

Titre : Estimation par simulation Monte Carlo de la probabilité de mortalité quinquennale de l'érable à sucre, du bouleau jaune et du hêtre à grandes feuilles en peuplements de feuillus en fonction de la classification MSCR

Auteurs : Mathieu Fortin (DRF), Steve Bédard (DRF) et François Guillemette (DRF)

Date : 6 mai 2008

On peut citer tout ou partie de ce texte en indiquant la référence
© Gouvernement du Québec

Contexte

Depuis 2003, le système de classification des tiges par priorité de récolte MSCR (Boulet 2007) a remplacé le système de classification par vigueur I,II,III,IV (Majcen et al. 1990). Étant donné la durée du suivi relativement courte de cette nouvelle classification, nous ne disposons pas des données nécessaires pour estimer les taux de mortalité moyens associés aux tiges de classes « M », « S », « C », et « R ». Or, l'estimation des taux de mortalité est un élément crucial dans la prévision de la croissance.

Les taux de mortalité associés à la classification I,II,III,IV ont déjà été estimés sur une période de 5 ans par Fortin et al. (2008). Par ailleurs, des modèles statistiques permettent d'établir une correspondance entre les systèmes de classification MSCR et I,II,III,IV. Dans cet avis, nous proposons d'utiliser les modèles existants afin d'estimer les taux de mortalité moyens associés à la classification MSCR. L'objectif visé ici n'est pas de comparer les classifications entre elles, mais seulement de fournir une estimation grossière des taux de mortalité de cette nouvelle classification en attendant d'avoir les données requises pour l'évaluer. En effet, la relecture des dispositifs expérimentaux de la Direction de la recherche forestière (DRF) et des placettes permanentes de la Direction des inventaires forestiers (DIF) devrait permettre d'évaluer

ces taux de mortalité avec plus de certitude que le présent exercice. Toutefois, les premières relectures des dispositifs de la DRF sont prévues en 2010, soit cinq ans après la première prise de mesure MSCR, tandis que celles des placettes permanentes de la DIF ne sont prévues qu'en 2013, soit dix ans après la première prise de données selon le même système. En conséquence, les résultats présentés dans cet avis demeurent une solution temporaire et devraient être utilisés avec circonspection considérant les limites de l'approche proposée.

Méthode

Modèles existants

L'approche proposée comprend trois modèles statistiques. Pour mieux comprendre chaque modèle, définissons d'abord i et j comme les indices de la placette et de l'arbre respectivement de sorte que $i=1,2,\dots,n$ et $j=1,2,\dots,p$. La classification I,II,III,IV en est une qui combine deux classifications binaires. D'une part, les tiges de catégories I et II sont vigoureuses alors que celles des catégories III et IV ne le sont pas et, d'autre part, les tiges des catégories I et III ont un potentiel de sciage alors que celles des catégories II et IV sont destinées à la pâte. Les deux premiers modèles considérés ici servent à prévoir chacune de ces deux variables binaires. Définissons vigueur_{ij} comme une variable binaire prenant la valeur de 1 si l'arbre j de la placette i est vigoureux ou 0 dans le cas contraire. De la même façon, définissons sciage_{ij} comme une variable binaire prenant la valeur de 1 si l'arbre j de la placette i est de potentiel sciage ou 0 dans le cas contraire.

À partir de ce contexte, on peut présumer que $\text{vigueur}_{ij} \sim \text{Bernoulli}(\pi_{\text{vigueur},ij})$ et $\text{sciage}_{ij} \sim \text{Bernoulli}(\pi_{\text{sciage},ij})$. Les probabilités $\pi_{\text{vigueur},ij}$ et $\pi_{\text{sciage},ij}$ peuvent donc être estimées par des régressions logistiques utilisant une fonction de lien logit :

$$[1a] \quad \pi_{\text{vigueur},ij} = \frac{e^{x_{\text{vigueur},ij} \beta_{\text{vigueur}}}}{1 + e^{x_{\text{vigueur},ij} \beta_{\text{vigueur}}}}$$

$$[1b] \quad \pi_{\text{sciage},ij} = \frac{e^{x_{\text{sciage},ij}\beta_{\text{sciage}}}}{1 + e^{x_{\text{sciage},ij}\beta_{\text{sciage}}}}$$

où $x_{\text{vigueur},ij}$ et $x_{\text{sciage},ij}$ sont deux vecteurs contenant des variables explicatives et β_{vigueur} et β_{sciage} sont deux vecteurs de paramètres dont les valeurs sont inconnues.

À partir des observations recueillies dans les dispositifs de recherche de la DRF en 2005 et 2006, différentes variables explicatives ont été testées dans chacun de ces modèles. Outre la classe MSCR, le diamètre à hauteur de poitrine (dhp, 1,3 m) et l'espèce ont été retenus dans ces deux modèles. Le tableau 1 présente un sommaire des données utilisées pour étalonner ces modèles.

Tableau 1. Nombre d'observations utilisées pour étalonner les modèles de correspondance entre les vigueurs I,II,III,IV et les priorités de récolte MSCR par espèce et classe de dhp

Espèce	dhp (cm)				
	9,1-19,0	19,1-29,0	29,1-39,0	39,1-49,0	≥49,1
Bouleau jaune	604	807	612	220	102
Érable à sucre	3681	2295	1376	680	344
Hêtre à grandes feuilles	981	366	232	73	16

Le dernier modèle considéré dans cette approche est le modèle de mortalité proposé par Fortin et al. (2008). Tout comme dans les modèles précédents, nous pouvons définir mort_{ij} comme une variable binaire prenant la valeur de 1 si l'arbre j de la placette i meurt durant une période de 5 ans ou 0 s'il survit. Cette variable est binaire, de sorte que l'on peut présumer que $\text{mort}_{ij} \sim \text{Bernoulli}(\pi_{\text{mort},ij})$. À l'aide d'une regression logistique utilisant une fonction de lien log-log complémentaire, on peut définir un modèle statistique :

$$[2] \quad \pi_{\text{mort},ij} = 1 - e^{-e^{x_{\text{mort},ij}\beta_{\text{mort}} + b_{1,i} + b_{2,i}}}$$

où $\mathbf{x}_{\text{mort},ij}$ est un vecteur de variables explicatives, $\boldsymbol{\beta}_{\text{mort}}$ est un vecteur de paramètres dont la valeur est inconnue et $b_{1,i}$ et $b_{2,i}$ sont deux effets aléatoires reliés à la placette de sorte que $b_{1,i} \sim \text{Normale}(0, \sigma_1^2)$ et $b_{2,i} \sim \text{Normale}(0, \sigma_2^2)$.

À partir des données des dispositifs de jardinage de la Direction de la recherche forestière, différentes variables explicatives ont pu être testées : l'espèce, le dhp, la vigueur (2 catégories, selon Majcen *et al.* 1990), le potentiel de sciage¹ (2 catégories), le traitement (2 catégories), la température annuelle moyenne pour la période 1971-2000 et la durée de l'intervalle de temps, soit 5 ans.

Simulations

Afin d'estimer les taux de mortalité associés aux classes MSCR, nous avons utilisé une approche Monte Carlo. Prenons une tige de classe « M » qui évolue dans certaines conditions de peuplement. Les modèles (1a) et (1b) permettent d'estimer les probabilités que cette tige soit vigoureuse et qu'elle ait un potentiel de sciage. Si l'on tire au hasard deux nombres aléatoires uniformément distribués sur l'horizon [0,1] et que ces nombres sont plus petits que les probabilités calculées, la tige est donc vigoureuse et a un potentiel de sciage. Dans le cas contraire, la tige peut être non vigoureuse, mais de potentiel sciage, non vigoureuse sans potentiel de sciage ou vigoureuse sans potentiel de sciage. Une fois ces valeurs établies, le modèle de mortalité (2) est utilisé pour prévoir la probabilité que cette tige meurt au court d'un intervalle de 5 ans. Pour simuler les effets aléatoires de placette, on tire d'abord deux nombres aléatoires normalement distribués avec une moyenne de 0 et des variances σ_1^2 et σ_2^2 . Ensuite, la probabilité de mortalité est calculée. On tire un nombre aléatoire uniformément distribué sur l'horizon [0,1]. Si le nombre est plus petit que la probabilité, l'arbre meurt. Dans le cas contraire, il survit. En répétant ce processus un très grand nombre de fois, on reproduit la variabilité

¹ Une tige possède un potentiel de sciage lorsqu'elle comprend au moins une bille d'une longueur minimale de 6 pieds (1,8 m) sans défaut majeur, et comprenant 1 face exempte de tout défaut affectant les débits clairs. La dite bille est située n'importe où sur le tronc ou sur une branche principale.

naturelle des processus impliqués. La probabilité de mortalité moyenne pour cet arbre de classe « M » est alors obtenue en calculant la moyenne des $mort_{ij}$ simulés.

Dans le cas présent, nous avons simulé des tiges des classes « M », « S », « C » et « R » dans différentes conditions. Premièrement, nous avons présumé que le peuplement était un peuplement traité à dominance d'érable à sucre, de bouleau jaune et de hêtre à grandes feuilles. Deuxièmement, des simulations ont été réalisées pour trois espèces : l'érable à sucre, le bouleau jaune, le hêtre à grandes feuilles. Troisièmement, nous avons fait varier trois variables qui interviennent dans la prévision de la probabilité de mortalité :

- la surface terrière (2 niveaux : 16 et 24 m²ha⁻¹);
- la température annuelle moyenne (2 niveaux : 2 et 3°C);
- le dhp (8 niveaux : 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 et 40 cm).

Pour chacune des combinaisons de ces variables, une simulation Monte Carlo a été réalisée en utilisant 5000 itérations afin d'estimer la probabilité de mortalité.

Résultats et discussion

Les résultats des simulations sont présentés sous forme graphique à la figure 1. On constate que les probabilités de mortalité associées aux différentes catégories de la classification MSCR vont dans l'ordre suivant : « M » > « S » > « C » > « R ». Les tiges qui évoluent dans des conditions de température annuelle moyenne plus élevées et combinées à des conditions de faible surface terrière ont des probabilités de mortalité plus élevées. Pour le bouleau jaune et l'érable à sucre, les tiges dont le diamètre est inférieur à 24 cm affichent des probabilités de mortalité plus fortes que celles de plus de 24 cm (Figure 1a,b,d,e,g,h,j,k). En ce qui concerne le hêtre à grandes feuilles, la probabilité de mortalité tend à augmenter avec le diamètre (Figure 1c,f,i,l).

Compte tenu de l'influence des différentes variables explicative (espèce, dhp, surface terrière et température annuelle moyenne) sur la mortalité, nous ne pouvons établir une probabilité de mortalité moyenne pour l'ensemble des tiges de chaque classe. Il est

souhaitable d'utiliser les probabilités associées au contexte dans lequel les tiges évoluent.

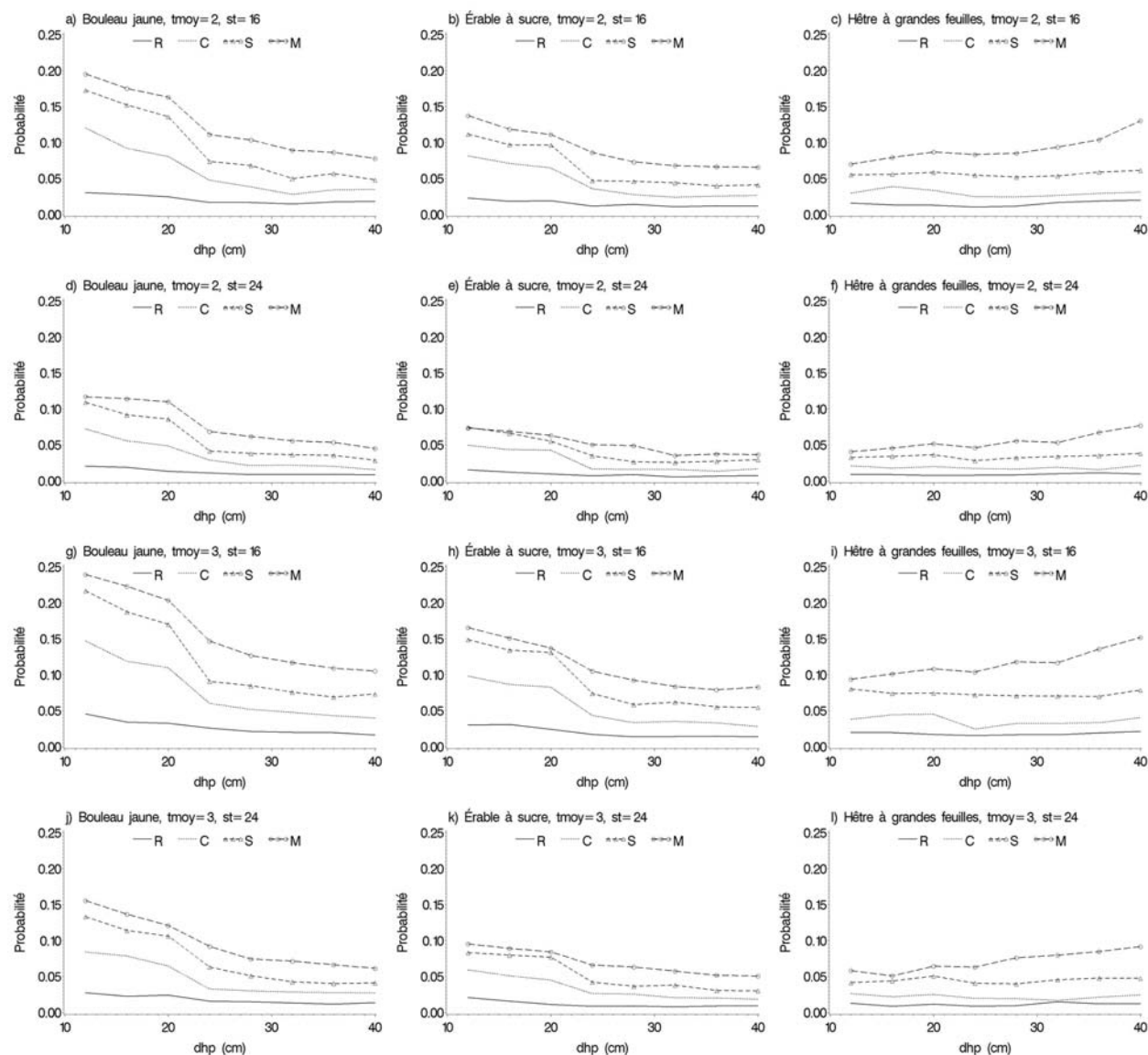


Figure 1. Probabilités de mortalité quinquennale des classes MSCR en fonction du dhp, de la surface terrière et de la température annuelle moyenne pour trois espèces (tmoy : température annuelle moyenne, st : surface terrière)

Les résultats de modélisation présentés reposent sur le postulat que les modèles intervenant dans le processus Monte Carlo sont sans biais. Fortin et al. (2008) ont déjà

démontré que les biais du modèle de mortalité étaient faibles. Toutefois, il est possible que certains biais apparaissent dans des contextes pour lesquels les modèles n'ont pas été évalués.

Les probabilités de mortalité présentées à la figure 1 s'appliquent à des périodes de 5 ans. Prévoir ces probabilités sur des périodes plus longues est plus complexe, du fait qu'il faut faire évoluer les tiges à l'intérieur de la classification MSCR. En effet, on peut raisonnablement supposer que les tiges migrent d'une classe à l'autre. Par exemple, une tige « R » pourrait migrer vers la classe « C » au bout de 5 ans. Ces migrations ont été observées pour les classes I,II, III, IV (Fortin et al., résultats non publiés) mais sont actuellement impossible à prévoir pour les classes MSCR, puisque le suivi de cette dernière classification ne fournit aucune relecture pour l'instant.

Conclusions

Les probabilités de mortalité quinquennale associées aux classes de la classification MSCR ont été estimés par une approche Monte Carlo utilisant une conversion en classes de vigueur I,II,III,IV et un modèle de mortalité basé sur ces classes de vigueur. Les résultats démontrent que les classes MSCR ont bel et bien des probabilités de mortalité différentes qui sont dans l'ordre suivant : « M » > « S » > « C » > « R ». Les probabilités varient en fonction de la surface terrière du peuplement et de la température annuelle moyenne. En conséquence, on ne peut établir une probabilité de mortalité moyenne pour chaque classe, mais plutôt une plage de probabilités.

Les résultats de cette étude reposent sur certains postulats, dont celui de l'absence de biais dans les modèles de conversion et de mortalité. L'utilisation de ces modèles dans des contextes autres que ceux pour lesquels ils ont été conçu pourrait diminuer la fiabilité des résultats. À titre d'exemple, les trois modèles ont été conçus pour des peuplements feuillus à dominance d'érable à sucre, de bouleau jaune et de hêtres à grandes feuilles. Les probabilités présentées sont donc susceptibles de sous-estimer ou surestimer les vraies probabilités de mortalité dans les peuplements mixtes.

Références

BOULET, B. 2007. *Défauts et indices de la carie des arbres*. 2^{ème} édition. Les publications du Québec. 317 p.

FORTIN, M., S. BÉDARD, J. DEBLOIS et S. MEUNIER. 2008. *Predicting individual tree mortality in northern hardwood stands under uneven-aged management in southern Québec, Canada*. Annals of Forest Science 65 (2008) 205.

MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes*. Guide technique. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche appliquée, Québec. Mémoire n° 96. 94 pages.