



Le LIDAR aéroporté pour l'étude et la gestion des forêts

Matthew Parkan

Laboratoire des Systèmes d'Information Géographique, EPFL

Fonds pour les recherches forestières et l'utilisation du bois - projet 2013.18

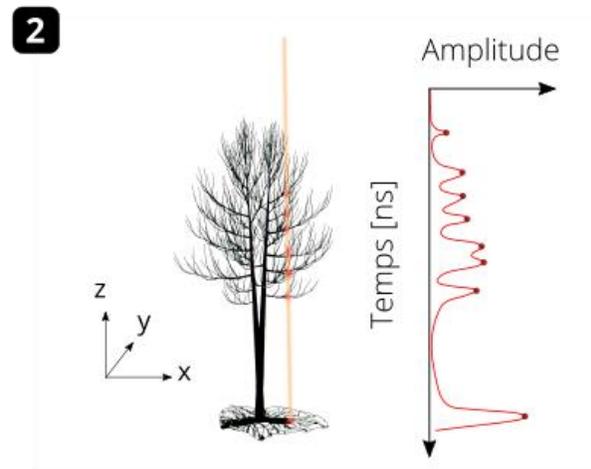
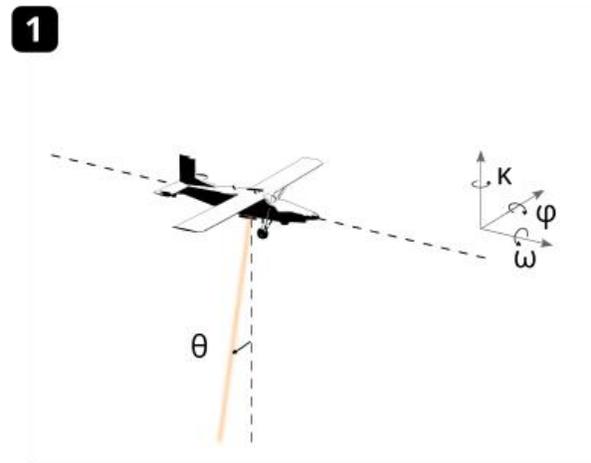
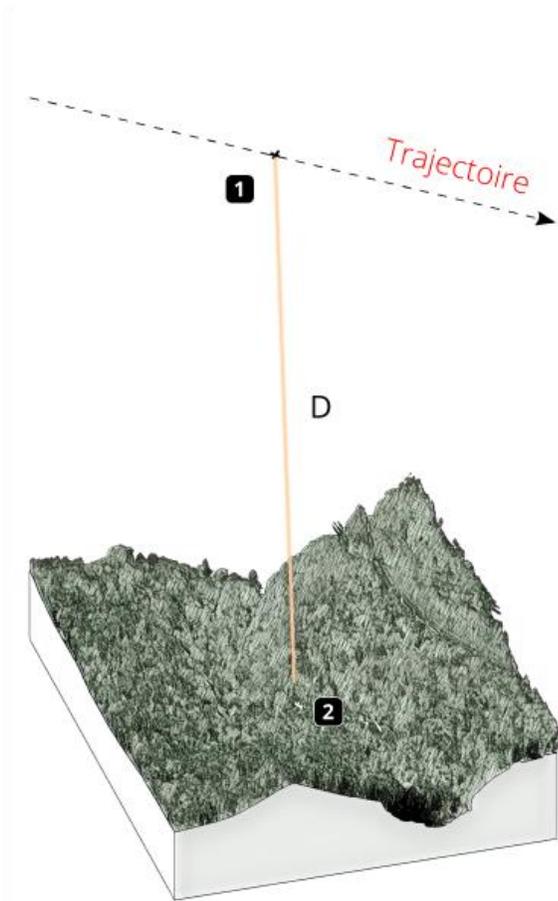
Introduction / Contexte



Pourquoi utiliser le LiDAR aéroporté?

- Les inventaires forestiers terrestres sont chers, limités à des petites surfaces et aux zones accessibles
- Certaines mesures sont difficiles à effectuer depuis le sol (p. ex. hauteur)
- Les données LiDAR sont disponibles à un coût raisonnable (~ 150 CHF/km² pour 30 points/m²) ou gratuitement

LiDAR aéroporté / Principe

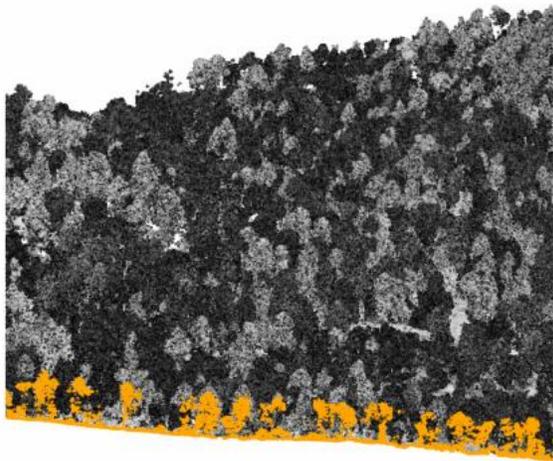


Des impulsions de lumière sont émises et un capteur optique observe pour chaque impulsion l'amplitude de l'énergie réfléchie en fonction du temps. Les pics de l'onde retour correspondent à une intersection avec un objet (points 3D).

Afin de géoréférencer les impulsions du laser, la position (x, y, z) et l'orientation $(\omega, \varphi, \kappa)$ de l'aéronef, ainsi que l'angle de scan (θ) du laser sont mesurés avec précision.

LiDAR aéroporté / Données

Nuage de points 3D



Vue en coupe



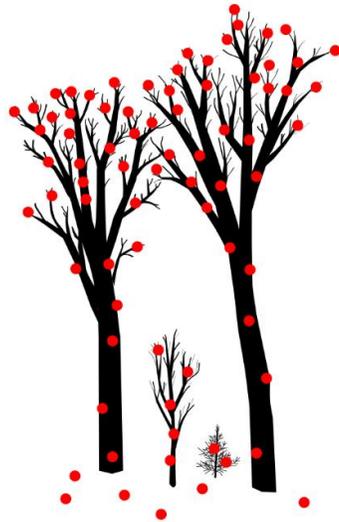
Faible

Intensité

Forte

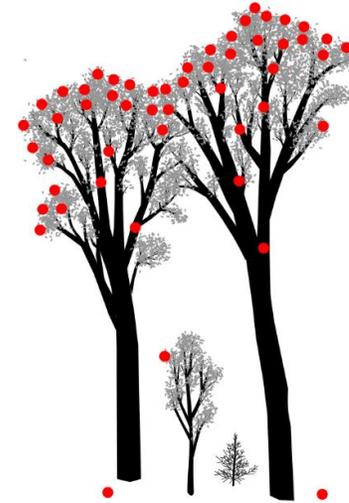
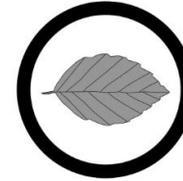
LiDAR aéroporté / Avec ou sans feuilles?

Sans feuilles



- Bon modèle de terrain
- Information sur le sous-bois et la structure des arbres
- Distinction entre feuillage caduc et persistant

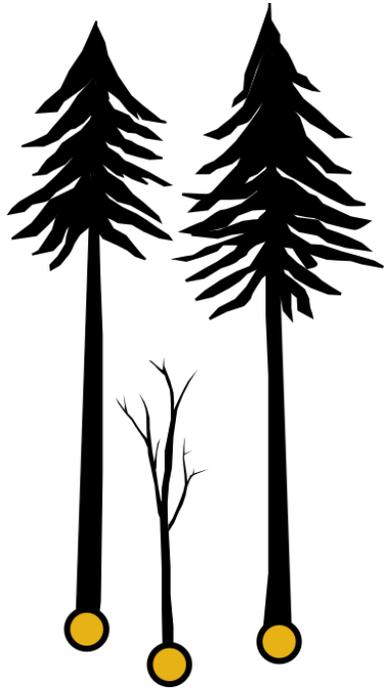
Avec feuilles



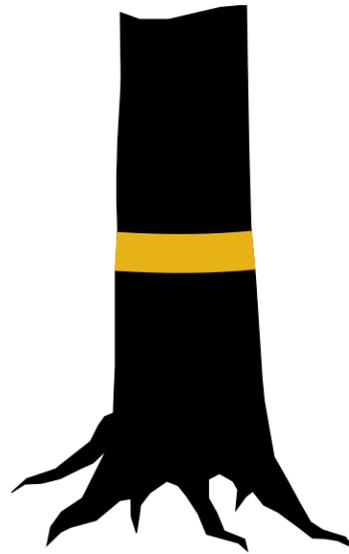
- Modèle de terrain et sous-bois moins détaillé
- Meilleur modèle de canopée (information sur la densité du feuillage)

Inventaires forestiers / Objectifs

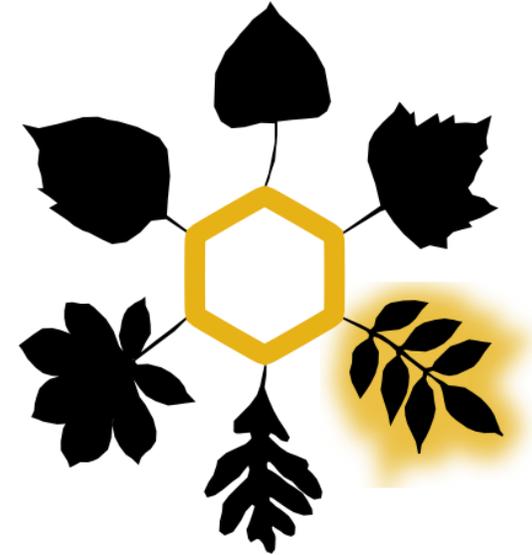
Reproduire trois opérations fondamentales de l'inventaire forestier, à l'aide du LiDAR aéroporté



Détection des arbres/tiges



Estimation du diamètre

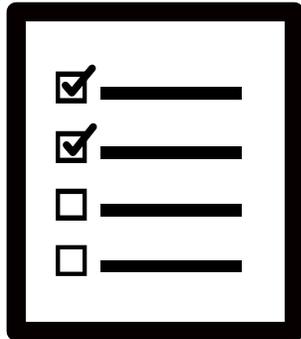


Identification de l'espèce

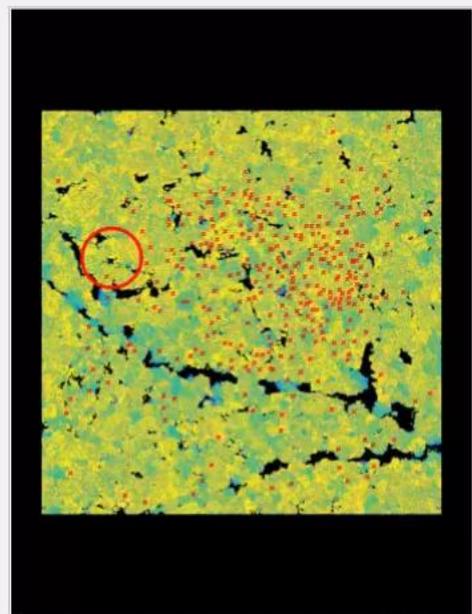
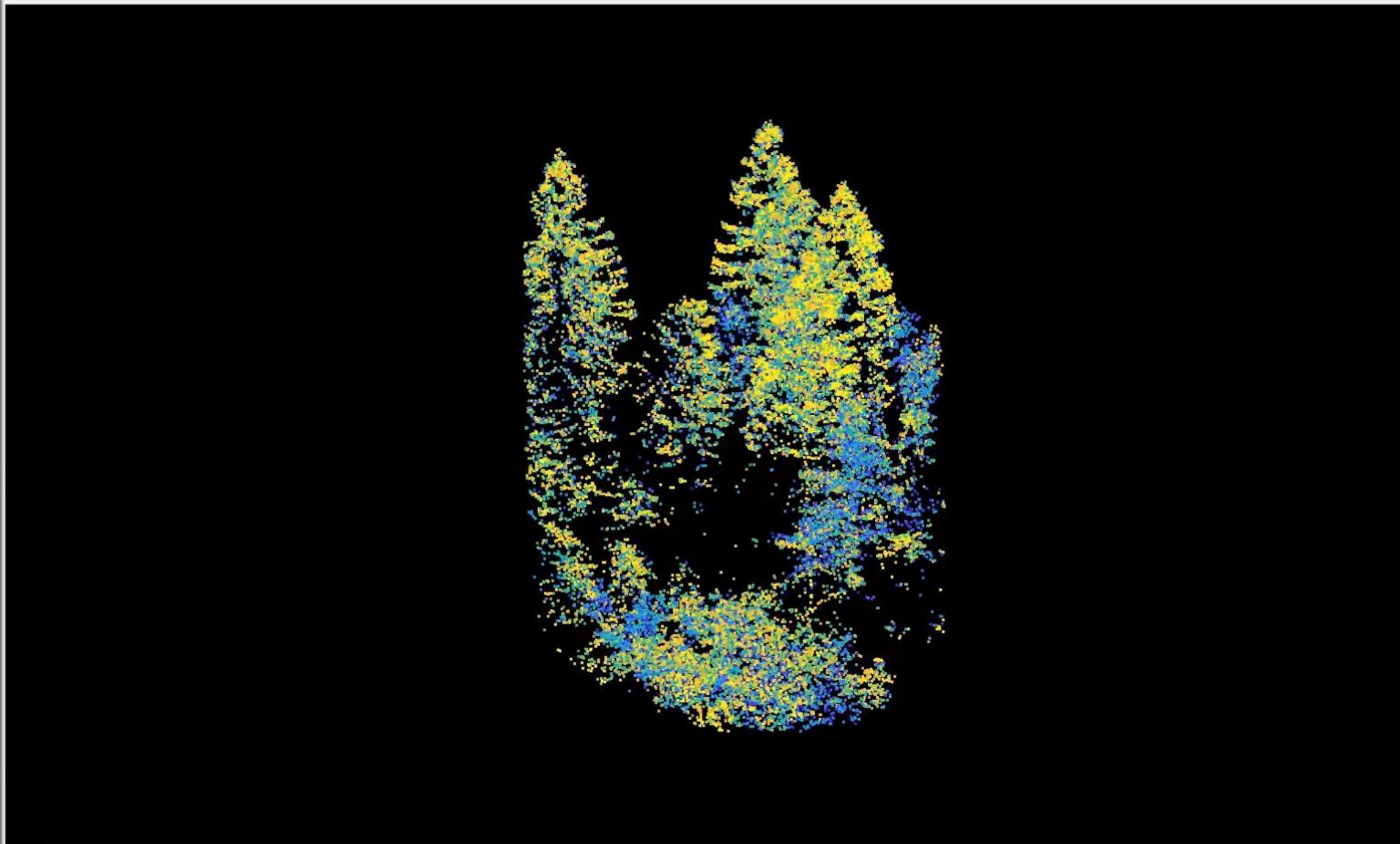


1 / Détection des arbres

Détection des arbres / **Exigences**



- Détection fiable des arbres et/ou tiges dans toutes les strates
- Analyser de grandes surfaces (> 100 km²) en un temps raisonnable
- Intervention minimale de l'utilisateur



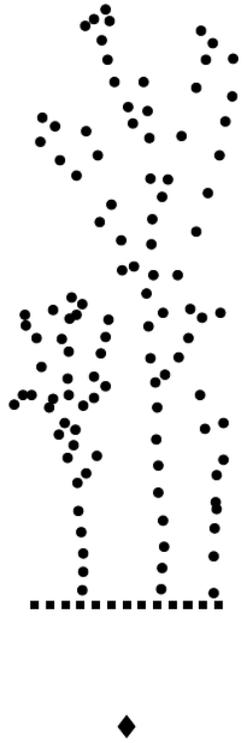
Tree properties | Display settings | I/O settings

ROI center X	ROI center Y
2552252.66	1201075.44
Colormap	Point size
intensity	medium
Date filter	Min-Max elevation filter
26-Mar-2016 04-May-2016	
<input checked="" type="checkbox"/> Adjust colormap	<input type="checkbox"/> Live geometry update
<input type="checkbox"/> Constrain 3D axis	<input type="checkbox"/> Show terrain
<input type="checkbox"/> Show 3D axis	

Coloration naturelle



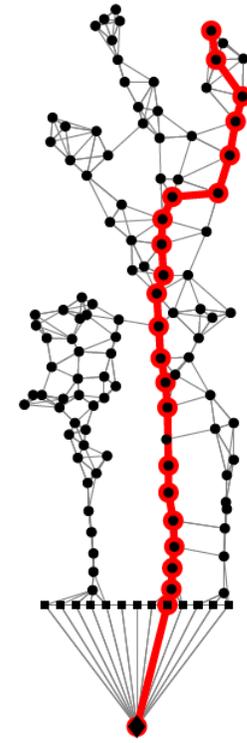
Vote géodésique / Méthode (1)



(a) Points de végétation (●), terrain (■) et nœud (◆)



(b) Construction d'un graphe de voisinage et connexion des point terrain au nœud



(c) Pour chaque point, calcul du géodésique jusqu'au nœud

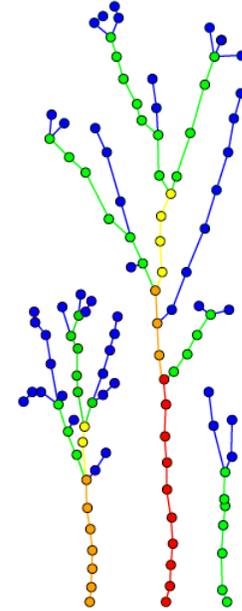
Vote géodésique / **Méthode (2)**



(d) Calcul de la densité géodésique à chaque point



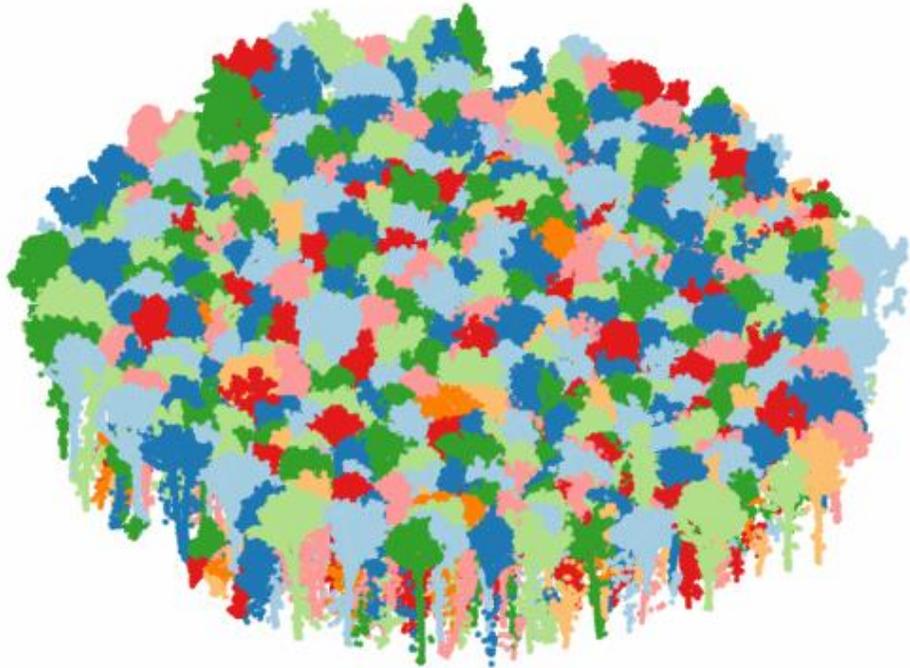
(e) Suppression des points terrain and identification des composantes connectées, pour séparer les arbres



(f) (Optionnel) Calcul de la hiérarchie du branchage

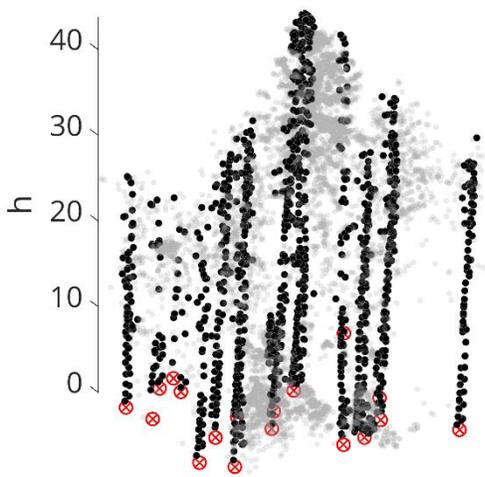
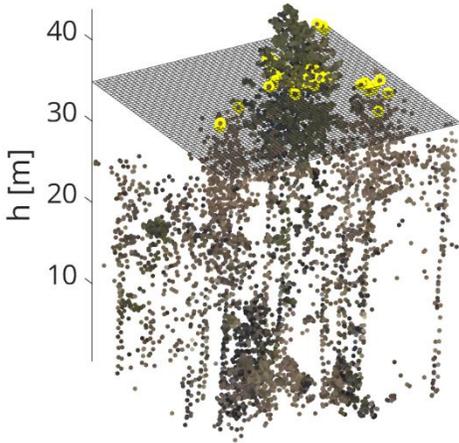
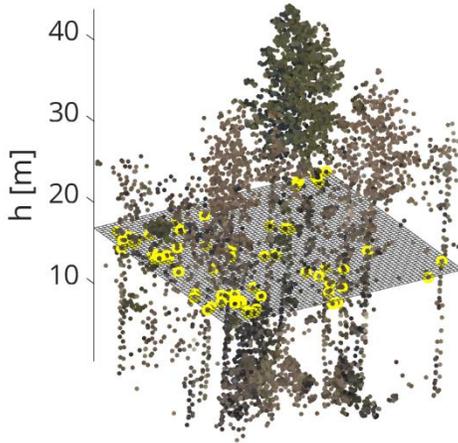
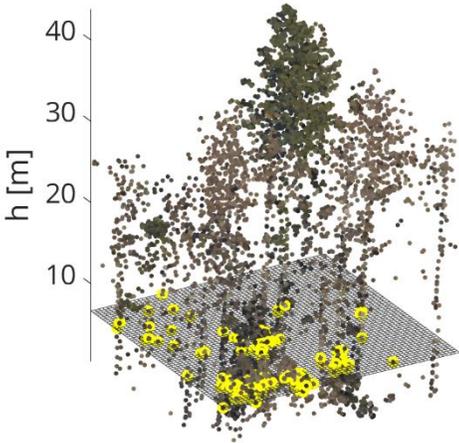
Vote géodésique / **Hiérarchie du branchage**

geodesic density ≥ 0.00



Le seuillage de la densité géodésique permet d'isoler différentes hiérarchies de branches

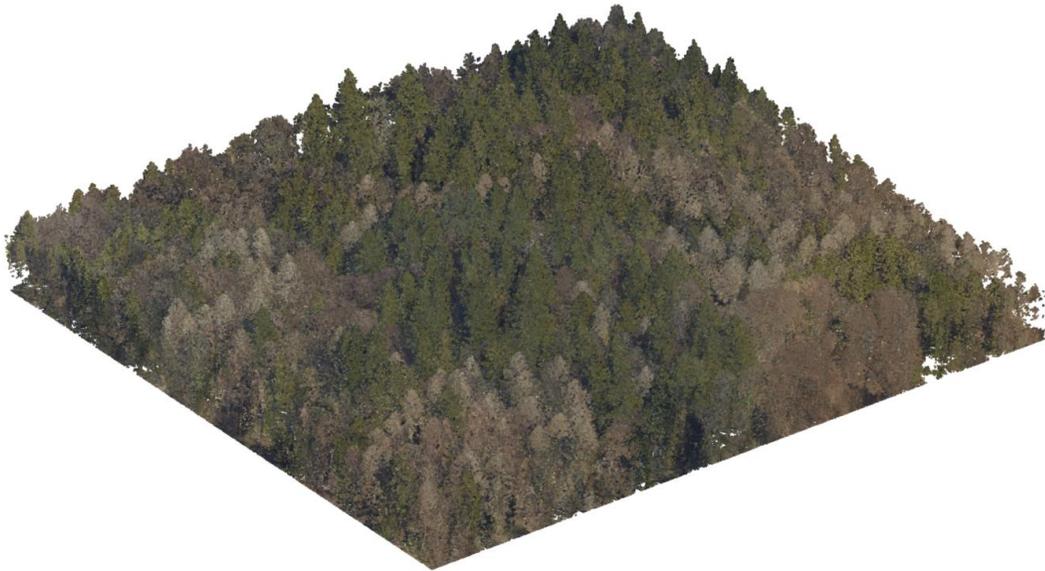
Détection des tiges / Méthode



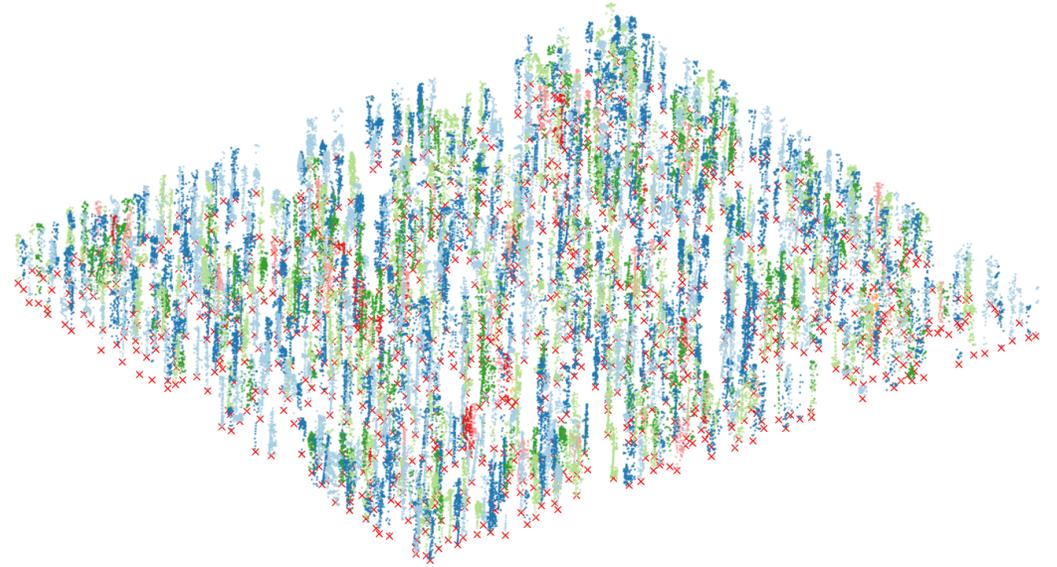
Analyse morphologique de strates horizontales successives

Détection des tiges / Résultats

Nuage de points



Tiges détectées

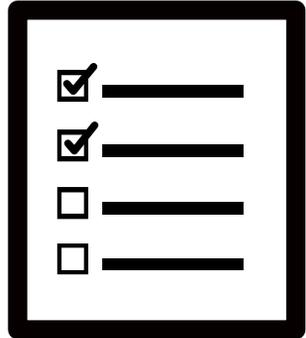


- Validation sur 14 sites avec LiDAR sans feuilles
- Taux de détection de 40% à 100% en fonction du type de forêt
- Plus fiable, mais moins sensible que la détection de cimes

A detailed microscopic image of wood tissue, showing distinct growth rings and cellular structures. The image is oriented vertically, with the growth rings running from top to bottom. The central part of the image is obscured by a semi-transparent white banner containing text.

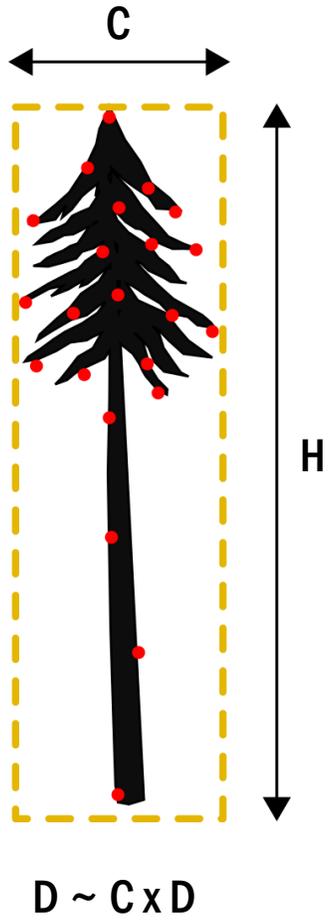
2 / Estimation du diamètre

Estimation du diamètre / **Exigences**



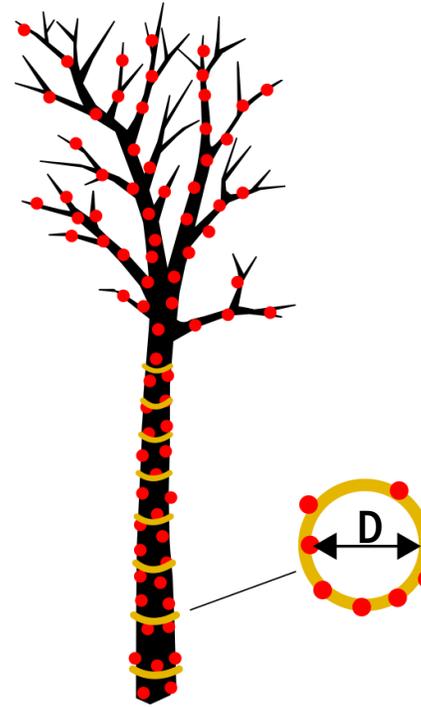
- Prédiction avec $<10\%$ erreur relative
- Seuil de mesure à 20 cm
- Adaptable à différentes espèces
- Intervention minimale de l'utilisateur

Estimation du diamètre / Method



Estimation indirecte à partir de variables auxiliaires

- Utilisation de modèles allométriques
- Echantillonnage LiDAR dense et sans feuilles requis

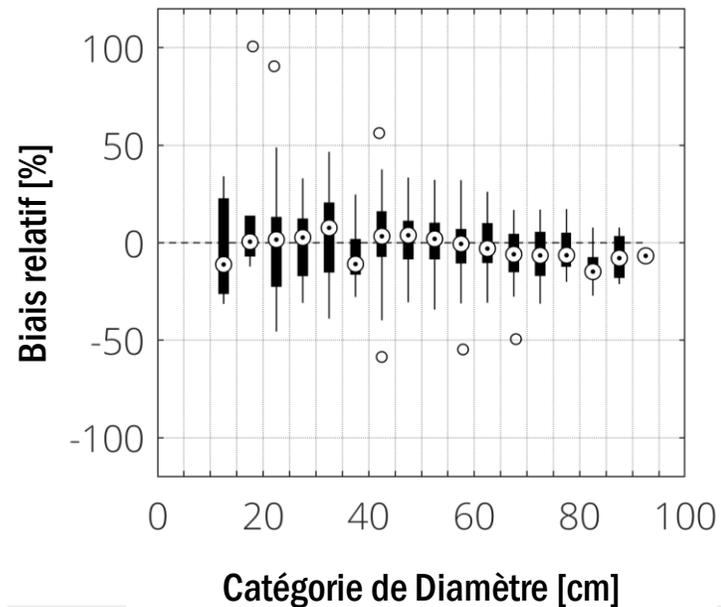
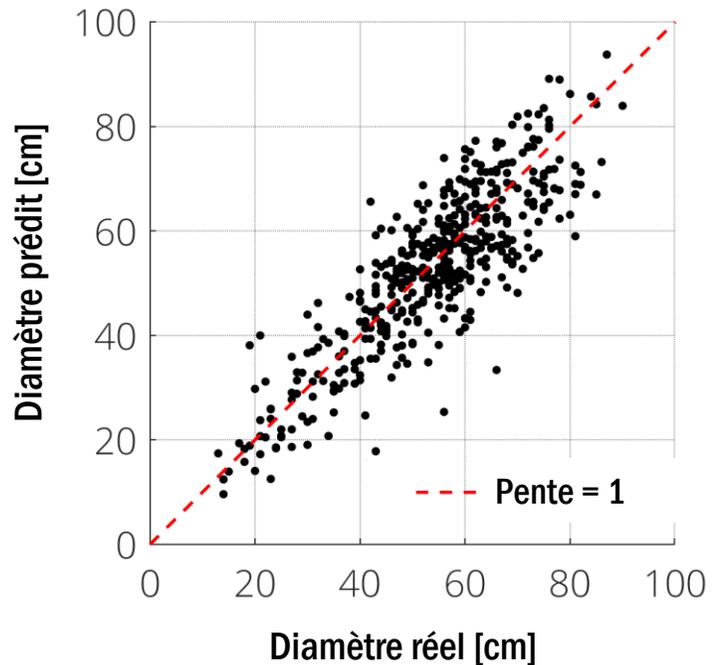


Mesure directement dans le nuage de points

- Modélisation géométrique du tronc
- Echantillonnage LiDAR dense et sans feuilles requis

Estimation indirecte / **Résultat**

Exemple pour le hêtre



899 obs. pour calibration

449 obs. pour validation

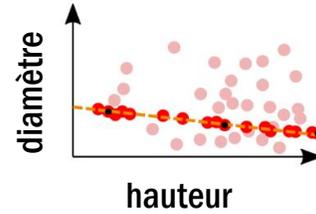
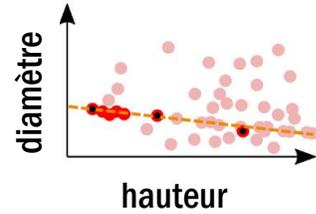
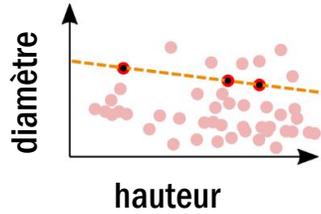
RMSE ($\pm 2 \sigma$): 7.2 ± 1.6 cm

Biais rel. ($\pm 2 \sigma$): 0.02 ± 0.16

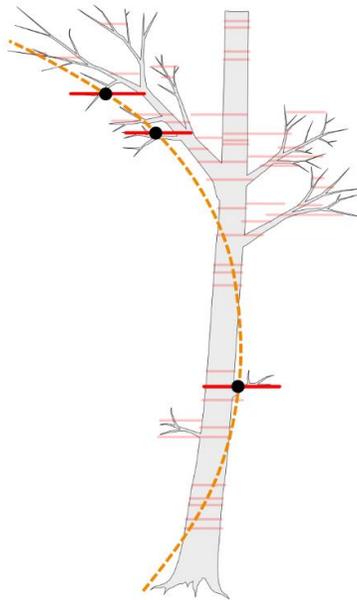
r^2 ($\pm 2 \sigma$): 0.94 ± 0.16

Mesure directe / Méthode

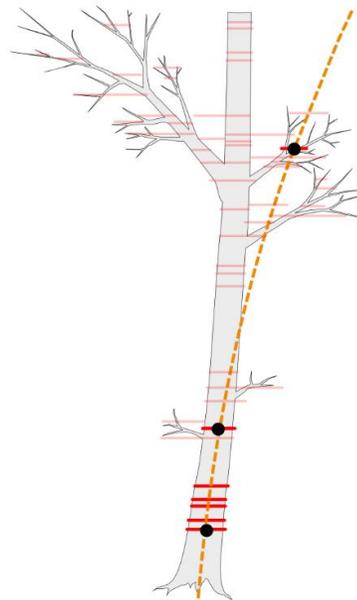
défilement



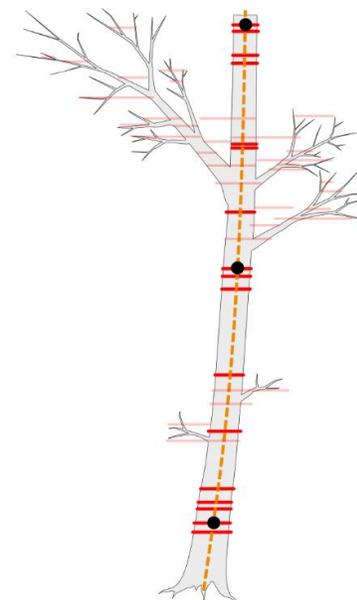
Axe
médian du
tronc



3 cercles
conformes



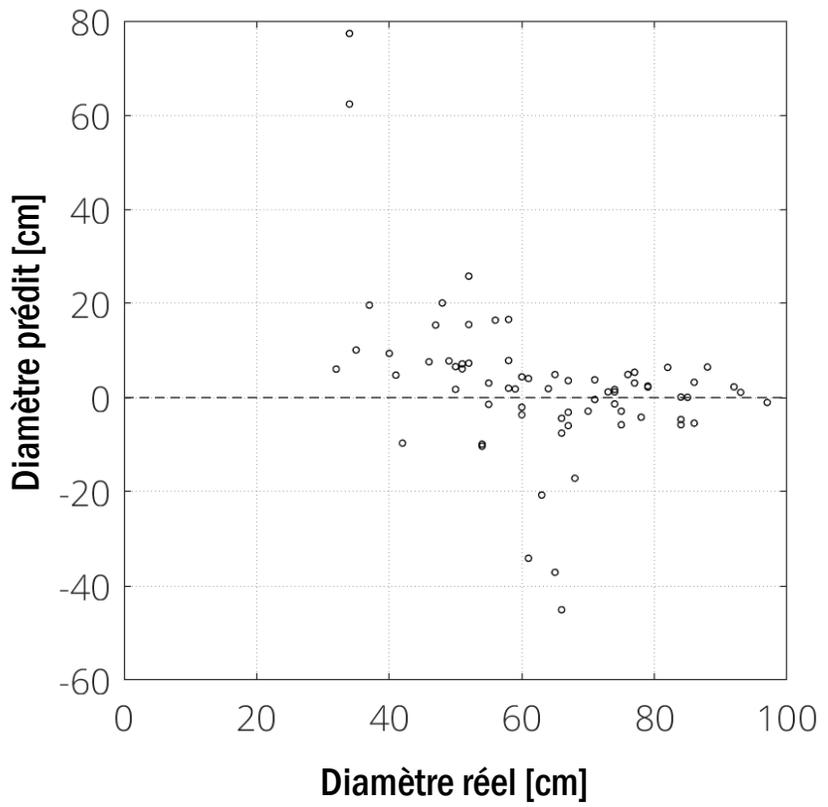
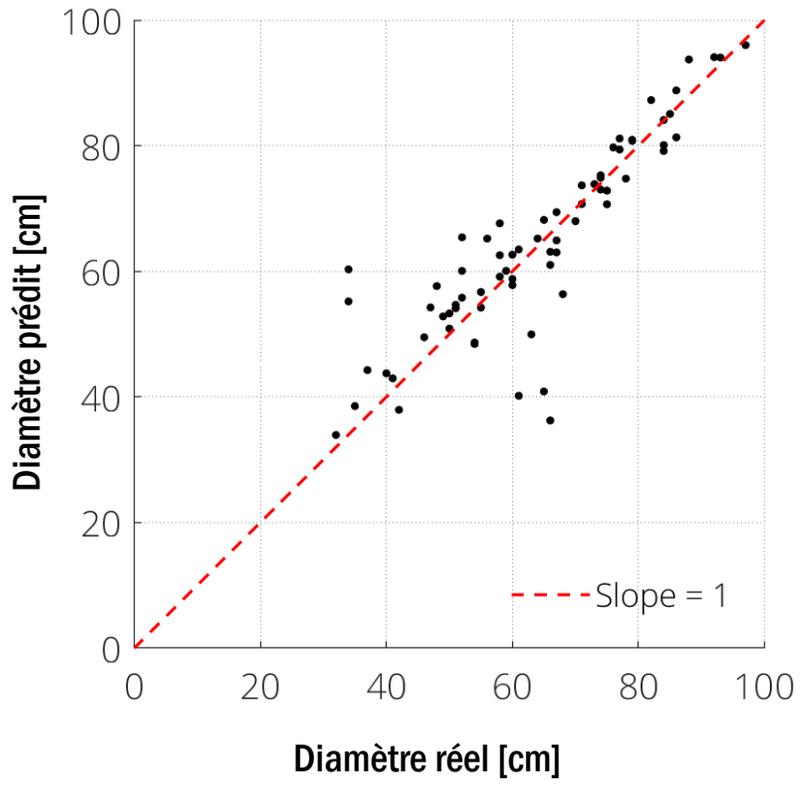
7 cercles
conformes



17 cercles
conformes

1. Sélectionner aléatoirement 3 cercles qui définissent un modèle de tronc (axe médian et défilement du diamètre)
2. Compter le nombre d'autres cercles qui sont conformes à ce modèle
3. Répéter étapes 1-2 jusqu' à un nombre max. d'itération
4. Retenir le meilleur modèle (max. de cercles conformes)

Mesure directe / Résultats



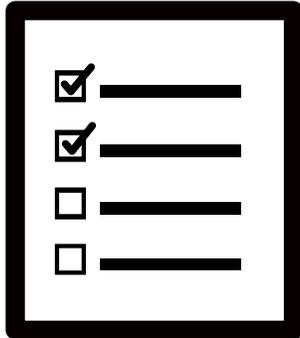
~27% des tiges avec diamètre >30 cm sont mesurable (basé sur 856 obs.)

Err. abs. : 5.2 cm
Biais rel. < 3%
 $r^2 = 0.75$
(basé sur 70 obs.)

The background of the slide is a dense, textured pattern of green leaves, likely from a deciduous tree, rendered in a slightly desaturated, naturalistic style. A semi-transparent white rectangular box is positioned horizontally across the middle of the image, containing the text.

3 / Identification de l'espèce

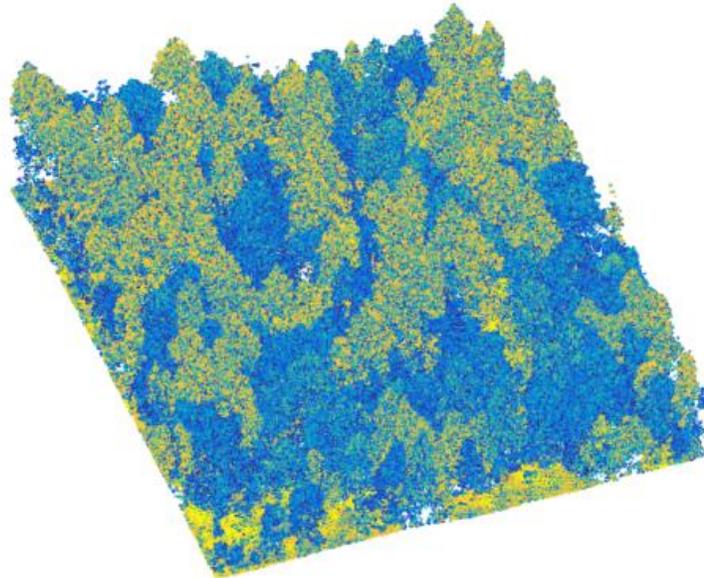
Identification de l'espèce / **Exigences**



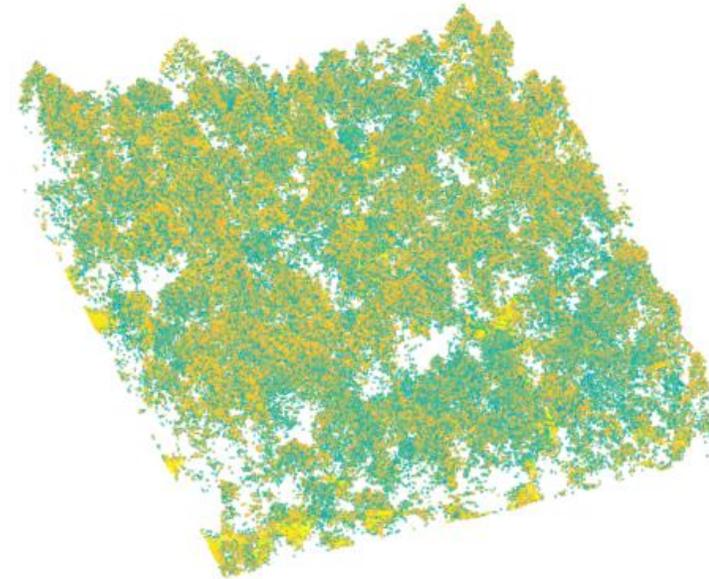
- Identifier les espèces les plus communes
- Adaptable à différentes classes d'âge
- Intervention minimale de l'utilisateur

Identification de l'espèce / **Persistance du feuillage**

26 mars 2016



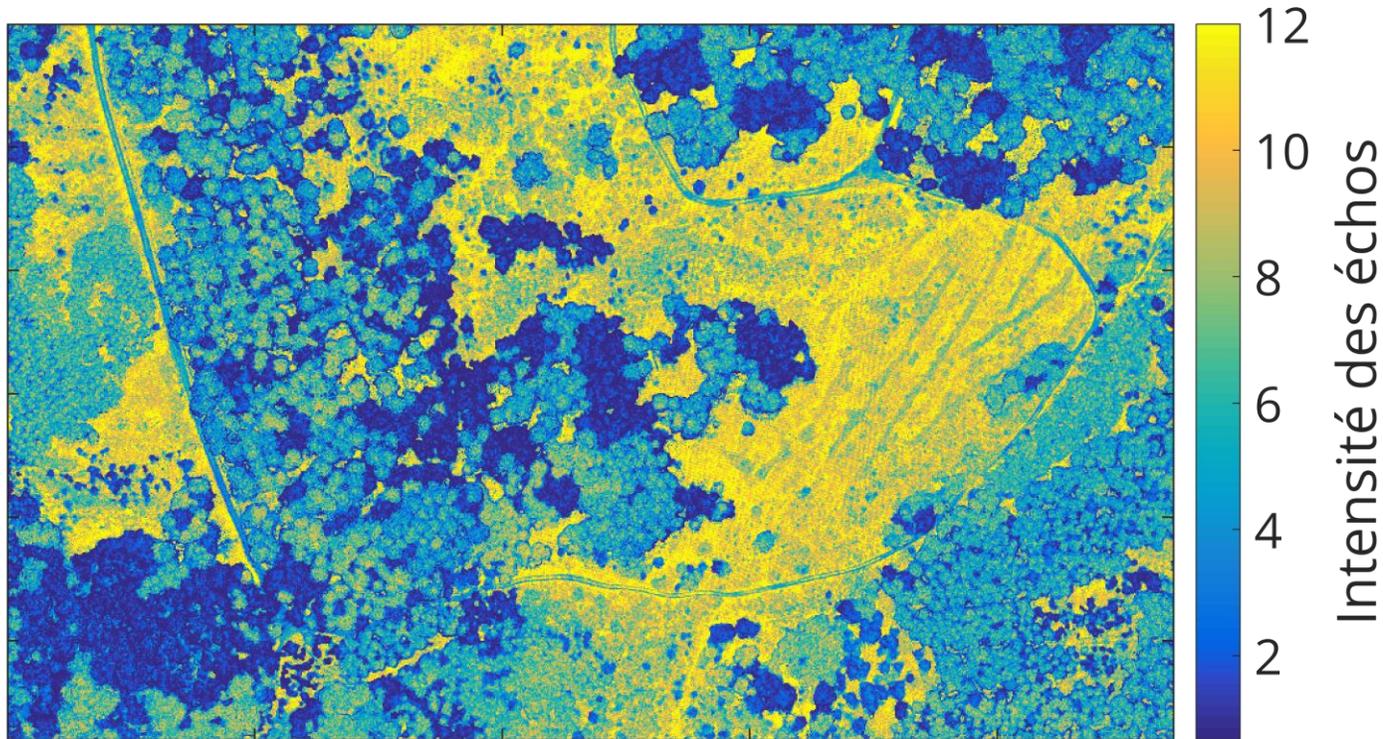
4 mai 2016



Boudry (NE) division 20 est (forêt mixte)

Deux stades phénologiques différents sont clairement visibles en observant l'intensité des échos laser.

Identification de l'espèce / **Persistance du feuillage**



- Carte de mixité feuillus/conifères
- Carte de peuplements
- Modélisation d'habitats favorables

Forêts de Corcelles le Jorat (VD), intensité des échos

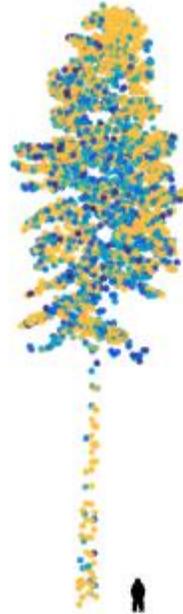
Identification de l'espèce / Structure générale (1)

Epicéa



- Cime pointue
- Branches pendantes

Sapin blanc



- Cime arrondie
- Branches hérissées

Pin sylvestre



- Couronne clairsemée/irrégulière
- Tronc courbé (hélophilie)

Mélèze



- Couronne peu dense
- Longues branches arquées

Identification de l'espèce / Structure générale (2)

Hêtre



- Couronne large et dense
- Grosses branches

Chêne



- Couronne dense
- Grosses branches
- Branches sinueuses

Frêne



- Couronne clairsemée
- Branches ascendantes

Tilleul



- Couronne arrondie
- Branches arquées vers le bas
- Hauteur limitée

Identification de l'espèce / Méthode

Indices de forme



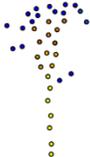
Indices de distribution spatiale des points



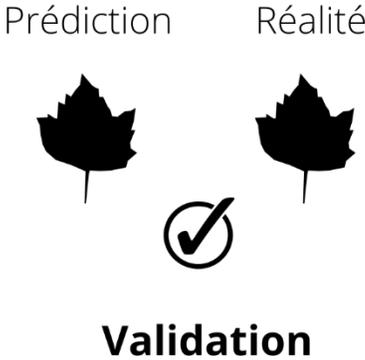
Indices d'opacité



Indices d'intensité

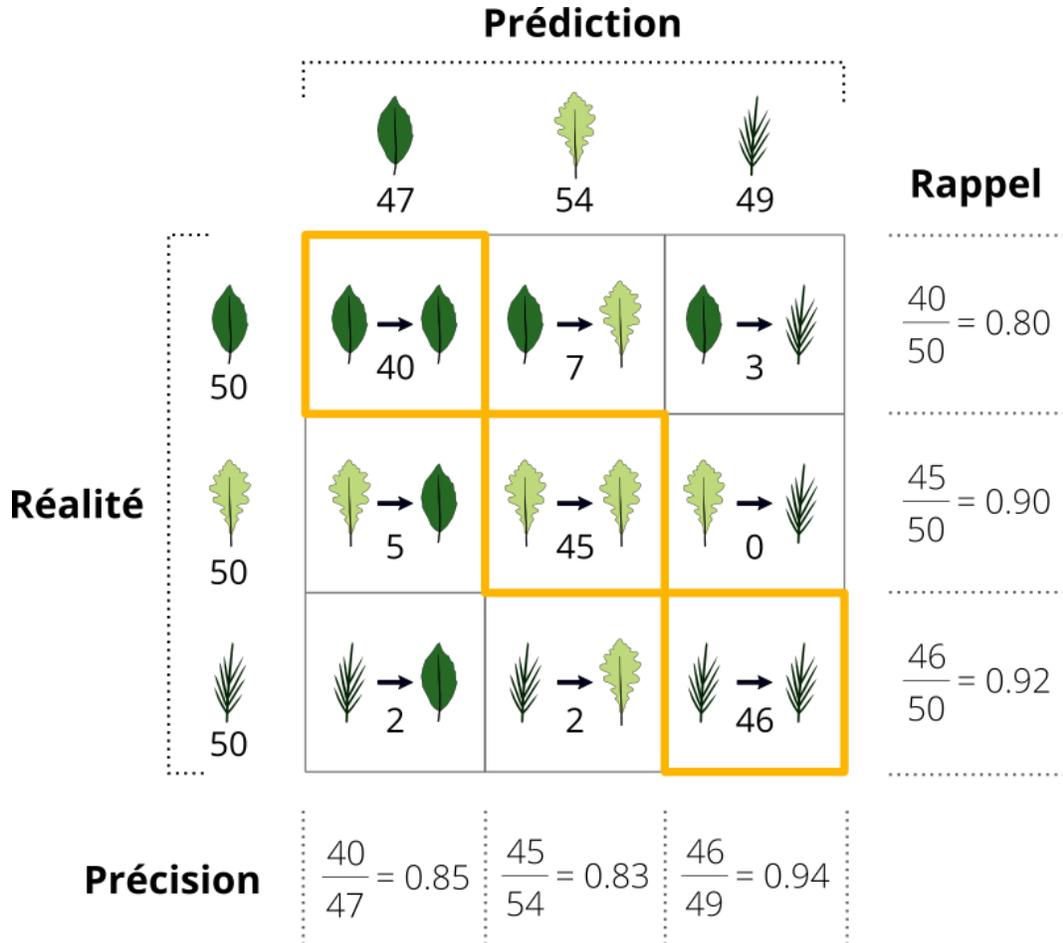


Calcul de descripteurs



Identification de l'espèce / Résultats (1)

Matrice de confusion (exemple fictif)



Evaluation avec une matrice de confusion

- Le rappel indique la sensibilité
- La précision indique la fiabilité
- L'exactitude globale résume la performance

Exactitude globale = $\frac{\# \text{ Correct}}{\# \text{ Total}} = \frac{131}{150}$

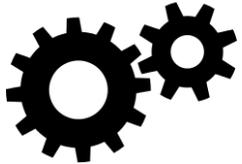
Identification de l'espèce / Résultats (2)

Matrice de confusion (observations de validation)

		Prédiction									Rappel
		Sap.	Epi.	Dou.	Pin.	Mel.	Het.	Che.	Fre.	Era.	
Réalité	Sap.	605	37	5	7	0	3	0	0	0	0.92
	Epi.	31	329	5	4	0	1	1	0	0	0.89
	Dou.	6	9	78	0	0	0	0	0	0	0.84
	Pin.	7	5	0	177	0	0	0	0	0	0.94
	Mel.	0	0	0	1	122	4	2	0	0	0.95
	Het.	1	4	0	0	8	759	12	7	8	0.95
	Che.	0	2	0	0	3	2	237	4	3	0.94
	Fre.	1	1	0	0	1	3	13	39	1	0.66
	Era.	0	0	0	0	0	6	5	6	10	0.37
Précision		0.93	0.85	0.89	0.94	0.91	0.98	0.88	0.7	0.45	

- Identification de 9 espèces
- Echantillonnage stratifié par hauteur
- 40% des obs. utilisées pour calibration, 60% pour validation
- 10-15 descripteurs suffisent
- Les caractéristiques des échos (intensité, rang) sont les meilleurs prédicteurs
- Exactitude globale: 91%
- Kappa: 89%

Pour plus d'information



Code et tutoriels Octave/Matlab:

- <http://mparkan.github.io/Digital-Forestry-Toolbox/>

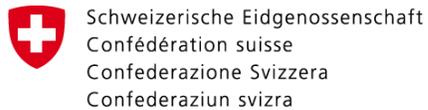


Données LiDAR en libre accès:

- Canton de Zürich, <https://maps.zh.ch/?topic=LidarZH>
- Canton de Genève, <https://ge.ch/sitg/donnees>
- Canton de Soleure, <https://geoweb.so.ch/map/lidar>

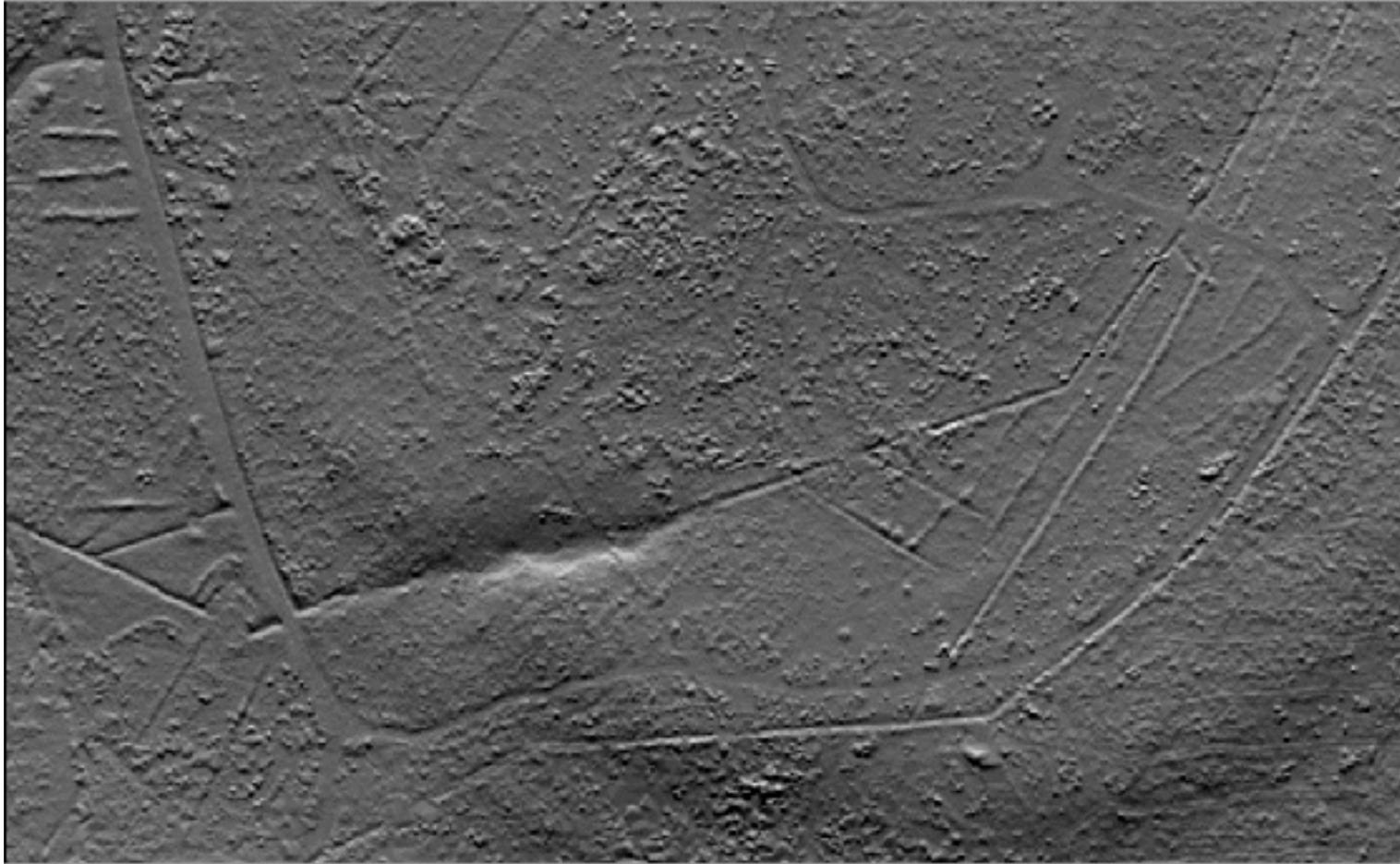
Remerciements

- Fonds pour les Recherches Forestières et l'Utilisation du Bois (WHFF, OFEV), projet 2013.18
- Cantons de Vaud, Neuchâtel, Jura, Fribourg et Genève



Analyses de base / **Terrain**

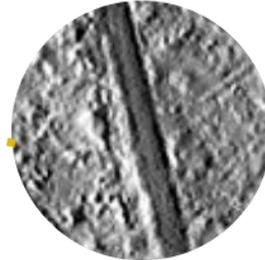
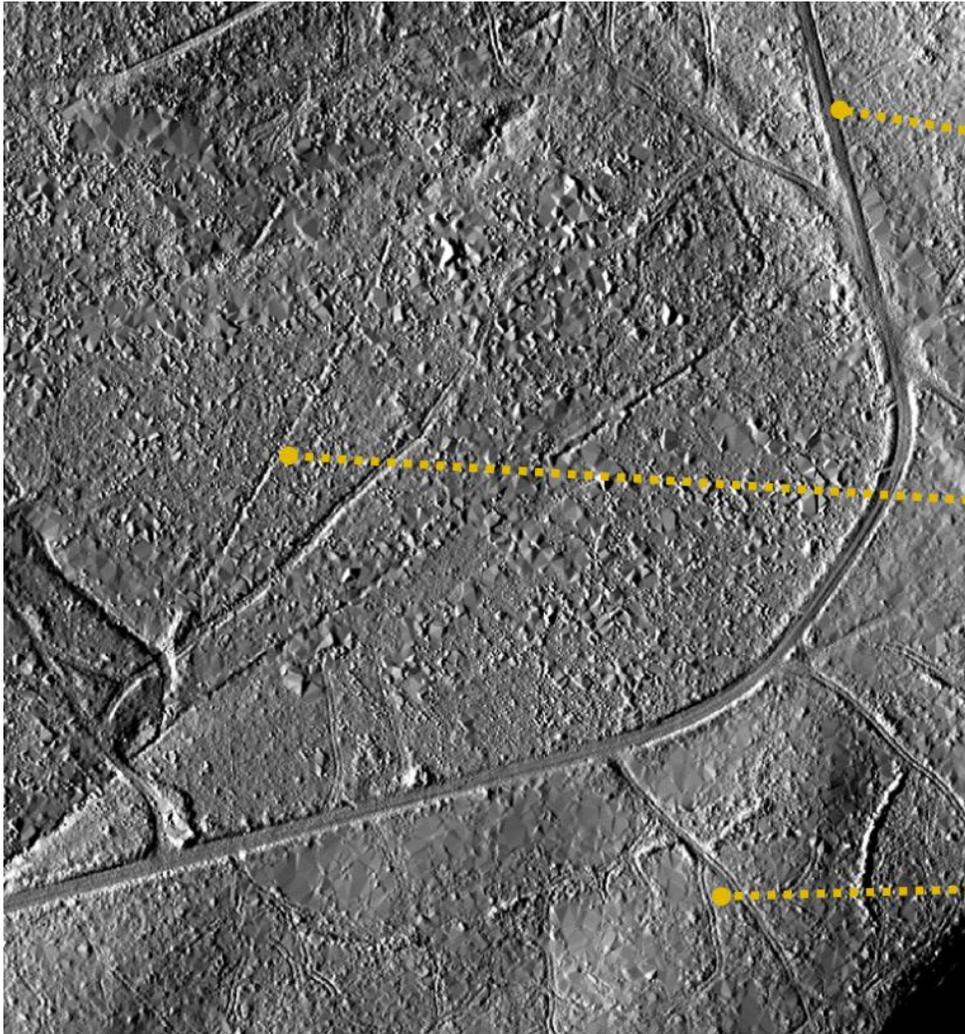
Azimuth: 0.0°, Elevation: 15.0°



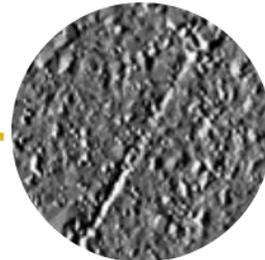
Forêts de Corcelles le Jorat, ombrage (hillshading)

Une représentation ombrée permet de mettre en évidence des éléments fins du relief. La visibilité des éléments dépend de l'azimut et de l'élévation de l'éclairage, il est donc indispensable de les varier.

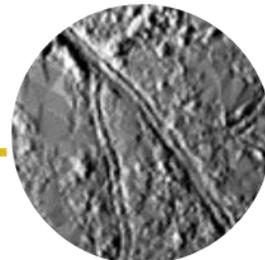
Analyses de base / Terrain



Sentier



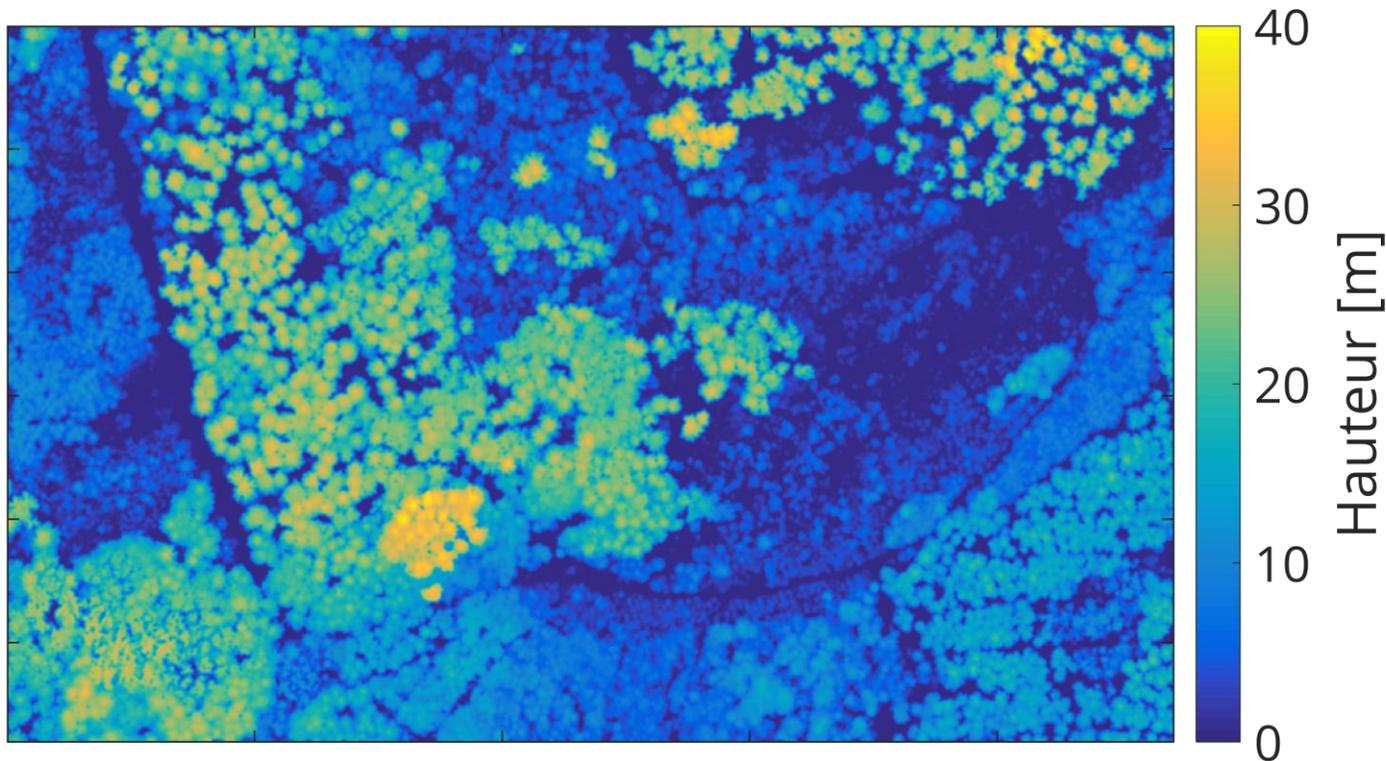
Canal de drainage



Ornières

- Mise à jour des plans de desserte forestière fine et de drainage (p. ex. restauration de zone humide)
- Limiter la compaction du sol (p. ex. réutilisation des ornières existantes)
- Cartographie de réseaux hydrographiques fins

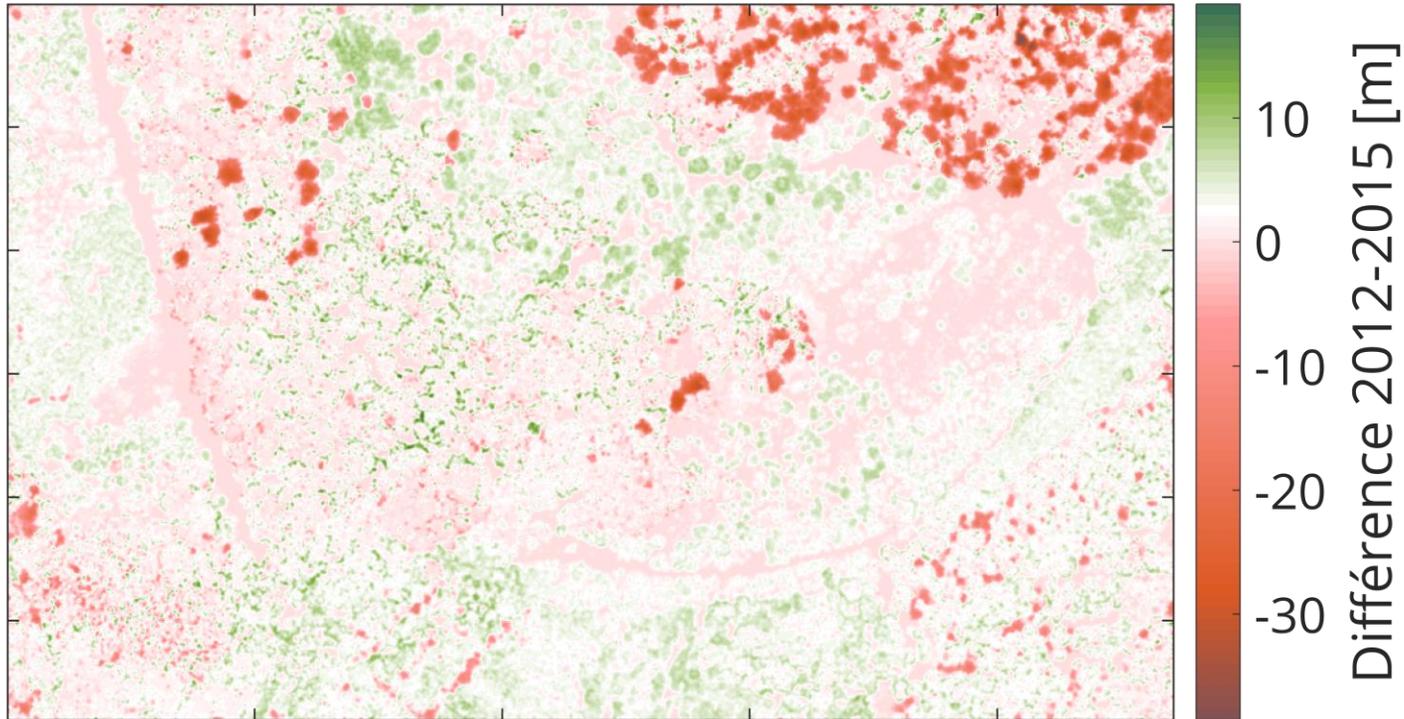
Analyses de base / **Hauteur de canopée**



Forêts de Corcelles le Jorat

- Carte de peuplements
- Modélisation d'habitats favorables
- Repérage d'arbres remarquables et d'îlots de senescence

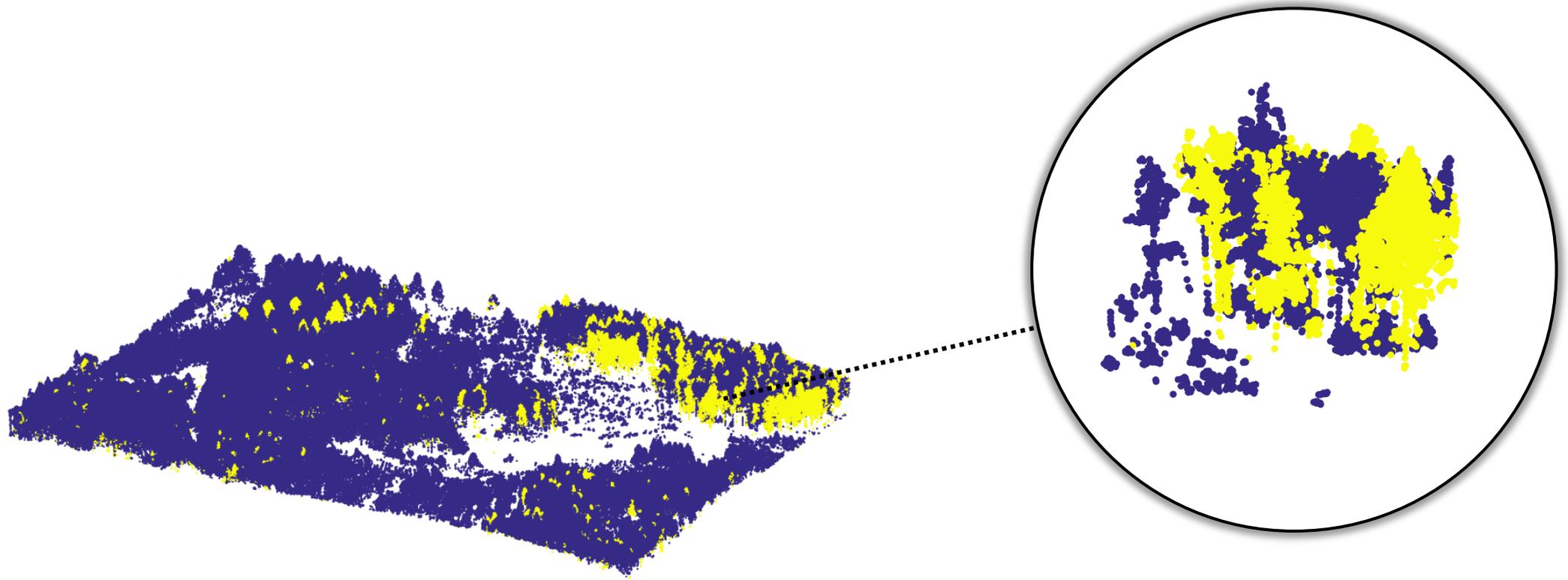
Analyses de base / **Différence de hauteur**



Forêts de Corcelles le Jorat, différence de hauteur 2012-2015

- **Suivi des coupes, des chutes et de la croissance des arbres**
- **Estimation de l'indice de qualité de station**
- **Indirectement, estimation de la présence de bois mort**

Analyses de base / **Différence de nuage de points**



Forêts de Corcelles le Jorat, différence de nuage de points 2012-2015, Données OIT

● Points de 2012 n'ayant aucun voisin distant de < 1.5 m dans le relevé de 2015