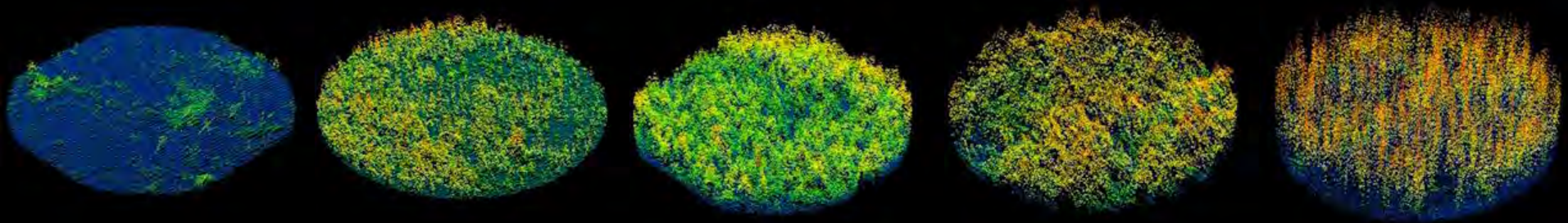


# Caractériser la croissance post-perturbation de la forêt boréale à l'aide du LiDAR aéroporté : une approche vers l'amélioration de l'indice de qualité de site



Par

Batistin Bour

B.Sc. Biologie

Candidat M.Sc. Géomatique

Direction : Richard Fournier (UdeS)  
Co-direction : Luc Guindon (RNCAN - SCF)  
Yan Boucher (MFFP - DRF)

Colloque Annuel du CEF  
Chicoutimi  
1 mai 2019

# Contexte

Objectifs

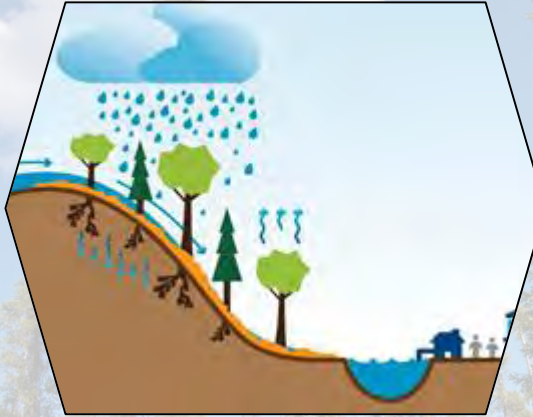
Site d'étude

## Écosystème d'intérêt

Biodiversité



Services écosystémiques



Économique



Social



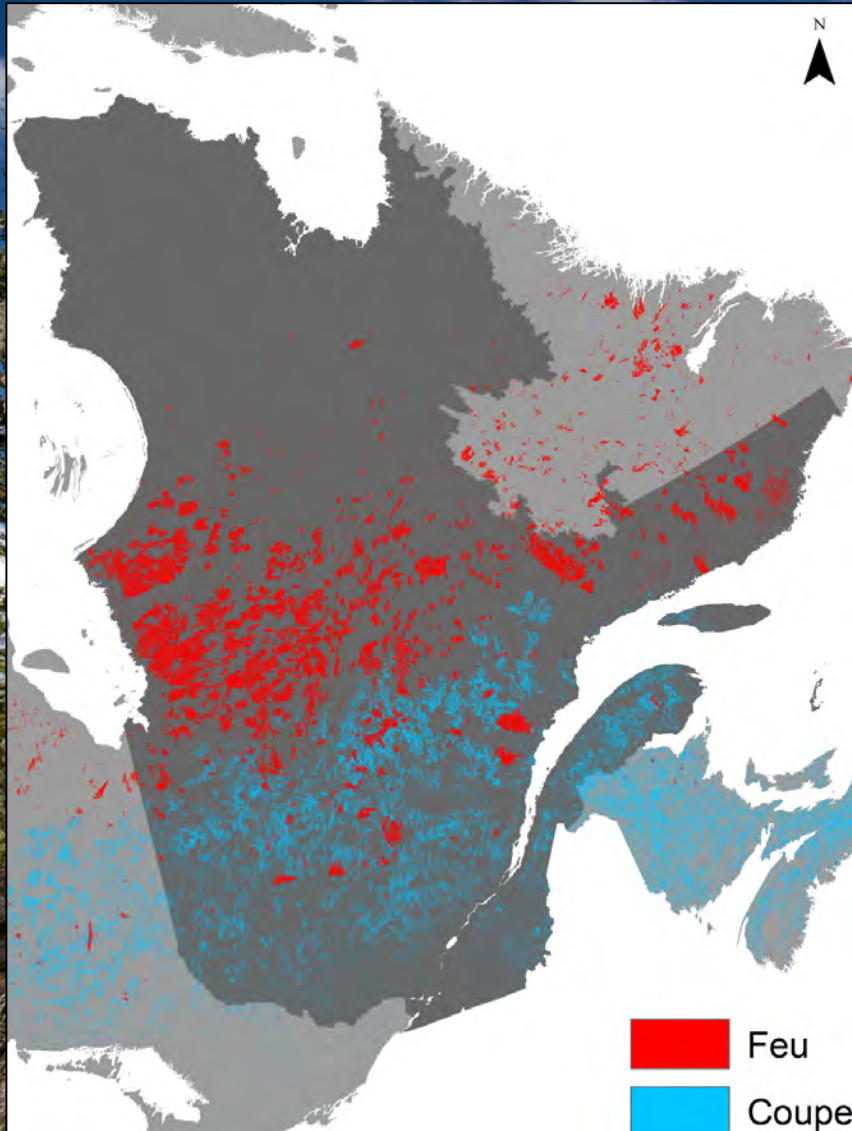
Écosystème dynamique



# Contexte

Objectifs

Site d'étude



Feux et coupe entre 1984 et 2015  
(Canada Landsat Disturbance)

Objectifs de gestion :

Aménagements  
écosystémiques



Planification  
stratégique à long terme

# Contexte

Objectifs

Site d'étude

## Modélisation des surfaces forestières

L'indice de qualité de site (IQS)

Développé à partir d'arbres matures selon :

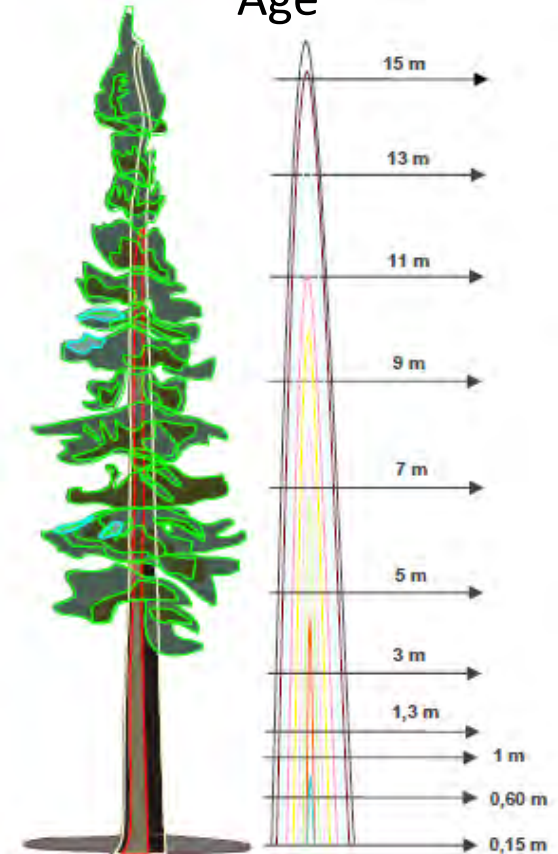
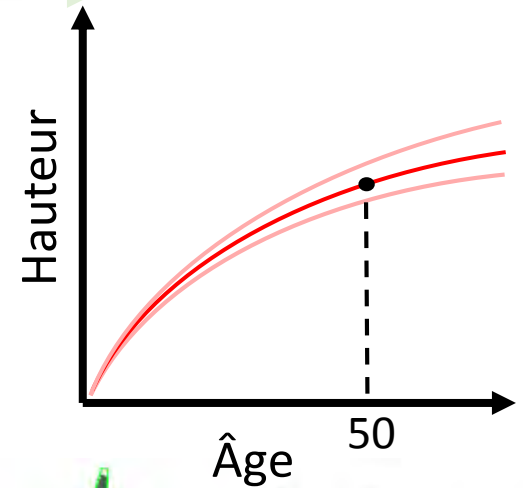
- Condition de végétation
- Climat
- Caractéristiques physiques

Nécessité d'avoir un IQS représentatif des jeunes peuplements issus de perturbations.

Nouvel IQS = besoin de nouvelles données

Peuplements difficiles d'accès

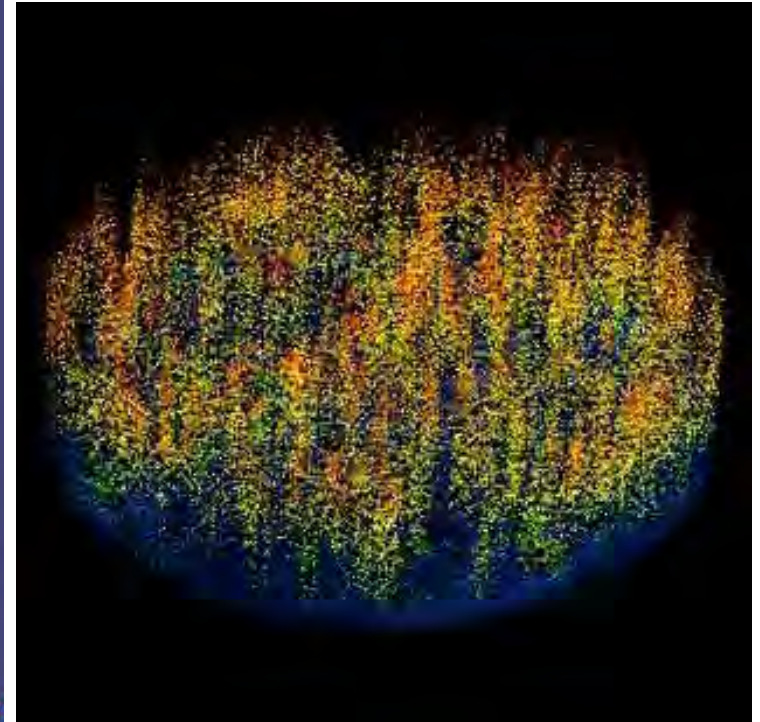
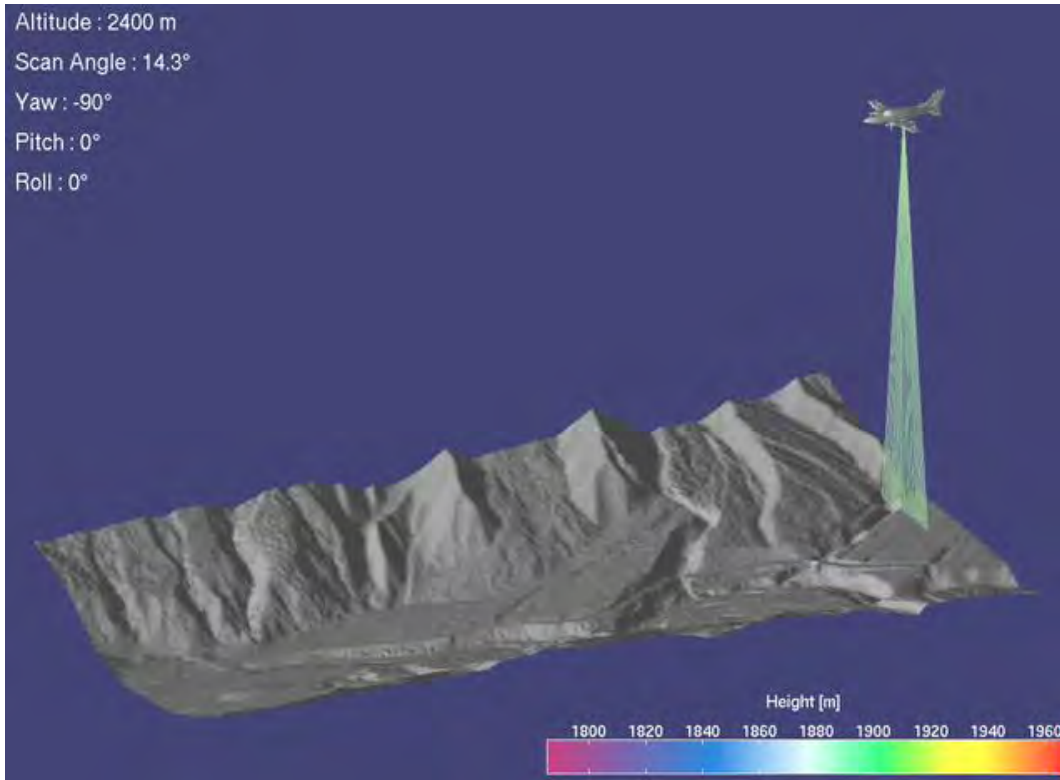
➔ Inventaire long et coûteux



Adapté de Grondin 2001.



## Le LiDAR (Light Detection And Ranging) en foresterie



Mesure de hauteurs, densité d'arbre, architecture des arbres, ouverture de canopée, spatialisation des arbres, ...



# Contexte

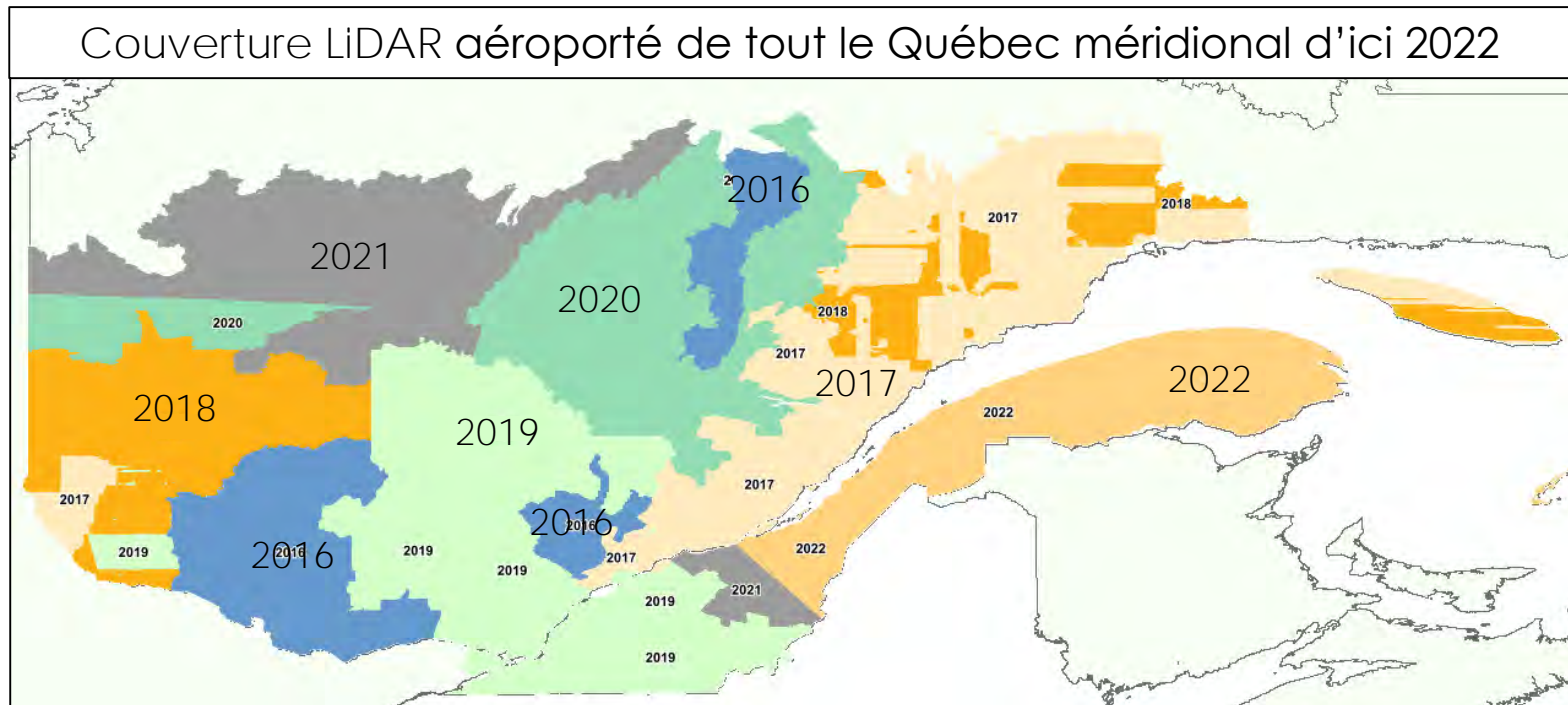
Objectifs

Site d'étude

## Le LiDAR (Light Detection And Ranging) en foresterie

Le LiDAR devient graduellement l'outil de télédétection de prédilection en foresterie.

Permet l'évaluation de l'IQS existant.



Contexte

# Objectifs

Site d'étude

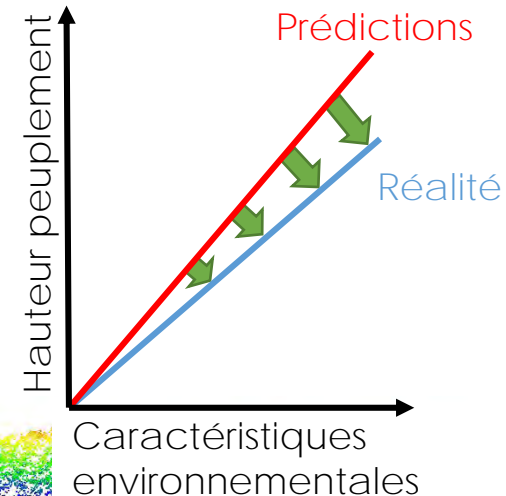
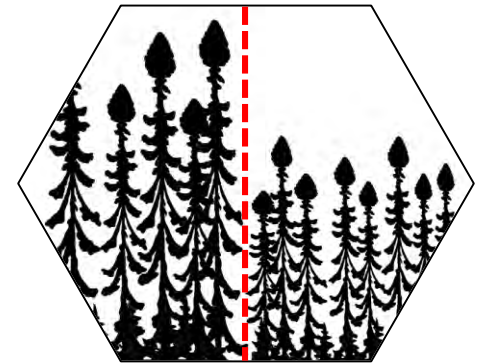


Est-ce que le LiDAR **aéroporté** peut contribuer à l'amélioration des prédictions de croissance des peuplements d'épinette noire après perturbation ?

## Objectifs

Améliorer la compréhension de la croissance en hauteur des jeunes peuplements d'épinette noire en forêt boréale au Québec à l'aide du LiDAR aéroporté.

- Hauteur VS Variables environnementales
  - ➡ Identification de variables LiDAR explicatives
- Proposition de relations prédictives de la croissance en hauteur
  - ➡ Développement d'un indice de croissance
  - ➡ Correspondance à l'échelle du peuplement

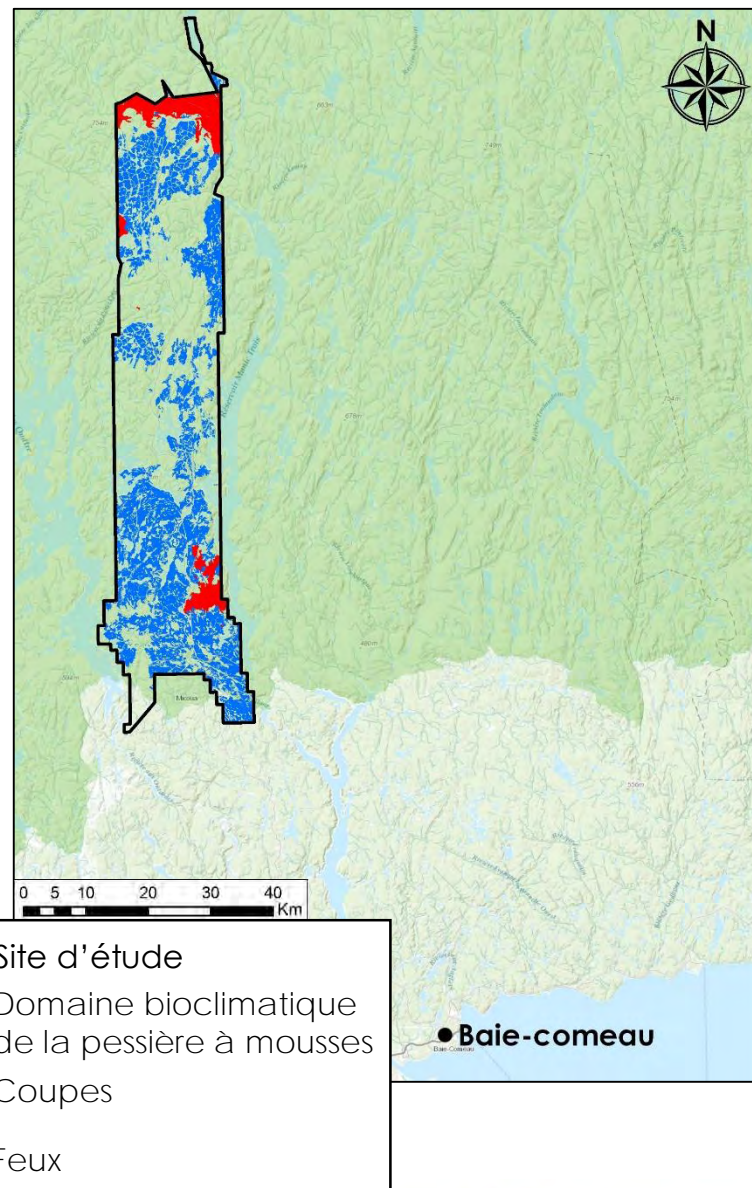


## Critères de choix du site d'étude :

- Domaine bioclimatique de la pessière à mousse
- Présence de perturbations
- Disponibilité de donnée LiDAR

## Caractéristiques du site choisi :

- Superficie totale : 1699.4 km<sup>2</sup>
- Superficies perturbées :
  - Coupes : 630.2 km<sup>2</sup>
  - Feux (purs) : 38,6 km<sup>2</sup>
- Acquisitions LiDAR : 2012, 2014 et 2016





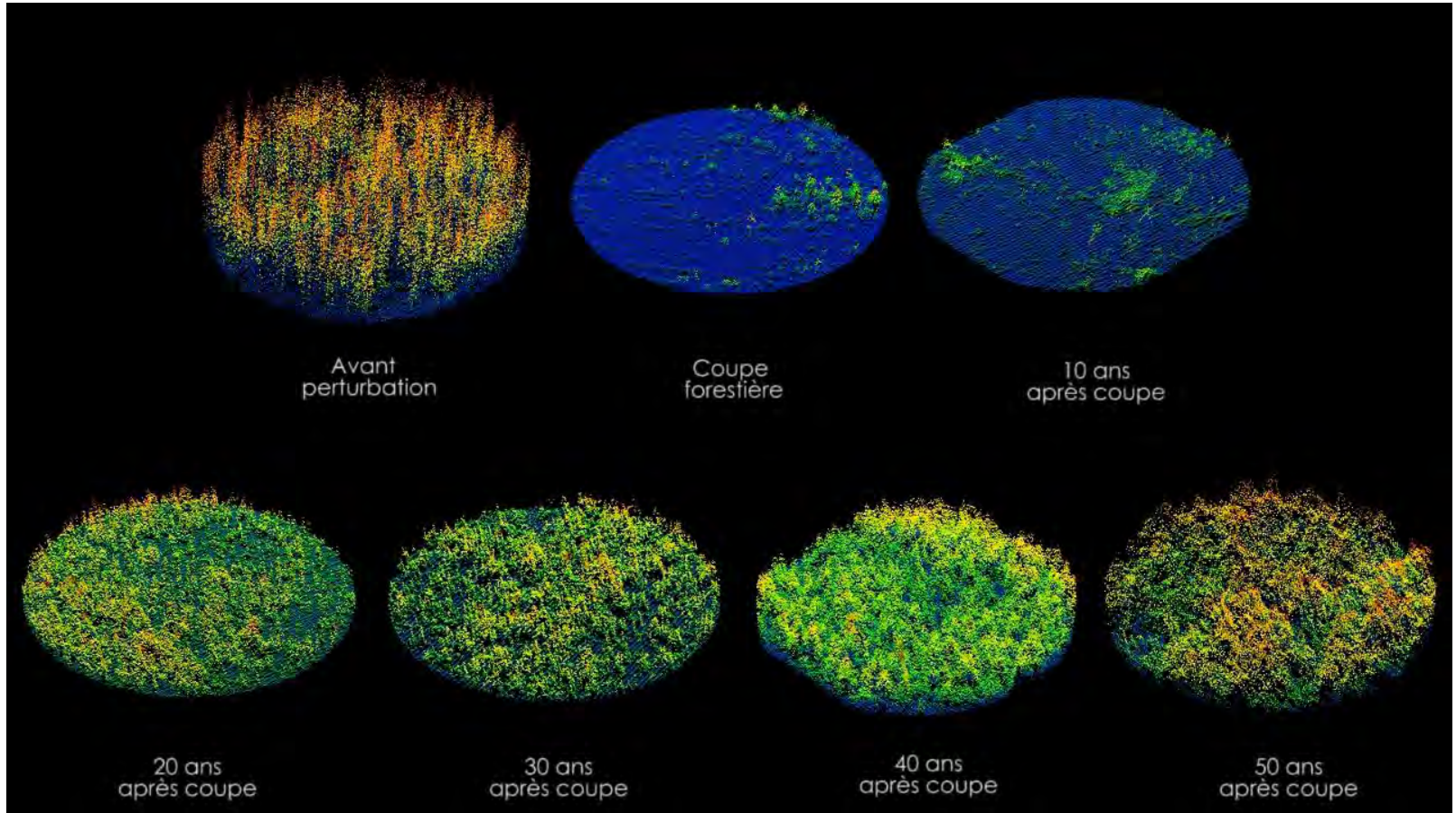
Site d'étude

# Réalisation

Résultats



Approche « top-down »



Site d'étude

# Réalisation

Résultats

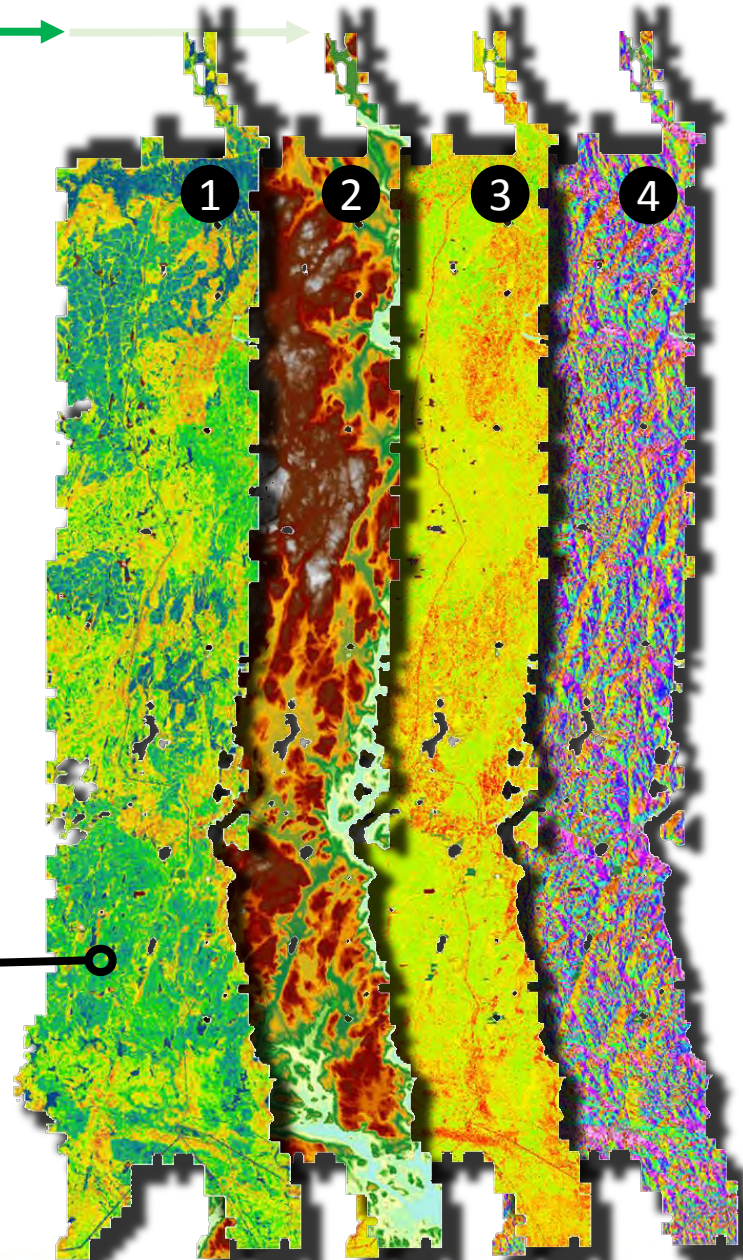
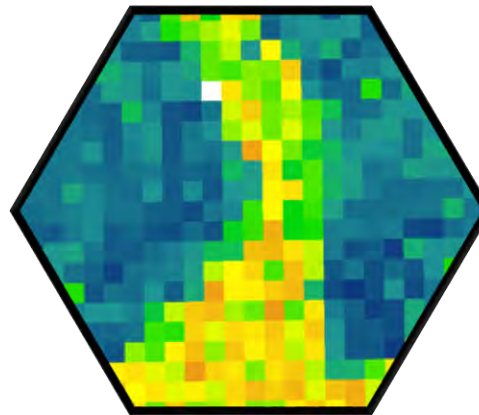
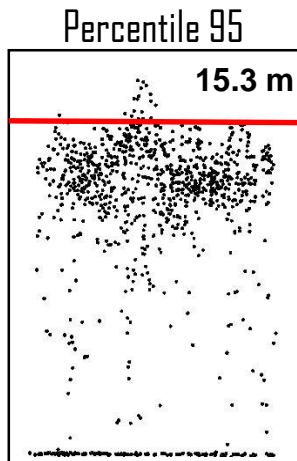


Approche « top-down »

## Variables LiDAR

Variables LiDAR calculées (logiciel FUSION) :  
Raster (20 m de résolution, extent commun)

- 1 Hauteur (percentille 95)
- 2 Modèle Numérique de Terrain (Altitude)
- 3 Pente (degrés)
- 4 Exposition (azimut)

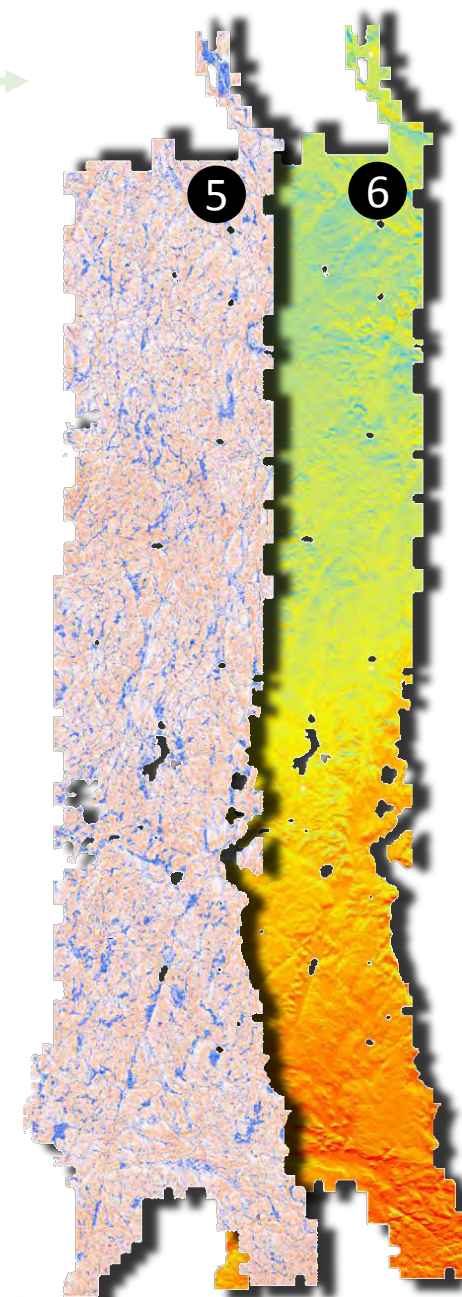
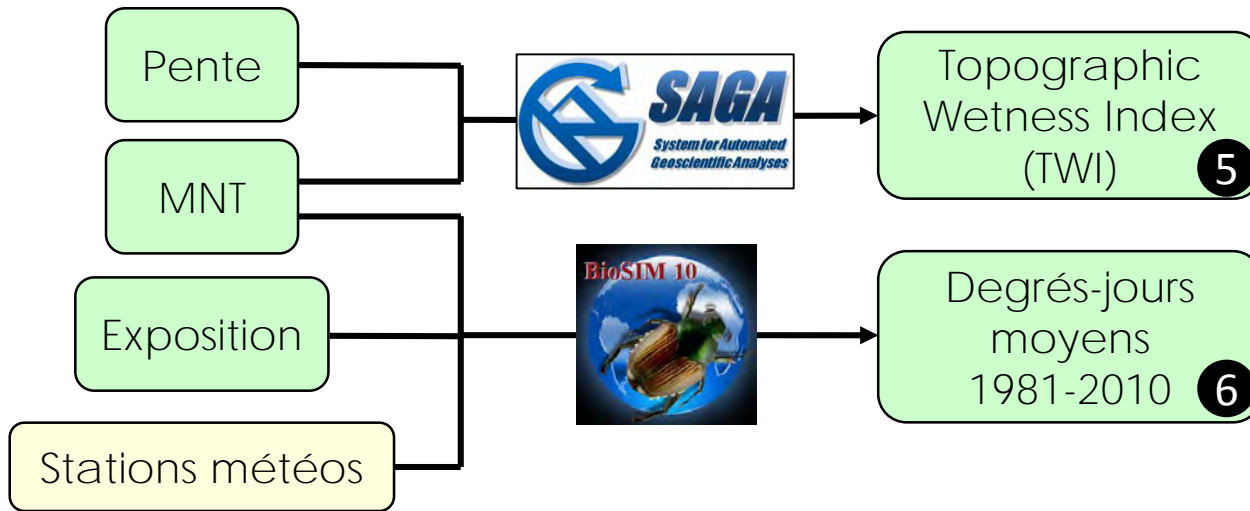


Site d'étude

# Réalisation

Résultats

## Variables LiDAR dérivées



## Carte écoforestière

- Type écologique : RS, MS, RE
- Dépôts de surface : Glaciaire, Fluvio-glaciaire, Roc
- Type de perturbation : Coupe, Coupe + Intervention
- Année de la perturbation



Site d'étude

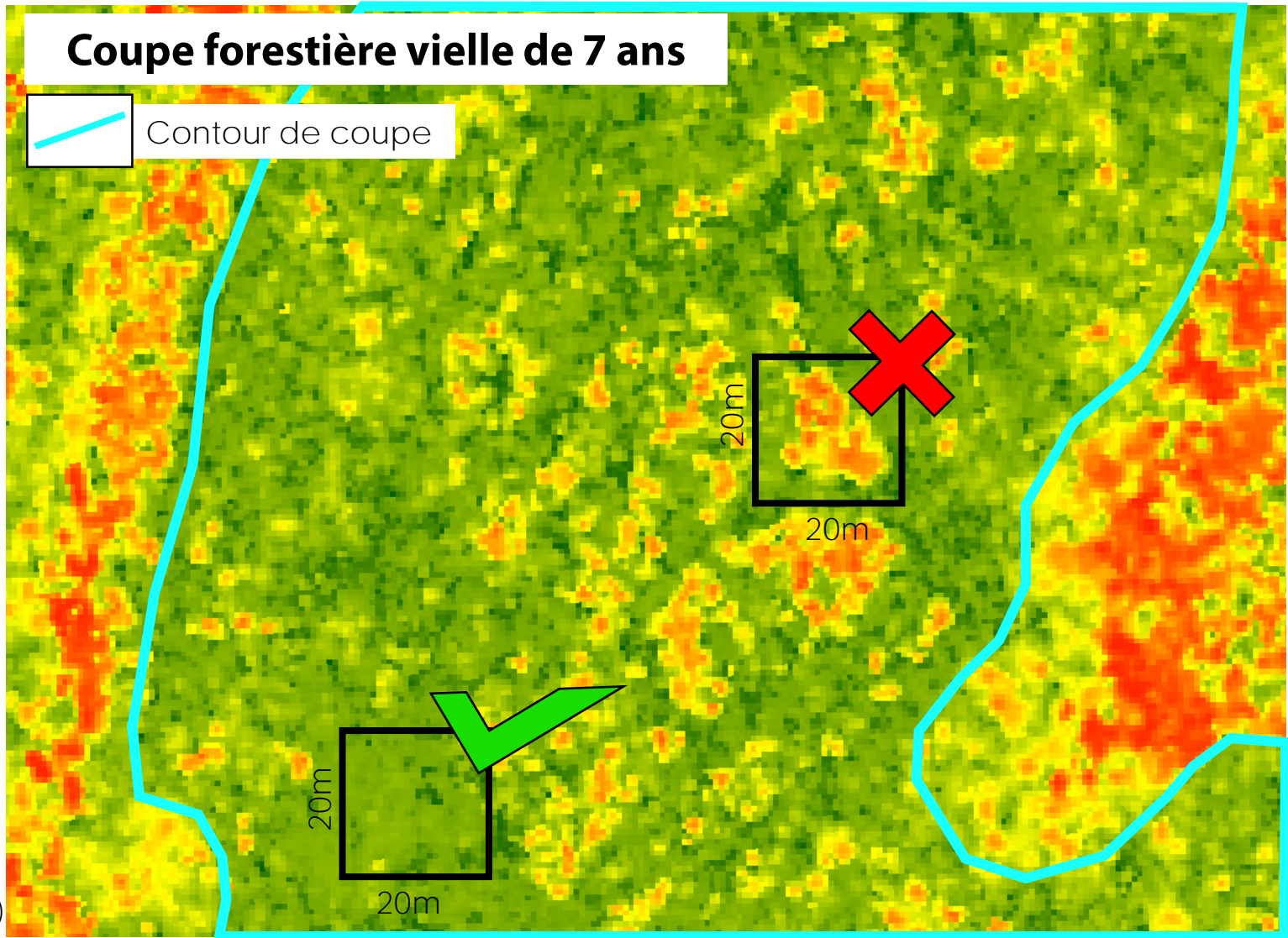
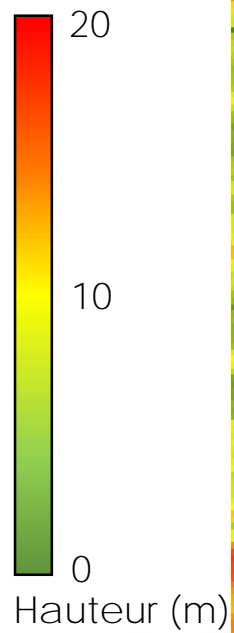
Réalisation

Résultats

## Filtrage des données

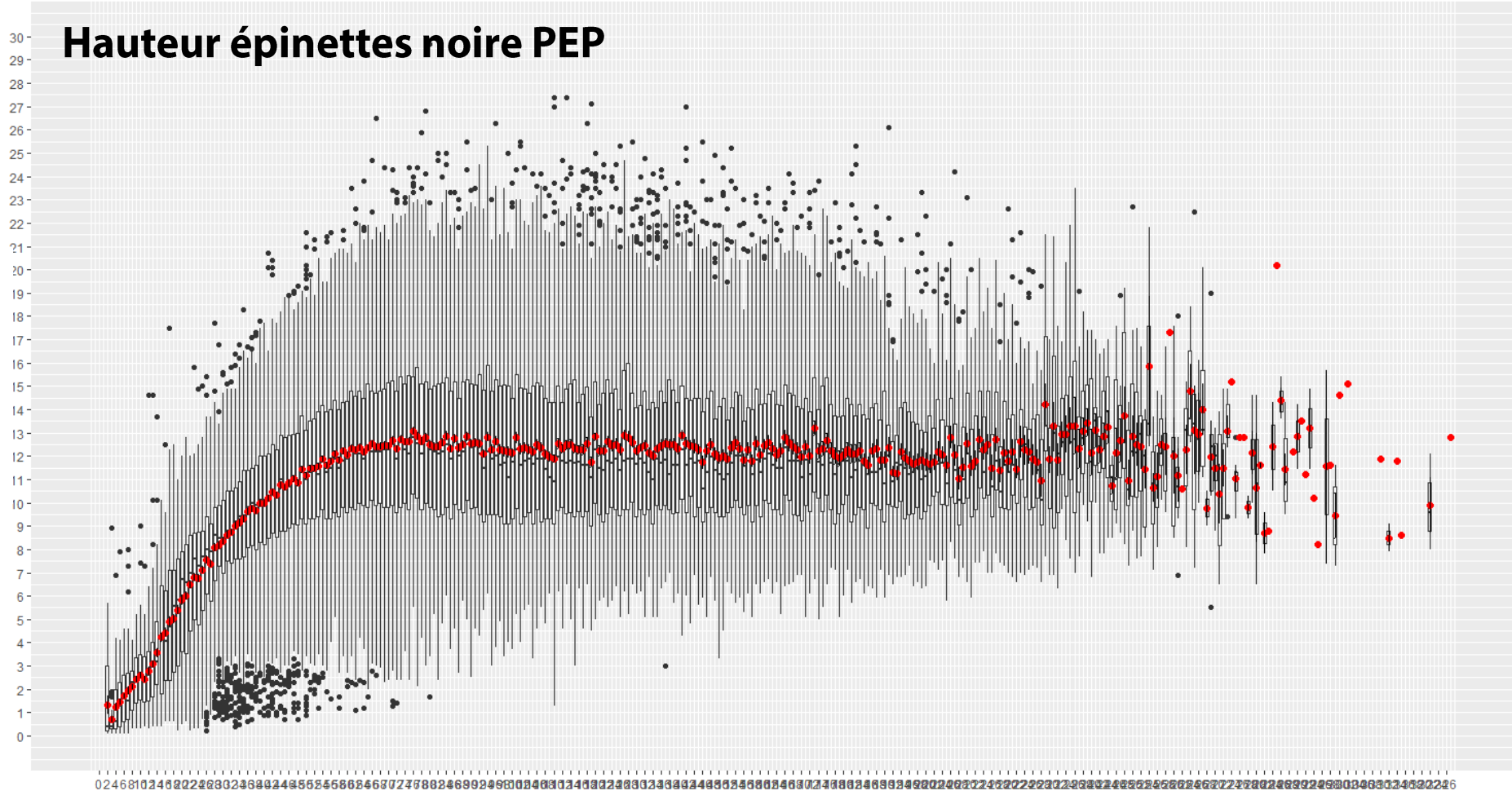
**Coupe forestière vieille de 7 ans**

Contour de coupe



# Hauteur épinettes noire PEP

Hauteur Arbre



Âge	Hauteur Max
7	3,04 m
8	3,70 m
...	...

Âge Arbre



Observation **×** :  
 Âge = 7 ans  
 Hauteur = 9,17 m



Suppression  
 observation



## Filtrage des données

« Un grand n engendre de grandes responsabilités »

Observations de peuplements forestiers issus de perturbations :

$n = 1\ 567\ 038$

Filtres :

1. Bordures de routes (50m)
2. Bordures de cours d'eau (50m)
3. Bordures de coupe (50m)
4. Présence d'épinette noire
5. Âge minimum 10 ans (Matasci *et al.* (2018))
6. Hauteur maximale théorique (exclusion des valeurs aberrantes)
7. Autocorrélation spatiale
  - Indice de Moran
  - Semivariogramme
  - 250m minimum entre les observations

Observations base de donnée :

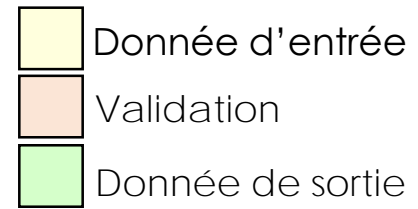
$n = 3661$



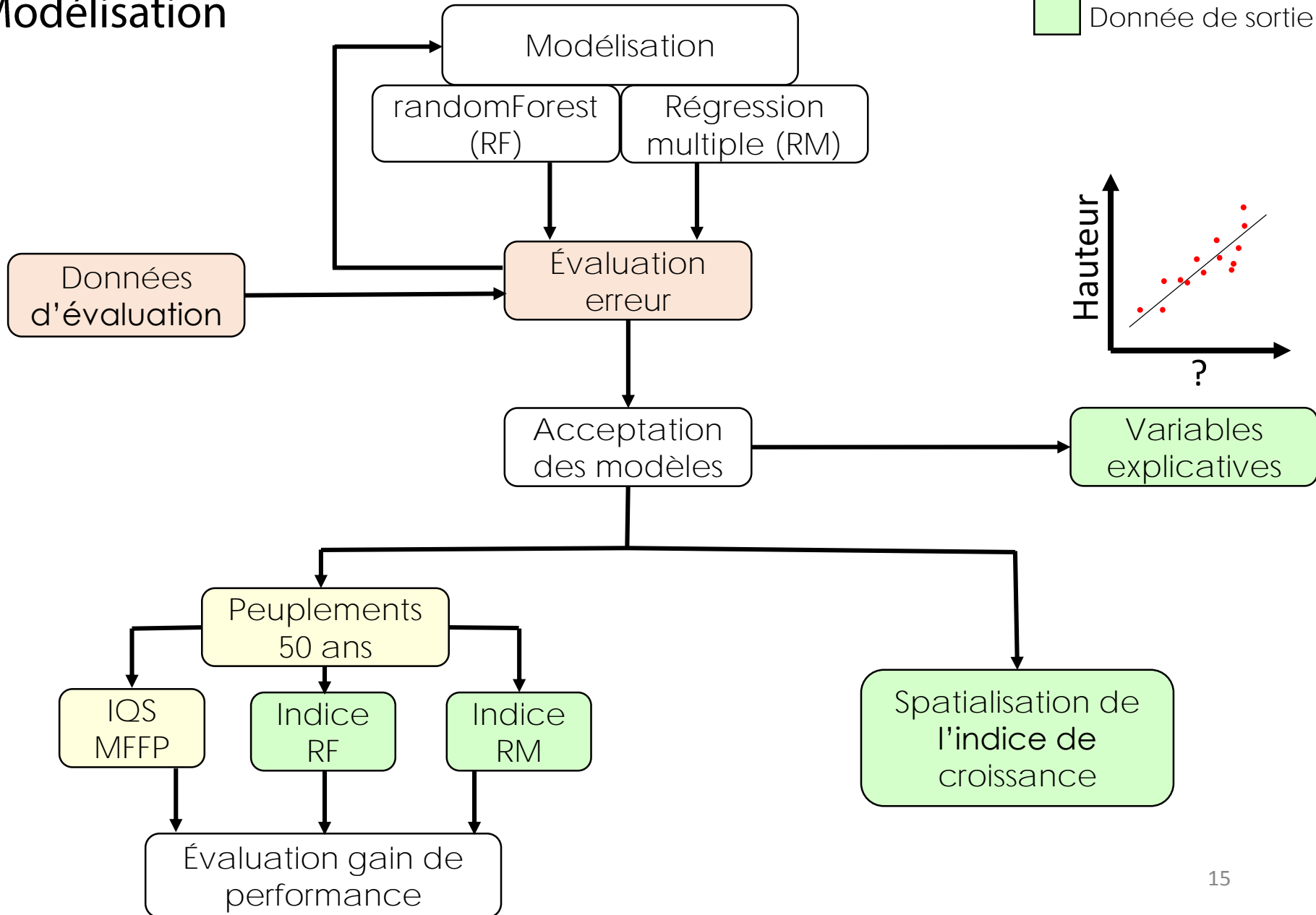
Site d'étude

# Réalisation

Résultats



## Modélisation

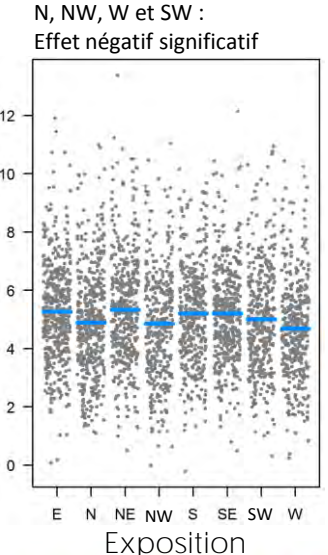
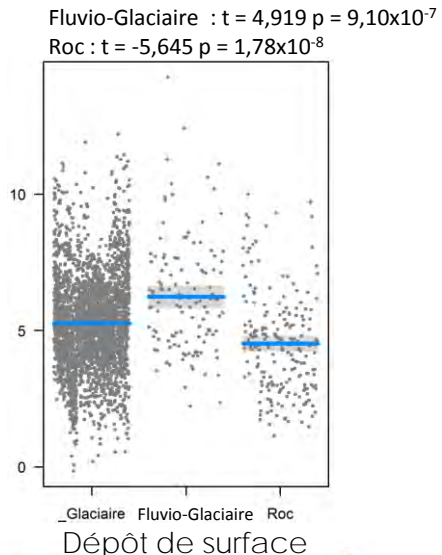
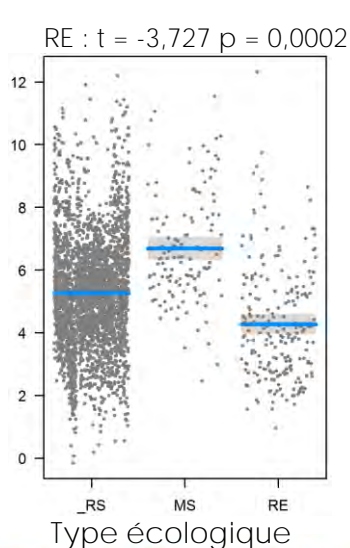
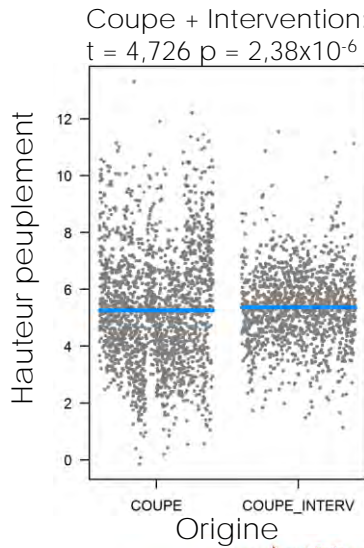
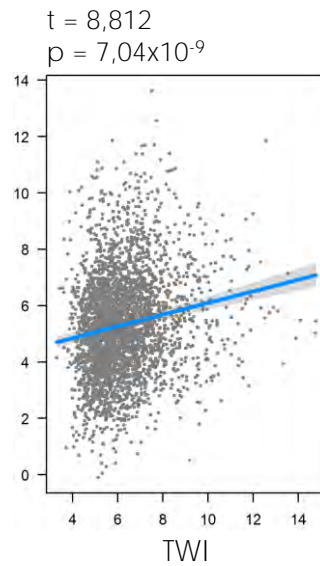
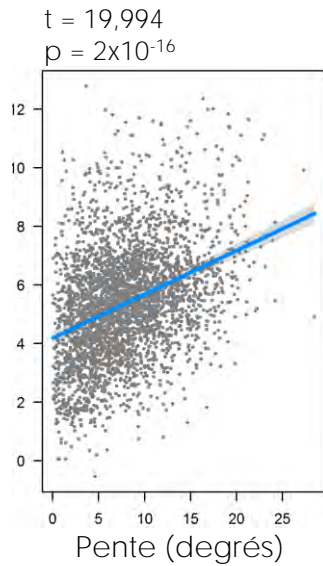
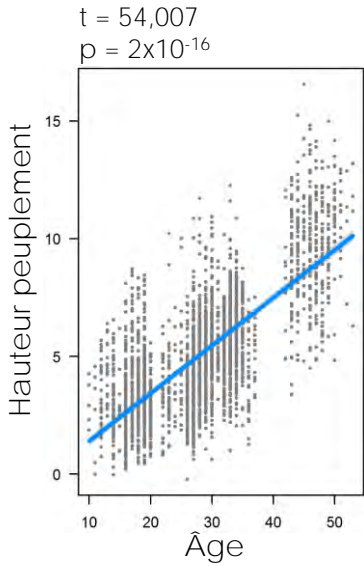


# Modélisation – Variables explicatives

Évaluation des modèles

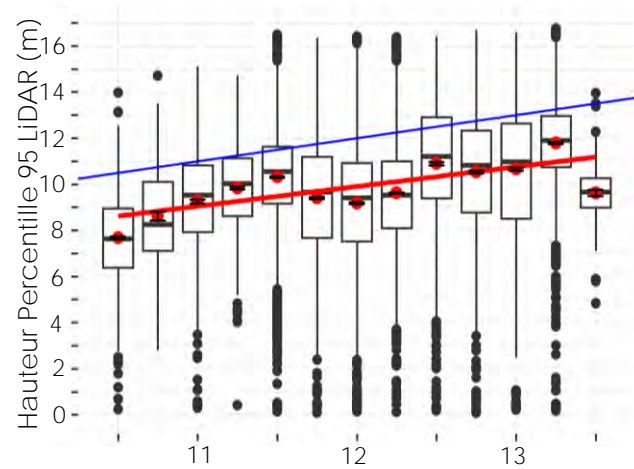
randomForest  
 $r^2 = 0,676$   
 Mean error = 0,038 m  
 Rmse = 1,555  
 rmse% = 30,067

Régressions multiple  
 $r^2 = 0,565$   
 Mean error = 0,042 m  
 Rmse = 1,798  
 rmse% = 34,580



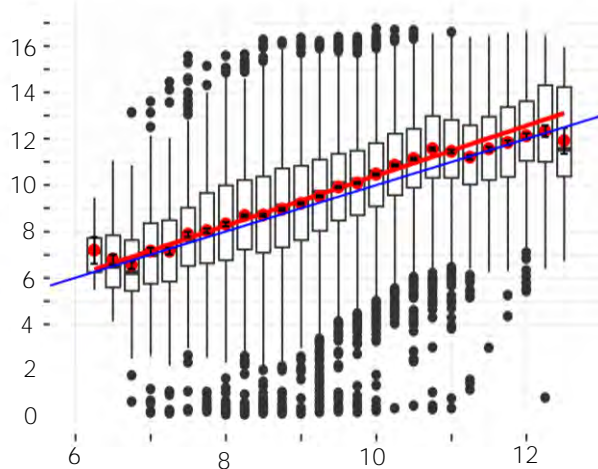


# Peuplements à 50 ans VS prédictions



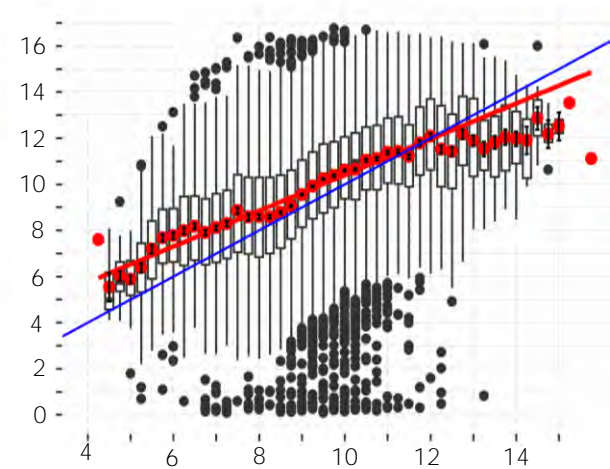
IQS – MFFP

$r^2 = 0,05$   
 Erreur moyenne = 1,97 m  
 rmse% = 32,00



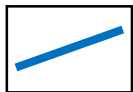
RandomForest

$r^2 = 0,18$   
 Erreur moyenne = - 0,46 m  
 rmse% = 23,80

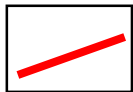


Régressions multiple

$r^2 = 0,15$   
 Erreur moyenne = - 0,66 m  
 rmse% = 24,73



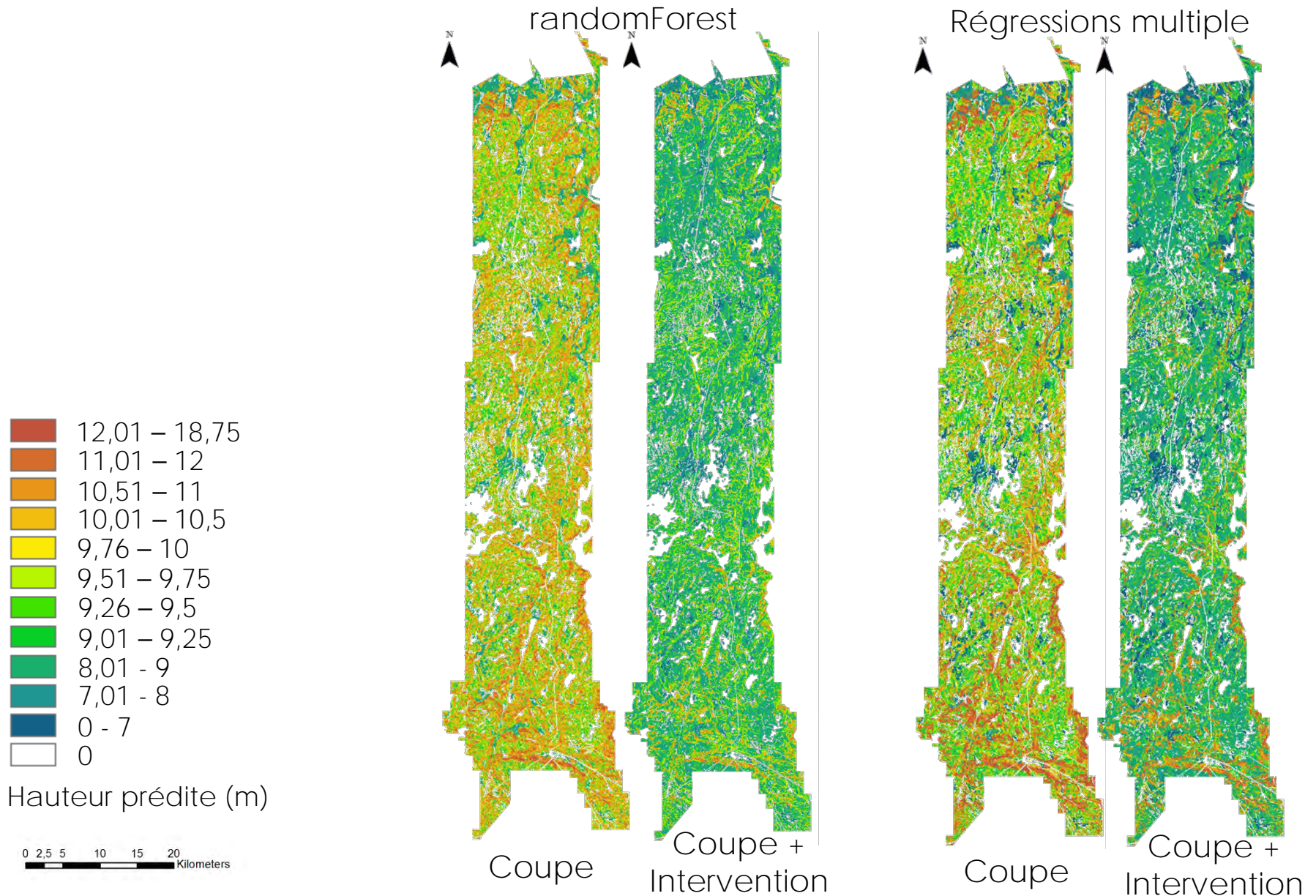
Relation 1:1



Droite de régression



# Indice LiDAR de Croissance en Hauteur d'Épinette



Avec la couverture LiDAR complète

- Diminution de la variance
- Diversité de type de perturbation
- Diversité de traitements sylvicoles
- Diversité de conditions topographiques
- Amélioration des prédictions de croissance
- Autres essences

## Retombées du projet

Fondamental

- Ajout de connaissances sur la croissance en hauteur de la forêt boréale

Appliqué

- Intégration du LiDAR dans les prédictions de croissance
- Méthode de gestion et traitement de données LiDAR en foresterie
- Amélioration des outils des gestionnaires des forêts



# Merci à tous!

Bergeron, Y. et Dansereau, P.-R. (1993) **Predicting the Composition of Canadian Southern Boreal Forest in Different Fire Cycles.** Journal of Vegetation Science, vol. 4, n°6, p. 827-832.

Bouchard, M., Boucher, Y., Belleau, A. et Boulanger, Y. (2015) **Modélisation de la variabilité naturelle de la structure d'âge des forêts du Québec.** Mémoire de recherche forestière n°175, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 50 p.

Gagnon, R. et Morin, H. (2001) **Les forêts d'épinette noire du Québec : dynamique, perturbations et biodiversité.** Le naturaliste canadien, vol. 125, n°Automne 2001, p. 26-35.

Gauthier, S., Vaillancourt, M.-A., Leduc, A., De Grandpré, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Drapeau, P. et Bergeron, Y. (2008) **Aménagement écosystémique en forêt boréale.** Presses de l'Université du Québec, 600 p.

Laflèche, V., Bernier, S., Saucier, J.-P. et Gagné, C. (2013) **Indices de qualité de station des principales essences commerciales en fonction des types écologiques du Québec méridional.** Ministère des ressources naturelles, Québec, 115 p.

Madoui, A., Gauthier, S., Leduc, A., Bergeron, Y. et Valeria, O. (2015) **Monitoring forest recovery following wildfire and harvest in boreal forests using satellite imagery.** Forests, vol. 6, n°11, p. 4105-4134.

Matasci, G., Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., Hobart, G. W., Bolton, D. K., Tompalski, P. et Bater, C. W. (2018) **Three decades of forest structural dynamics over Canada's forested ecosystems using Landsat time-series and lidar plots.** Remote Sensing of Environment, vol. 216, n°May, p. 697-714.

MRNF (2010) **Gestion durable de la forêt boréale: vision globale et recherche de l'équilibre.** Bureau du forestier en chef, Québec, 204 p.

Raulier, F., Lambert, M. C., Pothier, D. et Ung, C. H. (2003) **Impact of dominant tree dynamics on site index curves.** Forest Ecology and Management, vol. 184, n°1-3, p. 65-78.

White, J. C., Wulder, M. A., Varhola, A., Vastaranta, M., Coops, N. C., Cook, B. D., Pitt, D. et Woods, M. (2013) **A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using an area-based approach.** Forestry Chronicle (Vol. 89).