

THESE DE DOCTORAT

pour obtenir le grade de

Docteur d'AgroParisTech

Spécialité : Biologie et écologie des forêts et agrosystèmes

École doctorale n° 607

Sciences et Ingénierie des Ressources Naturelles (SIReNa)

par

Rodolphe BAUER

La modélisation du volume des compartiments riches en composés chimiques extractibles dans six essences d'intérêt des régions Grand-Est et Bourgogne Franche-Comté.

Directeur de thèse : Francis COLIN

Thèse présentée et soutenue à Nancy, le 14/12/21

Attention, en cas d'absence d'un des membres du Jury le jour de la soutenance (hors rapporteur) ne pas l'indiquer sur la couverture. Par contre, si un rapporteur n'est pas présent le jour de la soutenance, le laisser mais retirer « & Examineur »

Composition du jury :

Prénom NOM, Titre, Etablissement

Mme Adeline FAYOLLE, Maître de Conférences, Université de Liège

M. Mathieu FORTIN, Chercheur scientifique, Canadian Wood Fibre Centre

Mme Anélie PETRISSANS, Maître de conférences, Université de Lorraine

M. Sebastian HEIN, Professeur, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

M. Philippe GÉRARDIN, Professeur, Université de Lorraine

M. Francis COLIN, Directeur de Recherche, INRAE

M. Frédéric MOTHE, Chargé de Recherche, INRAE

Président/e

Rapporteuse & Examinatrice

Rapporteur & Examineur

Examinatrice

Examineur

Examineur

Directeur de thèse

Encadrant rapproché de thèse/Invité

Title: Modeling the volume of tree compartments rich in extractable compounds in six main tree species from the Grand-Est and Bourgogne Franche-Comté regions.

Keywords: Bark volume, bark area, knot volume, mixed effect models, environmental factors

Abstract: In a context of renewal of the chemical industry and the search for new outlets for forestry, extractives are becoming increasingly interesting molecules, both ecologically and financially speaking. In order to evaluate the relevance of these molecules as a new resource for the chemical industry and a potential outlet for forestry, it is necessary to make a preliminary evaluation of the resource. This requires knowledge of the volume of compartments rich in extractable material, particularly bark and knots. The present study therefore focuses on modeling bark and knot volumes. It focuses specifically on two French regions, the Grand Est and the Bourgogne-Franche-Comté, and on six important species, *Abies alba*, *Picea abies*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercu robur*, *Quercus patraea*, and *Fagus sylvatica*.

This study is made possible, on one hand, by the use of a large database including numerous measurements of bark thickness made at different heights on the stems of many trees. On the other hand, new samplings have been made to allow X-ray scanning of nodes all along the stem and thus to determine precisely the volume on a computer picture.

In order to model the available amount of bark, three types of models were built, models predicting the volume of bark, models predicting the surface area of bark along the stem and models predicting the thickness of bark at 1m30. The former achieved a relative root mean square error (RMSE_{rel}) of 16.7% to 27.5% depending on the species.

The study of bark area models showed that it was possible to use a model independent of diameter-over-bark but that model using this variable are more accurate. The RMSE_{rel} achieved by these bark area models varied between 23 and 38% depending on the species and model considered.

This work showed the importance of using the bark thickness at 1m30 as an input data. As it is rarely measured today, it was also modelled using the DBH. This allowed us to show the influence of altitude on bark thickness at 1.30 m for three species: *Abies alba*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica*. The models obtained RMSE_{rel} of the models ranged from 26.8 to 36 % of RMSE_{rel} depending on the species considered.

Finally, knot volumes have started to be studied. Although this work has not been fully completed, it already shows the importance of producing new models in order to fit the predicted knot patterns as closely as possible to reality. Moreover, the quantity of these compounds in the wood seems, at this stage of the study, to be too small to provide a large extractable resource, despite their great intrinsic richness. Their interest could therefore be more in the extraction of specific molecules.

Titre : La modélisation du volume des compartiments riches en composés chimiques extractibles dans six essences d'intérêt des régions Grand-Est et Bourgogne Franche-Comté.

Mots-clés : Volume d'écorce, Surface d'écorce, Volume de nœuds, modèles à effets-mixtes, facteurs environnementaux

Résumé : Dans un contexte de renouvellement de l'industrie chimique et de recherche de nouveaux débouchés pour la foresterie, les extractibles deviennent des molécules de plus en plus intéressantes, tant écologiquement que financièrement parlant. Afin d'évaluer la pertinence de ces molécules comme nouvelle ressource pour la chimie et potentiel débouché pour la foresterie, il est nécessaire de faire une évaluation préalable de la ressource. Ceci nécessite de connaître le volume des compartiments riches en extractibles, particulièrement les écorces et les nœuds. La présente étude s'intéresse donc à la modélisation des volumes d'écorce et de nœuds. Elle se concentre spécifiquement sur deux régions françaises, le Grand Est et la Bourgogne-Franche-Comté et six essences d'importance, *Abies alba*, *Picea abies*, *Pseudotsuga menziesii*, *Quercus robur*, *Quercus patraea*, *Fagus sylvatica*.

Cette étude est rendue possible grâce à l'utilisation d'une grande base de données comprenant des mesures d'épaisseur d'écorce pratiquées à différentes hauteurs sur la tige de nombreux arbres. D'autre part de nouveaux échantillonnages ont eu lieu ce qui a permis d'obtenir, grâce à l'utilisation d'un scanner à rayon X, une image informatique des nœuds et d'en mesurer précisément le volume.

Afin de modéliser la quantité d'écorce disponible trois types de modèles ont été construits, des modèles de prédiction du volume d'écorce, des modèles de prédiction de la surface d'écorce le long de la tige et des modèles de prédiction de l'épaisseur d'écorce à 1m30. Les premiers ont permis d'atteindre une racine de l'erreur quadratique moyenne relative (RMSE_{rel}) comprise entre 16.7 % et 27.5 % en fonction des espèces.

L'étude portant sur les modèles de surface d'écorce a permis de mettre en évidence la possibilité d'utiliser un modèle indépendant du diamètre-sur-écorce mais que les modèles utilisant en entrée cet variable sont encore plus précis. Le RMSE_{rel} atteint par ces modèles de surface d'écorce varie entre 23 et 38 % en fonction de l'espèce et du modèle considéré. Ce travail a montré l'importance de l'utilisation de l'épaisseur d'écorce à 1m30 comme donnée d'entrée. Celle-ci n'étant aujourd'hui que rarement mesurée, elle a aussi été modélisée à partir du D130. Cela a permis de mettre en évidence une influence de l'altitude sur l'épaisseur d'écorce à 1m30 pour trois espèces : *Abies alba*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica*. Les modèles obtenus atteignent un RMSE_{rel} allant de 26.8 % à 36 % en fonction de l'espèce considérée.

Enfin, les volumes de nœuds ont commencé à être étudiés. Bien que ce travail n'ai pas été entièrement mené, il montre déjà l'importance de produire de nouveaux modèles de volume de nœuds. De plus leur quantité dans le bois semble, à ce stade de l'étude, trop peu importante pour dégager de grandes ressources en extractible, malgré leur grande richesse intrinsèque. Leur intérêt pourrait donc plus se trouver dans l'extraction de molécules spécifiques.