectres (c'est-à-dire les pixels) par arbre. Nous étudions la moyenne et l'écart type des spectres à la fois par parcelle de référence et par arbre en fonction de leur espèce.

#### Validation avec la bibliothèque spectrale

Enfin, nous utilisons la bibliothèque spectrale comme validation qualitative de ces travaux. Les données de la bibliothèque spectrale contiennent des niveaux de réflectance beaucoup plus détaillés et contrôlés provenant uniquement des feuilles, tandis que les pixels de l'image hyperspectrale agrègent beaucoup plus de flux diffus autour des arbres. Cela étant dit, et bien que les niveaux de réflectance soient significativement plus bas dans l'image hyperspectrale, nos expériences montrent des distributions spectrales similaires des espèces d'arbres, en particulier dans la plage de 1 500 nm à 2 000 nm. Dans cette plage

spectrale, les trois espèces d'arbres (pin, épicéa et bouleau) sont clairement distinctes les unes des autres, à la fois dans la bibliothèque spectrale et dans nos données provenant de l'image hyperspectrale. Nous démontrons en outre que l'on peut transférer certaines connaissances spectrales acquises en laboratoire sur le terrain en utilisant des modèles simples tels que le k plus proche voisins et la normalisation des données.

#### Références

Guiotte, Florent, Joel Kostensalo, and Jorma Laaksonen. 2024. "Mesh Surface and Morphological Hierarchies for Individual Tree Detection and Segmentation from LiDAR Data." In IEEE International Geosciences and Remote Sensing Symposium.

Hovi, Aarne, Pekka Raitio, and Miina Rautiainen. 2017. "A Spectral Analysis of 25 Boreal Tree Species." *Silva Fennica* 51 (4). <https://www.silvafennica.fi/article/7753>.