

English version follows

Offre de thèse

**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**

**Mots clés** : inventaire forestier multisource, statistiques de sondage, télédétection, ressources forestières, SIG

**Ecole Doctorale SIRENa** – Science et Ingénierie des Ressources Naturelles

**Laboratoire** : Laboratoire d'Inventaire Forestier, IGN, Nancy.

**Date limite de candidature** : 31-05-2019 (pourra être prolongée jusqu'à la sélection d'un candidat)

**Date de début de contrat** : 01-10-2019

**Directeur de thèse** : Cédric VEGA

**Encadrement** : Christian PIEDALLU (UMR SILVA), Jean-Pierre RENAUD (ONF RDI)

**Contexte**

Le laboratoire d'inventaire forestier a été créé en 2013 d'une part pour améliorer les capacités de recherche de l'IGN en matière d'information forestière aux échelles régionales, nationales et internationales; d'autre part pour favoriser les collaborations avec les unités de recherche du domaine forestier, notamment dans la région Lorraine. Le laboratoire développe des recherches sur l'amélioration et l'optimisation du dispositif d'inventaire forestier national français, l'amélioration de sa résolution et le développement de nouvelles connaissances sur les forêts. Il se concentre sur la grande échelle et la création d'informations pour les décideurs publics et les acteurs des territoires. Le laboratoire occupe un champ de recherche original et pertinent sur la scène nationale (ancrage local fort et collaborations avec les principales unités de recherche locales dont UMR SILVA et ONF) et internationale (membre du réseau européen des inventaires forestiers), qui lui confère un cadre de travail riche et stimulant sur la plan scientifique.

**Détail de l'offre :**



L'inventaire forestier national (IFN) a pour mission d'évaluer en continu les ressources forestières et de leurs évolutions. Le plan de sondage est dimensionné pour produire des estimations aux échelles nationales et régionales et contribuer à l'élaboration de la politique forestière et à son évaluation. Avec le développement de la bioéconomie, l'enjeu porte aujourd'hui sur la production d'information à l'échelle des territoires où se déclinent les plans régionaux de la forêt et du bois (PRFB) et les schémas régionaux biomasse, et où s'opère la structuration de la filière forêt-bois.

Les méthodes d'inventaire forestier multisource permettent d'améliorer la précision des estimations de l'IFN à ces échelles opérationnelles. Elles sont dans une phase de fort développement, comme le sont également les méthodes de sondages associées à des « petits domaines », du fait de la rationalisation des coûts des enquêtes publiques, et sont ainsi une perspective majeure pour les prochaines décennies. Elles reposent sur la combinaison des données de sondage terrain, précises mais ponctuelles et de faible densité spatiale, avec des données auxiliaires peu précises mais continues dans l'espace et à haute voire très haute résolution spatiale, grâce à des méthodes statistiques appropriées. Cette combinaison permet d'obtenir des estimations précises à des échelles plus fines et à coût marginal.

Le développement de ces méthodes en contexte tempéré pose de nombreuses difficultés. Les forêts françaises sont les plus diversifiées d'Europe, du fait des gradients environnementaux présents sur le territoire, et des pratiques de gestion. Cette diversité nécessite d'adapter la méthode aux propriétés des territoires, impactant son niveau de généralité et les gains de précision.

L'objectif de la thèse est de contribuer au développement d'une première méthode d'inventaire forestier multisource adaptée au contexte forestier français. Pour ce faire, elle s'appuiera sur des données disponibles sur l'ensemble du territoire national et mises à jour régulièrement, comme les couvertures de photographie aérienne.

Les objectifs détaillés sont :

- D'évaluer l'importance de différents types de données auxiliaires. Les méthodes actuellement disponibles exploitent la carte forestière, des photographies aériennes et des images satellite à haute résolution (Landsat). Il s'agira de mettre en évidence le potentiel de données décrivant le climat (températures, précipitations, bilans hydriques climatique) et les propriétés biogéochimiques et biophysiques des sols (pH, C/N, réserve utile, engorgement). On s'intéressera aussi à l'apport de mesures temporelle de la structure (mesures diachroniques de la structure par photogrammétrie) et des propriétés spectrales des canopées forestières (séries temporelles d'indices de végétation).
- Quantifier les gains de précision en fonction de la complexité des forêts. L'accent sera mis notamment sur l'estimation multisource des ressources en bois ventilées par classe de diamètre, et de variables de flux, dont l'estimation forme le socle de l'évaluation du renouvellement de la ressource et de la durabilité de son exploitation. Les estimations de flux donneront lieu à une application spécifique, innovante et



opportune, dans un contexte de crise sanitaire. Il s'agira d'estimer les dégâts occasionnés par les ravageurs sur les ressources en bois, notamment les infestations récentes de scolytes dans la forêt Vosgienne. Ces crises sont amenées à se développer dans le contexte du changement climatique, auquel la société doit se préparer. L'estimation des dégâts associés aux grandes tempêtes, comme celles de 1999 et 2009, est également un domaine d'application de cette méthode.

- De développer des estimateurs statistiques cohérents avec les estimateurs développés à l'IFN. Il s'agira notamment d'harmoniser les surfaces forestières estimées par l'IFN et issues de la carte forestière (BD-Forêt IGN), et de développer des estimateurs statistiques compatibles avec ceux actuellement utilisés.

Les recherches s'appuieront sur les bases de données de l'inventaire forestier national ainsi que sur les données de télédétection acquises par l'IGN (notamment carte forestière, images satellites, données 3D laser et photos, topographie à haute résolution, en priorité sur un site forestier de la Région Grand-Est, et qui forme un territoire à enjeux (Vosges). Elles pourront aussi bénéficier des données d'un site pilote en plaine (Sologne, 7500 km<sup>2</sup>) bien documenté et pour lequel des estimations multisource existent, afin d'évaluer l'apport des variables climatiques et du milieu sur les estimations, dans un contexte topographique peu marqué. Elles bénéficieront par ailleurs des capacités de production de l'IGN pour l'acquisition et le traitement des données, ainsi que de l'appui du Service de l'Information Statistique Forestière et Environnementale (SISFE) concernant le plan de sondage et les estimateurs statistiques de l'IFN. Elles mobiliseront également les cartes prédictives environnementales à haute-résolution spatiale produites par l'UMR Silva (portail SILVAE et bases de données Digitalis).

## Profil du candidat

Prérequis : Le candidat devra manifester un intérêt pour les milieux forestiers. Le sujet requiert des compétences en statistique, analyse spatiale, mathématiques appliquées. Des connaissances en inventaire forestier et en télédétection seraient un plus.

Environnement de travail : le candidat sera amené à travailler avec des logiciels de statistiques (R), des systèmes de gestion de base de données (PostgreSQL), des systèmes d'information géographiques (QGIS, ArcGIS).

Formation recherchée : master ou ingénieurs en statistique, mathématiques appliquées, traitement d'image et du signal, ou foresterie avec expérience en statistique de sondage.

Le candidat devra avoir un niveau d'anglais suffisant pour communiquer de façon autonome avec des collègues étrangers, et écrire des articles scientifiques dans des revues anglophones.

Pour postuler : fournir une lettre de motivation, un *curriculum vitae* détaillé, ainsi que 2 lettres de recommandation.

## Références



Denardou, A., Hervé, J.-C., Dupouey, J.-L., Bir, J., Audinot, T., Bontemps, J.-D., 2017. L'expansion séculaire des forêts françaises est dominée par l'accroissement du stock sur pied et ne sature pas dans le temps. *Rev. For. Fr.* 4-5, 319-339.

Hervé, J.-C., Wurpillot, S., Vidal, C., Roman-Amat, B., 2014. L'inventaire des ressources forestières en France: un nouveau regard sur de nouvelles forêts. *Rev. For. Fr.* 3, 247-260.

Irulappa-Pillai-Vijayakumar, D.B., Renaud, J.P., Morneau, F., McRoberts, R.E., Vega, C., 2019, Increasing precision for French forest inventory estimates using the k-NN technique with optical and photogrammetric data and model-assisted estimators. *Remote Sensing*, 11(8), 991.

Piedallu, C., Gégout, C., Bruand, A., Seynave, I., 2011. Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. *Geoderma*, 160, 355-366.

Véga C., Renaud J.-P., Durrieu S., Bouvier M., 2016. On the interest of penetration depth, canopy area and volume metrics to improve Lidar-based models of forest parameters. *Remote Sensing of Environment* 175, 32-42.

Vidal, C., Alberdi, I.A., Mateo, L.H., Redmond, J.J., 2016. *National Forest Inventories: assessment of wood availability and use.* Springer.

Chirici, G., Mura, M., McInerney, D., Py, N., Tomppo, E.O., Waser, L.T., Travaglini, D., McRoberts, R.E., 2016. A meta-analysis and review of the literature on the k-Nearest Neighbors technique for forestry applications that use remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 176, 282-294.

Gregoire, T.G., Næsset, E., McRoberts, R.E., Ståhl, G., Andersen, H.-E., Gobakken, T., Ene, L., Nelson, R., 2016. Statistical rigor in LiDAR-assisted estimation of aboveground forest biomass. *Remote Sens. Environ.* 173, 98-108.

Kangas, A., Astrup, R., Breidenbach, J., Fridman, J., Gobakken, T., Korhonen, K.T., Maltamo, M., et al. 2018. Remote sensing and forest inventories in Nordic countries – roadmap for the future. *Scand. J. For. Res.* 33, 397-412.

Magnussen, S., Mandallaz, D., Breidenbach, J., Lanz, A., et Ginzler, C. 2014. National forest inventories in the service of small area estimation of stem volume. *Can. J. For. Res.* 44, 1079-1090.

Massey, A., Mandallaz, D., Lanz, A., 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. *Can. J. For. Res.* 44, 1177-1186.

McRoberts, R.E., Tomppo, E.O., 2007. Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sens. Environ.* 110, 412-419.



Särndal, C.-E., Thomsen, I., Hoem, J.M., Lindley, D., Barndorff-Nielsen, O., Dalenius, T., 1978. Design-based and model-based inference in survey sampling [with discussion and reply]. *Scand. J. Stat.* 27–52.

Ståhl, G., Saarela, S., Schnell, S., Holm, S., Breidenbach, J., Healey, S. P., Patterson, P.L., et al. 2016. Use of models in large-area forest surveys: comparing model-assisted, model-based and hybrid estimation. *Forest Ecosystems* 3, 5.

Tomppo, E., Olsson, H., Ståhl, G., Nilsson, M., Hagner, O., Katila, M., 2008. Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest databases. *Remote Sens. Environ., Earth Observations for Terrestrial Biodiversity and Ecosystems Special Issue 112*, 1982–1999.

UE, 2018. Une nouvelle stratégie en matière de bioéconomie pour une Europe durable. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-6067\\_fr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6067_fr.htm)



## PhD position

### **Multisource forest inventory: a generic and flexible tool for forest resource estimation and mapping at a fine scale**

**Keywords:** multisource forest inventory, survey statistics, remote sensing, forest resources, GIS

**Doctoral School SIRENa** – Science and engineering of natural resources

**Laboratory** : Laboratory of forest inventory, IGN, Nancy, France.

**Deadline for applying** : 31-05-2019 (the position open until filled)

**Start of the contract** : 01-10-2019

**PhD supervisor** : Cédric VEGA

**Supervision** : Christian PIEDALLU (UMR SILVA), Jean-Pierre RENAUD (ONF RDI)

### **Context**

The laboratory of Forest Inventory has been created in 2013 to foster IGN capacities of development and analysis of forest information at regional, national and international scales, and promote collaboration with already existing research units dedicated to forests on Lorraine region. The laboratory develops researches on the improvement and optimization of the French NFI program, the increase of NFI resolution and the development of new knowledge on forests. It focuses on large scale applications and the provision of information for policy makers and actors of forest territories. The laboratory is well established in the international community and is member of the European NFI group ENFIN.

### **Subject details :**

The main objective of the French National Inventory (NFI) is to provide continuous evaluation of forest resources and their evolutions. The sampling design is set up to produce estimates at the national and regional scales, and to contribute to forest policies and their evaluation. With the development of bio-economy, there is a need to provide information at a finer scale, *i.e.* the forest territories.

Multisource inventory methods were developed to provide more precise estimations of forest attributes at those operational scales. Multisource inventory methods rely, through appropriate statistical methods, on the combination of field plot data, precise but punctual, with auxiliary data, that are spatially continuous but providing information at a lower



precision. Such a combination allows providing precise estimates of forest attributes at smaller scales, with a limited cost.

The establishment of such method in France faces multiple difficulties. French forests are among the more diverse of Europe, due to the topographical and climatic gradients found over the country, and to the diversity of forest management practices. Such diversity requires adapting the methods to the landscape properties, with expected impacts on the genericity of the approach and the precision gains within the various territories.

The main objective of this doctoral research is to contribute to the development of the first multisource inventory approach adapted to the French forest. To do so, the research will benefit from auxiliary data available over the whole territory and regularly updated, like aerial photograph covers, among others.

The detailed objectives are :

- To optimize the selection of auxiliary data. Current methods rely on the forest map, 3D models derived from aerial photos and high-resolution satellite images (*i.e.* Landsat). The objective will be to test the potential of data describing climate (temperatures, rainfalls) and biochemical and biophysical soil properties (pH, C/N, water storage capacity, hydromorphy). We will also consider times series of forest structure (diachronic 3D model generated from aerial photographs), and spectral properties of forest canopies (times series of vegetation indices).
- To estimate the precision gains with respect to the forest complexity. Emphasis will be given to estimate wood resource per diameter classes, as well as flux variables, which are mandatory for sustained forest management. Flux estimates will be further used in an innovative application related to sanitary crises. The goal will be to quantify forest resources impacted by bark beetle in the Eastern part of France.
- To develop statistical estimators coherent with those in use by the French NFI. A first step will be to harmonize the forest area estimations from the NFI and from the forest map. A second step will be to develop statistical estimators compatible with the one the NFI, to compute precision gains.

The PhD will benefit from the NFI field data and auxiliary data acquired by IGN (forest map, Lidar and aerial photograph coverages), over the Vosges department (~ 6000 km<sup>2</sup>) and a territory of lowland hardwood forests in center of France (Sologne, 7500 km<sup>2</sup>). It will also benefit from high-resolution predictive maps of soil properties produced by the research unit Silva.

## Candidate profile

Prerequisite: the candidate must have an interest for forest ecosystems. The topic requires competences in statistics, spatial analysis, scientific computing. Knowledge in Forest inventory and remote sensing are also advantageous.



Working environment : the candidate will work with various software in statistics (R), data base management (PostgreSQL), GIS (QGIS, ArcGIS).

Profile: master degree in statistics, applied mathematics, image and signal processing, or forestry with an experience in survey sampling.

The candidate must be fluent in English with demonstrated writing skills.

How to apply: provide a motivation letter, a curriculum vitae and two recommendation letters.

## References

**Denardou, A., Hervé, J.-C., Dupouey, J.-L., Bir, J., Audinot, T., Bontemps, J.-D., 2017. L'expansion séculaire des forêts françaises est dominée par l'accroissement du stock sur pied et ne sature pas dans le temps. Rev. For. Fr. 4-5, 319-339.**

**Hervé, J.-C., Wurpillot, S., Vidal, C., Roman-Amat, B., 2014. L'inventaire des ressources forestières en France: un nouveau regard sur de nouvelles forêts. Rev. For. Fr. 3, 247-260.**

**Irulappa-Pillai-Vijayakumar, D.B., Renaud, J.P., Morneau, F., McRoberts, R.E., Vega, C., 2019, Increasing precision for French forest inventory estimates using the k-NN technique with optical and photogrammetric data and model-assisted estimators. Remote Sensing, 11(8), 991.**

**Piedallu, C., Gégout, C., Bruand, A., Seynave, I., 2011. Mapping soil water holding capacity over large areas to predict potential production of forest stands. Geoderma, 160, 355-366.**

**Véga C., Renaud J.-P., Durrieu S., Bouvier M., 2016. On the interest of penetration depth, canopy area and volume metrics to improve Lidar-based models of forest parameters. Remote Sensing of Environment 175, 32-42.**

**Vidal, C., Alberdi, I.A., Mateo, L.H., Redmond, J.J., 2016. National Forest Inventories: assessment of wood availability and use. Springer.**

Chirici, G., Mura, M., McInerney, D., Py, N., Tomppo, E.O., Waser, L.T., Travaglini, D., McRoberts, R.E., 2016. A meta-analysis and review of the literature on the k-Nearest Neighbors technique for forestry applications that use remotely sensed data. Remote Sens. Environ. 176, 282-294.

Gregoire, T.G., Næsset, E., McRoberts, R.E., Ståhl, G., Andersen, H.-E., Gobakken, T., Ene, L., Nelson, R., 2016. Statistical rigor in LiDAR-assisted estimation of aboveground forest biomass. Remote Sens. Environ. 173, 98-108.





- Kangas, A., Astrup, R., Breidenbach, J., Fridman, J., Gobakken, T., Korhonen, K.T., Maltamo, M., et al. 2018. Remote sensing and forest inventories in Nordic countries – roadmap for the future. *Scand. J. For. Res.* 33, 397-412.
- Magnussen, S., Mandallaz, D., Breidenbach, J., Lanz, A., et Ginzler, C. 2014. National forest inventories in the service of small area estimation of stem volume. *Can. J. For. Res.* 44, 1079-1090.
- Massey, A., Mandallaz, D., Lanz, A., 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. *Can. J. For. Res.* 44, 1177–1186.
- McRoberts, R.E., Tomppo, E.O., 2007. Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sens. Environ.* 110, 412–419.
- Särndal, C.-E., Thomsen, I., Hoem, J.M., Lindley, D., Barndorff-Nielsen, O., Dalenius, T., 1978. Design-based and model-based inference in survey sampling [with discussion and reply]. *Scand. J. Stat.* 27–52.
- Ståhl, G., Saarela, S., Schnell, S., Holm, S., Breidenbach, J., Healey, S. P., Patterson, P.L., et al. 2016. Use of models in large-area forest surveys: comparing model-assisted, model-based and hybrid estimation. *Forest Ecosystems* 3, 5.
- Tomppo, E., Olsson, H., Ståhl, G., Nilsson, M., Hagner, O., Katila, M., 2008. Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest databases. *Remote Sens. Environ., Earth Observations for Terrestrial Biodiversity and Ecosystems Special Issue* 112, 1982–1999.
- UE, 2018. Une nouvelle stratégie en matière de bioéconomie pour une Europe durable. [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-18-6067\\_fr.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6067_fr.htm)

