
UNE APPLICATION DU PROCESSUS DE DÉCISION DE MARKOV AU SECTEUR FORESTIER : RISQUE DE PRODUCTION, DE PRIX ET PERTE DE QUALITÉ¹

Marielle Brunette²

La croissance forestière est un processus de long terme. De ce fait, de nombreux risques menacent le peuplement au cours de sa croissance. Les aléas naturels, tels que les incendies et les tempêtes, sont les plus dommageables. Plus précisément, les tempêtes sont responsables de 53% des dommages forestiers dus aux risques naturels dans les forêts européennes (Schelhaas *et al.*, 2003). Par exemple, en janvier 2009, la tempête Klaus a généré 40 millions de mètres cubes de bois de dommages dans le Sud-Ouest de la France. Le prix de la principale essence endommagée, le Pin maritime, a chuté de 30% après la tempête du fait de la perte de qualité des bois (Nicolas, 2009). La tempête a donc trois conséquences principales : 1) elle génère des chablis (risque de production) ; 2) la quantité importante de chablis mise sur le marché engendre une chute des prix (risque de prix) ; 3) elle réduit la qualité des bois, ce qui amplifie la baisse des prix. Cette triple conséquence de la tempête souligne l'importance des décisions de gestion des propriétaires face à un tel risque.

Des modèles de gestion forestière ont considéré le risque de prix et/ou de production en utilisant différentes approches : programmation dynamique stochastique, Processus de décision de Markov (PDM³), modèle de Faustmann, simulations, théorie des options... Les modèles de gestion forestière reposant sur un PDM ont analysé de nombreux problèmes en situation risquée ou incertaine : changement climatique (Spring *et al.*, 2005a ; 2005b), incendie (Spring et Kennedy, 2005; Spring *et al.*, 2008), choix de réserve naturelle (Sabbadin *et al.*, 2007). La gestion forestière optimale avec risque de production et de prix a également été étudiée via un PDM par Lembersky et Johnson (1975), Kao (1982), Teeter et Caulfield (1991), Lohmander (2000) et Pastor *et al.* (2005). Toutefois, ces travaux considèrent les risques de production et de prix comme indépendants alors que, en cas de tempête, ces risques sont liés, le second risque étant une conséquence directe du premier. De plus, ils considèrent un propriétaire forestier neutre à l'égard du risque alors que les préférences face au risque des propriétaires sont un déterminant important des décisions de gestion (Lönstedt et Svenson, 1985; Brunette *et al.*, 2008, 2009). Enfin, à notre connaissance, aucun travail n'a cherché à modéliser l'impact de la baisse de qualité sur la chute des prix. Par conséquent, notre objectif est de contribuer à cette réflexion en proposant un modèle de gestion forestière reposant sur un PDM avec trois hypothèses principales : 1) les risques de production et de prix sont dépendants; 2) le propriétaire forestier présente de l'aversion vis-à-vis du risque⁴; 3) le risque de

¹ Cette note est un résumé d'un article scientifique intitulé 'Optimizing forest management under dependent price and production risks: a Markov decision process approach' et co-écrit avec Jacques Laye et Stéphane Couture.

² Chargé de recherche, Laboratoire d'économie forestière (UMR AgroParisTech – INRA), Nancy

³ Un Processus de décision de Markov est un processus stochastique vérifiant la propriété de Markov selon laquelle les états futurs ne dépendent des états passés que par l'intermédiaire de l'état présent (Bertsekas, 1987 ; Putterman, 1994).

⁴ Un individu a de l'aversion pour le risque s'il préfère l'espérance d'une richesse aléatoire à cette richesse (Cayatte, 2004).

prix est accentué par une baisse de qualité. Dans ce contexte, l'objectif du propriétaire forestier est de maximiser l'utilité inter temporelle de son profit⁵.

La séquence des événements est la suivante :

Stock initial → Récolte + profit → Croissance → Tempête → Stock période suivante

Le propriétaire forestier décide, à chaque période, de sa récolte, ce qui lui procure un profit. Le peuplement croît d'une période à l'autre de façon constante. Le peuplement est exposé à un risque de tempête. Ce risque est représenté par une échelle d'intensité de dommages. A chaque intensité correspond une probabilité de réalisation de l'aléa. La tempête génère des dégâts parmi les arbres sur pieds qui se traduisent par des chablis. Nous déterminons la règle de récolte optimale qui dépend de l'état du stock et de l'aléa. En effet, une des caractéristiques du PDM est de déterminer une règle de récolte optimale fonction du stock et de l'aléa, et non une décision de coupe optimale unique.

Prenons un exemple pour illustrer notre approche. Considérons que le propriétaire forestier est doté d'un stock d'arbres sur pieds de 10 unités. Ce stock croît d'une unité à chaque période, sans pouvoir jamais dépasser 10 unités. La tempête a une intensité comprise entre 0 et 10 générant des chablis entre 0 et 10 unités. Le prix des chablis est plus faible que le prix des arbres sur pieds de 30% (Nicolas, 2009). Le propriétaire a un coefficient d'aversion au risque de 0.5. Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus dans ce contexte :

Stocks sur Pied	Chablis										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	3
5	4	4	2	2	1	1	1	2	2	4	4
6	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3
7	4	3	3	2	2	2	2	3	3	4	4
8	4	3	3	3	3	2	3	3	3	3	4
9	4	4	2	2	2	2	2	2	4	4	4
10	5	3	2	2	2	2	2	2	3	5	5

Pour un stock de bois sur pied de 3 et des chablis de 2, la récolte optimale est de 2. Cette décision optimale consiste donc à laisser un stock d'arbres sur pied de 1. On observe dans ce tableau, que la récolte varie en fonction du niveau de chablis. Ainsi, pour les niveaux de chablis les plus faibles (0 et 1) et les plus élevés (9 et 10), la récolte est plus importante. Lorsque la tempête génère peu de chablis, le propriétaire doit récolter davantage d'arbres sur pied pour parvenir à un certain niveau de revenu. De la même façon, lorsque les chablis sont importants, leur prix est faible, et donc le propriétaire doit récolter plus d'arbres sains pour atteindre un certain revenu.

Partant de cet exemple, nous réalisons des analyses de sensibilité sur certains de nos paramètres, le risque tempête et l'aversion au risque.

⁵ En économie, l'utilité est la représentation numérique d'une relation de préférence (Barbera *et al.*, 2004).

Dans un premier temps, nous nous demandons quel est l'effet d'un changement de risque sur la règle de récolte. Pour cela, nous considérons une distribution de probabilités pour laquelle la probabilité d'absence de chablis diminue alors que les autres probabilités augmentent. Nous observons l'existence d'un seuil en termes de stock d'arbres sur pied. En fonction de ce seuil, nous constatons deux tendances différentes. Pour les niveaux inférieurs à ce seuil, l'accroissement de risque n'a pas d'effet sur le niveau de récolte du propriétaire alors que pour les niveaux de stock d'arbres sur pied supérieurs à ce seuil, plus le stock augmente plus le propriétaire récolte. Ainsi, la hausse du risque n'accroît pas systématiquement la récolte, cela dépend du stock d'arbres sur pied disponibles.

Dans un deuxième temps, nous observons l'impact d'un accroissement de l'aversion au risque du propriétaire sur sa décision de récolte. Nous montrons que plus l'aversion au risque du propriétaire augmente, moins il récolte. En effet, le fait de récolter réduit le stock de bois disponible au début de la période suivante et de ce fait, réduit l'utilité inter temporelle du profit. Le propriétaire, souhaitant lisser son utilité dans le temps, récoltera donc moins.

En conclusion, nous développons un modèle de gestion forestière basé sur un PDM en présence de risque tempête et dégageons la règle de récolte optimale. Nous montrons que: 1) en fonction du stock d'arbres sur pied, une hausse de risque peut se traduire soit par une absence d'effet sur la récolte soit par une hausse de la récolte; 2) accroître l'aversion au risque génère une réduction de récolte. Ce travail pourrait être étendu en considérant la possibilité de stockage par le propriétaire, ce qui aurait tendance à réduire la baisse de prix consécutive à la tempête. Il serait également intéressant de considérer, en plus, une décision relative à la couverture du risque, par exemple une décision d'assurance.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) BARBERA S., HAMMOND P.J. et SEIDL C. 2004. – Handbook of Utility Theory, Kluwer Academic Publisher, Boston, 1310p.
- (2) BERTSEKAS D.P., 1987. – Dynamic Programming: Deterministic and Stochastic Models. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA, 376p.
- (3) BRUNETTE M., CABANTOUS L., COUTURE S. et STENGER A., 2008. – Insurance demand for Disaster-type Risks and Attitudes towards Risk and Ambiguity: an Experimental Study. Cahiers du LEF n°2008-05.
- (4) BRUNETTE M., CABANTOUS L., COUTURE S. et STENGER A., 2009. – Assurance, intervention publique et ambiguïté : une étude expérimentale auprès de propriétaires forestiers privés. Economie et Prévision, **190-191**(4-5), 123-134.
- (5) CAYATTE J.L. 2004. – Introduction à l'économie de l'incertitude. Ed. de Boeck, Bruxelles, 399p.
- (6) KAO C. 1982. – Optimal stocking levels and rotation under risk. Forest Science, **28**, 711-719.
- (7) LEMBERSKY M.R. et JOHNSON K.N. 1975. – Optimal policies for managed stands: an infinite horizon Markov Decision Process approach. Forest Science, **21**(2), 109-122.
- (8) LOHMANDER P. 2000. – Optimal sequential forestry decisions under risk. Annals of Operations Research, **95**, 217-228.
- (9) LÖNNSTEDT L. et SVENSON J., 1985. – Non-industrial private forest owner's risk preferences. Scandinavian Journal of Forest Research, **15**(6), 651-660.
- (10) NICOLAS J.P. 2009. – Les conséquences de la tempête du 24 janvier 2009 dans le Sud-ouest. Rapport d'information déposé en application de l'article 145 du Règlement par la Commission des affaires économiques et présenté par Monsieur Nicolas, Député.
- (11) PASTOR J., SHARP A. et WOLTER P., 2005. – An application of Markov models to the dynamics of Minnesota's forests. Canadian Journal of Forest Research, **35**, 3011-3019.

-
- (12) PUTTERMAN M.L., 1994. – Markov Decision Process. Discrete stochastic dynamic programming, Wiley-Interscience, New York.
 - (13) SABBADIN R., SPRING D.A. et RABIER C.E., 2007. – Dynamic reserve site selection under contagion risk of deforestation. *Ecological Modelling*, **201**, 75–81.
 - (14) SCHELHAAS M.J., NABUURS G.JL. et SCHUCK A., 2003. – Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, **9**, 1620-1633.
 - (15) SPRING D.A. et KENNEDY J.O.S., 2005. – Existence value and optimal timber-wildlife management in a flammable multistand forest. *Ecological Economics*, **55**(3), 365–379.
 - (16) SPRING D.A., KENNEDY J.O.S., LINDENMAYER J.B., MCCARTHY M.A. et NALLY R.M., 2008. – Optimal management of a flammable multi-stand forest for timber production and maintenance of nesting sites for wildlife. *Forest Ecology and Management*, **255**(11), 3857–3865.
 - (17) SPRING D.A., KENNEDY J.O.S. et NALLY R.M., 2005a. – Optimal management of a forested catchment providing timber and carbon sequestration benefits: An australian case study. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, **49**(3), 303–320.
 - (18) SPRING D.A., KENNEDY J.O.S. et NALLY R.M., 2005b. – Optimal management of a forested catchment providing timber and carbon sequestration benefits: Climate change effects. *Global Environmental Change*, **15**(3), 281–292.
 - (19) TEETER L.D. et CAULFIELD J.P., 1991. – Stand density management strategies under risk: Effects of stochastic prices. *Canadian Journal of Forest Research*, **21**, 1373–1379.