
**PROSPECTIVE ANALYSIS IN THE FOREST SECTOR WHEN FACING
ENVIRONMENTAL CHALLENGES: INSIGHTS FROM LARGE-SCALE BIOECONOMIC
MODELLING**

**(L'analyse prospective dans le secteur forêt-bois face aux enjeux
environnementaux : éclairages issus de la modélisation bioéconomique
à grande échelle)**

Thèse de Miguel **RIVIERE**¹

Analysée par Bernard **ROMAN-AMAT**²

Directeur de thèse : Philippe **DELACOTE**, HDR, Bureau d'économie théorique et appliquée, AgroParisTech, Nancy

Co directeur de thèse : Sylvain **CAURLA**, HDR, Bureau d'économie théorique et appliquée, AgroParisTech, Nancy

Cette thèse a été financée par le Ministère de l'agriculture dans le cadre du dispositif de formation par la recherche des Ingénieurs des Ponts, des Eaux et des Forêts. Rédigée en anglais, elle a donné lieu à trois publications dans la même langue, correspondant à ses trois premiers chapitres. Elle se fixe l'objectif, sur la base d'exemples français, d'explorer la capacité des modèles bio-économiques de représentation des secteurs forestiers, construits pour représenter conjointement l'évolution de la ressource et des marchés du bois, à fournir aux décideurs des éclairages sur des questions environnementales, liées ou non à la production de bois. Lisible et bien illustrée, elle est clairement structurée en quatre chapitres ; les deux premiers sont une longue entrée en matière appuyée sur la littérature concernant les modèles économiques de représentation des secteurs forestiers (chapitre 1), et l'évolution des modèles intégrés de secteurs forestiers, notamment pour aborder des objectifs de gestion des forêts autres que la production de bois (chapitre 2). L'auteur montre que les modèles économiques peuvent assez facilement évoluer pour aborder les questions de la séquestration du carbone, et intégrer les marchés de l'énergie. En revanche, de nombreux obstacles se dressent lorsqu'il s'agit d'aborder les services environnementaux (biodiversité, ressource en eau ...) : les services en question ne peuvent pas toujours être abordés en termes monétaires, les données sont souvent manquantes, l'échelle spatiale pertinente n'est pas nécessairement celle utilisée dans les modèles, etc. Les travaux de l'auteur vont se situer successivement dans deux de ces situations.

¹ Doctorat préparé à l'Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech), Bureau d'Economie Théorique et Appliquée (BETA), 14 rue Girardet 54000 Nancy, France, pour obtenir le grade de Docteur de l'Institut agronomique, École doctorale n°581 Agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES), soutenue le 22 février 2021.

² Membre de la section 2, « Forêts et filière bois ».

Les deux chapitres suivants résultent de la mise en œuvre du modèle de représentation bio-économique du secteur forestier français (FFSM) développé par le laboratoire support de la thèse, pour répondre à des objectifs autres que la production de bois, respectivement en lien avec l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

Le chapitre 3 est un article accepté dans le journal *Forestry*. Il cherche à évaluer les conséquences d'une gestion forestière qui répondrait au double objectif de la production de bois et de l'atténuation du changement climatique *via* la valorisation de la séquestration *in situ* du carbone.

FFSM est mis en œuvre dans le cadre de divers scénarios, l'un de référence où le seul objectif des propriétaires est la production de bois, les autres où les propriétaires tiennent compte de la valeur du service de séquestration, valorisé à hauteur de la « valeur de l'action pour le climat », par exemple, de 775 à 900 € par tonne de carbone stockée en 2050 ; cette gamme de prix optimaux proposés en 2019 par le rapport Quinet est à la fois restreinte et élevée par rapport aux prix constatés aujourd'hui³. L'horizon temporel est 2100. Globalement, l'introduction de la rémunération de la séquestration de carbone, aux prix considérés, a un impact très fort : réduction de l'ordre de 90 % de la part des revenus espérés des sylviculteurs liée à la vente de bois, allongement très significatif des durées espérées de révolution, augmentation des surfaces de peuplements mixtes et feuillus, augmentation de la proportion de gros bois en forêt. Ces résultats correspondent qualitativement à ce que l'on pouvait attendre ; il aurait été intéressant d'analyser les réponses à une gamme plus ouverte (vers le bas) de prix de la tonne de carbone. Un résultat marquant est l'apparition d'importantes différences entre les régions, certaines non intuitives. Ces différences résultent de la variabilité des espèces forestières et des modes de sylviculture, et aussi de l'équilibre de marché spatial représenté dans le FFSM, et appellent des travaux d'approfondissement. L'auteur s'attache à démontrer l'importance de considérer que les conditions environnementales en forêt sont hétérogènes dans l'espace (intra et inter-régions) et commente peu ses résultats correspondant pourtant aux fonctionnalités de base de FFSM : surplus comparés des acteurs en amont et en aval de la filière, impact sur le commerce extérieur, éclairage des politiques publiques notamment.

Le chapitre 4 aborde le risque d'incendie de forêt, notamment vis-à-vis de la non-permanence des stocks de carbone, en intégrant les incertitudes climatiques (chapitre 4). Il a été préparé en collaboration avec l'équipe « incendies de forêts » de l'Unité de Recherches Forestières Méditerranéennes (URFM) de l'INRAE d'Avignon. La démarche consiste à coupler le modèle FFSM avec un modèle probabiliste d'incendies de forêts, sous divers niveaux de forçage radiatif (scénarios climatiques). Quinze scénarios sont étudiés, plus un 16^e sans incendie. Un module simulant les effets des incendies sur la mortalité des arbres au sein des peuplements incendiés a été construit en utilisant les données de la littérature, affinées avec des avis d'experts. Les arbres tués sont remplacés à espèce identique, classe de diamètre « 0 ». La zone dans laquelle l'augmentation du risque d'incendies de forêt est simulée couvre la moitié sud de la France, soit cinq régions FFSM. L'horizon temporel est celui de la fin du siècle. L'analyse permet de quantifier des pertes très significatives : au maximum, d'ici à la fin du siècle, par rapport au scénario de base, les surfaces brûlées augmenteraient de 55 %, le volume sur pied diminuerait de 5% et l'accroissement en volume de 14%. Le modèle indique en conséquence une hausse des prix des bois, surtout pour les résineux, et une modification des flux de bois inter-régionaux. Les incertitudes et leur évolution dans le temps ont des profils très différents pour les surfaces brûlées (prédominance des variations interannuelles) et pour les récoltes (les incertitudes liées au climat, d'abord faibles, deviennent majoritaires avec le temps par effet cumulatif) et autres variables économiques. Un développement est consacré aux perspectives d'amélioration du modèle de prévision des incendies offertes par la prise en compte d'informations sur l'usage des sols (« land use »). L'auteur conclut sur l'importance de considérer

³ Par exemple dans le cadre des premiers contrats labellisés « bas carbone ».

lors des travaux de prospective plusieurs scénarios climatiques ainsi que la variabilité des processus écologiques. La discussion aurait pu consacrer plus de place à divers points : notamment l'acquisition de données de terrain en matière de mortalité des différentes espèces forestières, la fiabilité des différences constatées entre régions (ici aussi, effet de la représentation de l'équilibre de marché dans FFSM). On peut se demander enfin, s'il n'existe pas d'autres limites à l'empilement (ou couplage) des modèles que la transmission des incertitudes.

La conclusion revient sur les principaux résultats obtenus et ouvre des pistes pour de nouvelles recherches : prise en compte plus fine des usages des sols et couplage avec les modèles du secteur agricole, développement de modules à base biologique pour représenter la séquestration du carbone à l'échelle du peuplement, analyse en profondeur du modèle FFSM notamment par des tests de sensibilité.

Cette thèse n'est pas exempte de faiblesses, qui découlent pour partie de son ambition : les sujets abordés ne pouvaient pas tous être traités en profondeur en l'espace de trois ans.

M RIVIERE consacre une grande partie de sa thèse à des questions qu'il qualifie d'historiques, épistémologiques et méthodologiques relatives aux modèles. Dans cet esprit, les valeurs chiffrées qu'il produit, après avoir confronté le modèle FFSM à des réalités concrètes (chapitres 3 et 4), sont d'abord de la « matière à réfléchir », illustrations et ordres de grandeur, davantage que des résultats au sens habituel. Cependant ses commentaires et conclusions portent essentiellement sur ces résultats, et assez peu sur le modèle lui-même. Par exemple, au chapitre 3, le fait de tester plusieurs niveaux de rémunération de la fixation du carbone aurait permis de réaliser une étude de sensibilité du modèle FFSM, tout en intégrant un scénario plus proche des réalités actuelles de la filière. Par ailleurs, les résultats des chapitres 3 et 4 au niveau des régions sont très dépendants des caractéristiques de construction du modèle FFSM en matière d'équilibre des marchés du bois au niveau national : il aurait pu être intéressant au moins de discuter ces caractéristiques, et de s'interroger sur les mérites respectifs de modèles de représentation de la filière aux échelles nationale et régionale. Enfin, si l'on comprend bien que la validation au sens étroit du modèle FFSM, c'est-à-dire la vérification qu'il représente bien une réalité observée (passée par exemple), est actuellement impossible, et qu'il s'agit d'un modèle de prospective et non pas de prévision, le lecteur reste un peu sur sa faim quant aux pistes qui permettraient de faire de ce modèle un meilleur outil de prospective.

Au total cette thèse a le mérite de présenter un état de l'art, non disponible jusqu'à présent, des recherches sur la représentation des secteurs forestiers par des modèles économiques, et des tentatives de perfectionnement de ces modèles afin d'aborder, en complément des marchés du bois, différents services environnementaux issus des forêts, Elle contribue à faire connaître le modèle FFSM et à explorer son champ d'application. A l'issue d'une démarche interdisciplinaire qu'il faut saluer, elle expose pour la première fois des résultats issus de la mise en œuvre de ce modèle, permettant d'évaluer l'impact à long terme de la prise en compte du service de séquestration du carbone dans la France entière d'un côté, de l'augmentation des incendies de forêts dans la moitié sud du pays de l'autre. Ces résultats, certains attendus et d'autres contre-intuitifs, sont tous intéressants et offrent ample matière à réflexion. Pour en faciliter l'accès, un résumé long en français de cette thèse est disponible, ce dont il faut remercier l'auteur.

Il y avait, avec les sujets abordés par Miguel RIVIERE, matière à plusieurs thèses. Son travail de pionnier mérite d'être mis en lumière par la publication sur le site de l'Académie d'agriculture, à titre de valorisation et au bénéfice de ceux qui souhaiteront s'engager à leur tour dans l'exploration des ressorts économiques du secteur forêt bois.