

**Stage M2 ONF :** *Inventaire forestier multisource : un nouvel outil générique et flexible pour répondre aux enjeux territoriaux d'estimation et de cartographie haute-résolution des gisements en bois.*

**Titre du stage :**

*Amélioration de la précision des estimateurs forestiers à l'échelle de la gestion forestière grâce à la prise en compte de variables auxiliaires.*

**Contexte :**

Les inventaires forestiers de gestion peuvent tirer profit de l'utilisation de variables auxiliaires ainsi que de données, ou modèles, issus de l'inventaire national, qui possède un maillage de points souvent beaucoup moins dense. Ce travail d'optimisation souvent qualifié d'estimations de « petits domaines », vise donc à améliorer la précision des estimations, ou à obtenir des résultats à des échelles plus fines.

Différentes **sources d'information facilement disponibles** et mobilisables peuvent être utilisées. Des cartes thématiques, telles que des cartes de stations ou des cartes forestières, ou l'utilisation d'images aériennes ou satellitaires peuvent **améliorer la précision des inventaires forestiers** (Grafström et Ringvall 2013, Massey et al. 2014, Renaud et al. 2015, Ginzler et Hobi. 2015, Saarela et al. 2015, Gregoire et al. 2016). Ce travail tentera donc d'évaluer les gains en précision possibles grâce à l'utilisation combinée de différentes sources de données, dans une approche d'inventaire multisource.

*Données*

La forêt domaniale de Haye couvre une superficie de près de 112km<sup>2</sup>. En 2019, 600 placettes d'inventaires de gestion y ont été mises en place. Une carte des stations est disponible (Becker et al. 1978) et une série temporelle d'images aérienne couvre également cette forêt (*e.g.* Renaud et al. 2017). Des modèles numériques (de surface ou de hauteur) devraient également être produits. De plus, les points de l'inventaire forestier national seront également mobilisés.

*Attributs forestiers (quantités d'intérêt)*

En termes de gestion forestière, les principaux attributs forestiers d'intérêt sont le volume de bois, la surface terrière et la production en volume, déclinés par essences et par zone d'intérêt (*e.g.* groupes d'aménagement). Pour tenir compte des corrélations entre ces différents attributs, des estimations multivariées devront être utilisés.

*Méthodes d'estimation*

L'estimation de petits domaines sera faite en utilisant la librairie forestinventory du logiciel statistique R (Hill et Massey 2019). Différentes méthodes de modélisation pour fournir les couches de variables auxiliaires pourront être comparées, par exemple l'approche non-paramétrique souvent utilisée, celle des plus proches voisins (Knn) pourra être comparée à une approche par forêts aléatoires multivariées (Ishwaran et al. 2011). Ces méthodes pourront être comparées à la modélisation par Krigeage avec dérive externe. Une telle comparaison a déjà partiellement été faite en Scandinavie par Raty et Kangas (2012). Il sera intéressant de la reprendre dans un contexte forestier plus complexe. D'autres modèles pourront être mis en œuvre, si le temps le permet.

*Estimer les incertitudes à différentes échelles*

La production de cartes issues de l'estimation de petits domaines (en fonction des méthodes utilisées) permettra d'évaluer la qualité de la précision des estimations. Ces cartes présentent un fort intérêt pour le gestionnaire forestier.

**Objectifs :**

1. Mettre en place les méthodes d'estimation (krigeage avec dérive et knn)
2. Comparer la précision de ces estimateurs à différentes échelles
3. Evaluer la contribution de différentes variables auxiliaires à l'augmentation de la précision des estimateurs et sélectionner les variables pertinentes.

## Mots clés :

*Estimations dendrométriques, Intervalles de confiance, Krigeage avec dérive, Knn, sélection de variables.*

## Compétences recherchées :

Une bonne connaissance des statistiques est centrale, une connaissance des statistiques spatiales sera appréciée.

Une capacité à comprendre la démarche de modélisation et l'estimation de l'incertitude.

Une connaissance du logiciel R, et dans une moindre mesure du SIG, et des bases de données.

## Encadrement

Le stage implique le département ONF RDI, ONF DT-GE, et le Laboratoire d'inventaire Forestier de l'IGN. Il sera encadré par :

- Jean-Pierre Renaud, ONF RDI, Nancy, Tel.: 0383178147, [jean-pierre.renaud-02@onf.fr](mailto:jean-pierre.renaud-02@onf.fr)
- Cédric Véga, IGN LIF, Nancy, [Cedric.Vega@ign.fr](mailto:Cedric.Vega@ign.fr)
- Nicolas Gomez, ONF DT-GE, Nancy, [Nicolas.Gomez@onf.fr](mailto:Nicolas.Gomez@onf.fr)

## Bibliographie

- Becker, M. 1978. « Définition des stations en forêt de Haye. Potentialités du Hêtre et du Chêne ». *Revue Forestière Française*, no 4: 251-269.
- Ene, L.T., E. Næsset, T. Gobakken, T.G. Gregoire, G. Ståhl, et R. Nelson. 2012. « Assessing the accuracy of regional LiDAR-based biomass estimation using a simulation approach ». *Remote Sensing of Environment* 123: 579-92.
- Genest, C, et A.-C. Favre. 2007. « Everything You Always Wanted to Know about Copula Modeling but Were Afraid to Ask ». *Journal of Hydrologic Engineering* 12 (4): 347-68.
- Ginzler, C., et M.L. Hobi. 2015. « Countrywide Stereo-Image Matching for Updating Digital Surface Models in the Framework of the Swiss National Forest Inventory ». *Remote Sensing* 7 (4): 4343-70.
- Grafström, A. et A. H. Ringvall. 2013. « Improving forest field inventories by using remote sensing data in novel sampling designs ». *Canadian Journal of Forest Research* 43 (11): 1015-22.
- Grafström, A., S. Saarela, et L. T. Ene. 2014. « Efficient sampling strategies for forest inventories by spreading the sample in auxiliary space ». *Canadian Journal of Forest Research* 44 (10): 1156-64.
- Gregoire, T. G., E. Næsset, R. E. McRoberts, G. Ståhl, H.-E. Andersen, T. Gobakken, L.T. Ene, et R.Nelson. 2016. « Statistical rigor in LiDAR-assisted estimation of aboveground forest biomass ». *Remote Sensing of Environment* 173: 98-108.
- Hill, A., et A. Massey. 2019. « The R Package Forestinventory: Design-Based Global and Small Area Estimations for Multi-Phase Forest Inventories », 35p.
- Ishwaran, Hemant, Udaya B. Kogalur, Xi Chen, et Andy J. Minn. 2011. « Random Survival Forests for High-Dimensional Data ». *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal* 4 (1): 115-32.
- Kangas, A., M. Myllymäki, T. Gobakken, et E. Næsset. 2016. « Model-assisted forest inventory with parametric, semiparametric, and nonparametric models ». *Canadian Journal of Forest Research* 46 (6): 855-68. .
- Massey, A., D. Mandallaz, et A. Lanz. 2014. « Integrating remote sensing and past inventory data under the new annual design of the Swiss National Forest Inventory using three-phase design-based regression estimation ». *Canadian Journal of Forest Research* 44 (10): 1177-86.
- Räty, M., et A. Kangas. 2012. « Reprint of: Comparison of k-MSN and kriging in local prediction ». *Forest Ecology and Management* 272: 51-60.
- Renaud, J.-P., T. Bélouard, C. Véga, A. Colin, N. Py, et M. Bouvier. 2015. « Apport de modèles numériques de hauteur à l'amélioration de la précision d'inventaires statistiques forestiers ». *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, no 211-212: 43-52.
- Renaud, J.-P., C. Vega, S. Durrieu, J. Lisein, S. Magnussen, P. Lejeune, et M. Fournier. 2017. « Stand-Level Wind Damage Can Be Assessed Using Diachronic Photogrammetric Canopy Height Models ». *Annals of Forest Science* 74 (4): 74-85.
- Saarela, S., A. Grafström, G. Ståhl, A. Kangas, M. Holopainen, S. Tuominen, K. Nordkvist, et J. Hyyppä. 2015. « Model-Assisted Estimation of Growing Stock Volume Using Different Combinations of LiDAR and Landsat Data as Auxiliary Information ». *Remote Sensing of Environment* 158: 431-40.
- Saarela, S., S. Schnell, S. Tuominen, A. Balázs, J. Hyyppä, A. Grafström, et G. Ståhl. 2016. « Effects of Positional Errors in Model-Assisted and Model-Based Estimation of Growing Stock Volume ». *Remote Sensing of Environment* 172: 101-8.