

## Long-term EXPansion of the FrEnch foRests: causal processes and Tools to support Sustainable Forest Management

Responsable scientifique : *Jean-Daniel BONTEMPS*, LIF, IGN

Partenaires Labex : *Anaïs DENARDOU-TISSERAND* (doctorant), *Jean-Luc DUPOUEY* (UMR Silva,) *Jean-Christophe Hervé* (IGN)

---

**Contexte** — Après des siècles de diminution, la surface forestière de la plupart des pays développés européens a augmenté depuis la révolution industrielle, un phénomène appelé « transition forestière ». L'augmentation du stock sur pied présente une augmentation encore plus rapide mais son évolution reste négligée, en partie à cause du manque de données anciennes précédant la mise en place des inventaires forestiers nationaux statistiques (IFN). Il est donc indispensable de caractériser et comprendre ces évolutions, d'en connaître les hétérogénéités et les causes sous-jacentes, et d'essayer de les reconstituer sur le long terme afin de pouvoir situer les ressources forestières dans une trajectoire d'ensemble et d'anticiper leur dynamique future.

**Objectifs** — (1) Un premier objectif a été d'étudier quantitativement et qualitativement les changements de surfaces, de stock sur pied et de densité de stock (stock à l'hectare) ainsi que leurs hétérogénéités spatiales et temporelles, sur un horizon de 40 ans (1975 – 2015) permis par l'IFN français. (2) Un deuxième objectif a été d'analyser les mécanismes des changements de stock de bois et de décomposer quantitativement cette expansion selon des ensembles forestiers homogènes du point de vue de leur dynamique. (3) Le troisième objectif a été de situer l'expansion actuelle du stock de bois dans une dynamique séculaire. Cette analyse a consisté à reconstruire la chronologie d'expansion du stock sur pied depuis 1850.

**Démarche** — Les analyses se basent principalement sur les données IFN (depuis 1961). (1) Les changements de surface et de stock ont été analysés en fonction de facteurs (géographie, type de propriété et type de composition), présumés structurer ces évolutions. L'existence de changements de vitesse d'expansion a été recherchée et le lien entre les changements de stock de bois et certaines propriétés de la forêt (stock et densité de stock initiaux, augmentation récente de surface) ont été analysés à partir de modèles statistiques. (2) L'analyse des mécanismes des changements de stock de bois se fonde sur une estimation des flux de stock sur pied (croissance, recrutement, mortalité et prélèvement) contextualisée sur une partition de la forêt structurée en géographie, propriété, et composition ligneuse. Des techniques d'analyse de données (ACP et classification) ont été mobilisées pour identifier ces ensembles forestiers et caractériser leur dynamique. (3) Afin de reconstituer l'expansion séculaire, les stocks de bois de 1892, 1908 et 1929 (associés aux surfaces des statistiques anciennes : Daubrée et statistiques agricoles) ont été estimés grâce par une approche d'imputation conditionnelle de la densité de stock (moyennes et quantiles) fondée sur les données de l'IFN. Enfin, un modèle synthétique de densification du stock des forêts surface-dépendant a été testé afin d'étudier à quelles conditions sur cette densification il était possible de retracer la chronologie présumée d'expansion du stock. Une analyse de sensibilité sur les conditions initiales de la forêt en 1850, sur l'évolution des surfaces, et sur le modèle de densification du stock a été conduite.

### **Résultats marquants** —

Objectif 1 :

- Entre 1975 et 2015, l'expansion en stock de bois a été trois fois plus rapide que celle des surfaces, soulignant l'intensité de la densification des forêts, et ne présente aucun signe de saturation. Les forêts privées, et principalement les forêts feuillues, présentent les expansions de stock et de densité de stock les plus marquées, suggérant le rôle important de l'expansion naturelle et de l'abandon de terres agricoles.
- Les modèles statistiques révèlent l'effet positif du stock initial et des variations passées de surface sur l'expansion ainsi qu'un faible effet négatif de la densité, qui a augmenté dans le temps.

#### Objectif 2 :

- L'analyse des mécanismes d'expansion a mis en évidence le moindre niveau général des prélèvements relativement à la croissance des forêts, et la contribution des forêts jeunes au développement des ressources.
- L'analyse conduit à identifier 4 ensembles forestiers synthétiques de dynamiques distinctes et principalement composés de stocks de bois en forêt privée puis communale, expliquant l'expansion du stock. Les stocks des forêts publiques essentiellement feuillues de plaine et de moyenne montagne présentent une part en forte diminution, liée aux forts prélèvements observés dans ces forêts, et une contribution anecdotique à l'expansion.

#### Objectif 3 :

- La reconstitution suggère une faible densité de stock au début de la période (25 m<sup>3</sup>/ha), ainsi qu'une augmentation plausible de stock de presque +300% (> 700 hm<sup>3</sup> en 1908 contre 2 500 hm<sup>3</sup> aujourd'hui), soulignant l'importance de cette expansion.
- Un modèle convexe sur 150 ans (phase initiale du modèle sigmoïde de Hossfeld) a été nécessaire pour représenter correctement la densification des forêts, attestant d'une inertie importante à la reconstitution des ressources, qui peut être interprétée relativement à la baisse progressive des prélèvements pour laquelle des indices ont été rassemblés, ou à une reconstitution progressive de fertilité.
- Les analyses suggèrent une évolution différenciée dans le temps du modèle de densification pour les forêts provenant de plantations.

*Principales conclusions incluant des points-clés de discussion* — Ces travaux ont permis de montrer l'importance de l'expansion en stock et la nécessité de contextualiser cette expansion. Cette expansion ancienne, liée à de faibles prélèvements, ne montre pour l'instant aucune saturation et constitue un stock de carbone croissant qui ne devrait pas diminuer dans les prochaines décennies à conditions contextuelles identiques. L'analyse causale révèle qu'une part importante de l'expansion du stock ne constitue pas une ressource immédiatement disponible, étant constituée de stocks jeunes ou situés dans des zones difficiles d'accès. Les futures politiques d'intensification des prélèvements doivent donc être circonscrites et échelonnées dans le temps.

#### **Valorisation —**

##### *Articles :*

DENARDOU, Anaïs, HERVÉ, Jean-Christophe, DUPOUEY, Jean-Luc, BIR, Jean, AUDINOT, Timothée, BONTEMPS, Jean-Daniel. *L'expansion séculaire des forêts françaises est dominée par l'accroissement du stock sur pied et ne sature pas dans le temps. Revue Forestière Française, 2017.*

DENARDOU, Anaïs, DUPOUEY, Jean-Luc, HERVE, Jean-Christophe, BIR, Jean, MORNEAU, François, BONTEMPS, Jean-Daniel. *Unprecedented contemporary (1976-2014) increase in the growing stock of French forests is persistent and dominated by private broadleaved forests. European Journal of Forest Research (soumis)*

DENARDOU, Anaïs, DUPOUEY, Jean-Luc, HERVE, Jean-Christophe, AUDINOT, Timothee, BONTEMPS, Jean-Daniel. *Reconstituted increase in the growing stock of French forests since 1850 reaches +300% and requires non-saturating forest densification assumption. (en préparation)*

##### *Communications orales :*

*Séminaire conjoint BGF-REACTIF (GIP Ecofor et ADEME ; mars 2016) : Denardou, A., Dupouey, J.L., Bontemps, J.D. L'expansion séculaire des forêts françaises : analyse des facteurs de gestion à l'œuvre et simulation par un modèle de dynamique forestière à large échelle.*

*Journées de la recherche IGN (mars 2017) : Denardou, A., Dupouey, J.L., Hervé, J.C., Audinot, T., Bontemps, J.D. L'expansion à long terme des forêts françaises : une analyse exploratoire à partir des données de l'inventaire forestier national*

*Colloque IUFRO (septembre 2017) : Denardou, A., Audinot T., Dupouey J.L., Hervé J.C., Bontemps J.D. Long-term expansion in the growing stock of the French forests : analysis and modelling*