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 [1] , Richard A. Fournier [1] ,
Jean-François Côté [2] , and François Pimont [3]

[1] Département de geomatique appliquée, Centre de Recherche en TELédétection, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (QC), Canada

[2] Resource naturelle Canada, Service canadien des forêt – Centre canadien de la fibre de bois, Québec (QC), Canada

[3] Institut National de Recherche Agronomique (INRA), Avignon, France

Remote Sensing of Environment 279 (2022) 113115

Contents lists available at ScienceDirect

Remote Sensing of Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rse

Estimation of vertical plant area density from single return terrestrial laser scanning point clouds acquired in forest environments

Van-Tho Nguyen [a,*], Richard A. Fournier [a], Jean-François Côté [b], François Pimont [c]

[a] Department of Applied Geomatics, Centre d'Applications et de Recherche en Télédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke, Sherbrooke, QC J1K 2R1, Canada
[b] Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Canadian Wood Fibre Centre, Québec, QC G1V 4C7, Canada
[c] UR 629 Ecologies des Forêts Méditerranéennes (URFM), INRAE, 84914 Avignon, France

ARTICLE INFO

Edited by Jing M. Chen

Keywords:
Forest structure
Leaf area density

ABSTRACT

Plant area density (PAD in $m^2 \cdot m^{-3}$) defines the total one-sided total plant surface area within a given volume. It is a key variable in characterizing exchange processes between the atmosphere and land surface. Terrestrial laser scanning (TLS) provides unprecedented detail of the 3D structure of forest canopies. Yet, signal occlusion and uneven sampling density of the TLS point clouds limit our capacity to characterize the 3D distribution of canopy components. Recent studies have made use of statistical estimators of PAD that are applied to TLS point clouds

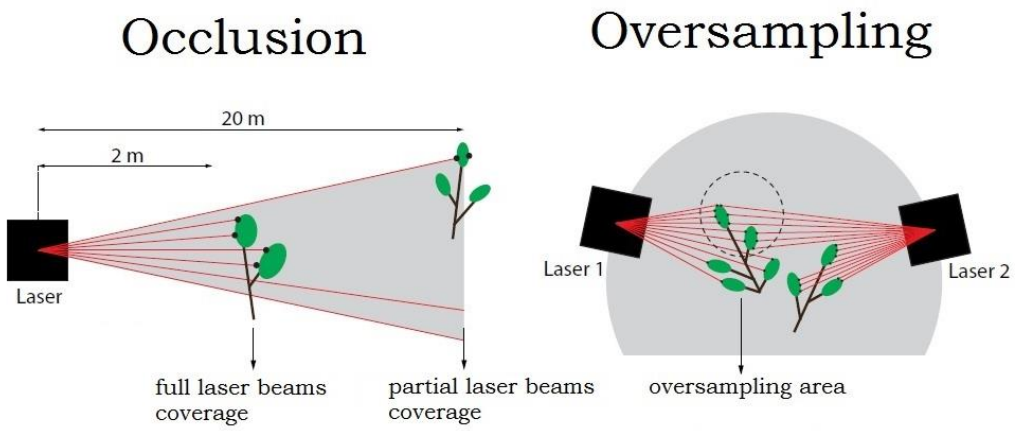
Introduction

- Plant Area Density (PAD in $m^2 \cdot m^{-3}$) se défini comme la surface totale de la plante incluant bois et feuillage.

- PAD (LAD) is un des paramètres les plus important à caractériser pour les processus d'échange entre l'atmosphère et la surface terrestre

Introduction

- Les données de lidar terrestre (TLS) procurent un grand nombre de details sur la structure 3D de la canopée forestière incluant le PAD en utilisant une approche de voxélization
- Défis/contraintes :
  - Le nuage de point TLS est échantillonnée de manière non uniforme, inclut de l'occlusion et du bruit
  - L'estimation du PAD à partir des données TLS brutes est inexact
  - Manque de disponibilité des données de validation sur le PAD de placettes forestières



Données de validation

- Il existe des maquettes 3D qui simulent des forêts et donc qui procures la surface de feuillage et de bois. Ces maquettes peuvent être utilisées comme données de référence pour l'estimation de PAD :
  - Forêt boréale : Terre-Neuve avec L-Architect (Coté et al. 2011)
  - Forêt feuillue : Forêt Wytham disponible sur internet (Calders et al. 2018)

1

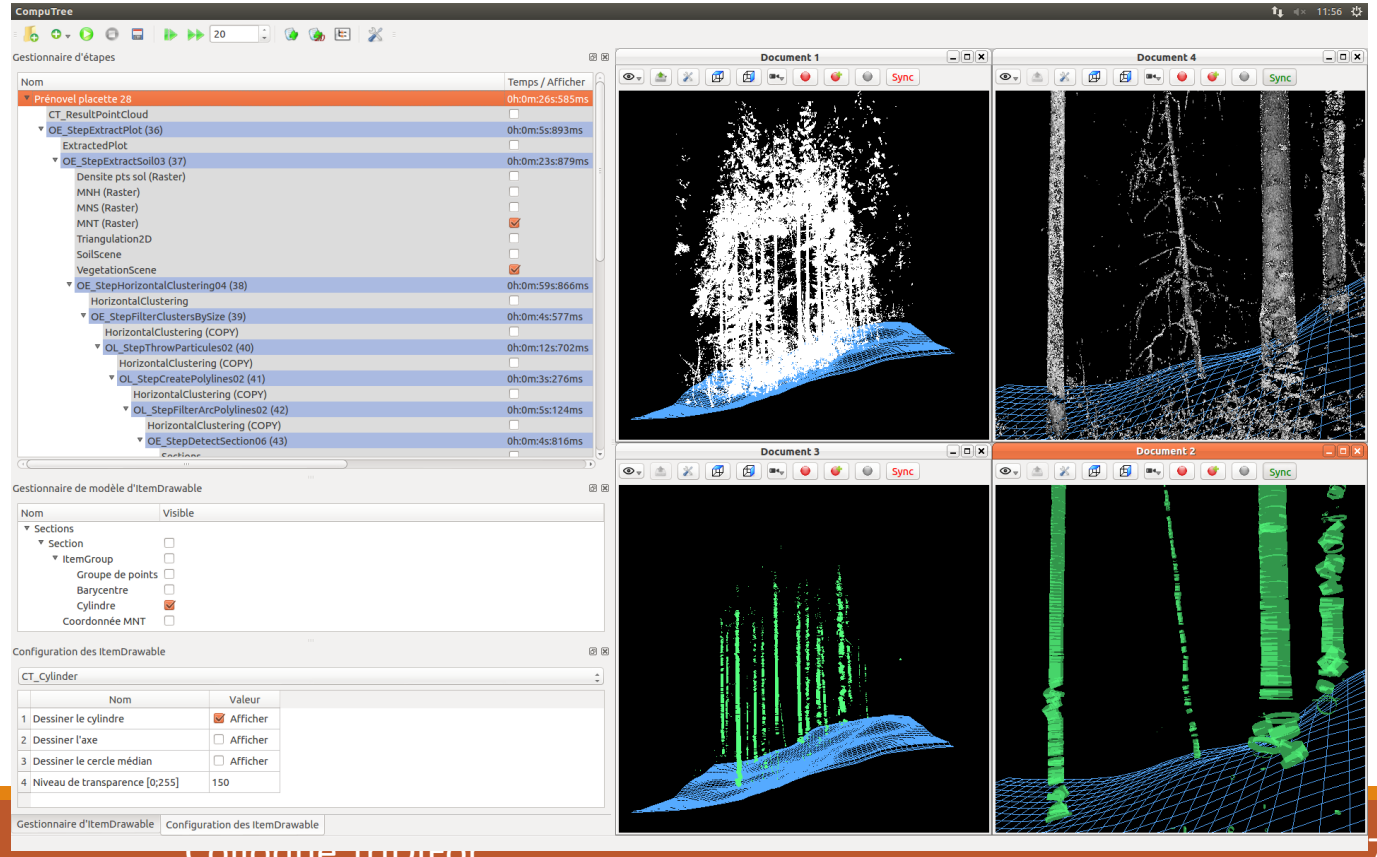
2

3

4

L’algorithme L-Vox

- Un plugin de Computree (www.computree.fr)
- Implémentation d’un cadre mathématique pour l’estimation du PAD de placettes forestières par l’approche de voxélisation proposée par Pimont et al. (2018)



Objectifs

Cette étude vise l'estimation du PAD à partir de données TLS de placettes simulées et réelles de forêts pour :

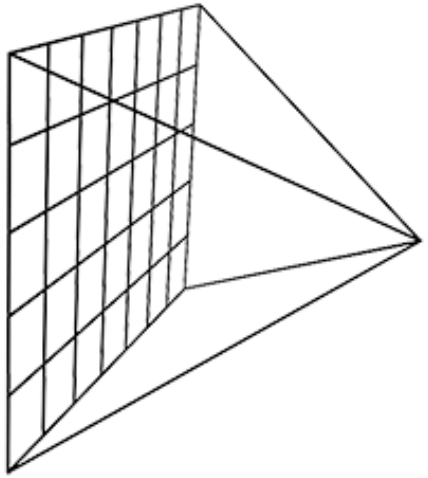
- Valider les valeurs de PAD estimées par L-Vox
- Évaluer l'impact des paramètres tels que la dimension du voxel size par rapport à la dimension du feuillage
- Déterminer l'influence des occlusions
- Établir les bénéfices de multiples scans

Simulation de données TLS à partir de maquettes 3D

- Vise à produire un nuage de point réaliste de scans TLS de placettes de 400 m^2 :
  - 4 placettes virtuelle de conifères simulées par le modèle L-Architect (Terre-Neuve, Canada)
  - 4 placettes de feuillus tirées d'une simulation de 1 ha de la forêt Wytham (UK)

Nuage de points TLS simulé :

Forest model



© www.scratchapixel.com

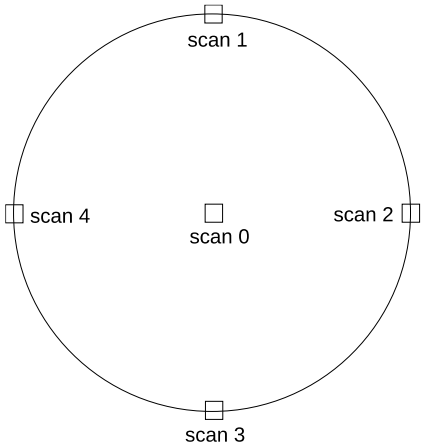
Simulator: pbrt

Simulated point cloud

Premier retour seulement
Résolution angulaire : 0.036°
Simule les spécifications de l’appareil to Z+F Imager 5006

Nuage de points TLS simulé

Forest model



Simulation from 5 & 9 scanner positions

Simulated point cloud

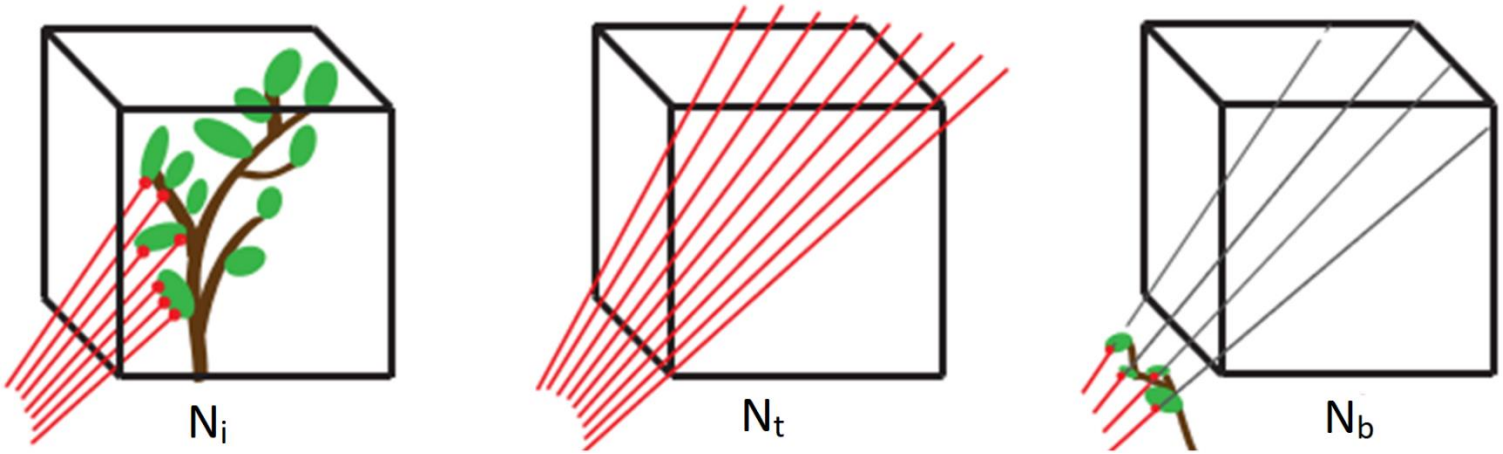
Nombre of scans : 5

Nombre moyen de retours par scan: 30 000 000

Procédure pour le calcul du PAD

1. Voxélisation du nuage de points TLS
2. Calcul du PAD pour chaque nuage de points :
   - Deux estimateurs de PAD (Pimont et al. 2018) sont implementés dans L-Vox avec une correction du biais : (1) Beer-Lambert et (2) Maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood : MLE)
3. Intégrer la valuer de PAD de tous les scans
4. Calculer les profils verticaux des PAD estimés

Calcul du PAD avec le RDI



Relative Density Index - RDI (Durrieu et al. 2008) : le rapport entre le nombre de retour à partir d'un voxel (N_i) et le nombre de tirs qui rejoint le voxel (N)

$$N = N_t - N_b$$

$$RDI = \frac{N_i}{N}$$

Pour chaque voxel :

N_t: le nombre théorique de tirs qui arrive au voxel

N_b: le number de tirs interceptés avant le voxel

Calcul du PAD

- Le PAD, établit par la loi de Beer-Lambert au niveau du voxel, est estimé à partir du nombre de tirs lidar et du nombre de retours :

$$T = 1 - RDI \quad \text{(où T = transmittion)}$$

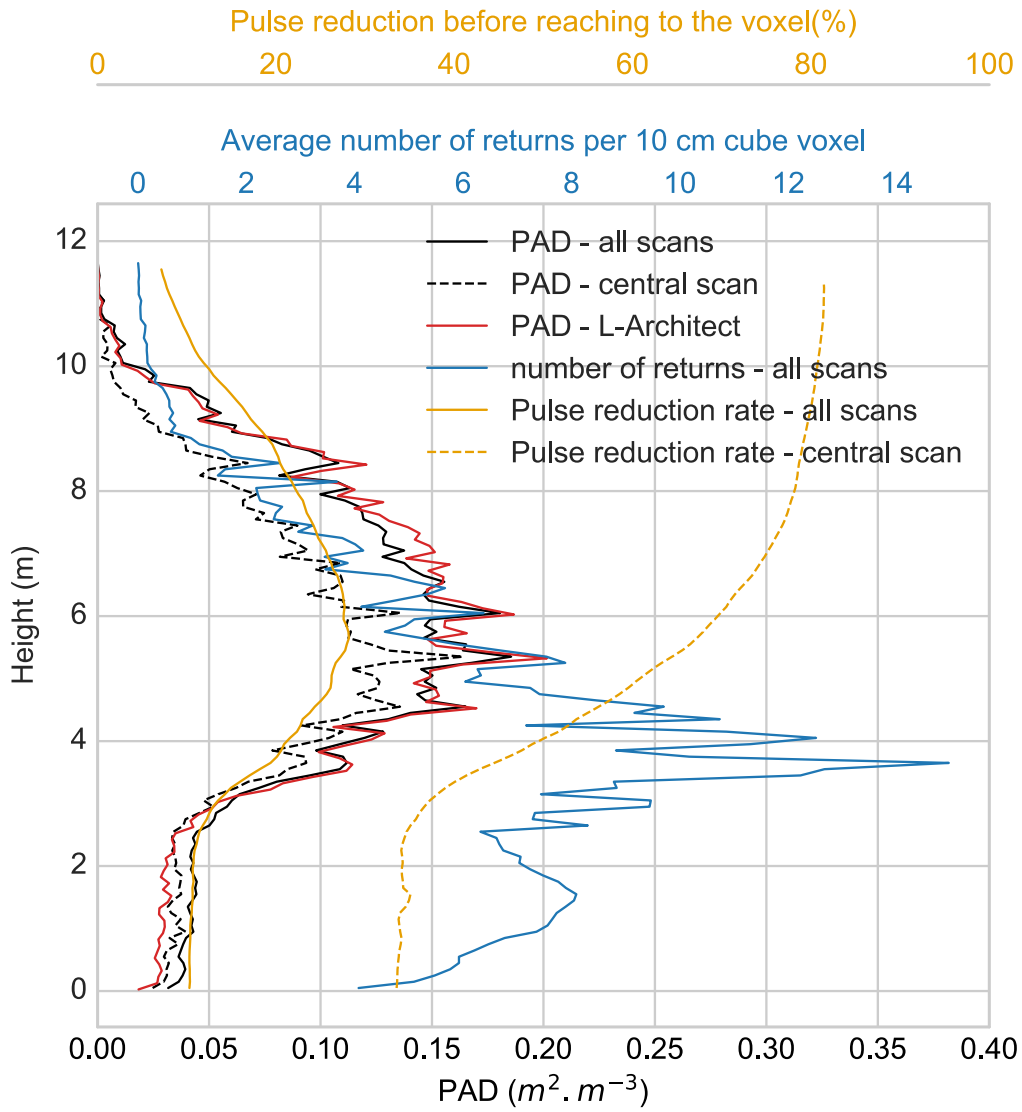
$$PAD = -log\left(\frac{T}{G \cdot d_v}\right)$$

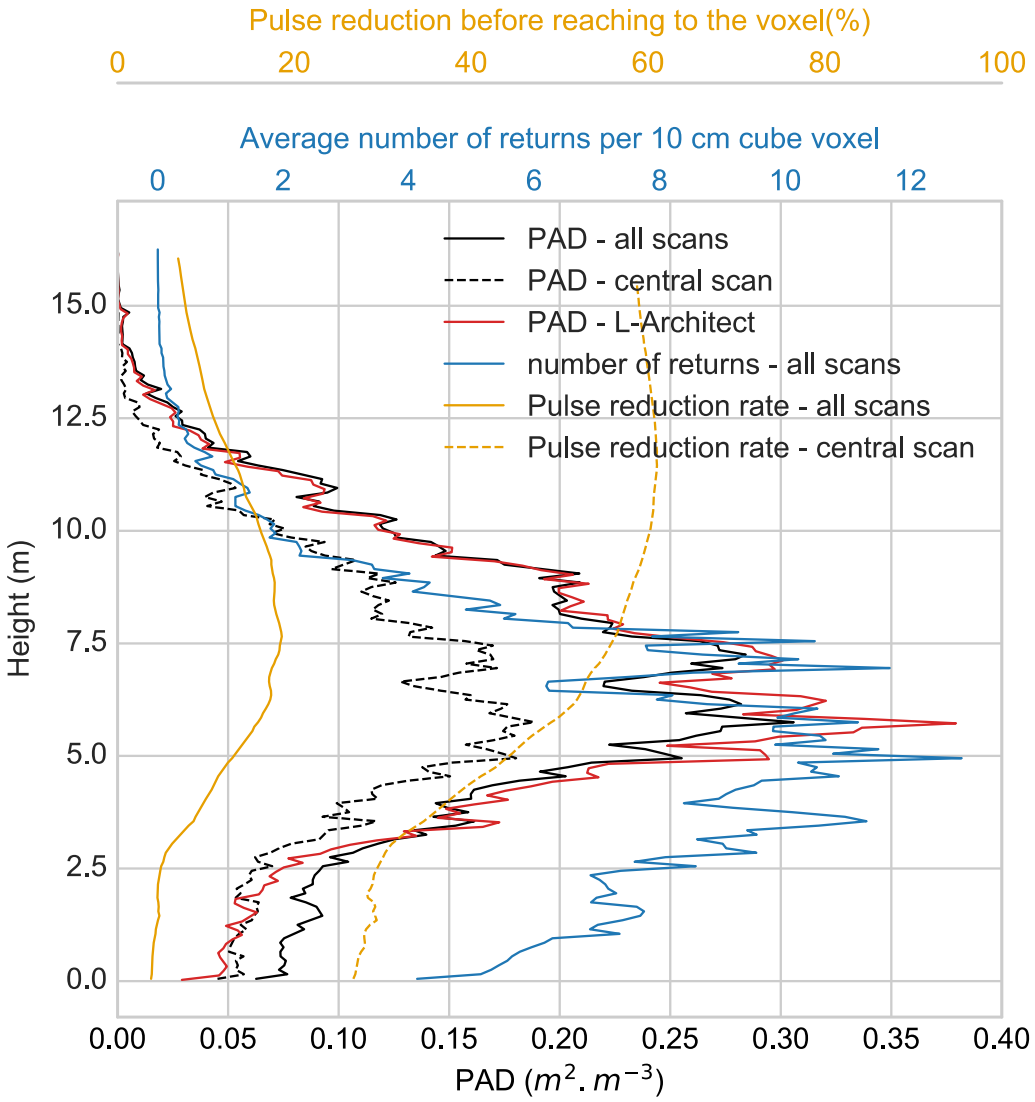
G: coefficient de projection du feuillage,

d_v: dimension du voxel

- Correction du biais (Pimont et al. 2018) : selon la dimension des éléments de la canopée et des chemins inégaux des tirs dans le voxel

Résultats et validation

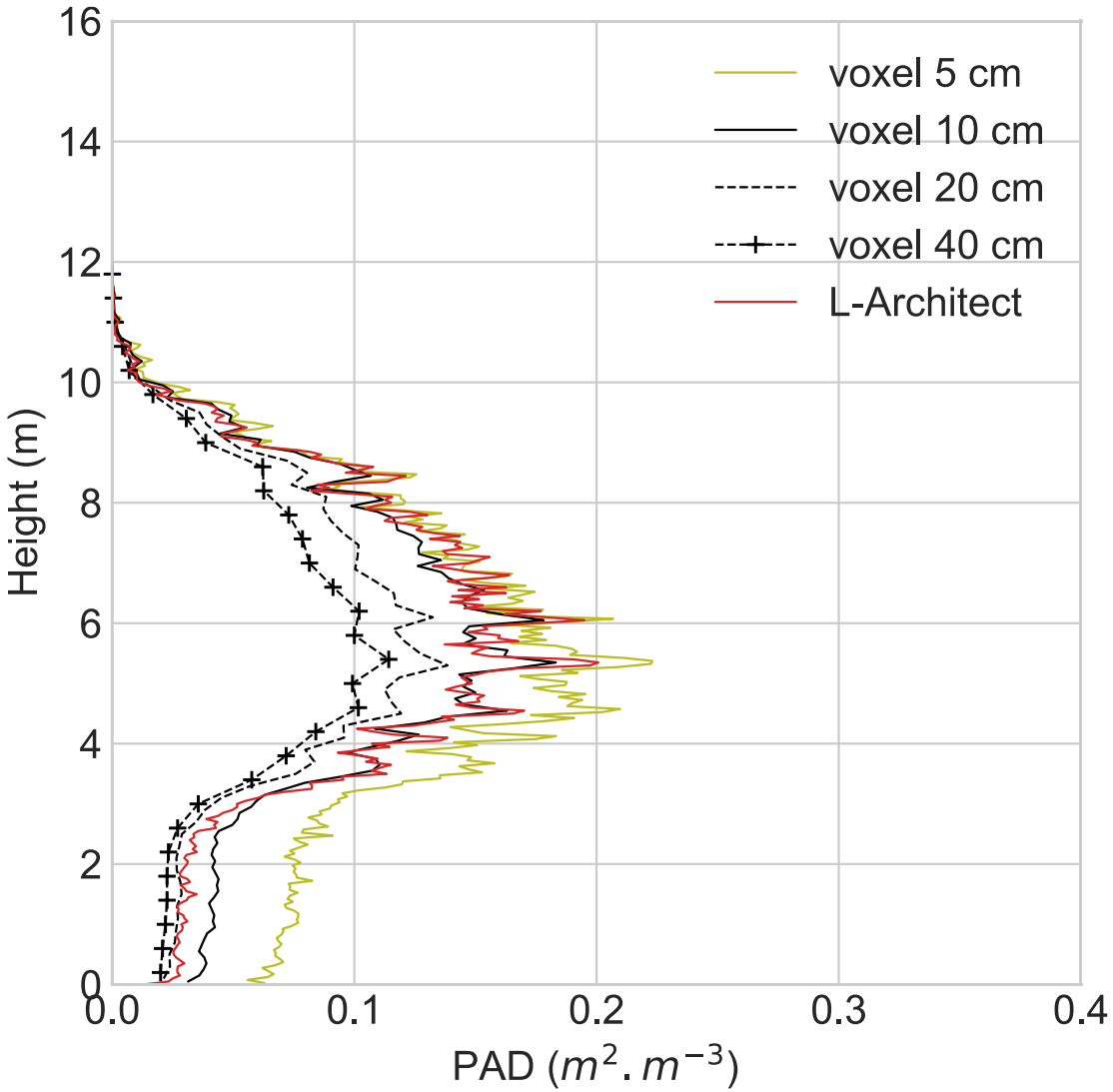


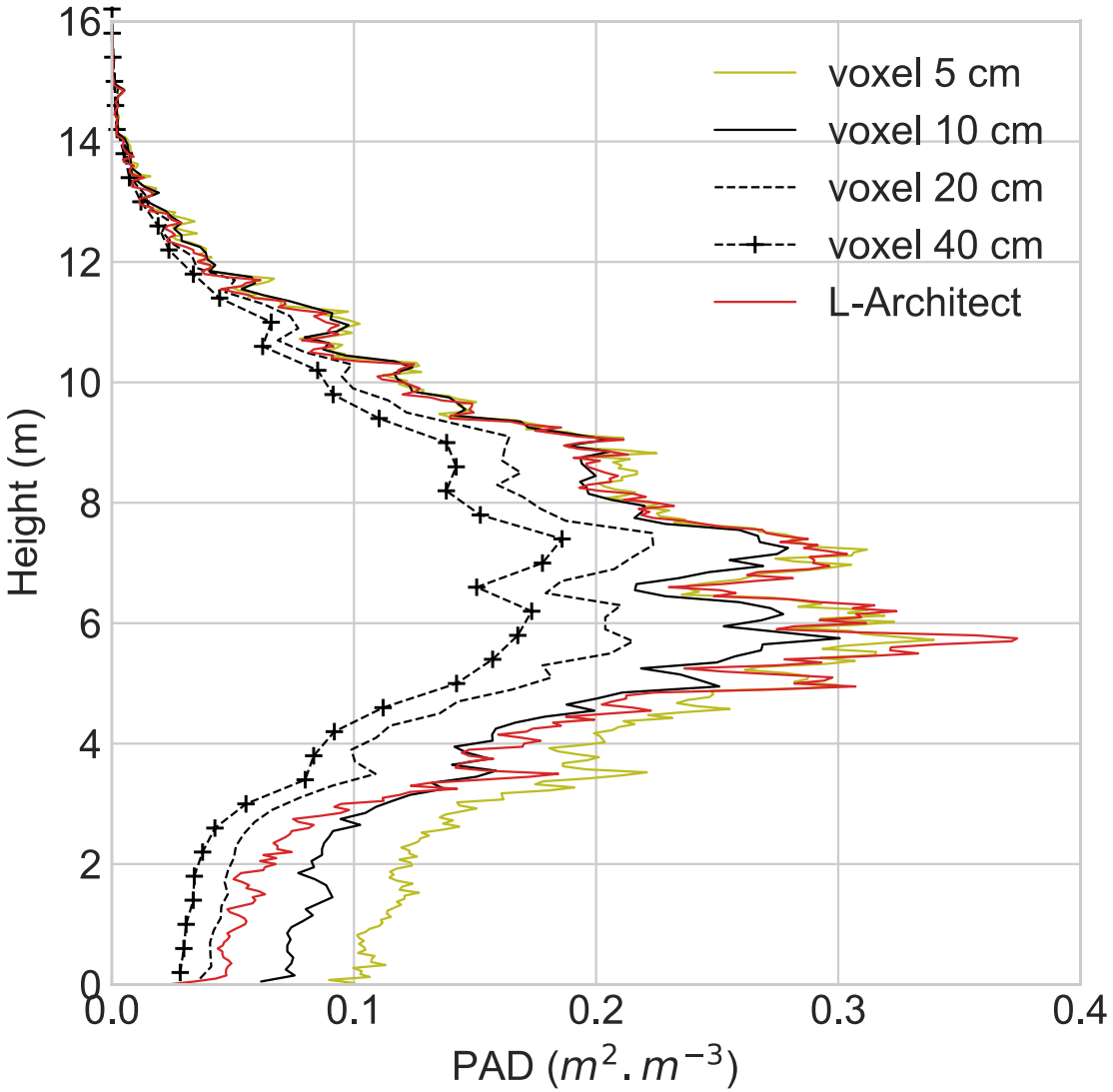


4 placettes de conifères : R^2 moyen = 0.98

Voxel : 10 cm

Effet de la dimension du voxel





2 placettes de conifères

Influence de la dimension du voxel

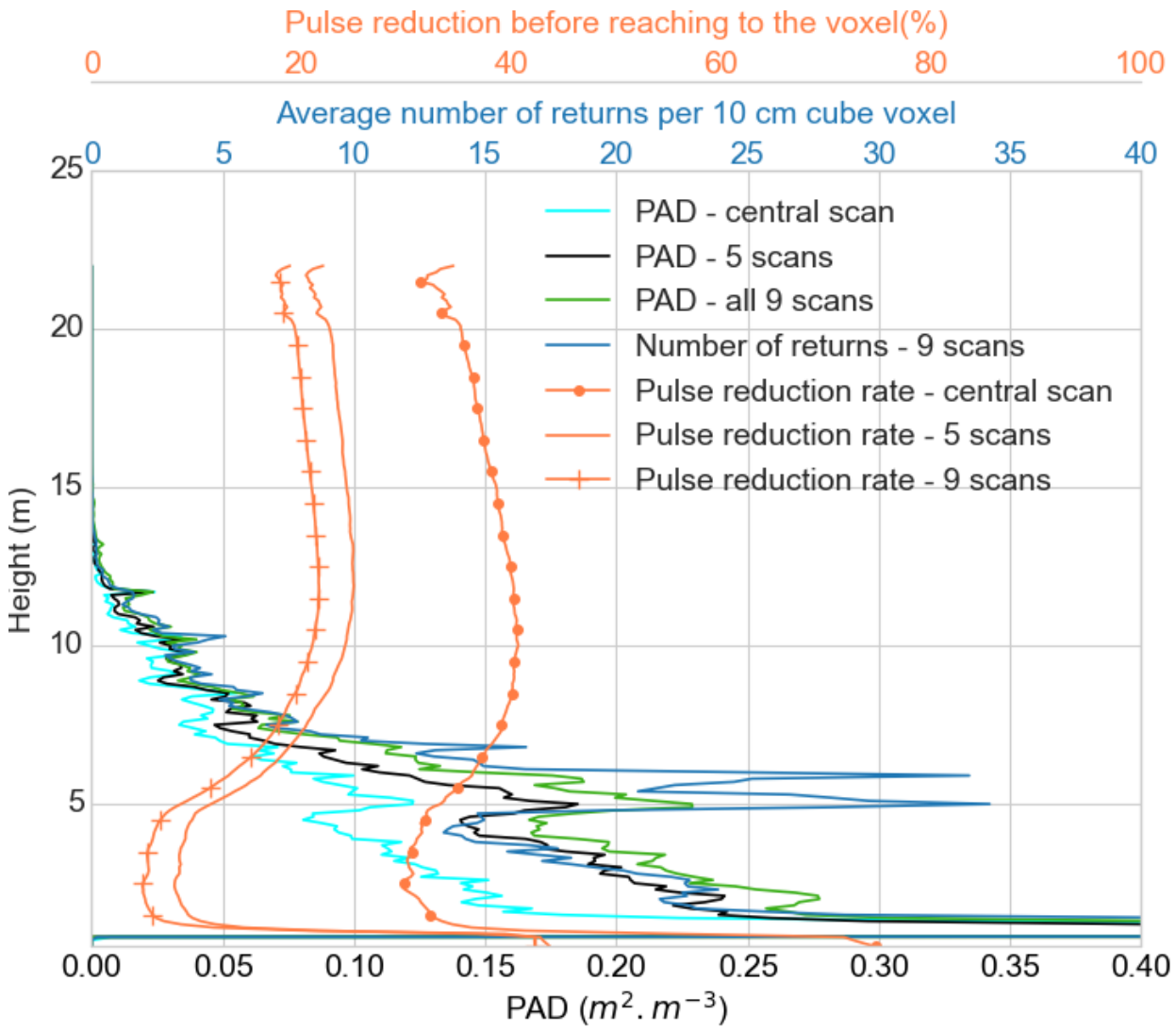
- Par rapport à la dimension du feuillage :
  - Petit voxel implique une surestimation du PAD
  - Gros voxel implique une sousestimation du PAD

- La question du voxel optimal depend de la dimension du feuillage.

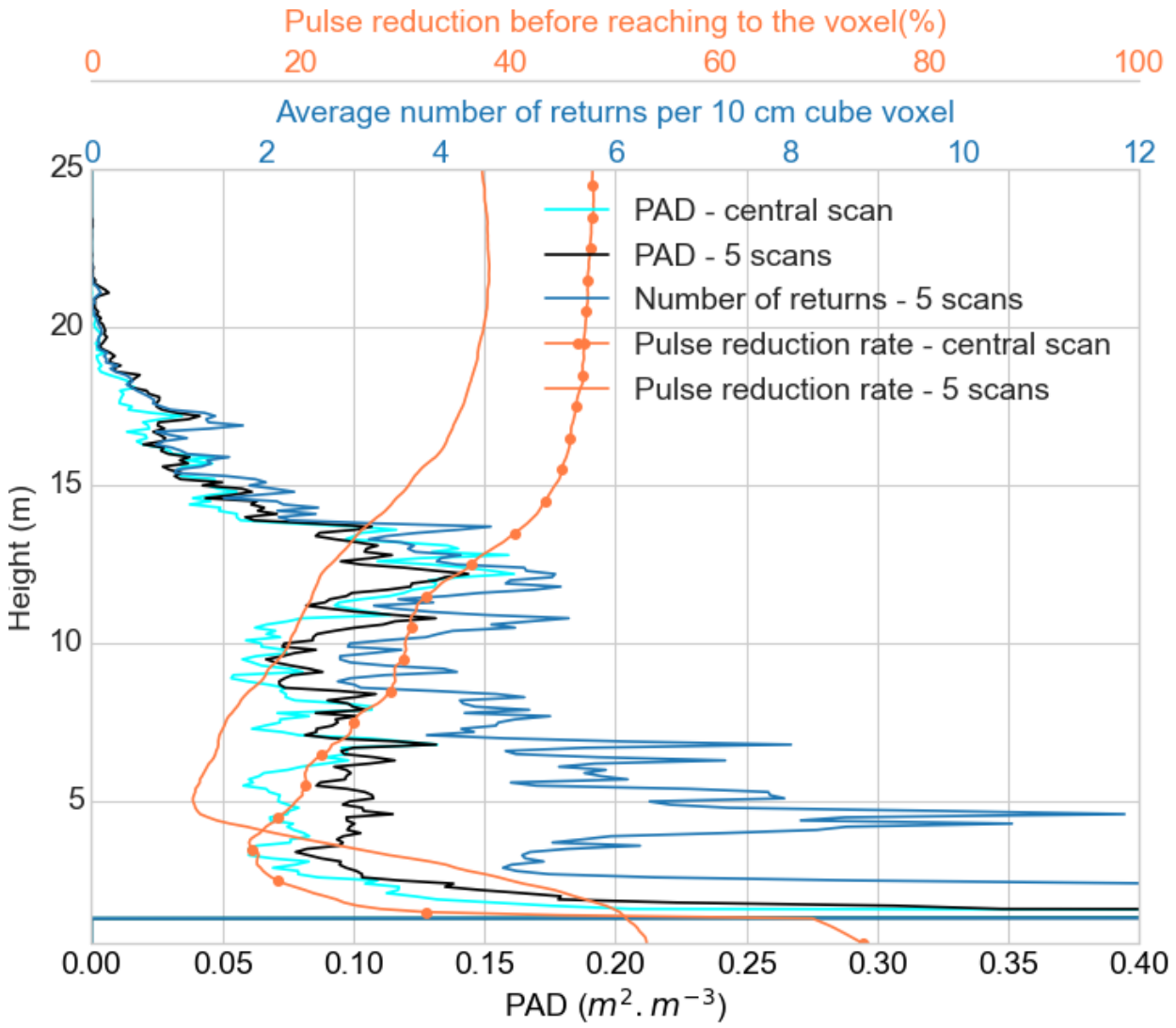
Placettes de conifères
Dimension optimale du voxel : 10 cm
Dimension des pousses : ~2 cm

Placettes de feuillus
Dimension optimale du voxel : 40 cm
Dimension des feuilles : ~5 cm

Effet du nombre de scans



Placettes de forêt naturelle de conifers (Terre-Neuve)



Placette de forêt naturelle de feuillus (N.B.)

Influence du nombre de scans sur l'occlusion

- Nuage de points composé de plusieurs scans améliore l'exactitude (de 30-40%) par rapport à un scan (simulations)

- L-Vox compense pour l'occlusion jusqu'à ce qu'un seuil de réduction des tirs soit attaint (60 % et +) (simulations)

- L'occlusion globale passe de 37,5 % à 0,25 % lorsqu'on compare 1 scan avec 5 scans. La réduction de l'occlusion de 5 à 9 scans est négligeable (de 0,031 % à 0,001 %) (placettes en forêt naturelle)

Conclusion

- L-Vox procure la capacité de corriger pour le problème d'occlusion :
  - Exactitude de plus de 90% sur les profils verticaaux des estimés de PAD
  - Perte d'exactitude lorsque la reduction du nombre de tirs atteing 60 % ou plus, par exemple dans la sommet de la canopée pour un peuplement de feuillus dense
- Les résultats dependent de la dimension des voxels en function de la dimension du feuillage :
  - La dimension optimale des voxel de 10 cm pour les conifers et de 40 cm pour les feuillus.
- Le problème d'occlusion domine l'estimation du PAD à partir du nuage de points. Des scans multiples améliorent les estimations de 30-40 %

Perspectives

Amélioration de la fonctionnalité de L-Vox :

- Faciliter son usage : intrants et optimization du code
- Meilleure intégration dans Computree et potentiellement dans un autre environnement
- Intégration avec d'autres algorithms pour estimation du LAI/WAI (séparation feuillage/bois)
- Poursuivre exploration du cadre mathématique pour estimation des surfaces à partir du nuage de points

References

http://computree.onf.fr

Calders, K., Origo, N., Burt, A., Disney, M., Nightingale, J., Raumonen, P., ... & Lewis, P. (2018) Realistic forest stand reconstruction from terrestrial LiDAR for radiative transfer modelling. *Remote Sensing*, 10(6), 933.

Côté, J.F., Fournier, R.A., Egli, R. (2011) An architectural model of trees to estimate forest structural attributes using terrestrial lidar. *Environmental Modelling & Software*, 26, 761–777.

Durrieu, S., Allouis, T., Fournier, R., Véga, C., & Albrech, L. (2008) Spatial quantification of vegetation density from terrestrial laser scanner data for characterization of 3D forest structure at plot level. ForestSAT Conference, September, Edimbourg UK

Nguyen, V.T., Fournier, R.A., Côté, J.-F., Pimont, F. (2022) Estimation of vertical plant area density from single return terrestrial laser scanning point clouds acquired in forest environments *Remote Sensing of Environment* 215, 343–370.

Pimont, F., Allard, D., Soma, M., Dupuy, J.L. (2018) Estimators and confidence intervals for plant area density at voxel scale with t-lidar. *Remote Sensing of Environment*, 215, 343–370.

MERCI DE VOTRE ATTENTION

QUESTIONS ?