

*Des thèses, des mémoires de fin d'études, des habilitations à diriger des recherches sont soutenus chaque année dans le domaine de la forêt et du bois. En faire connaître certains à nos lecteurs est l'objet de cette rubrique.*

### **Of trees and men: new insights into man-environment relationships in the moist forests of central Africa during the late Holocene**

(Des arbres et des hommes : nouvelles perspectives sur la relation homme-environnement dans les forêts humides d'Afrique centrale à l'Holocène récent.)

par Julie MORIN-RIVAT

Thèse soutenue en 2017, Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech

Promoteurs : P<sup>r</sup> Jean-Louis Doucet (Université de Liège Gembloux Agro-Bio Tech),

D<sup>r</sup> Hans Beeckman (Musée royal de l'Afrique centrale)

En Afrique centrale, les forêts tropicales hébergent une biodiversité unique et procurent des services écosystémiques indispensables. Toutefois, elles subissent actuellement une pression anthropique croissante. Dans le contexte des changements globaux et dans le but de proposer des scénarios d'évolution, il est nécessaire de connaître le passé des forêts et les influences anthropiques qu'elles ont subies, afin de mieux prédire leur avenir. Traditionnellement, les études paléoécologiques documentent l'histoire de la végétation, en particulier le rôle du climat dans le façonnage des paysages forestiers. Elles restent pourtant peu nombreuses en Afrique centrale, notamment à cause des difficultés d'accès au terrain et de la grande diversité en matière d'espèces végétales. Plus spécifiquement, la relation entre l'homme et son environnement demeure un champ d'investigation relativement récent dans cette région. L'approche adoptée par cette thèse de doctorat se veut pluridisciplinaire, à la croisée entre l'archéologie et l'écologie. La recherche d'indices d'activités humaines dans le nord du bassin du Congo, une région peu explorée par les précédentes recherches archéologiques, et l'utilisation des restes botaniques carbonisés pour déterminer ces activités, constituent deux de ses principales contributions. Sa dernière contribution significative consiste en l'établissement d'une relation de cause à effet entre l'histoire humaine du XIX<sup>e</sup> siècle et le ralentissement de la régénération de certaines populations d'arbres héliophiles.

Le chapitre 1 présente les concepts clés relatifs à l'écologie des forêts tropicales et les spécificités des espèces d'arbres héliophiles. Puis, il retrace la chronologie des changements climatiques et de l'histoire humaine en Afrique centrale. Enfin, il expose les objectifs et le plan de la thèse. Le chapitre 2 a trait aux matériels et méthodes utilisés pour la recherche. Il présente les ressources, les indicateurs ainsi que les données paléoécologiques et archéologiques. Il décrit aussi les méthodes utilisées, ainsi que la zone d'étude. Le chapitre 3 présente le cadre spatial et temporel de la présence humaine dans le nord du bassin du Congo. Il discute des lacunes relatives à la connaissance des activités humaines. Il souligne l'absence d'occupations humaines entre 1300 et 600 ans avant le présent dans la zone d'étude. Le chapitre 4 propose une méthodologie basée sur l'acquisition et l'analyse statistique des restes botaniques carbonisés trouvés dans les sols. Il montre une opposition spatiale entre des espaces domestiques et agricoles. La combinaison d'endocarpes de palmier à huile carbonisés et de tessons céramiques indiquerait la présence de villages, tandis que la présence de charbons de bois supposerait davantage l'existence de champs. Le chapitre 5 rassemble et analyse d'importants jeux de données centrés sur l'intervalle de la Sangha. Les données sont

relatives à la paléoécologie, l'archéologie, l'histoire et la dendrologie durant le dernier millénaire. En particulier, il souligne l'effet des changements d'usage des terres sur la régénération de quatre populations d'arbres héliophiles (*Erythrophleum suaveolens*, *Pericopsis elata*, *Terminalia superba* et *Triplochiton scleroxylon*). Il met particulièrement en exergue le rôle de la colonisation européenne. Le chapitre 6 conclut la thèse en synthétisant les résultats des chapitres précédents. Il souligne l'importance de la chronologie, de l'identification des activités humaines passées au sein des forêts denses humides et les impacts de l'histoire humaine récente sur les paysages forestiers d'Afrique centrale. Ce dernier chapitre identifie plusieurs lacunes en termes de connaissance et propose des pistes de recherche.

**Diversité des arbres et résistance des forêts aux invasions biologiques : application au Châtaignier et son complexe de bioagresseurs exotiques, chancre (*Cryphonectria parasitica*) et cynips (*Dryocosmus kuriphilus*)**

par Pilar FERNANDEZ-CONRADI ALGARIN

Thèse soutenue publiquement le 20 décembre 2017 à Pierroton, Cestas (INRA)

Directeur de thèse : M. Hervé Jactel (INRA Bordeaux)

Codirectrice de thèse : M<sup>me</sup> Cécile Robin (INRA Bordeaux)

Les plantes sont au centre d'une grande diversité d'interactions biotiques entre organismes plus ou moins proches qui les exploitent en tant que ressources. L'objectif de cette thèse a été de comprendre comment les infections fongiques de la plante et la composition forestière locale modifient les interactions plantes-insectes. L'autrice a tout d'abord effectué une méta-analyse pour poser le cadre théorique des effets indirects des infections fongiques sur les insectes herbivores associés aux mêmes plantes hôtes. L'effet de l'infection préalable des plantes par les champignons sur les préférences et performances des insectes paraît généralement négatif. Cependant, la magnitude de cet effet délétère varie selon le mode de vie du champignon, la guildes trophique de l'insecte et sa position relative dans la plante hôte (interactions locales ou distantes). Ensuite, elle a analysé de façon empirique les interactions tripartites entre le Châtaignier européen (*Castanea sativa*) et deux de ses bioagresseurs exotiques : le cynips (*Dryocosmus kuriphilus*), insecte galligène, et *Cryphonectria parasitica*, champignon pathogène, responsable de la maladie du chancre. L'effet sur les taux d'infestation par le cynips de la composition spécifique en essences forestières des forêts de châtaigniers atteintes de chancre a été également étudié. Afin d'identifier les mécanismes sous-jacents aux effets de la diversité des forêts sur cet insecte invasif, les communautés d'insectes parasitoïdes et de champignons endophytes présents dans les galles ont été décrites. Les taux d'infection par le cynips se sont avérés dépendre de la composition des forêts : ils sont plus faibles dans les mélanges de Châtaignier avec du Chêne et du Frêne que dans des parcelles monospécifiques de Châtaignier ou dans les mélanges avec du Pin.

La composition des forêts influence aussi la composition des communautés de parasitoïdes associés aux galles du cynips mais pas leur abondance, leur richesse ou leur diversité. Les communautés de champignons endophytes des galles (étudiées par des méthodes de séquençage de nouvelle génération) sont indépendantes de la composition forestière. Par contre, celles présentes au sein des galles diffèrent fortement de celles qui sont trouvées dans les tissus foliaires adjacents.

Nous avons ainsi apporté de nouvelles preuves que la diversité des plantes et les champignons pathogènes sont des facteurs clés déterminant les interactions plantes-insectes. Étudier comment les plantes interagissent avec leurs insectes et champignons associés, et les mécanismes sous-jacents à l'effet de la diversité des plantes sur ces interactions, doit donc permettre de mieux comprendre les relations entre diversité et fonctionnement des écosystèmes et de proposer des applications pratiques pour la gestion des bioagresseurs forestiers autochtones et exotiques.

## **La propagation des erreurs dans les modèles de croissance forestière dans un contexte de prévision à l'échelle régionale**

par Lara CLIMACO DE MELO

Thèse soutenue publiquement le 21 août 2018 à Nancy (AgroParisTech)

Directeur de thèse : M. Mathieu Fortin (AgroParisTech)

Les modèles de croissance forestière à l'échelle de l'arbre fournissent des prévisions de la dynamique des forêts et permettent donc d'orienter la prise de décision. Malgré cette importance, les incertitudes qui sont associées à leurs prévisions sont rarement évaluées. Comprendre les sources de ces incertitudes et en estimer l'impact est essentiel au moment où les prévisions à large échelle gagnent en popularité. Cette thèse de doctorat traite de l'estimation des incertitudes des prévisions de la croissance à une échelle régionale. Les effets de perturbations à large échelle sont aussi traités.

Le modèle de croissance ARTEMIS-2009, qui s'applique aux principaux types forestiers du Québec (Canada), a été utilisé comme étude de cas. Un estimateur hybride de type *bootstrap* a permis d'évaluer la variance provenant du modèle d'une part, et celle provenant de l'échantillonnage d'autre part. La variance totale des prévisions a aussi été décomposée afin de déterminer quel sous-modèle induisait la plus grande part de variabilité dans les prévisions. Ensuite, une approche d'analyse de durée de vie a été utilisée pour élaborer un modèle d'occurrence de récolte qui tienne compte de variables de placettes et de variables régionales. Ce modèle de récolte a été intégré au modèle ARTEMIS de façon à pouvoir tenir compte de l'effet de la récolte combinée aux épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette. Après cela, la contribution des perturbations en termes d'incertitude a été prise en considération dans les simulations.

Les résultats ont révélé que l'échantillonnage était à l'origine de la plus grande part de la variance des prévisions à court terme. Pour les prévisions à long terme, la contribution du modèle s'est révélée aussi importante que celle de l'échantillonnage. La décomposition de la variance par sous-modèle a indiqué que le sous-modèle de mortalité était celui qui induisait la plus grande variabilité dans les projections. Lorsque les perturbations ont été prises en compte dans les projections, l'incertitude associée aux prévisions augmentait fortement. En particulier, la tordeuse des bourgeons de l'épinette s'est révélée être la principale source d'incertitude, devant les activités de récolte et l'échantillonnage.

En conclusion, notre recommandation est de concentrer les efforts pour réduire l'incertitude sur l'échantillonnage dans les prévisions à court terme, et sur le sous-modèle de mortalité et l'occurrence de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans les prévisions à moyen et à long terme.

## **Impacts du changement climatique sur la durabilité de l'exploitation forestière en Afrique centrale**

par Florian CLAEYS

Thèse soutenue publiquement le 13 septembre 2018 à Paris (AgroParisTech)

Directeurs de thèse : M. Alain Karsenty (Cirad, UR Green),

M. Philippe Delacote (AgroParisTech-INRA, BETA)

Coencadrants : Mme Sylvie Gourlet-Fleury (Cirad, UR Forêts et Sociétés),

M. Frédéric Mortier (Cirad, UR Forêts et Sociétés)

Notre thèse analyse les impacts projetés du changement climatique sur les caractéristiques des peuplements forestiers et de l'entreprise forestière d'une concession sous plan d'aménagement en Afrique centrale. Pour cela, nous avons intégré des variables climatiques dans un mélange de modèles matriciels non homogènes, qui sont une nouvelle méthodologie de modélisation de la dynamique forestière bien adaptée aux écosystèmes riches en espèces. Ce modèle est calibré sur les données du dispositif permanent de M'Baïki en République centrafricaine et utilise les projections

climatiques régionales de l'initiative Cordex-Africa. Nous projetons que le changement climatique conduirait à une accélération de la dynamique forestière, causant un effet d'éclaircie naturelle favorisant les espèces pionnières aux dépens des espèces tolérantes à l'ombre.

Par la suite, nous avons couplé ce modèle à un modèle d'entreprise forestière incorporant les choix d'aménagement et d'exploitation. La calibration est effectuée sur les données issues de deux concessionnaires forestiers. Les impacts projetés de l'exploitation se cumulent à ceux du changement climatique, entraînant une dégradation accrue des peuplements forestiers. En revanche, le bilan économique de l'exploitant est amélioré du fait d'un effet d'éclaircie favorable aux espèces exploitées. La dernière partie étudie deux options contrastées de gestion forestière améliorée : la réduction volontaire du prélèvement d'arbres commerciaux et l'enrichissement artificiel des peuplements. Le scénario le plus apte à améliorer l'état du peuplement et le bilan de l'exploitation est un fort enrichissement, combiné à une faible réduction du prélèvement. Pour compenser les manques à gagner associés à ces alternatives, des paiements surfaciques ou des primes sur le bois sont des instruments à préférer aux crédits carbone.

Nos travaux soulignent la vulnérabilité des forêts exploitées d'Afrique centrale face au changement climatique et la nécessité de repenser les pratiques d'aménagement et d'exploitation ainsi que les incitations apportées aux concessionnaires.

### **Estimation de la qualité de bois ronds et d'arbres sur pied par lidar terrestre**

par Van Tho NGUYEN

Thèse soutenue publiquement le 10 octobre 2018 à Nancy (AgroParisTech)

Directeur de thèse : M. Francis Colin (INRA, UMR Silva)

La technologie lidar (*light detection and ranging*) terrestre est une méthode de télédétection en plein essor dans le domaine forestier. Elle génère un nuage de dizaines de millions de points tridimensionnels correspondant aux obstacles rencontrés par des rayons laser qui balayent une vue depuis plusieurs points. Son intérêt réside dans son aptitude à décrire une placette forestière ou un arbre individuel avec un niveau de détail inégalé. Ce niveau de détail permet une analyse fine de la surface du tronc pour en détecter les défauts qui jouent un rôle essentiel dans la qualité du bois puisque des études ont montré que 80 % des défauts internes correspondent à des traces à la surface du tronc, par exemple les cicatrices de branches. L'objectif de l'étude a été de développer une méthode pour quantifier les défauts sur le tronc d'arbres sur pied ou les défauts de bois ronds, à partir de données issues de vues lidar. Les défauts visés sont les branches, les cicatrices de branches, les broussins, les amas de bourgeons et les picots. Le développement de cette méthode est mené selon trois étapes : 1) détection des défauts, 2) identification de leur type et 3) caractérisation. La détection des défauts est basée sur une analyse de la rugosité de la surface de l'écorce par une estimation de la distance de référence à la ligne centrale du tronc. La distance de référence de tout point de la surface à cette ligne centrale est calculée à partir de la distribution de ses points voisins appartenant au même patch (bande) allongé selon l'axe du tronc. Les points supposés correspondre à des défauts sont obtenus par un seuillage automatique sur la distribution statistique des écarts entre la distance à la ligne centrale et la distance de référence. L'identification des défauts est basée sur une approche d'apprentissage automatique en utilisant le classifieur Random Forests, qui non seulement classe les défauts selon leur type mais permet également de réduire le nombre de « faux positifs » à l'issue de la première étape. La caractérisation des défauts comprend la détermination de leurs position et dimensions qui dépendent de leur type. Des expérimentations réalisées sur des billons ou des troncs de différentes espèces telles que Chêne, Hêtre, Merisier, Pin, Sapin et Épicéa, ont montré que nous pouvons détecter des défauts avec une dimension pouvant descendre jusqu'à 5 mm sur des données lidar suffisamment denses. À l'échelle d'un élément de surface, les résultats sont bien cohérents avec ceux de données observées visuellement sur les maillages créés à partir

des nuages de points lidar. Le critère choisi pour évaluer la performance de la classification est la mesure  $F_1$  (c'est la moyenne harmonique de la précision et du rappel, deux variables calculées à partir des nombres de faux et vrais positifs). Concernant la détection de défauts,  $F_1$  atteint 0,76. La deuxième étape a correctement classé 163 défauts sur 185 mais a induit 75 fausses identifications (de petits défauts majoritairement). La valeur de  $F_1$  passe à 0,84. Les dernières expérimentations sur des chênes et des hêtres, destinées à évaluer automatiquement l'ensemble de la méthode sur des arbres sur pied, à partir du nombre et des dimensions des défauts ont montré qu'elle était robuste et prometteuse pour ces deux espèces ayant des structures d'écorce très différentes. Par rapport aux travaux antérieurs sur l'utilisation des données lidar pour des objectifs similaires, l'outil développé permet d'améliorer considérablement la quantification automatique des défauts de surface et donc d'estimer la qualité des grumes sur pied. Les principales perspectives sont d'améliorer l'échantillonnage de la variabilité des défauts dans la base d'apprentissage et éventuellement leur séparation par espèce et prendre en compte d'autres types de défauts externes, comme les fentes et les attributs globaux du tronc ou du billon afin d'estimer la qualité de grume en bord de route ou sur parc à grumes.

### **Le rôle des communautés microbiennes dans la dégradation de la matière organique en forêt dans un contexte d'exportation intense de biomasse**

par François MAILLARD

Thèse soutenue publiquement le 26 octobre 2018 à Champenoux (centre INRA Grand Est Nancy)  
Directeurs de thèse : M. Marc Buée (INRA), M. Dominique Gérard (INRA)

En Europe, le bois est la première source d'énergie renouvelable. La transition énergétique se traduit par une volonté d'intensification de l'exploitation des forêts. L'effet de ces pratiques sylvicoles sur les communautés microbiennes du sol est encore peu étudié. Au cours de cette thèse, l'auteur a évalué les conséquences d'une manipulation artificielle de matière organique en forêt tempérée sur la diversité fonctionnelle et taxonomique des communautés bactériennes et fongiques telluriques dans six sites expérimentaux. Parallèlement, une caractérisation fonctionnelle des communautés microbiennes a également été réalisée dans un contexte proche des réalités de l'intensification des pratiques sylvicoles sous climat tropical en plantation d'Eucalyptus. Si certains descripteurs fonctionnels de la dégradation de la matière organique sont particulièrement informatifs, les activités microbiennes de dégradation de la chitine, polymère azoté des arthropodes et champignons, sont apparues très sensibles au retrait de la matière organique. C'est pourquoi, par des approches de génomiques comparatives, nous avons cherché à estimer le potentiel *chitinolytique* des différentes guildes fongiques des sols. En conditions contrôlées, nous avons ensuite quantifié les capacités potentielles de mobilisation et de transfert du carbone et de l'azote, à partir d'une matière organique microbienne riche en chitine, par un champignon ectomycorhizien en symbiose avec son hôte. Enfin, le caractère générique des fonctions chitinolytiques d'un plus large spectre d'espèces fongiques ectomycorhiziennes a été évalué par le couplage d'approches enzymatiques et isotopiques. L'ensemble de nos résultats met en lumière le rôle significatif des champignons ectomycorhiziens dans la mobilisation du carbone et de l'azote à partir de certaines formes de matière organique, et la nécessité de prendre en compte le compartiment microbien dans les études d'impact des pratiques sylvicoles.

### **La forêt dans tous ses états : De la conservation à l'évaluation territoriale**

#### **Volume 1 : Œuvre scientifique inédite**

Habilitation à diriger des recherches de Damien MARAGE

Soutenue le 12 novembre 2018 à Paris

Ce début de XXI<sup>e</sup> siècle est marqué par de profondes mutations et les sociétés s'y préparent en transition. « *Réintégrer le souci de la nature dans le commerce des hommes* » selon la formule de

François Ost, tel est mon axiome : la forêt est un des meilleurs archétypes de socioécosystème. Mon chemin de forestier, d'écologue, de géographe s'inscrit résolument dans cette nouvelle ère. La géographie est pour moi la discipline la mieux à même de questionner la répartition de l'humain et du non-humain, leurs abondances respectives, et de promouvoir une gestion intégrée des territoires. Je souhaite y développer une approche territoriale multiscalair, l'analyse du jeu des acteurs selon une argumentation systémique, de manière à ancrer définitivement, dans le champ des sciences sociales, cette vitale solidarité entre l'homme et la nature, ce lien qui nous oblige. La problématique de la conservation des forêts est posée en guise d'introduction. Puis est exposée la notion d'état de conservation et de sa mesure. Le chapitre suivant pose le cadre théorique de l'évaluation et la méthodologie propre aux forêts, puis son application dans le cadre du rapportage de la directive européenne Habitat Faune Flore. La montée en généralité s'opère dans l'avant-dernier chapitre où je proposerai une approche renouvelée de l'évaluation de l'état de conservation des forêts en l'élargissant aux territoires. Un triptyque utile-esthétique-éthique conclut ce volume. La difficulté de l'exercice réside dans la démonstration rigoureuse qu'un passage prolongé de cinq ans, dans un service déconcentré du ministère en charge de l'environnement, a su enrichir et compléter mon profil aux problématiques géographiques. Cette distanciation d'avec la recherche et l'enseignement a été le vecteur d'un renouveau intellectuel. Ce volume original tente donc de démontrer comment le centre de gravité de mes activités de recherche a basculé totalement dans le champ de la géographie et de l'aménagement du territoire sans renier mes racines écologiques. Pour conclure, cette habilitation à diriger des recherches se veut un *aggiornamento* pour évaluer l'état de conservation des forêts par une contribution de l'ingénierie écologique et territoriale à cette problématique.