



HAL
open science

Optimiser la sylviculture en présence de risques et incertitudes ? Application de la méthode à la hêtraie nord-atlantique

Hanitra Rakotoarison, Patrice Loisel

► To cite this version:

Hanitra Rakotoarison, Patrice Loisel. Optimiser la sylviculture en présence de risques et incertitudes ? Application de la méthode à la hêtraie nord-atlantique. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2016, 51-52, pp.40-43. hal-02629874

HAL Id: hal-02629874

<https://hal.inrae.fr/hal-02629874>

Submitted on 27 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Optimiser la sylviculture en présence de risques et incertitudes?

Application de la méthode à la hêtraie nord-atlantique

La gestion forestière peut être considérée comme un investissement auquel le concept de l'optimisation économique est applicable. La longueur des cycles de production forestière et l'arrivée d'événements inattendus conduit cependant le gestionnaire à prendre des décisions différentes de celles qui ont été définies comme optimales au moment de la mise en place du peuplement forestier. Cet article explore les effets de l'incertitude en matière de prix et de risque tempête sur le cas de la hêtraie.

En 1849, un ingénieur allemand nommé Faustmann propose, pour estimer en bloc la valeur d'un fonds forestier (foncier + peuplement), un critère économique appelé Bénéfice Actualisé à Séquence Infinie (BASI)¹. C'est aussi l'un des plus adaptés pour évaluer la rentabilité économique de la sylviculture sur du long terme (Peyron *et al.*, 1998) mais il repose implicitement sur des hypothèses d'absence de risques et d'incertitudes sur les paramètres forestiers et économiques.

Or, la longueur des cycles de production forestière, qui va jusqu'à un siècle pour le hêtre (et jusqu'à deux siècles pour le chêne), est fortement empreinte de risques et d'incertitudes d'origines diverses. Les incertitudes peuvent être d'ordre économique comme l'évolution globale des prix du bois, l'évolution spécifique des prix de certaines catégories ou essences, la hausse des coûts de l'énergie... ou bien d'ordre climatique (gel, tempêtes...), biophysique (incendies) ou encore biotique (pathologies diverses, prolifération d'insectes xylophages).

Comment aider le gestionnaire forestier à optimiser la sylviculture dans un contexte aussi aléatoire? C'est une question très large, matière à bien des travaux et réflexions auxquels le projet *Écorisques* a essayé de contribuer. Nous avons choisi d'étudier les effets individuels puis simultanés des variations de prix du bois, d'une part, et des tempêtes, d'autre part, sur la gestion forestière. Nous exposons d'abord la démarche d'optimisation de la sylviculture et sa mise en œuvre à l'aide d'un outil de simulation. Puis nous indiquons comment la méthode peut être appliquée au cas de la hêtraie nord-atlantique, les résultats qui en ressortent et les conclusions qu'on peut en tirer.

Evasylv, un outil de simulation pour aider à optimiser la sylviculture en contexte aléatoire

L'optimisation est un domaine d'application de la recherche opérationnelle. Cela consiste à chercher les meilleures décisions sur un ensemble de scénarios possibles pour un système de production afin d'obtenir le résultat le plus performant, et en respectant les contraintes de production.

S'agissant de sylviculture, la méthode d'optimisation adoptée dans le projet *Écorisques* utilise comme indicateur de « performance » le critère de Faustmann (1849), mais en tenant compte des variations du prix du bois et du risque de tempête. L'échelle de l'analyse est celle de la parcelle, qui est celle des décisions de coupes. Le problème d'optimisation traité ici est de trouver l'intensité des coupes et les dates d'éclaircie et de coupe finale (c'est-à-dire la durée de révolution), qui maximisent le BASI d'un peuplement dans ce contexte d'incertitude. Les « contraintes » correspondent aux conditions d'une sylviculture réaliste.

Pour pouvoir explorer un grand nombre d'itinéraires sylvicoles possibles, l'UMR MISTEA-INRA de Montpellier a développé un logiciel de simulation appelé *Evasylv* dont l'architecture est présentée dans la figure 1. Au démarrage, l'utilisateur doit renseigner les paramètres qui conditionnent la sylviculture (modèle de croissance, état initial du peuplement, itinéraire sylvicole de référence, modèle de risque, fonction de dommage...), les paramètres économiques (prix du bois, coûts

¹ Valeur du fonds ou BASI est la différence entre les flux de recettes liées à la vente de bois et les flux de dépenses faites par le gestionnaire (coûts des travaux sylvicoles et coût de gestion) sur une infinité de révolutions. Ce calcul fait appel à l'utilisation d'un taux d'actualisation pour ramener les différents flux à la date initiale.

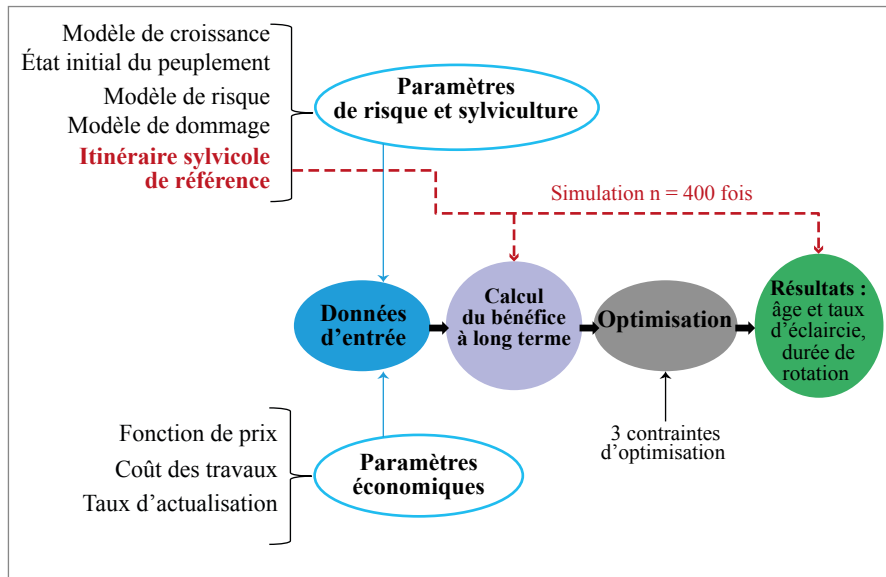


Fig. 1 : architecture du logiciel Evasy/v

des travaux et taux d'actualisation), ainsi que les contraintes sylvicoles de l'optimisation. Puis l'outil va dans un premier temps agréger ces informations pour calculer la hauteur et le diamètre des arbres, leur accroissement, les volumes de bois sur la durée totale de révolution ainsi que le BASI. Ensuite, il va générer automatiquement une large gamme d'itinéraires sylvicoles (environ 400) en modifiant successivement les dates et les taux de prélèvement de chaque éclaircie, dans la limite des contraintes, pour voir s'il est possible d'améliorer le BASI initial. Les sorties sont une description du meilleur itinéraire ainsi que le BASI correspondant.

Étude de cas sur la hêtraie Nord-Atlantique

Cette partie de l'article expose l'application de l'optimisation à la sylviculture de la hêtraie Nord-Atlantique avec l'outil Evasy/v.

Fagacées, un modèle de croissance du peuplement

Le modèle de croissance est au cœur de l'optimisation. En effet, contrairement à une industrie manufacturière, la production de bois dépend du lien étroit entre :

- la croissance naturelle du peuplement, selon les caractéristiques de la station (sol, climat, fertilité) qui affectent à la fois la hauteur, la surface terrière et le volume ;
- et l'action du sylviculteur qui va décider de la densité, de l'éclaircie, de la qualité des arbres à conserver, de la date des coupes, etc.

Nous utilisons ici le modèle de croissance appelé *Fagacées*, dans la version publiée par Le Moguédec et Dhôte (2012) pour des futaies de Chêne sessile ou de Hêtre en peuplements purs et équiennes. Il s'agit d'un modèle de type « arbre indépendant des distances » qui permet de suivre l'évolution individuelle de chaque tige d'un peuplement forestier simulé (à partir d'un état initial donné à 15 ans). L'outil Evasy/v n'utilise que les valeurs dendrométriques moyennes données par *Fagacées* à l'échelle d'un peuplement. Il n'est pas possible de donner des consignes pour un arbre particulier.

État initial du peuplement, itinéraire de référence

Le modèle de croissance est initialisé, d'après les indications du guide des sylvicultures de la hêtraie Nord-Atlantique (Pilard-Landeau et Simon,

2008), avec un peuplement de 15 ans issu de régénération naturelle, en fertilité moyenne ($H_0 = 32$ m à 100 ans), et qui après dépressage se retrouvera à une densité d'environ 2900 tiges/ha vers 33 ans, âge d'entrée dans la phase d'éclaircies de l'itinéraire de référence.

Modèle de risque d'événement extrême

Pendant la durée de révolution, le peuplement peut être exposé à une ou plusieurs tempêtes, même si c'est très aléatoire. Pour simuler ce type d'aléa, nous utilisons une loi de probabilité usuelle, la loi de Poisson, qui décrit la probabilité qu'un événement rare de fréquence moyenne connue se produise durant un intervalle de temps donné. Cette loi peut donc s'appliquer à la fréquence des événements climatiques extrêmes, comme une tempête de l'ampleur de celle qui a eu lieu en 1999 et dont nous avons considéré qu'elle a une fréquence centennale, c'est-à-dire ayant chaque année une chance sur 100 d'affecter le peuplement étudié.

Modèle de dommage après tempête et leçons tirées des données de 1999

Les dommages sur le peuplement ne dépendent pas seulement de la vitesse des vents de la tempête. Nous avons donc consulté les travaux de recherche conduits, suite à la tempête Lothar de 1999, afin de modéliser les dommages de tempête dans les peuplements forestiers du Nord de la France et du Sud-Ouest de l'Allemagne. Nous avons retenu le modèle de prédiction des dommages après tempête dans les hêtraies développé par Bock *et al.* (2005). C'est un modèle de prévision des taux de dommages qui distingue la part que prennent les caractéristiques du sol, l'exposition topographique et la hauteur du peuplement dans l'importance des dommages.

Comme la démarche d'optimisation n'est pas spatialisée, nous n'avons considéré que l'effet de la hauteur

du peuplement et l'effet de seuil sur les taux de dommage. Bock *et al.* constatent que le taux de dommage est quasi-nul tant que la hauteur dominante du peuplement reste inférieure à un seuil de 23,5 m ; au-delà, ce taux augmente assez rapidement.

Prix du hêtre

Comment traiter l'incertitude sur le prix des bois ? Les prix du marché du hêtre sont très fluctuants, comme en témoigne l'analyse des cours observés pour les bois sur pied sur les 40 dernières années (article précédent, ce numéro). Cependant il s'en dégage deux scénarios, correspondant aux contextes économiques contrastés d'avant et après 1999, auxquels nous avons ajouté un 3e scénario qui reflète la « conjoncture actuelle » (2014). Pour ces trois scénarios, nous avons exprimé les prix du bois d'œuvre de hêtre en fonction du diamètre, en utilisant le modèle économétrique « simple » décrit dans l'article précédent (modèle 1 sans interaction, voir encadré p. 35 et tableau p. 36) ; modèle appliqué à l'année de vente médiane pour les deux premiers scénarios, et ajusté directement sur les données de 2014 pour le troisième. Ce qui donne pour le hêtre de qualité standard, correspondant au « 2e choix » du Cabinet Chavet :

1. pour la période 1974 - 1999, qui correspond à une forte demande : $P = 1,68 d - 21,60$ (P est le prix du BO de hêtre en euros constants par m^3 , d est le diamètre en cm)
2. pour la période 2000 - 2013, où la demande diminue : $P = 1,68 d - 56,76$
3. et en 2014 : $P = 0,48 d + 2,50$

Le prix moyen du petit bois durant les trois périodes est estimé à 10 €/m³.

Autres paramètres économiques et contraintes d'optimisation

Les **coûts des travaux** au stade juvénile (cf. état initial du peuplement) correspondent aux recommandations du guide des sylvicultures (Pillard-Landeau et Simon, 2008) pour les régénérations naturelles sans problème

de densité sur terrain plat et sol non compacté : itinéraires techniques de travaux sylvicoles (ITTS) de régénération puis d'amélioration, respectivement codés « 1HET B » et « 5HET C ». Ces coûts ont été réactualisés à l'aide des catalogues de prestation des travaux (document interne). Les **contraintes de l'optimisation** ont été fixées avec les experts de la sylviculture du hêtre : intensité de prélèvement maximale de 61 % et intervalle minimum de 6 ans entre les éclaircies. Enfin, le **taux d'actualisation** choisi pour un projet de longue durée comme l'est la sylviculture de hêtre est de 2 % (Quinet, 2013).

Résultats de l'optimisation

Les résultats de l'optimisation sont présentés dans le tableau 1 pour les trois scénarios économiques du marché du hêtre (demande forte, demande en baisse, conjoncture actuelle) : valeurs maximales du critère de Faustmann (ou valeur du fonds, ou BASI) et durées de révolution « optimales » correspondantes pour l'exemple traité, en distinguant l'effet de la prise en compte ou non du risque tempête.

Pour cette exemple de simulation, il ressort que le risque de tempête se traduit par un raccourcissement de 7 à 8 ans de la durée optimale de révolution et par une perte de valeur du fonds variant entre 21 % et 90 %

selon les contextes économiques. Si minime qu'il puisse paraître, sous les hypothèses retenues, ce raccourcissement est un résultat fort de la démarche d'optimisation, résultat d'ailleurs cohérent avec la littérature dans le domaine de l'économie des risques en forêt (Loisel, 2014 ; Price, 2011 ; Reed, 1984).

En période de prix élevés (forte demande de bois d'œuvre de hêtre comme en 1974-1999), les valeurs du fonds, avec ou sans risque tempête, sont positives, montrant que la sylviculture du hêtre est alors un investissement tout à fait rentable. Le net déclin des prix de la période 2000-2013 fait globalement baisser les valeurs du fonds de 69 % sans risque de tempête, mais elles restent positives. Cependant, dans la conjoncture actuelle (2014), le prix du hêtre est tellement faible que les valeurs du fonds sont devenues négatives.

Ces résultats montrent que les variations du prix des bois engendrent un impact économique plus important que les risques de tempête mais ne semblent pas vraiment influencer la durée de révolution optimale. Néanmoins, considérés simultanément, les deux types d'incertitudes ont des impacts significatifs sur la rentabilité de la hêtraie.

N° du scénario	Contexte économique	Hypothèse de risque tempête	Durée de révolution (années)	Valeur du fonds BASI* (euros/ha)	Écart par rapport au scénario 1a
1a	Demande forte avec prix soutenus (1974-1999)	non	109	3449,40	
1 b		oui	102	2327,46 (-33 %) **	-33 %
2a	Demande en baisse Prix plus faibles (2000-2013)	non	116	1085,38	-69 %
2 b		oui	108	90,13 (-92 %) **	-97 %
3a	Conjoncture actuelle (2014)	non	108	- 1894,19	-155 %
3 b		oui	100	- 2297,90 (- 21 %) **	-167 %

* Il est important de noter qu'ici les valeurs de Faustmann n'ont de sens que pour un usage de comparaison entre les scénarios.

** : Les pourcentages entre parenthèse donnent l'écart du BASI avec prise en compte des tempêtes à la référence de BASI sans tempête dans le même contexte économique.

Tab. 1 : comparaison des résultats de l'optimisation dans l'exemple étudié

Conclusion

L'optimisation montre que la prise en compte des risques tempêtes réduit la durée de révolution optimale du hêtre pour que la sylviculture reste un investissement « rentable ». Pour les hypothèses retenues sur la hêtraie Nord Atlantique (peuplement issu de régénération naturelle en fertilité moyenne, sans contrainte particulière de végétation concurrente, pente ou densité initiale...), cette prise en compte donne, à l'issue des simulations et calculs, une durée de révolution optimale assez proche des recommandations déjà en vigueur dans le guide des sylvicultures de l'ONF.

Par ailleurs, l'analyse de l'effet de risques multiples sur la forêt, montre que les incertitudes économiques (liées au marché du bois) engendrent des pertes économiques plus sévères que les incertitudes climatiques (tempêtes). En conséquence, le principal enjeu serait de **développer et maintenir les industries de transformation des feuillus**. C'est un enjeu stratégique pour les industries du bois mais également pour les gestionnaires forestiers du fait de la dépendance entre l'offre, la demande et les prix.

Cependant cette conclusion pourrait être infléchie si le changement climatique augmente la fréquence et l'intensité des tempêtes. Et surtout, il reste à étudier bien d'autres situations sylvicoles (autres régions, conditions de station, fertilité...), d'autres types de risques biotiques (maladies, cervidés...) ou abiotiques (hausse des températures, baisse des précipitations...). Il reste aussi à appréhender l'effet des évolutions du contexte socio-économique : paiement des autres services écosystémiques, mise en place de soutien public, modification des coûts des travaux sylvicoles, du taux d'actualisation, etc. De nouveaux travaux de recherche seront à développer à mesure de l'avancement des connaissances pour les intégrer dans des outils d'aide à la décision

mis à disposition du gestionnaire forestier. D'autres échelles d'analyse comme la forêt, le territoire, la région... seront complémentaires.

À sa manière, cet article illustre donc la contribution possible des sciences économiques à la **démarche d'amélioration continue des guides de sylviculture** en fonction des informations disponibles, en montrant ici comment tenir compte à la fois du risque tempête et surtout des mutations de l'environnement économique.

Hanitra Rakotoarison
ONF, département RDI

Patrice Loisel
INRA, Laboratoire MISTEA

Remerciements

Nous tenons tout particulièrement à remercier le GIP Ecofor pour son soutien, en particulier financier ; Gwenaëlle Gibaud et Brigitte Pilard-Landeau de l'ONF pour leur appui et leur expertise dans le paramétrage et l'interprétation des résultats du modèle.

Bibliographie

Bock J., Vinkler I, Duplat P., Renaud J.-P., Badeau V., Dupouey J.-L., 2005. Stabilité au vent des hêtraies : les enseignements de la tempête de 1999. *Revue Forestière Française*, vol. 58 n° 2, pp.143-158

Faustmann M., 1849. Berechnung des Werthes, welchen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung*. Traduction française par Jacques Maheut (1999) sous le titre : « Calcul de la valeur que possèdent, du point de vue de l'économie forestière, les sols forestiers, ainsi que les peuplements non encore exploitables »

Le Moguédec G., Dhôte J.-F., 2012. Fagacées: a tree-centered growth and

yield model for sessile oak (*Quercus petraea* L.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annales des Sciences Forestières*. Vol. 69 n°2 pp. 257-269

Loisel P., 2011. Faustmann rotation and population dynamics in the presence of a risk of destructive events. *Journal of Forest Economics*, vol. 17 pp. 235-247

Loisel P., 2014. Impact of storm risk on Faustmann rotation. *Forest Policy and Economics*, vol. 38, pp. 191-198

Peyron J.-L., Terreaux J.-P., Calvet P., Guo B., 1998. Principaux critères économiques de gestion des forêts : analyse critique et comparative. *Annales des Sciences Forestières*, vol. 55 n° 5, pp. 523-551

Pilard-Landeau, B., Simon, E., 2008. Guide des sylvicultures La Hêtraie Nord-Atlantique. ONF, 154 p.

Price C., 2011. When and to what extent do risk premia work? Cases of threat and optimal rotation. *Journal of Forest Economics*. Vol. 17, pp. 53-66

Quinet E., 2013. Évaluation socio-économique des investissements publics, Premier Ministre. ed, Rapports et Document. Commissariat Général à la stratégie et à la prospective.

Reed W.J., 1984. The effects of the risk of fire on the optimal rotation of a forest. *Journal of Environmental Economics and Management* vol. 11, pp. 180-190