



UNIVERSITÉ
LAVAL

Faculté de foresterie, de géographie
et de géomatique

Fonds de recherche
sur la nature
et les technologies

Québec 

Sécurité publique
Québec 



CENTRE DE RECHERCHE

EN DONNÉES ET INTELLIGENCE
GÉOSPATIALES

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

Olivier STOCKER⁽¹⁾, Éric GUILBERT⁽¹⁾, Jean-François CÔTÉ⁽²⁾, Antonio FERRAZ⁽³⁾, Thierry BADARD⁽¹⁾

(1) Université Laval

(2) Ressources naturelles Canada

(3) Jet Propulsion Laboratory NASA

TRIDIFOR – 20 SEPTEMBRE 2022

Sommaire



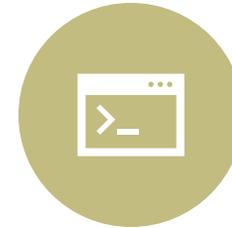
PROBLÉMATIQUE



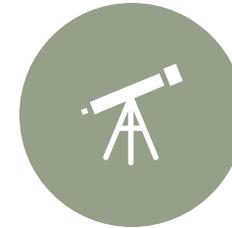
MÉTHODOLOGIE



MODÉLISATION



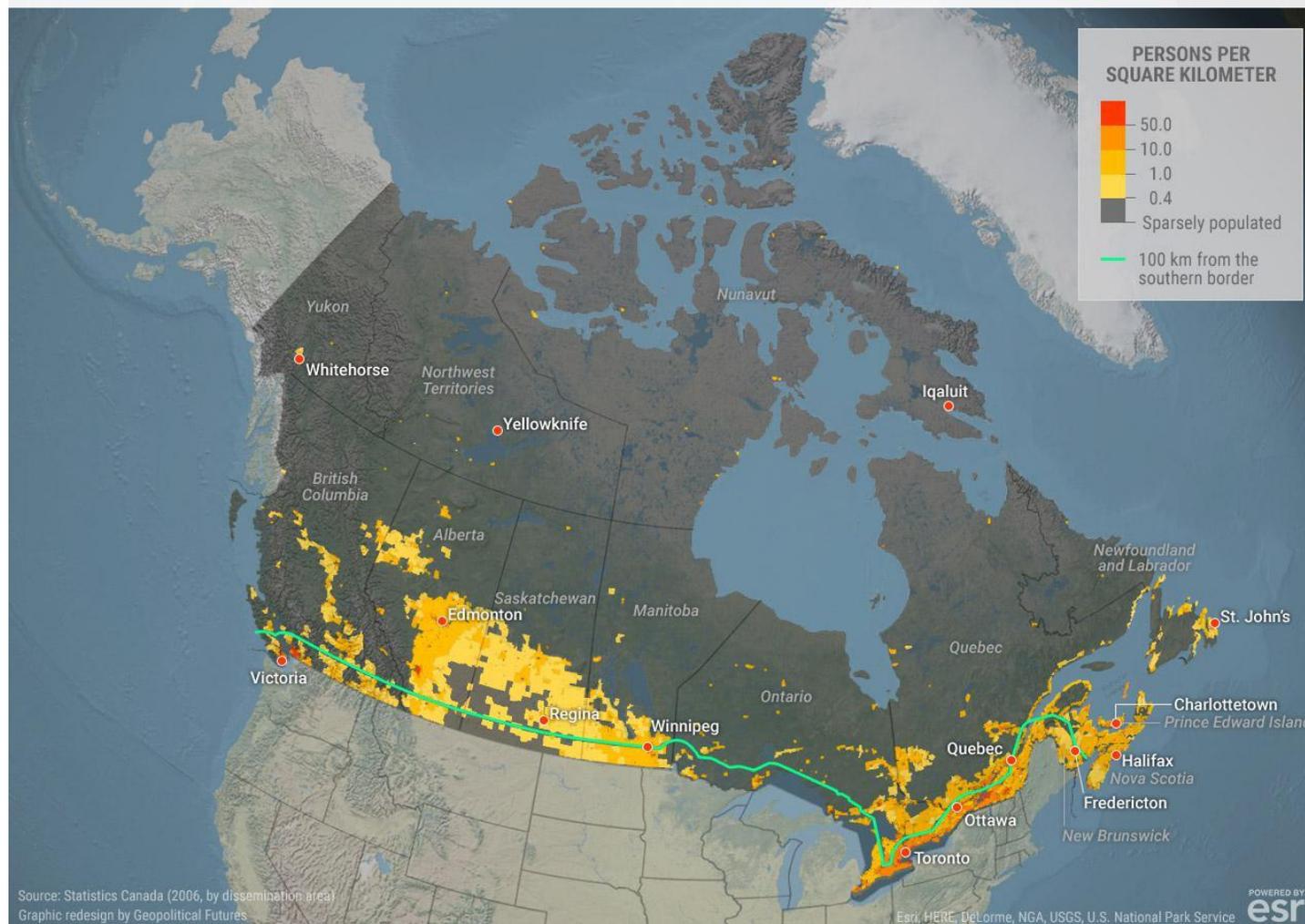
SIMULATION



PERSPECTIVES



POPULATION DENSITY OF CANADA



Source : [reddit](#)

Suivi du territoire

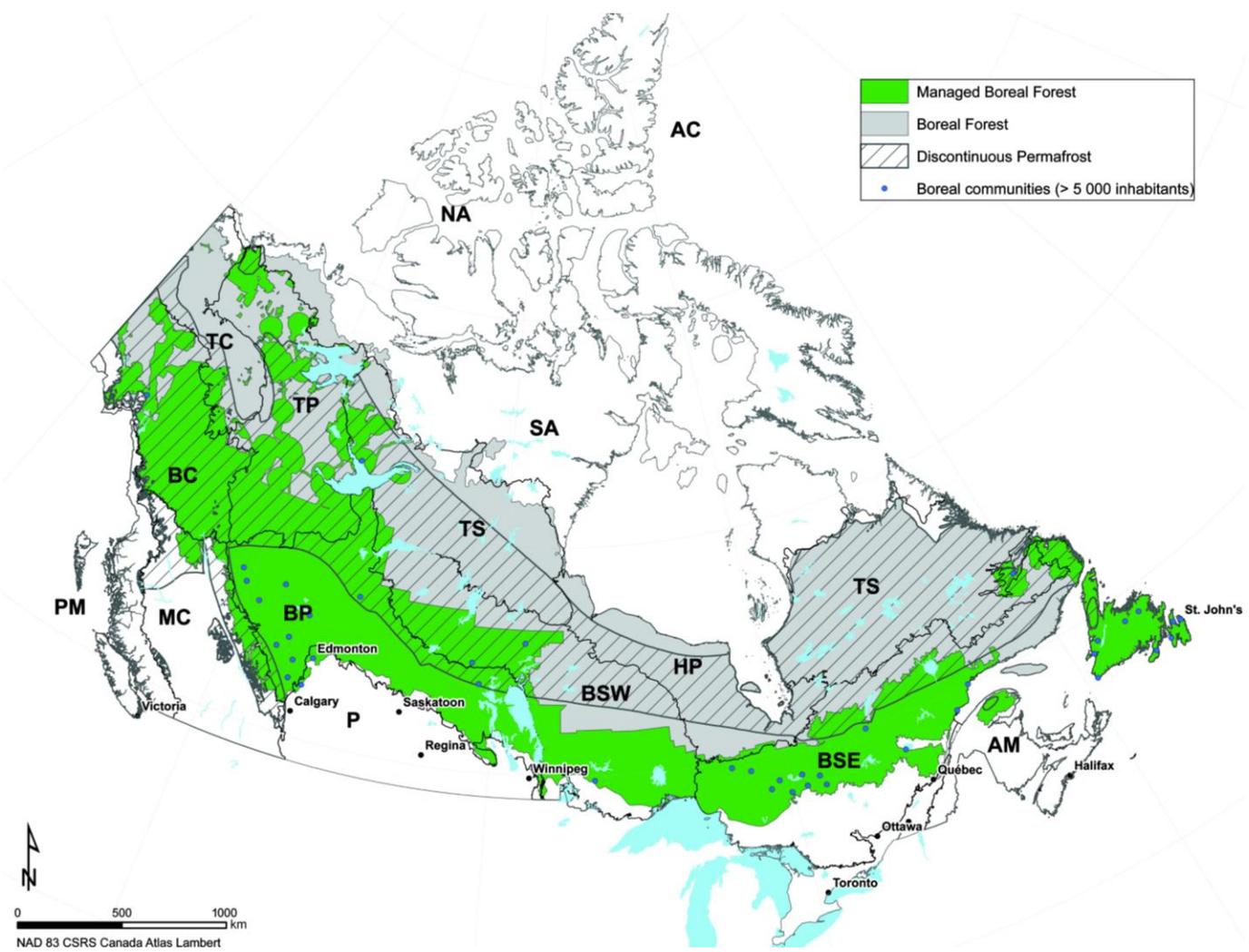
- Population canadienne inégalement répartie sur le territoire



Suivi du territoire

- Population canadienne inégalement répartie sur le territoire
- Grande quantité de **territoires non aménagés**

Source : [1]

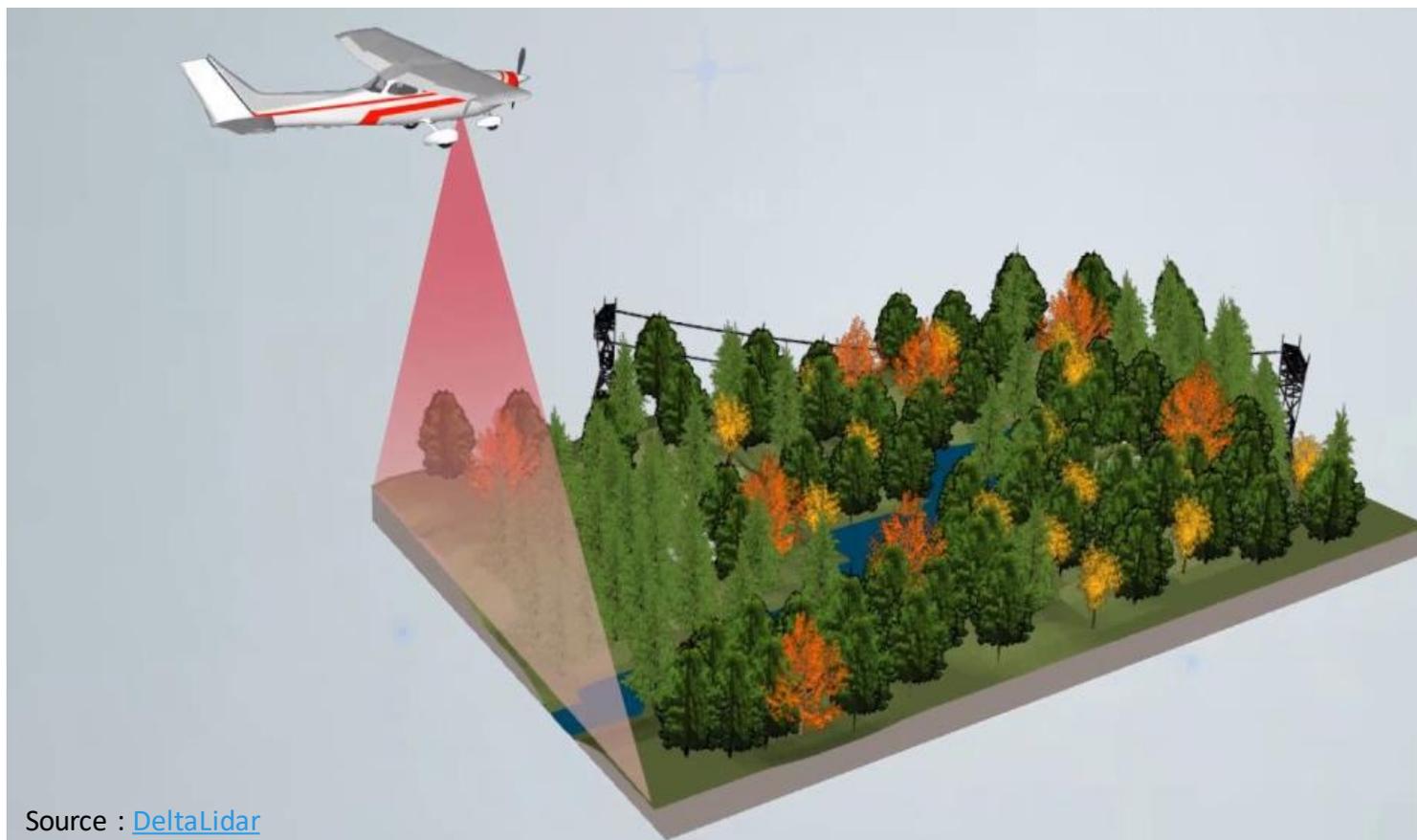


Suivi du territoire

- Population canadienne inégalement répartie sur le territoire
- Grande quantité de **territoires non aménagés**
- Grande quantité de **forêts non entretenues**

Besoin de suivi de l'évolution du territoire

Source : [2]



Source : [DeltaLidar](#)

Suivi du territoire

LiDAR aéroporté pour suivi des milieux forestiers :

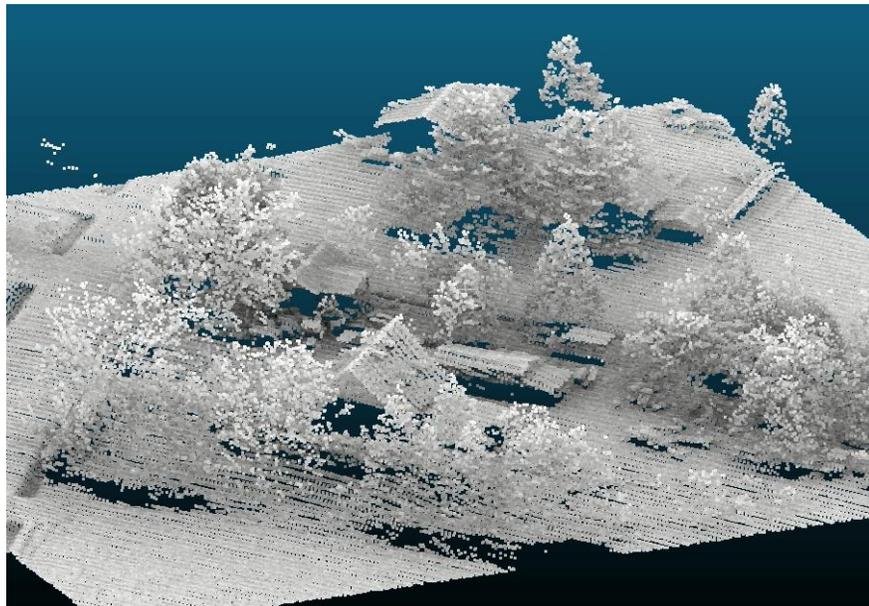
- Vecteur : ratio optimal entre couverture et résolution
- Capteur : pénètre la végétation et données informatives [Fassnacht et al., 2016]
- Multitude d'applications forestières



Besoin d'automatisation

Nuage de points LiDAR :

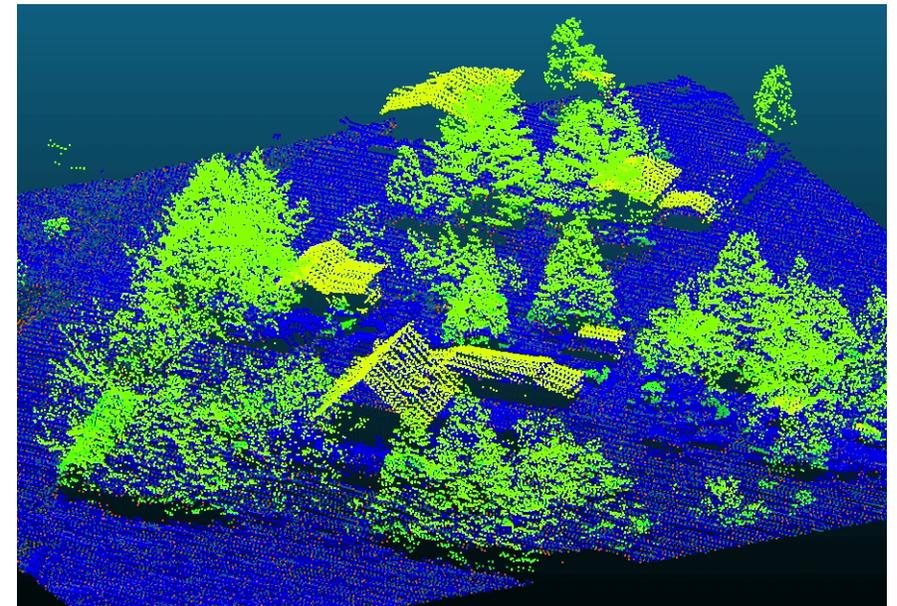
- Informations géométriques des *surfaces*
- Informatiquement *lourd*
- Non sémantisé



Sémantisation

Sémantisation :

- Difficulté de compréhension et de sélection
- Grande quantité de données

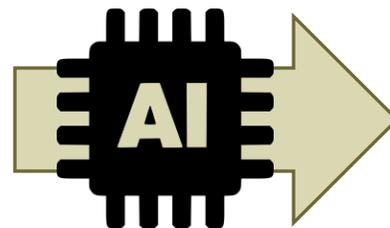
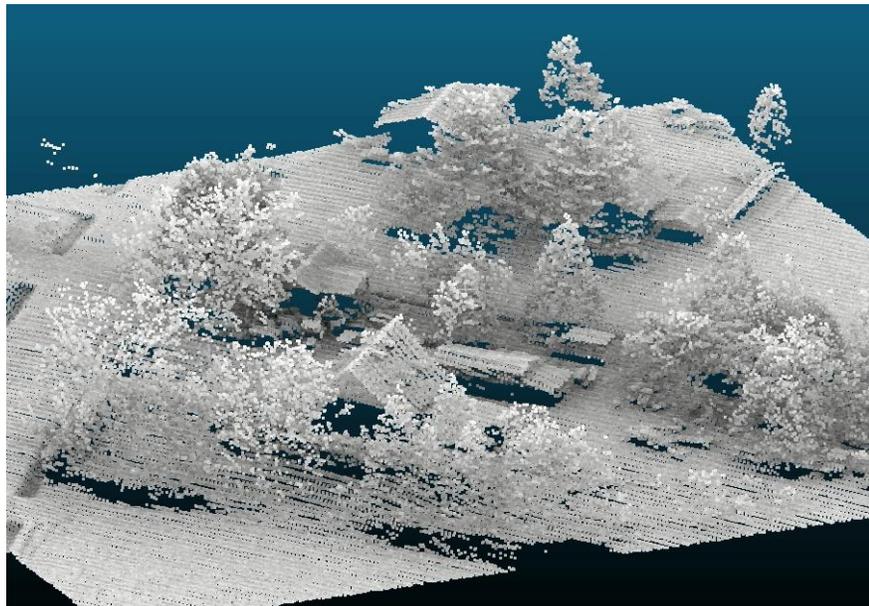




Besoin d'automatisation

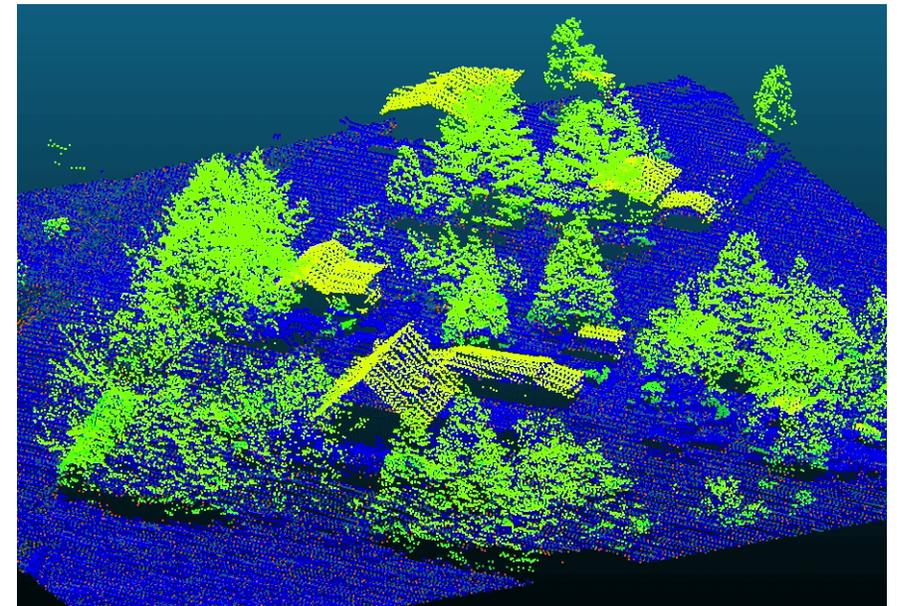
Nuage de points LiDAR :

- Informations géométriques des *surfaces*
- Informatiquement *lourd*
- Non sémantisé



Sémantisation :

- Difficulté de compréhension et de sélection
- Grande quantité de données
- Utilisation du **Machine Learning**





Problématique : manque de vérité terrain

Deep Learning sur nuage de points :

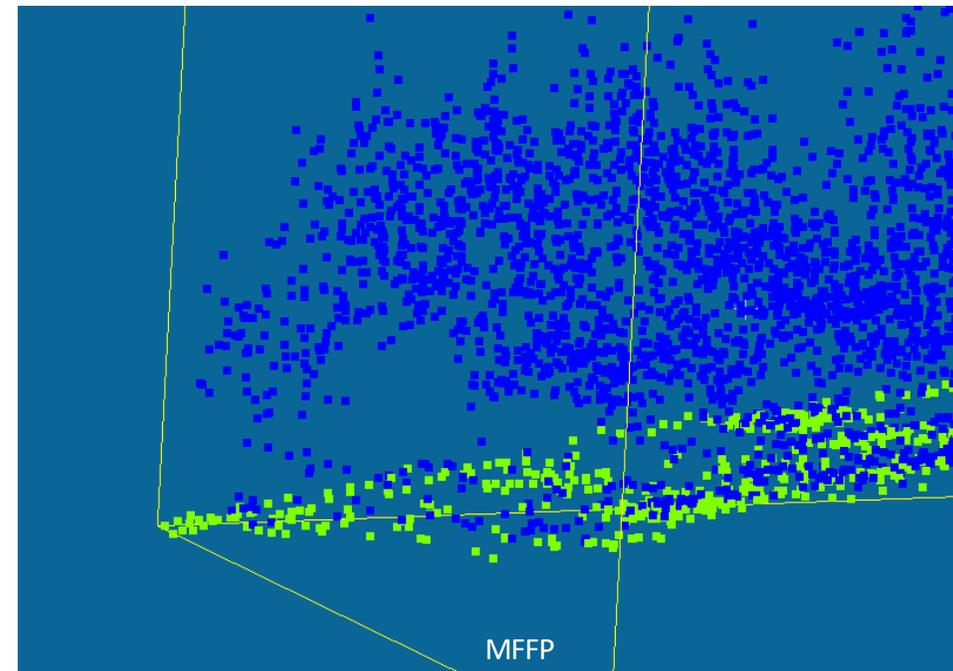
- Supérieur aux approches de ML classiques
- Nécessite grande quantité d'annotations



Paris-Lille 3D, Source : [4]

...en milieu forestier :

- Annotations **pauvres** et de **faible qualité**
- Environnement 3D complexe





Solution envisageable

Simulation de vérité terrain :

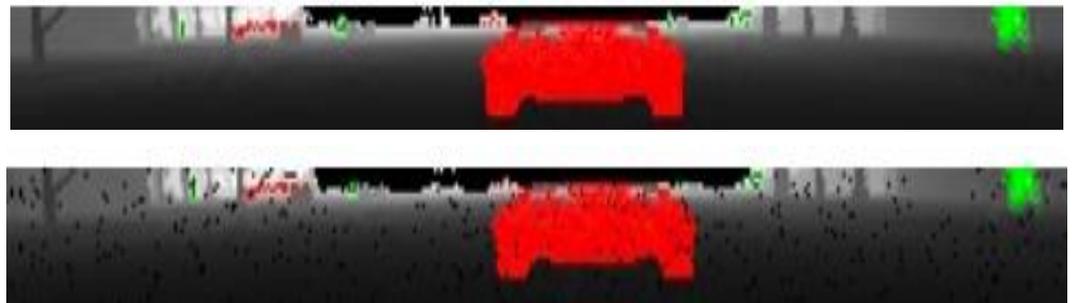
- [Wu et al., 2015] : Utilisé couramment
- [Dosovitskiy et al., 2015] : Transfert possible, même avec modélisation éloignée
- [Zhao et al., 2020b] : Simulation LiDAR



Source : [5]



Source : [6]



Source : [7]



Simulation pour le DL

Critères de la simulation :

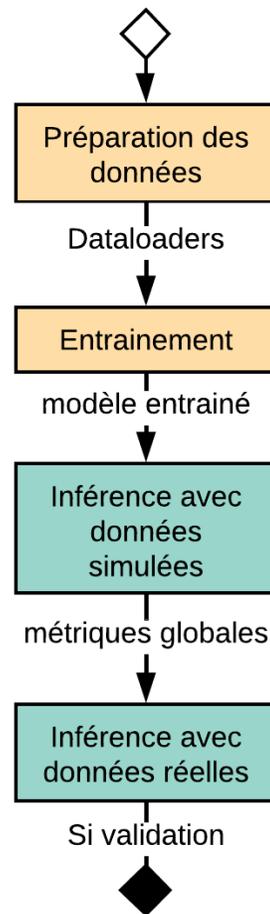
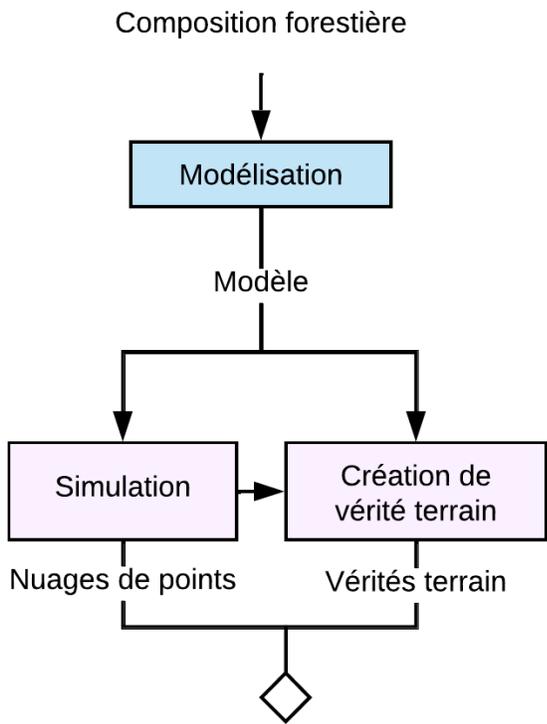
1. Réduction de l'écart entre distribution statistique simulée et réelle
2. Maximisation de l'informativité de la simulation



Source : Philippe Giguère

Axe de recherche

Correction du manque de données d'apprentissage par **simulation** de données **LiDAR ALS** pour l'**entraînement** de réseau de **DL**



Méthodologie

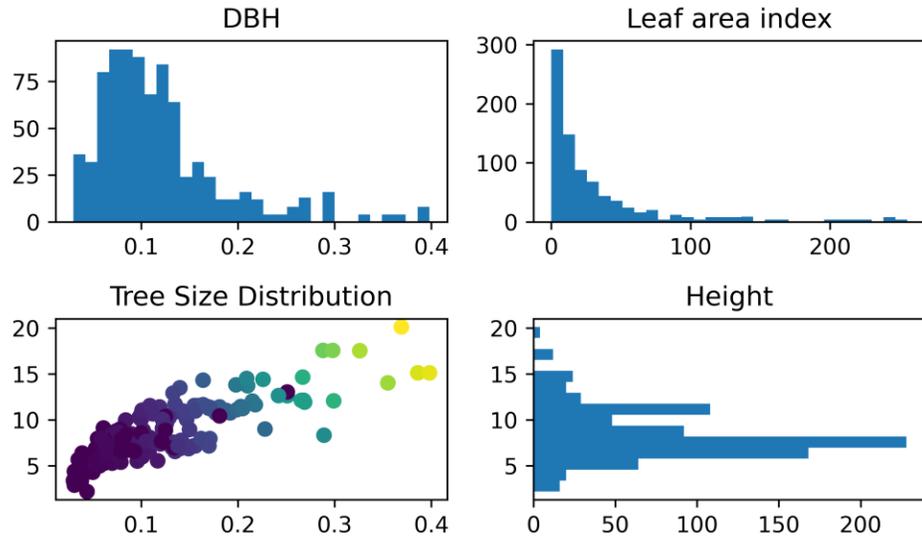
1. Modélisation
2. Simulation
3. Entrainement
4. Validation des modèles



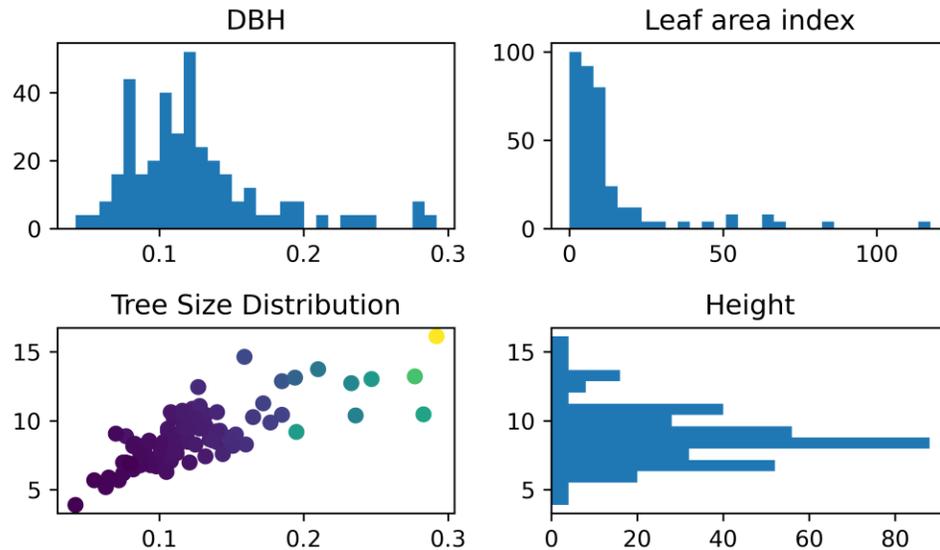
Modélisation

1. Choix de la composition forestière
2. Modèles d'arbres
3. Modélisation de la structure spatiale de la forêt
4. Modélisation du sol

Abies Balsamea n=833



Picea Mariana n=364



Choix de composition

Composition forestière : Pessière noire à mousses

1. Epicéa Noir : *Picea Mariana*
2. Sapin Baumier : *Abies balsamea*

Bibliothèque d'arbre : Jean François Côté

- 1197 arbres
- 827 feuillages non nuls



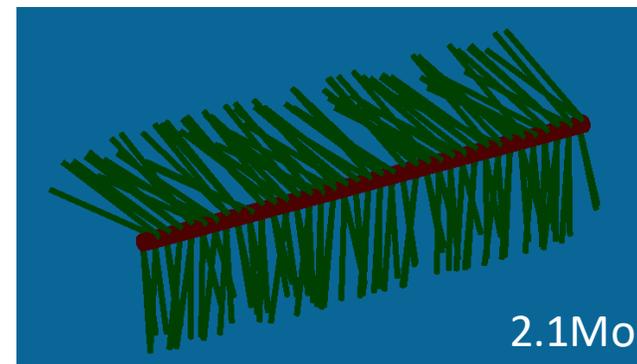
Modèles d'arbres

Origine :

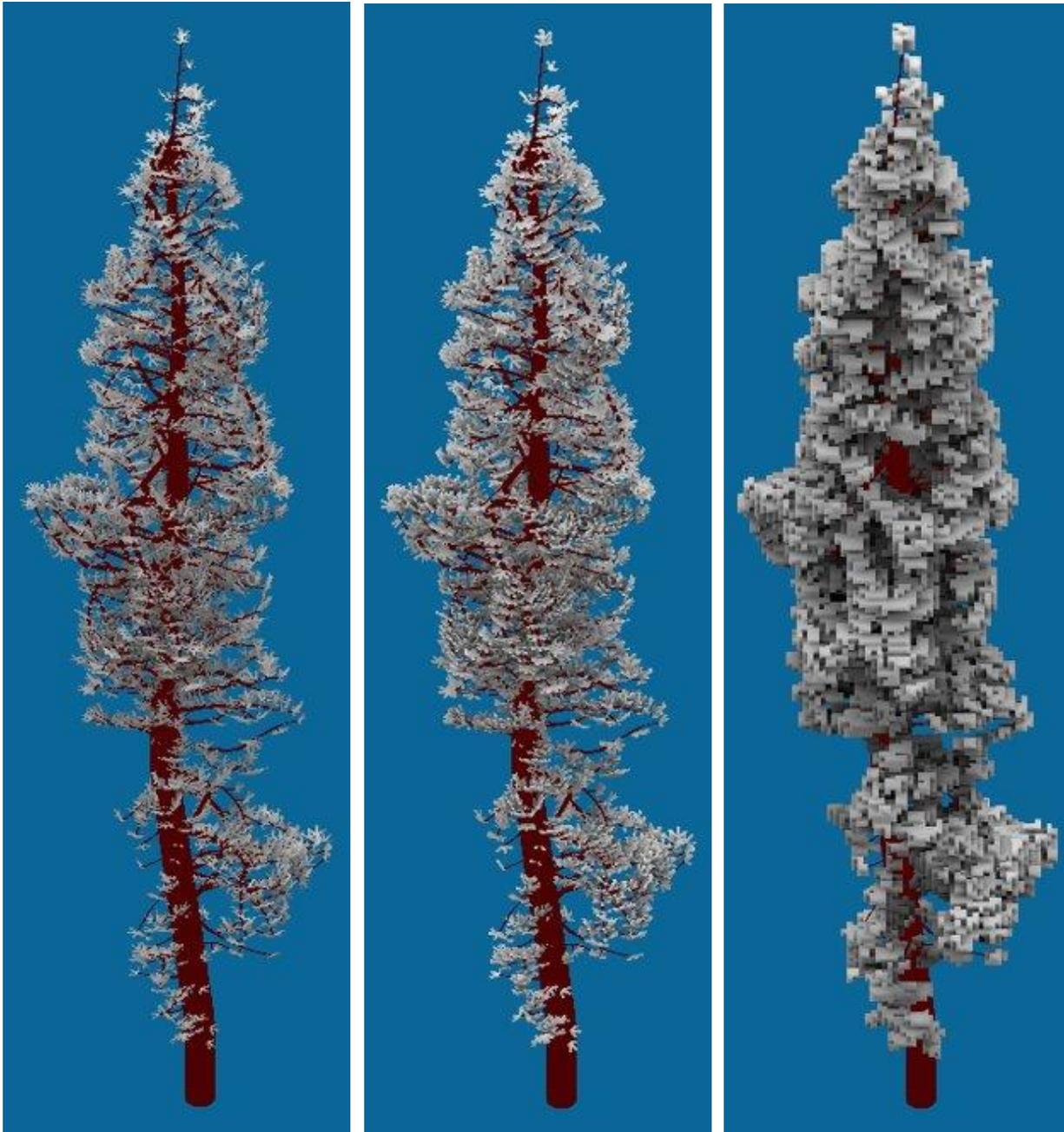
- Modélisation à partir de TLS
- Estimation du **feuillage** via **intensité**

Stockage :

- Structure ligneuse [.obj]
- 5 types de **pousses** par **espèces** [.obj]
- Tableau de **position** des **pousses**



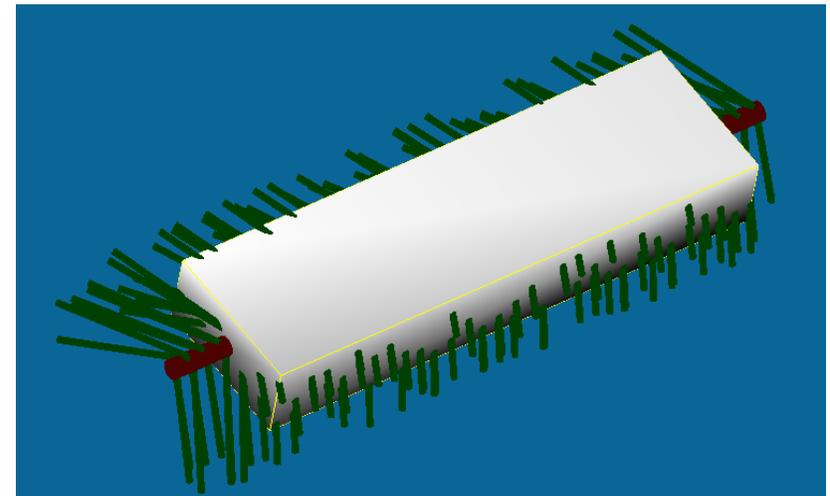
Modèles volumineux



Modèles d'arbres

Simplifications :

- Objet 2D : 4 points, 2 triangles
- Objet 3D : 8 points, 12 triangles
- Voxels à médium turbide

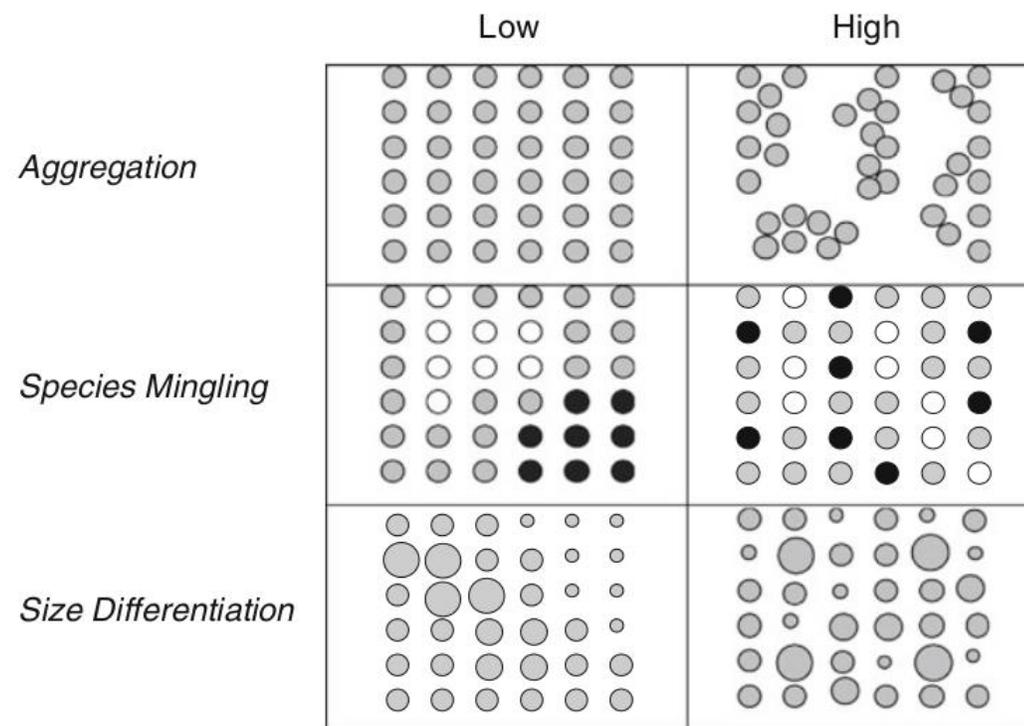




Modélisation : Structure spatiale

Descripteurs de structure spatiale :

- NNSS : Nearest Neighbors summary Statistics
- Processus ponctuels



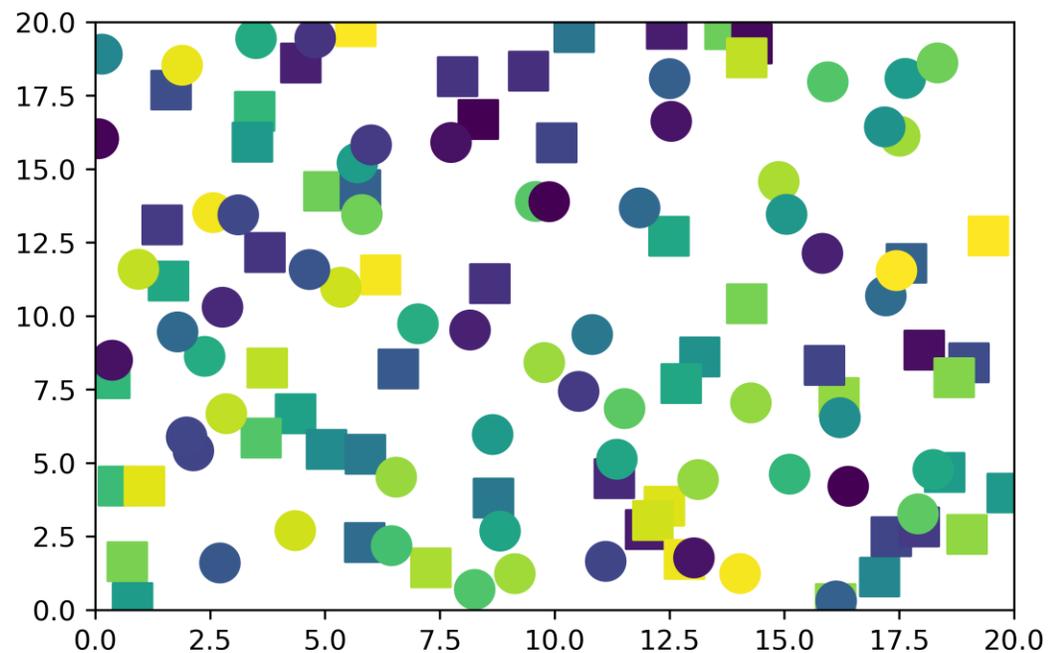
Source : [8]



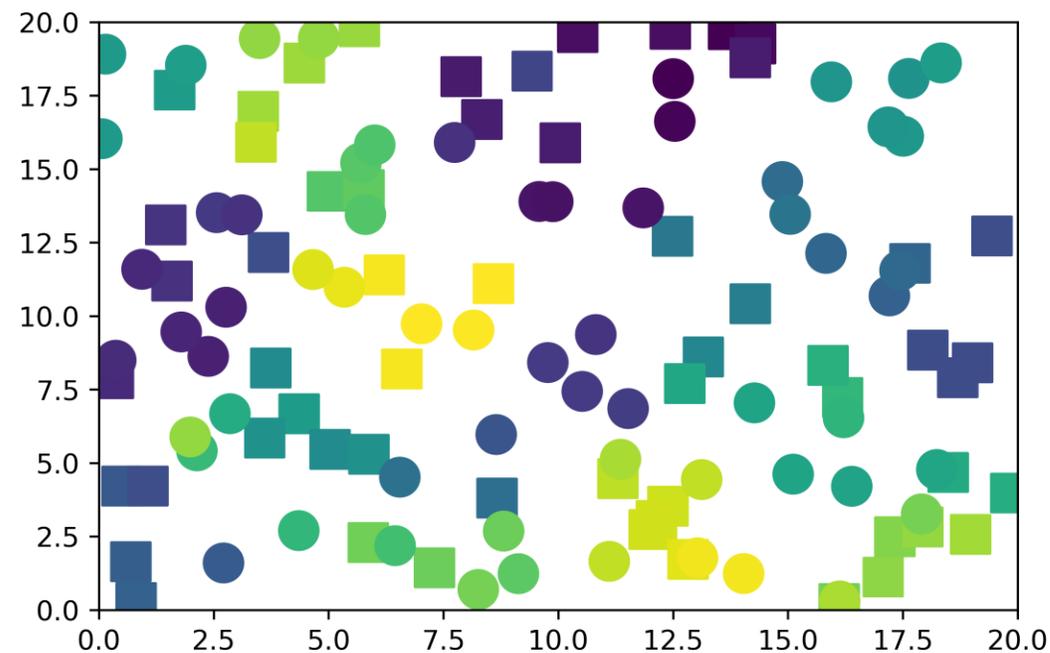
Modélisation : Structure spatiale

Implémentation de la méthode de Pommerenning et Stoyan 2008 (NNSS):

- Mélange de hauteurs



Aléatoire



Optimisé



Modélisation : Structure spatiale

Baseline aléatoire :

- Paramètres variables (combinatoire pour génération de n placettes):

1. Nombres d'arbres : 1 à 121
2. Mélange d'espèces : 100% Ab et 0% Pm à 0% Ab et 100% Pm

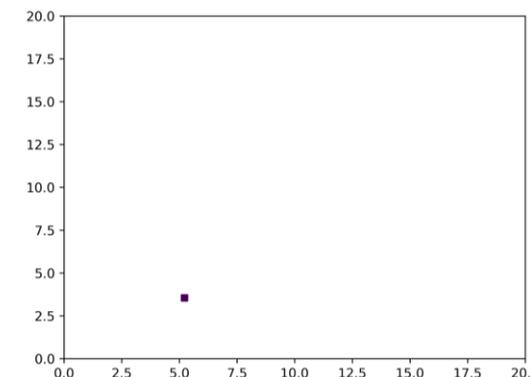


- Paramètre fixe :

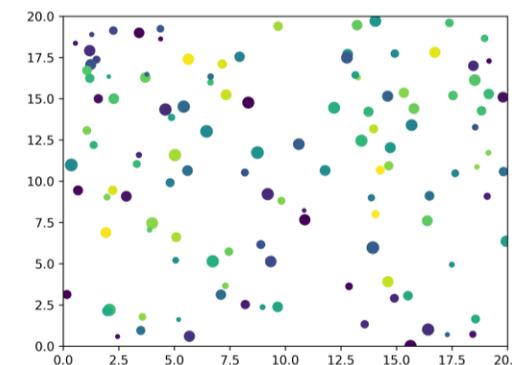
- Taille de placette : 20 m par 20 m

- Paramètres aléatoires :

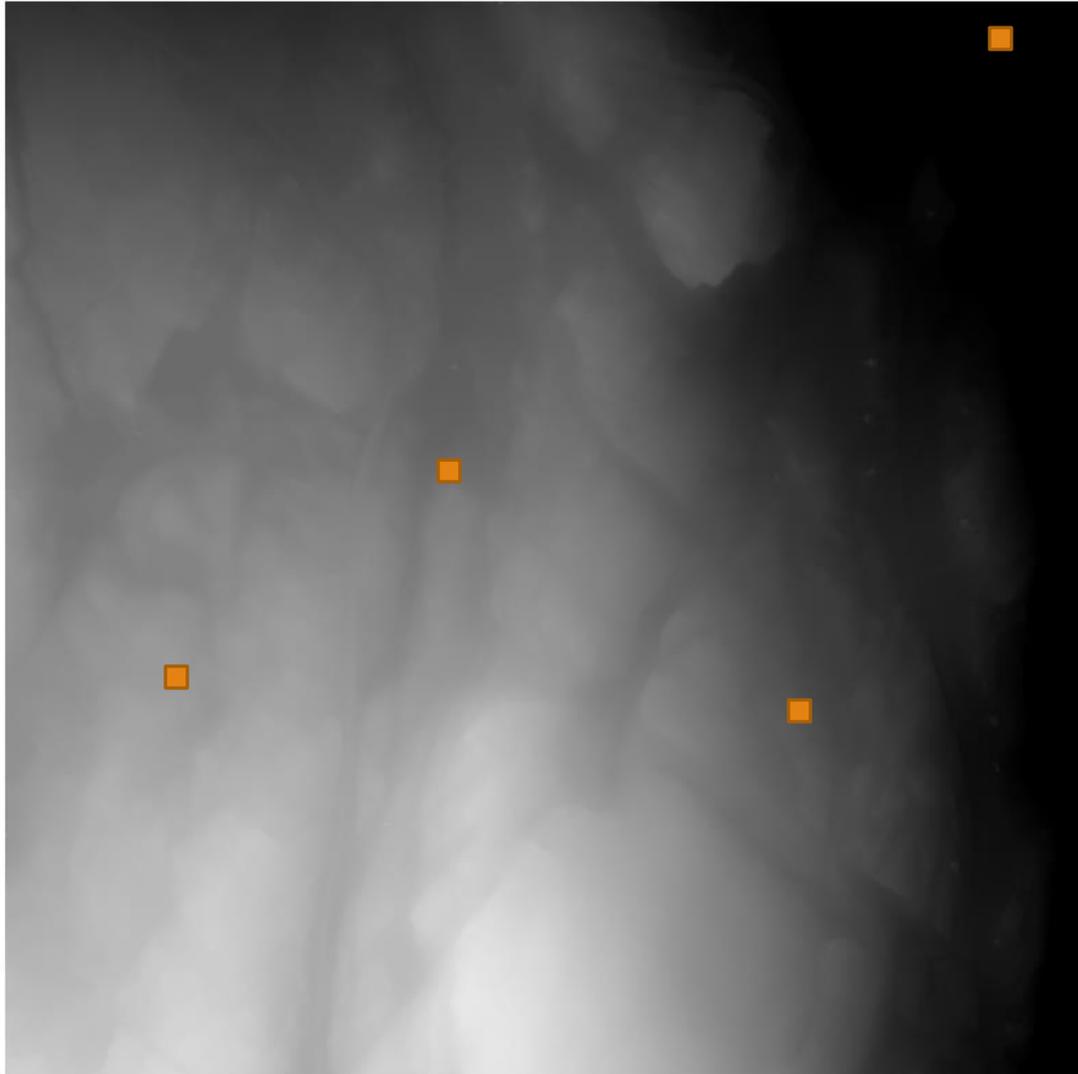
- Positionnement en X : uniforme de 0 à 20 m
- Positionnement en Y : uniforme de 0 à 20 m
- Hauteur : uniforme de 2 à 20 m
- DBH : uniforme de 0.03 à 0.43 cm



Placette 1 : $N_{\text{arbres}}=1$, Ab=100%, Pm=0%



Placette n : $N_{\text{arbres}}=121$, Ab=0%, Pm=100%



Modélisation : Sol

À partir d'un MNT réel:

- Issu d'ALS
- Valeurs significatives :
 - Hauteur min : 150.319 m
 - Hauteur max : 309.480 m
 - Surface : 1 km²
 - Résolution : 10 cm
- Zones planes et zones de relief
- Transitions douces et abruptes



Simulation

1. Outils de simulation
2. Paramètres d'acquisitions
3. Simulation puissance de calcul
4. Jeu de données actuel



Choix de l'outil de simulation

HELIOS++
3DGEO HEIDELBERG

Heidelberg LiDAR Operation Simulator :

- Rapidité de simulation
- Annotation des points avec ID de l'objet

Source : [10]



Paramètres d'acquisition

Objectif : 10 pts/m² minimum au sol

Paramètres de scan :

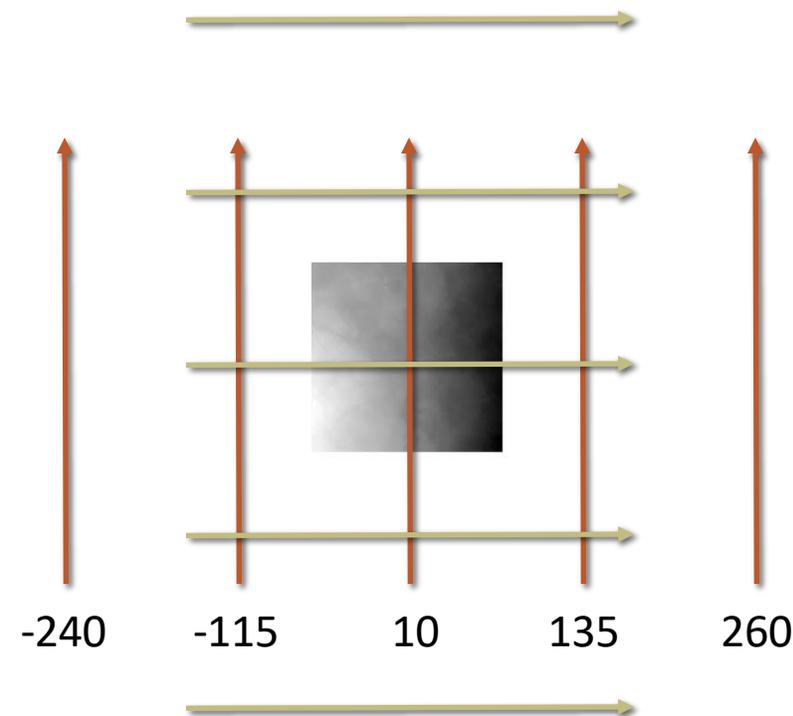
- Fréquence de pulsation : 500 000 Hz
- Angle de scan max 15 deg
- Fréquence de balayage : 100 Hz

Paramètres du plan de vol :

- Hauteur de vol : 1200 m
- Vitesse 74.59 m/s (268.5 km/h)
- Trajet : 10 passes

Paramètres de précision :

- Précision globale : 0 m





Traitement de la simulation

Objectif de la simulation :

- Env. 225 millions de points par classe
- 3 classes : Ab, Pm et sol

Nombre de placettes requises:

- Surface placette : 400 m²
- Densité d'acquisition moyenne : 18 pts/m²
- 10 passes

675 millions de points

**10250 placettes
(700+ millions points)**



Traitement de la simulation

Ressources informatiques nécessaires :

- Volume en RAM maximal estimé : 110 Go
- Principale perte de temps : Chargement en RAM
- Temps moyen par placette : 1h04

Compute Canada :

- Répartition de la charge sur 1000 jobs



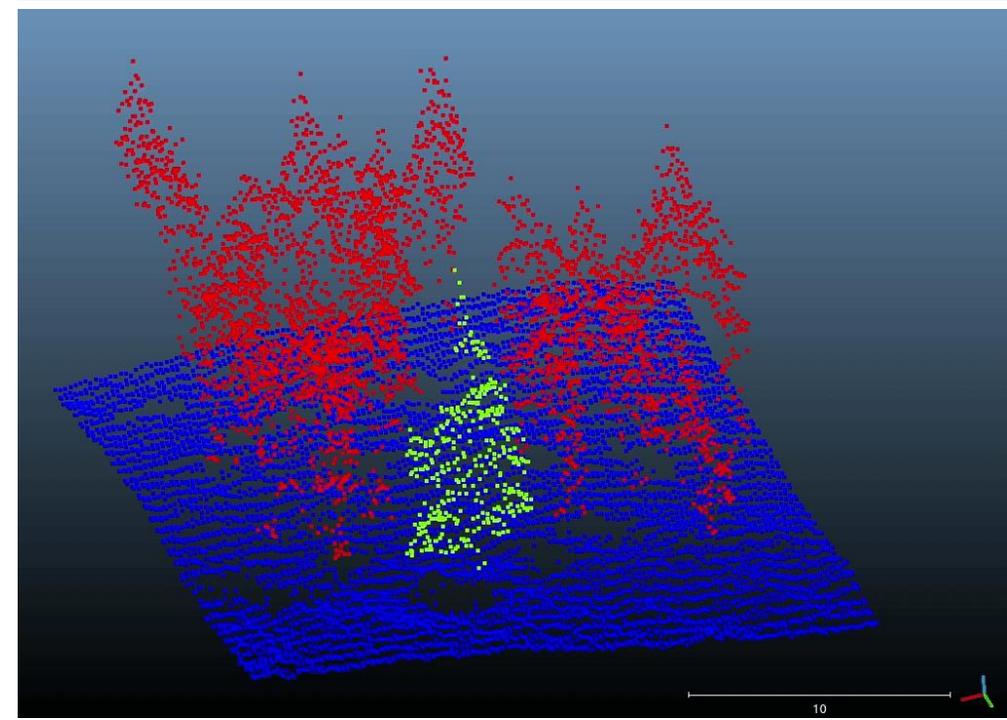
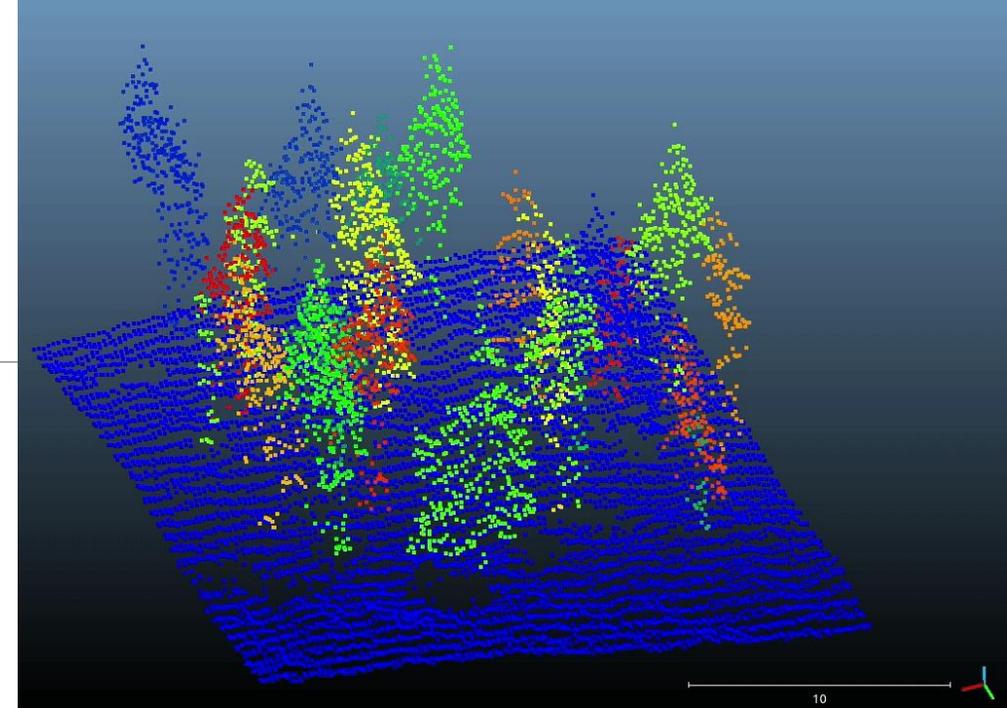
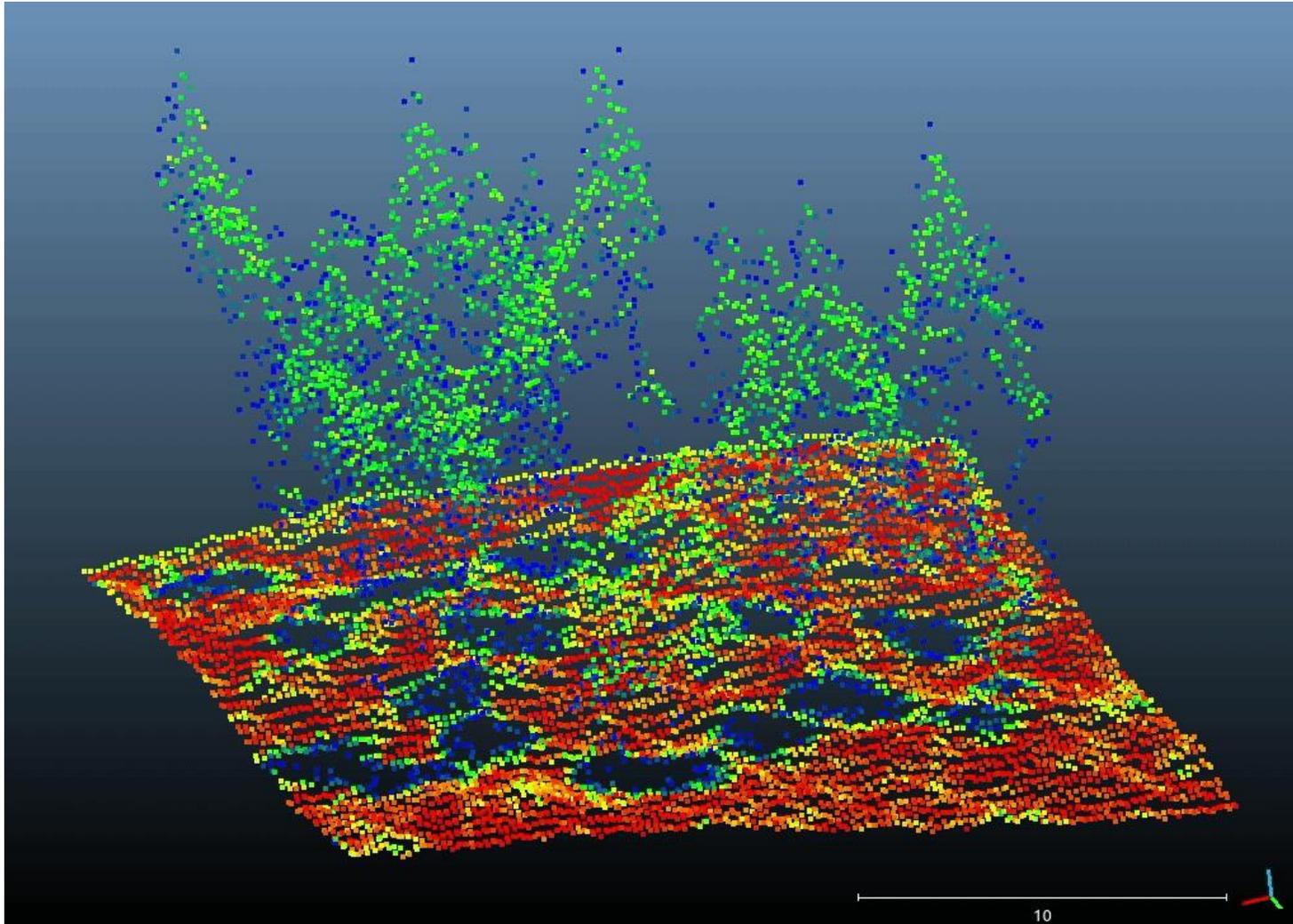
compute | **calcul**
canada | canada

109 Jours de calculs

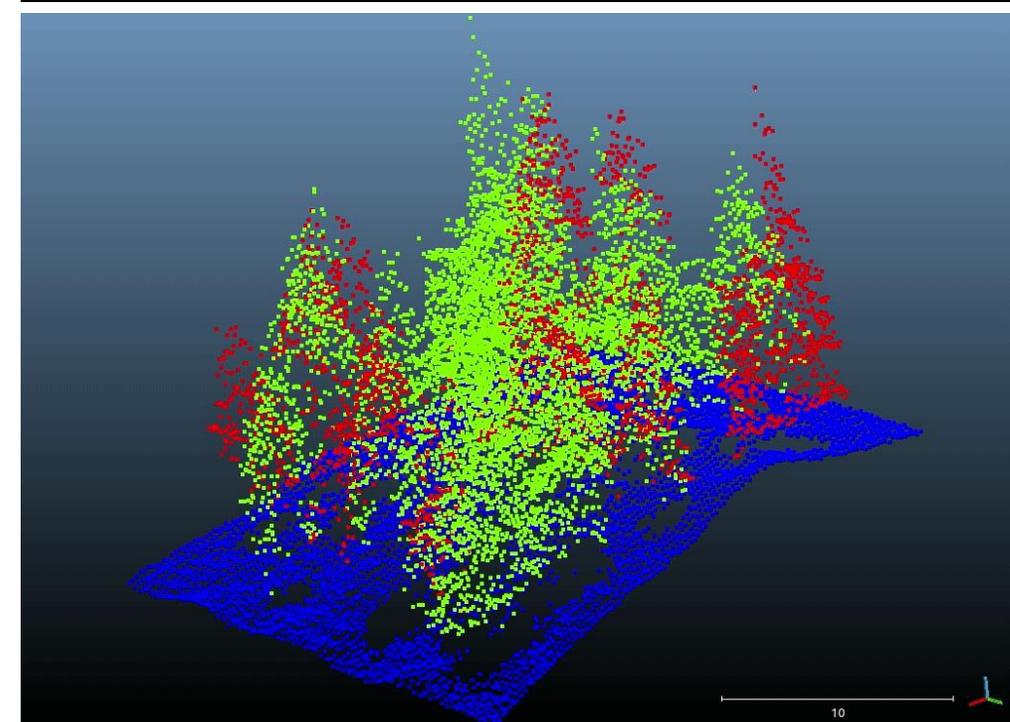
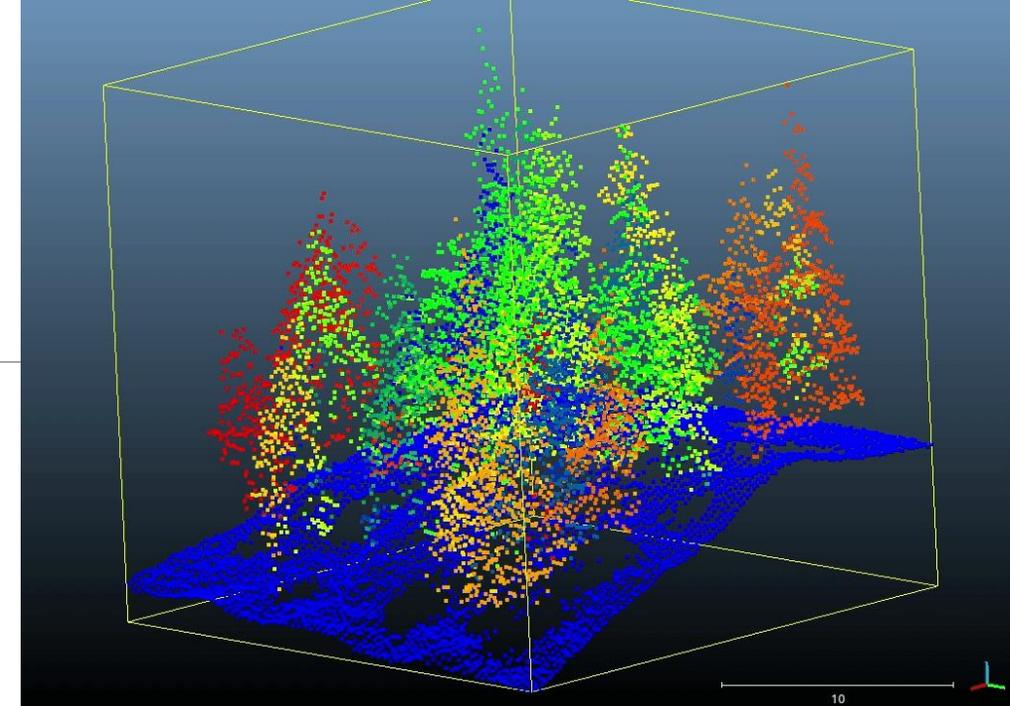
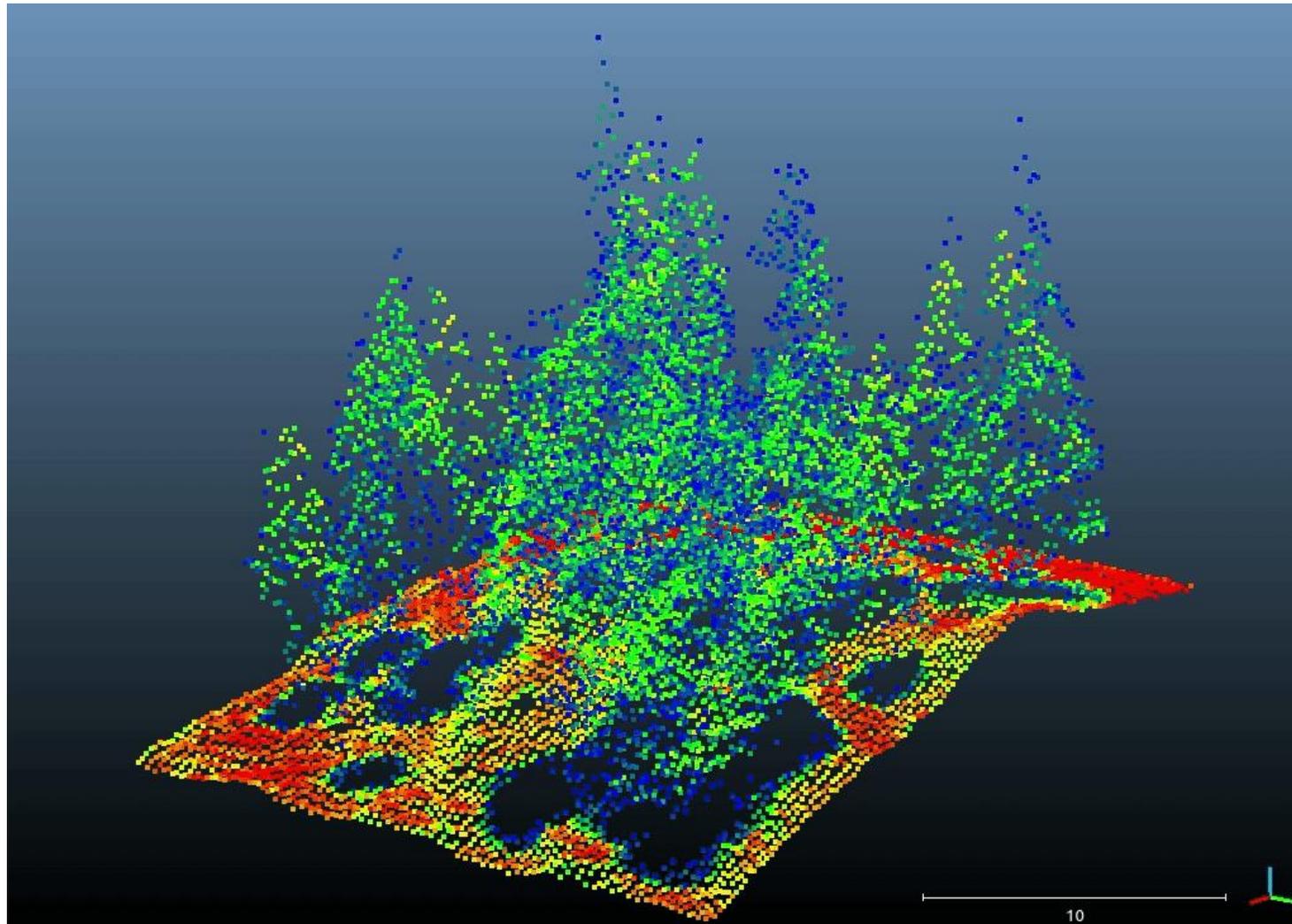


3h de calculs

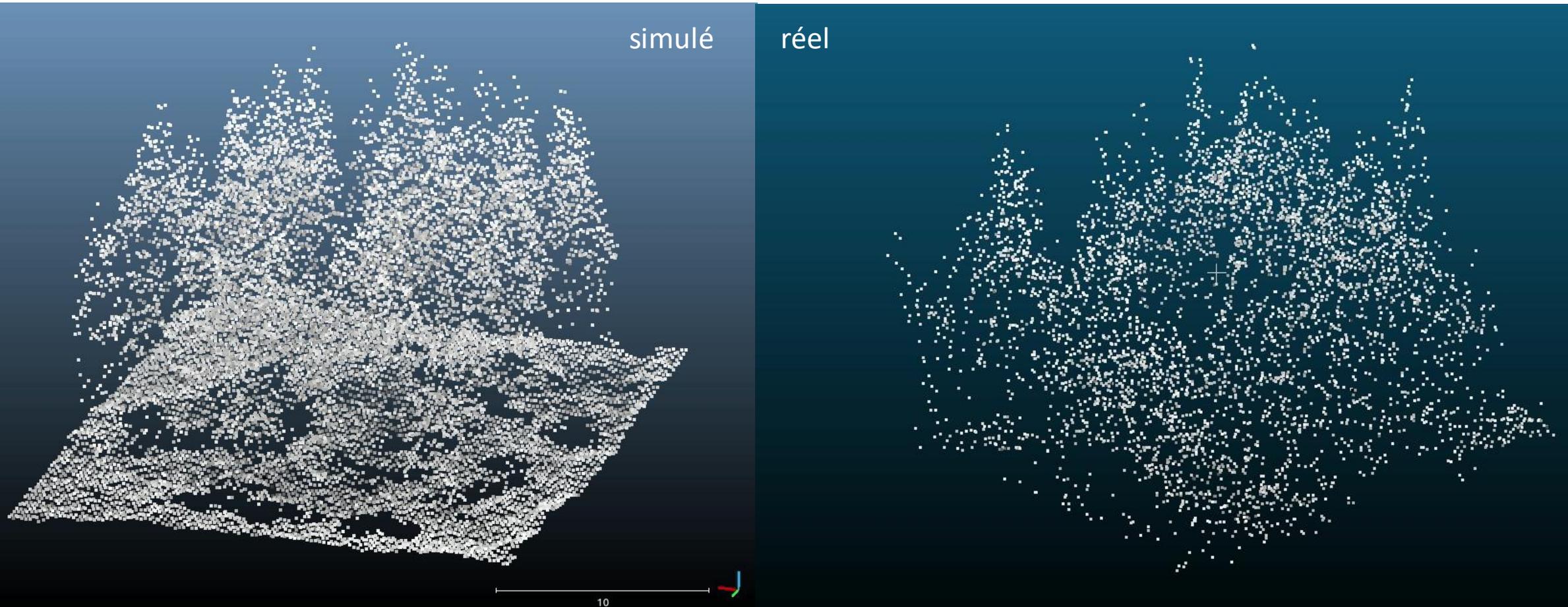
Jeu de données simulées



Jeu de données simulées

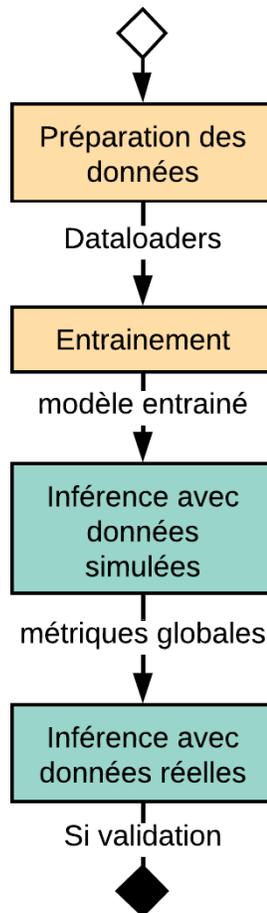


Jeu de données simulées





Axe 1 : entraînement et validation des modèles



Entraînement :

- PointNet++ [11]
- KPConv [12]
- Point Transformer [13] : *Etat de l'art*

Validation :

- Sur données simulées : Métriques globales et analyses visuelles
- Sur données réelles : Analyses visuelles



Perspectives : Vue générale

Axe 1 : Validation

Modélisation forêt simple
Création de vérité terrain par simulation
Entraînement réseau de segmentation sémantique
Validation sur données réelles

Axe 2 : Compréhension

Étude de sensibilité des paramètres :

- Modélisation
- Simulation

Entraînement de réseaux :

- Segmentation d'instances
- Segmentation panoptique

Axe 3 : Généralisation

Enrichissement nomenclature
Création benchmark
Cas forêt tempérée
Cas forêt tropicale



Retombées du projet

Premiers travaux de simulation LiDAR ALS pour la création de vérité terrain en milieu forestier

Mise à disposition d'un **benchmark** => **Stimulation recherche en DL** pour le milieu forestier

Recommandations de méthodologies d'acquisitions pour différents organismes et entreprises

Merci de votre attention

- [1] Ogle, S. M., Domke, G., Kurz, W. A., Rocha, M. T., Huffman, T., Swan, A., ... & Krug, T. (2018). Delineating managed land for reporting national greenhouse gas emissions and removals to the United Nations framework convention on climate change. *Carbon balance and management*, 13(1), 1-13.
- [2] Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P. J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., ... & Nelson, E. A. (2014). Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest. *Environmental Reviews*, 22(3), 256-285.
- [3] Fassnacht, F., Latifi, H., Stereńczak, K., Lefsky, M., Straub, C., Waser, L., Ghosh, A., and Modzelewska, A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 184. Review Lidar for forestry and species classification.
- [4] Roynard, X., Deschaud, J. E., & Goulette, F. (2018). Paris-Lille-3D: A large and high-quality ground-truth urban point cloud dataset for automatic segmentation and classification. *The International Journal of Robotics Research*, 37(6), 545-557.
- [5] Wu, Z., Song, S., Khosla, A., Yu, F., Zhang, L., Tang, X., & Xiao, J. (2015). 3d shapenets: A deep representation for volumetric shapes. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1912-1920).
- [6] Dosovitskiy, A., Fischer, P., Ilg, E., Hausser, P., Hazirbas, C., Golkov, V., van der Smagt, P., Cremers, D., and Brox, T. (2015). Flownet : Learning optical flow with convolutional networks. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*.
- [7] Zhao, S., Wang, Y., Li, B., Wu, B., Gao, Y., Xu, P., Darrell, T., and Keutzer, K. (2020b). epointda : An end-to-end simulation-to-real domain adaptation framework for lidar point cloud segmentation. *CoRR*, abs/2009.03456
- [8] Gadow, K., González, J., Zhang, C., Pukkala, T., and Zhao, X. (2021). *Analyzing Forest Ecosystems*, pages 81–158. Springer Netherlands.
- [9] Pommerening, A., & Stoyan, D. (2008). Reconstructing spatial tree point patterns from nearest neighbour summary statistics measured in small subwindows. *Canadian journal of forest research*, 38(5), 1110-1122.
- [10] Winiwarter, L., Esmorís Pena, A. M., Weiser, H., Anders, K., Martínez Sánchez, J., Searle, M., and Höfle, B. (2021). Virtual laser scanning with helios++ : A novel take on ray tracing-based simulation of topographic full-waveform 3d laser scanning. *Remote Sensing of Environment*, page 112772.
- [11] Qi, C. R., Yi, L., Su, H., & Guibas, L. J. (2017). Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on pointsets in a metric space. *Advances in neural information processing systems*, 30.
- [12] Thomas, H., Qi, C. R., Deschaud, J., Marcotegui, B., Goulette, F., and Guibas, L. J. (2019). Kpconv : Flexible and deformable convolution for point clouds. *CoRR*, abs/1904.08889.
- [13] Zhao, H., Jiang, L., Jia, J., Torr, P. H. S., and Koltun, V. (2020a). Point transformer. *CoRR*, abs/2012.09164.

<https://polarsensing.net/>