

Réduire l'âge d'exploitabilité : une stratégie d'adaptation économiquement acceptable face aux risques induits par la sécheresse ?

par Nathalie Bréda, Marielle Brunette, Inra de Nancy

Quels sont les leviers d'action du sylviculteur pour anticiper les risques accrus de dépérissement ? La réduction de la révolution est parfois évoquée comme une stratégie d'adaptation. Toutefois, les propriétaires forestiers s'interrogent sur l'acceptabilité économique d'une telle modification de sylviculture. Un exercice de simulation sylvicole et économique en climat futur apporte des éléments de réflexion.

La longueur de la période d'investissement, la réversibilité et la plasticité limitée des décisions font de la forêt un cadre prioritaire pour étudier les options d'adaptation. Une forêt plantée aujourd'hui arrivera à maturité pour être exploitée dans 30 à 100 ans, selon l'essence. Même si de nombreuses incertitudes demeurent, les grandes tendances sur l'évolution du climat font consensus dans la communauté scientifique; il semble acquis que le régime des aléas naturels, en particulier des événements extrêmes, sera modifié. Dans ce contexte, de nombreuses actions d'adaptation anticipatives sont préconisées. Le risque de dommages (chablis, mortalité, dépérissement...) résulte de l'exposition d'un peuplement vulnérable à

un aléa climatique. Les stratégies d'adaptation peuvent consister à réduire :

- > l'exposition à l'aléa,
- > l'intensité de l'aléa,
- > la vulnérabilité du peuplement.

La réduction de la révolution est une **stratégie à double objectif** :

- > **diminuer la durée d'exposition du peuplement** aux aléas naturels (tempête, incendie, sécheresse...),
- > **réduire la vulnérabilité des arbres** en réduisant leur âge et leur hauteur, ce qui les rend moins sensibles au vent et plus aptes à réagir aux bio-agresseurs et aux aléas climatiques comme les sécheresses.

Toutefois, cela a de nombreuses implications en termes de produits mis sur le marché du bois, de stockage de carbone ou encore de maintien de la fertilité à long terme. Par conséquent, les propriétaires forestiers s'interrogent sur les coûts et bénéfices réels de cette stratégie d'adaptation. L'objectif est d'**apporter des éléments de réflexion, en intégrant le risque de perte de production et de dépérissements induits par la sécheresse, pour l'évaluation du bilan économique d'une réduction de la révolution.**

Contexte et problématique

Notre étude porte sur le douglas, une essence à vocation de production de bois. La productivité du douglas est fortement dépendante du bilan hydrique du sol¹⁾. Une étude de dépérissements avec des mortalités de douglas, menée dans le cadre du projet DRYADE²⁾ montre que le **douglas est vulnérable aux sécheresses extrêmes et/ou récurrentes deux années de suite**³⁾. D'autres recherches

- 1) A.-S. Sergent et N. Bréda, Forêt-entreprise n° 208, janvier 2013, pp. 19-23.
- 2) Forêt-entreprise n° 209, mars 2013, pp.49-56.
- 3) A-S Sergent, N. Bréda et L.-M. Nageleisen, Forêt-entreprise n° 208, janvier 2013, pp.16-18.

Adaptation au changement climatique, quelques précisions

Selon le GEDD ([Conseil économique pour le développement durable](#)), l'adaptation regroupe « l'ensemble des évolutions d'organisation, de localisation et de techniques que les sociétés devront opérer pour limiter les impacts négatifs du changement climatique et en maximiser les effets bénéfiques ».

L'**adaptation** consiste à s'adapter aux conséquences des problèmes qui se manifestent. Cela se traduit notamment par la sélection de nouvelles variétés forestières mieux adaptées aux futures conditions climatiques et par la garantie, lors du renouvellement des peuplements, de la plus grande diversité génétique possible (PNACC, 2011-2015).

Deux formes d'adaptation peuvent être distinguées. L'**adaptation réactive** consiste à réagir *ex post* aux impacts adverses du changement climatique, lorsqu'ils se produisent. L'**adaptation anticipative**, au contraire, consiste à agir avant que les impacts ne se produisent pour réduire la vulnérabilité à ces impacts et à en limiter les conséquences adverses ou à en tirer des bénéfices nouveaux.



menées dans le cadre du projet CLIMATOR⁴) montrent que **tous les scénarios de climat futur disponibles en France convergent vers une augmentation de l'intensité et de la fréquence des sécheresses**. Ainsi, la probabilité qu'un peuplement subisse une sécheresse susceptible d'induire un dépérissement est également accrue.

S'adapter ou non ? Maintenant ou plus tard ?

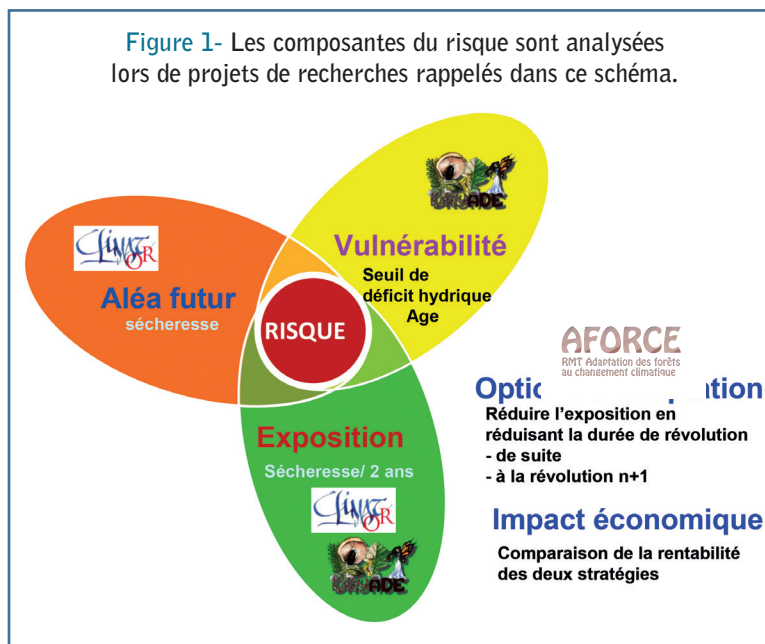
Nous considérons un propriétaire forestier qui gère deux peuplements de douglas en Bourgogne, avec une révolution de 55 ans et qui vient de réaliser une coupe rase. La question de l'adaptation se pose à la plantation car les itinéraires sylvicoles sont différents selon que l'on choisit de planter avec une révolution de 40 ans ou de 55 ans. Les deux peuplements sont géographiquement proches (donc soumis au même climat), mais sont installés sur des sols à réserves en eau contrastées (réserve utile 100 ou 130 mm). Conscient du risque de dépérissement qui affectera sa région, le propriétaire hésite entre trois stratégies parmi toutes celles possibles :

> **stratégie 1 "ne rien changer"** : même itinéraires sylvicoles, replanter du douglas avec une révolution de 55 ans et ceci, pour chacune des révolutions futures ;

> **stratégie 2 "adapter immédiatement"** : replanter du douglas avec une révolution de 40 ans et ceci, pour chacune des révolutions futures ;

> **stratégie 3 "adapter plus tard"** : replanter du douglas à l'identique, avec une révolution de 55 ans ; puis s'adapter au tour suivant, en réduisant la révolution à 40 ans.

Figure 1- Les composantes du risque sont analysées lors de projets de recherches rappelés dans ce schéma.



Probabilité future d'occurrence de l'aléa sécheresse

Pour évaluer le risque de sécheresse sous climat futur, nous retenons un scénario moyen d'émission de gaz à effets de serre (A1B, ni trop optimiste, ni trop pessimiste) et un modèle climatique (Arpège, Météo France). L'incertitude est prise en compte en réalisant les **calculs de bilans hydriques à l'aide de l'outil Biljou⁵** avec 4 réalisations possibles de climat futur régional, de manière à bien représenter l'incertitude climatique régionale. Les calculs sont réalisés pour trois fenêtres temporelles : passé récent (1970-2006), futur proche (autour de 2050) et futur lointain (autour de 2100). Nous obtenons ainsi 4 séries de déficit hydrique du sol de 1970 à 2100.

Pour chacune de ces séries et chaque fenêtre temporelle, **nous calculons ensuite la probabilité d'occurrence de deux sécheresses consécutives susceptibles d'induire un dépérissement de douglas**. Ce seuil de vulnérabilité est établi dans DRYADE. Sur la région Bourgogne et avec le scénario et le modèle climatiques retenus, la probabilité augmente très fortement du passé récent au futur proche, et plus encore en futur lointain. **Cette probabilité d'occurrence est ensuite introduite dans le calcul économique, en utilisant pour chaque fenêtre temporelle la probabilité minimale et maximale obtenue à partir des quatre scénarios de climat futur régionalisé**. Il est à noter que, en région Bourgogne et sous ces 4 scénarios, l'amplitude du changement à la fois dans la demande climatique et dans la pluviométrie est telle qu'elle ne peut être compensée par la seule réserve utile.

L'originalité du projet intègre les composantes du risque pour évaluer le bilan économique d'options d'adaptation agissant à la fois sur la réduction de l'exposition et sur la vulnérabilité.

4) N. Bréda *et al.*, Forêt-entreprise n° 196, janvier 2011, et n° 209, mars 2013.

5) Forêt-entreprise n° 166, janvier 2011.

Cette démarche associe donc des acquis sur les différentes composantes du risque qui sont résumées dans la figure 1.

Analyse économique des stratégies d'adaptation

Le projet consiste ensuite en une **analyse coût-bénéfice de deux itinéraires sylvicoles** pour le douglas, révolution de 55 ans *versus* de 40 ans. Il est à noter que, indépendamment des risques, les deux itinéraires sylvicoles sont proches en termes de bénéfice économique. La réduction de la révolution est synonyme d'une plus grande exportation d'éléments minéraux, ce qui à terme réduit la fertilité du sol et donc impacte la productivité et la rentabilité, en particulier lorsque la fertilité initiale est faible. Un itinéraire en moins de 60 ans est susceptible d'induire cette baisse de fertilité⁶⁾. Par conséquent, pour le peuplement de douglas installé sur un sol à fertilité et réserve en eau faibles, il est introduit dans l'analyse, le coût d'une fertilisation à chaque nouvelle plantation, afin d'assurer à long terme le maintien d'une productivité équivalente.

Pour comparer nos trois stratégies, nous utilisons un critère standard de l'économie forestière, le **Bénéfice Actualisé en Séquence Infini (BASI)**, encore appelé critère de Faustmann (1849). Le BASI permet de comparer des itinéraires sylvicoles de durées différentes en les ramenant à une durée

commune, l'infini. Cela suppose qu'à chaque révolution de n années (40 ou 55 ans dans notre étude), le peuplement suit le même itinéraire sylvicole (travaux et coupes) qu'à la révolution précédente, avec des dépenses et recettes intervenant exactement aux mêmes dates. L'objectif, pour le propriétaire forestier, est de maximiser ce BASI.

Comme indiqué précédemment :

- les modèles climatiques utilisés indiquent que la probabilité de subir une sécheresse durant la prochaine révolution est plus forte qu'au passé récent et plus faible que celle de subir une sécheresse durant les révolutions futures.

- pour chaque fenêtre temporelle, la probabilité minimale et maximale obtenue à partir des quatre scénarios de climat futur régionalisé.

- l'occurrence de l'aléa se traduit par une perte de bénéfice *via* une perte d'accroissement en volume variable de 15 à 40 %⁷⁾ et *via* une mortalité anormale qui amplifie la réduction du volume sur pied à chaque aléa.

Dans ce contexte, nous montrons que **la stratégie qui maximise le bénéfice économique n'est pas toujours celle de l'adaptation immédiate**. Le calcul est en effet très sensible au taux de dommages induits par la sécheresse :

- si l'aléa se produit et génère des **dommages moyens de 15 % du volume**, correspondant à une simple perte de croissance, la stratégie

6) Ranger et Bonneau, 1984.

7) A.-S. Sergent et N. Bréda Forêt-entreprise n° 208, janvier 2013.

Tableau 1- Bénéfices pour deux itinéraires sylvicoles de douglas se différenciant par leur révolution (€/ha). Les itinéraires sylvicoles ainsi que les bénéfices et les coûts associés aux différentes opérations sont fournis par la Société forestière de la Caisse des Dépôts et Consignations et par l'Institut pour le développement forestier.

Opérations (années)	Bénéfices	
	Révolution de 55 ans	Révolution de 40 ans
Coûts de plantation	- 1 915	- 1 915
Maintenance (1)	- 150	- 350
Maintenance (2)	- 200	- 200
Maintenance (3)	- 150	
Maintenance (4)		- 200
Maintenance (5)	- 200	
Maintenance (16)	- 700	
Éclaircie (20)		2 318
Éclaircie (22)	1 344	
Éclaircie (25)		1 676
Éclaircie (29)	1 950	
Éclaircie (30)		2 277
Coupe finale (40)		29 878
Éclaircie (42)	7 179	
Éclaircie (48)	5 058	
Coupe finale (55)	38 372	

Les deux itinéraires sont calculés en considérant la même courbe de prix.

Pour la révolution à 55 ans :

- 1^{re} éclaircie = 22 ans
- 70 m³ sont récoltés, soit 385 arbres avec un volume unitaire de 0,18 m³.
- Prix du bois correspondant à ce volume unitaire = 19,20 €/m³ sur pied.
- Bénéfice : 19,2 x 70 = 1 344 €/ha.

Pour la révolution à 40 ans :

- 1^{re} éclaircie = 20 ans
- 92 m³ sont prélevés, soit 341 arbres avec un volume unitaire de 0,27 m³.
- Prix du bois = 25,20 €/m³
- Bénéfice : 25,2 x 92 = 2 318 €/ha.

Économie forestière, origine et objectif

L'économie forestière est née avec les travaux de Faustmann (1849). L'auteur part du principe que la gestion optimale d'une forêt nécessite de connaître au préalable la valeur de cette forêt. Selon lui, cette valeur est composée de deux éléments : la valeur de la terre et la valeur du peuplement. L'idée de Faustmann est de considérer la forêt comme un actif financier permettant de dégager des revenus et qui serait géré sur un horizon temporel infini. Il applique ainsi le principe d'actualisation au problème de gestion forestière. Il définit la valeur de la forêt comme la somme infinie des revenus nets futurs actualisés, appelé communément le BASI (Bénéfice Actualisé en Séquence Infini). La formule du BASI est :

$$\sum_{i=0}^{\infty} \frac{R_i - D_i}{(1+r)^i} \times \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

R = recettes,
D = dépenses,
r = taux d'actualisation.

De ce raisonnement à l'infini, Faustmann déduit une règle de gestion permettant de déterminer l'âge optimal d'exploitabilité d'un peuplement. Ainsi, l'âge optimal de coupe correspond à l'âge du peuplement pour lequel le propriétaire forestier est indifférent entre couper aujourd'hui et placer l'argent de la récolte ou repousser la récolte d'une période.

gagnante consiste à ne pas s'adapter ; l'adaptation immédiate est la moins intéressante en termes de bénéfice économique.

- pour un **dommage supérieur à 30 % du volume**, l'adaptation immédiate domine les deux autres stratégies.

Ceci suggère que **la réduction de la révolution pourrait être un outil d'adaptation pour les peuplements les plus vulnérables**. Nous en avons étudié en Bourgogne après 2003-2006, où une réduction de croissance attribuée à la sécheresse de 40 % a été observée.

La démarche utilisée permet d'évaluer le poids relatif des stratégies d'adaptation, de l'incertitude climatique et de la station (réserve utile, fertilité) sur le BASI. Nos calculs montrent que ce critère économique est en premier lieu sensible à l'incertitude climatique. Le second levier, qui impacte le bénéfice, est la stratégie d'adaptation. Enfin, en Bourgogne et avec le scénario climatique utilisé, l'augmentation de la probabilité de sécheresse est telle que la réserve utile du sol ne peut atténuer significativement le risque de dépérissement : le BASI est donc ici très peu sensible à ce paramètre. En résumé, l'incertitude climatique se propage dans les modèles d'impacts biophysiques, puis les modèles économiques et donc jusqu'à la prise de décision d'action d'adaptation.

Conclusion

En conclusion, sous les hypothèses de climats futurs, d'itinéraires sylvicoles et de coûts utilisés dans cet exercice, il apparaît que **la réduction de la révolution pour adapter les peuplements de douglas aux futurs risques induits par les sécheresses peut s'avérer une option économiquement acceptable, à condition que les dommages potentiels soient élevés**. Ceci est le cas dans les peuplements à fort capital sur pied, en retard

d'éclaircie, ou encore soumis à des dommages phytosanitaires.

L'approche multidisciplinaire adoptée pour ce projet pilote initié par le RMT Aforce pourrait être développée comme outil d'aide à la décision pour comparer des options d'adaptation pour faire face aux risques futurs. Le raisonnement pourrait s'étendre à d'autres régions de production où la probabilité d'occurrence de l'aléa serait moins élevée sous climat futur, à d'autres options d'adaptation (sylviculture claire, substitutions d'essences...). Il serait aussi envisageable d'étendre les calculs à d'autres aléas (vent, ravageurs...) à condition d'être capable de calculer leurs probabilités d'occurrences futures et de connaître les seuils de vulnérabilité. L'évaluation économique des options d'adaptation face aux évolutions possibles du climat doit être développée en collaboration étroite avec les sylviculteurs, la filière et les communautés du climat et de l'impact (écologues et écophysologistes). Comme indiqué par Yousefpour *et al.*, (2012), « Les études futures devraient tenter de créer le pont entre les modèles écologiques et économiques afin d'aider les décideurs [...] ». ■

Résumé

Le projet étudie deux peuplements de douglas (contrastés en termes de réserve en eau du sol, mais soumis au même climat) dans un contexte de changement climatique où le risque de sécheresse est accru. La réduction de la révolution est évaluée comme stratégie d'adaptation de la conduite du douglas face au risque de dépérissement. Sous les hypothèses de l'étude, le propriétaire forestier a intérêt économiquement à ne pas s'adapter si les dommages potentiels dus à la sécheresse sont inférieurs à 15% du volume. Au-delà, l'adaptation s'avère préférable.

Mots-clés : sécheresse, douglas, rotation, adaptation, changement climatique, BASI.

Remerciements

Nous remercions le RMT AFORCE pour son rôle dans l'émergence puis le financement de ce projet. Nous remercions l'IDF et la Société forestière de la CDC qui ont fourni les données relatives aux deux itinéraires sylvicoles (coûts et bénéfices). Nous remercions également Abdoulaye Sacko pour le travail économique réalisé dans le cadre de son stage de Master 2.

Bibliographie

- Faustmann M., 1849. *Berechnung des Wertes, zehen Waldboden, sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen*, Allgemeine Forstund Jagdzeitung, Frankfurt a. M., 285-295. [Traduit en français par Jean Maheut, *Calcul de la valeur que possèdent, du point de vue de l'économie forestière, les sols forestiers ainsi que les peuplements non encore exploitables*. ENGREF Nancy, 36 p].
- Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, 2011-2015. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 187 p.
- Ranger J., Bonneau M., 1984. *Effets prévisibles de l'intensification de la production et des récoltes sur la fertilité des sols de forêt. I. Le cycle biologique en forêt*. Revue Forestière Française, XXXVI, 2 : 93-112.
- Yousefpour R., Jacobsen J.-B., Thorsen B.-J., Meilby H., Hanewinkel M., Oehler K., 2012. *A review of decision-making approaches to handle uncertainty and risk in adaptive forest management under climate change*. Annals of Forest Science 69(1):1-15.