



HAL
open science

Intérêt de l'exploitation par câble aérien en plaine : analyse économique à l'échelle du cycle sylvicole du chêne

Hanitra Rakotoarison, Didier Pischedda, Martin Delsart, Noémie Pousse,
Erwin Ulrich

► To cite this version:

Hanitra Rakotoarison, Didier Pischedda, Martin Delsart, Noémie Pousse, Erwin Ulrich. Intérêt de l'exploitation par câble aérien en plaine : analyse économique à l'échelle du cycle sylvicole du chêne. *Rendez-vous Techniques de l'ONF*, 2023, 77, pp.23-32. hal-04028150

HAL Id: hal-04028150

<https://hal.science/hal-04028150>

Submitted on 14 Mar 2023

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.

Intérêt de l'exploitation par câble aérien en plaine : analyse économique à l'échelle du cycle sylvicole du chêne

D'un point de vue économique, dans quelle mesure l'exploitation par câble aérien impacte-t-elle (ou pas) le bilan de la sylviculture par rapport au système terrestre classique ? Au-delà du bilan de chantier immédiat, l'analyse doit évidemment prendre en compte l'ensemble des coûts directs et indirects, incluant les effets de long terme. Exemple d'analyse sur la sylviculture du chêne.

La préservation des sols est un enjeu majeur de la gestion forestière durable, et c'est d'ailleurs un des axes forts de la politique environnementale de l'ONF. Avec les effets du changement climatique, cet enjeu revêt un caractère encore plus aigu. Or malgré les efforts importants des vingt dernières années pour diminuer les impacts du système terrestre de mobilisation des bois (implantation de réseau de cloisonnements d'exploitation, définition de seuils de sensibilité, conditions de praticabilité...), certaines difficultés demeurent (ou émergent), avec des conséquences pour la vitalité des peuplements.

Des sources d'améliorations existent cependant et l'utilisation du câble aérien en plaine en fait partie. Mais il est souvent écarté pour cause de surcoût immédiat alors qu'il peut permettre de sortir des volumes de bois importants sans risquer la dégradation des cloisonnements même si le taux d'humidité du sol est élevé.

Il est donc nécessaire de faire une analyse économique de notre sylviculture, ici pour le chêne, en considérant l'ensemble des coûts y compris des coûts et pertes évités sur le long terme à l'échelle de la vie d'un peuplement.

Problématique

La comparaison des différents systèmes d'exploitation se fait classiquement sur des éléments technico-économiques immédiats, en établissant au besoin des typologies de chantier selon les caractéristiques de peuplements (et coupes), mais sans vision de long terme. Or le tassement des sols lié au système d'exploitation terrestre a des répercussions sur la productivité des peuplements.

■ État des connaissances sur les effets du tassement du sol pour les peuplements

Une première méta-analyse réalisée par Ampoorter et al. (2011) a montré que les effets du tassement du sol sur la régénération forestière sont significatifs et négatifs pour les sols limoneux. Dans une méta-analyse plus large, Mariotti et al. (2020) montrent que la biomasse produite diminue de 20% pour une compaction modérée (augmentation de densité apparente de 0.2 g cm⁻³), et ceci est observé pour tous les types de sol.

Le chêne est l'une des essences à plus grande valeur économique en France mais cette essence est sensible aux problèmes de tassement du sol. Sur les sites de suivi à long terme des effets du tassement (Pousse et al., même numéro), les plantations de chêne sessile sur sols limoneux compactés (1 aller-retour d'un porteur de 20t en charge) connaissent un taux de mortalité au mieux équivalent à celui des témoins sur sol non perturbé (débardage par câble-mât) et qui peut aller jusqu'au double. En effet, le tassement empêche l'eau de s'infiltrer verticalement ce qui peut créer des conditions temporairement favorables ou défavorables à l'installation des jeunes plants en fonction des précipitations printanières. Cependant les plants sur sol tassé ont une croissance en hauteur moindre (- 8 à -20 %) quelles que soient les conditions climatiques initiales de croissance, et la différence se maintient à court terme (+ 11 ans après tassement), sachant qu'on n'a pas encore le recul pour la suite (Pousse et al., même numéro). Les chênes ont également une circonférence et un volume moindres sur sol tassé par rapport au témoin, de respectivement 10 à 20% et 21 à 42%.

▲ Système traditionnel ou aérien : besoin d'analyse économique approfondie

Au début des années 2000, en forêt domaniale de Bellême (60), il a été décidé d'exploiter au câble les coupes de régénération de la parcelle 5, une belle chênaie sur sol limoneux très sensible, pour pouvoir conduire rapidement le renouvellement sans causer de dégâts au sol ni aux semis. Le fait de pouvoir prélever plus de volume sans dégât à chaque intervention devait permettre de réduire de moitié (au moins) la durée de renouvellement de cette parcelle. Cette opération « pionnière » devait aussi documenter la comparaison technico-économique entre système d'exploitation traditionnel et câble aérien dans ce type de contexte.

Ainsi, entre 2008 et 2014, la coupe d'ensemencement et 2 coupes secondaires ont été exploitées par câble aérien, en bois façonnés (mais la définitive a dû être réalisée au tracteur, vu le peu de tiges à sortir). Les houppiers ont quant à eux été sortis au porteur en été, sur sol bien sec, pour ne pas pénaliser la productivité du câble. Le service local a été très vigilant sur cette tâche qui, si elle avait été réalisée dans de mauvaises conditions, aurait compromis tout l'intérêt du câble en matière de préservation des sols. Le tableau 1 récapitule les éléments de comparaison technique présentés à l'issue des exploitations.

D'autres chantiers ont eu lieu à la même époque et depuis dans d'autres forêts, en particulier les quatre chantiers réalisés au premier semestre 2022 (voir dans ce numéro l'article sur les retours d'expérience). Ils ont permis de confirmer et d'étoffer les données de comparaison technico-économique. Nous nous en tenons donc pour les coûts aux données récentes.

En ce qui concerne le système aérien, ce sont les prix de bûcheronnage manuel et débardage par câble constatés sur les chantiers de 2022 pour les coupes d'amélioration et

de régénération (tableau 2). Pour le système classique, les prix moyens (abattage manuel + débardage) sont à la même période de 20 à 22 €/m³ en amélioration et 18 à 20 €/m³ en régénération.

	Système d'exploitation "traditionnel"	Système d'exploitation
Abattage / Façonnage	Manuel	Manuel
Engin	Débusquage des grumes au tracteur forestier "classique"	Débusquage des grumes au câble-mât
Réseau de cloisonnements d'exploitation	Cloisonnements de 4 mètres de large, espacés tous les 20 mètres	Les lignes de câble sont placées dans les cloisonnements existants, espacées de 80 mètres, soit 1 cloisonnement sur 4.
Volume prélevé par coupe	Environ 100 m ³ /ha. Au-delà de 100 m ³ /ha, la sollicitation est trop forte pour le réseau de cloisonnements qui se dégrade	Environ 200 m ³ /ha
Durée de la régénération = de la coupe d'ensemencement à la coupe définitive	15 - 20 ans	6 - 8 ans

↑ **Tableau 1.** Éléments de comparaison des deux systèmes d'exploitation -traditionnel ou par câble aérien- pour les coupes de régénération chêne en FD de Bellême.

Type de coupe	Chantier	Volume m ³	Prix de l'abattage €/m ³	Prix de la prestation câble €/m ³	Total €/m ³
Amélioration	FD Bercé 100	170	10	41,5	51,5
	FD Vincence	550	10	37,5	47,5
Moyenne			10	39,5	49,5
Régénération	FD Bercé 120	800	10	27,5	37,5
	FD Chaux 861	654	10	29	39
	FD Chaux 202	824			
Moyenne			10	28,25	38,25
Total		3 000 m³			

↑ **Tableau 2.** Coûts d'exploitation des chantiers de câble réalisés en 2022. Les prix recensés ici montrent une différence entre coupes d'amélioration et coupes de régénération. Ceci est dû principalement à un volume unitaire plus faible en amélioration mais aussi, dans ces deux exemples, à des volumes de chantier plus limités.

Ces données nous montrent que la mise en place d'une exploitation au câble entraîne un surcoût de l'ordre de 15 à 25 euros/m³, ce qui est loin d'être négligeable. Mais la véritable question, en termes économiques, est bien plus large : ce surcoût de l'exploitation par câble (en dépit des avantages techniques) permet-il de maintenir l'intérêt de la sylviculture du chêne sur l'ensemble du cycle de production ?

La difficulté de l'analyse économique vient ici du fait que les effets du tassement des sols sur la croissance des peuplements ne sont pas immédiats mais se manifestent sur le long terme, pour les peuplements actuels et futurs. Nous ne nous intéressons donc pas seulement à la différence de coûts d'exploitation immédiats, qui sont évidemment plus élevés pour le système par câble, mais nous avons cherché à intégrer les effets potentiels du tassement liés au système d'exploitation traditionnel : effets en termes de mortalité juvénile, de baisse de productivité (aggravée par les sécheresses plus fréquentes), et de nécessité d'une réparation des dommages causés par les tracteurs forestiers.

Analyse économique à long terme

Une première analyse économique sur l'ensemble du cycle sylvicole a été esquissée en 2015 à la demande de l'agence d'Alençon, pour approfondir les enseignements des chantiers de Bellême. Nous avons repris et consolidé cette démarche en 2022, d'après les données disponibles dans le système d'information ONF.

■ Méthode d'évaluation

L'indicateur économique le plus adapté en économie forestière dans ce cas de figure est le BASI : bénéfice net actualisé en séquence infinie (formule donnée en annexe). Cet indicateur repose d'abord sur le calcul du bénéfice net actualisé sur une séquence ou sur un cycle sylvicole (BAS). C'est l'équivalent actuel (à l'âge 0 du peuplement) du profit réalisé sur les n années du cycle. Il s'agit de la différence, en valeurs actualisées, entre l'ensemble des recettes et des coûts qui interviennent sur toute la durée du cycle et qui peuvent être des flux monétaires ponctuels ou récurrents.

Description des différents scénarios de l'analyse économique

1. Scénarios de base : Exploitation traditionnelle sans cloisonnement. Étant donnée l'incertitude des impacts, nous avons défini plusieurs hypothèses :

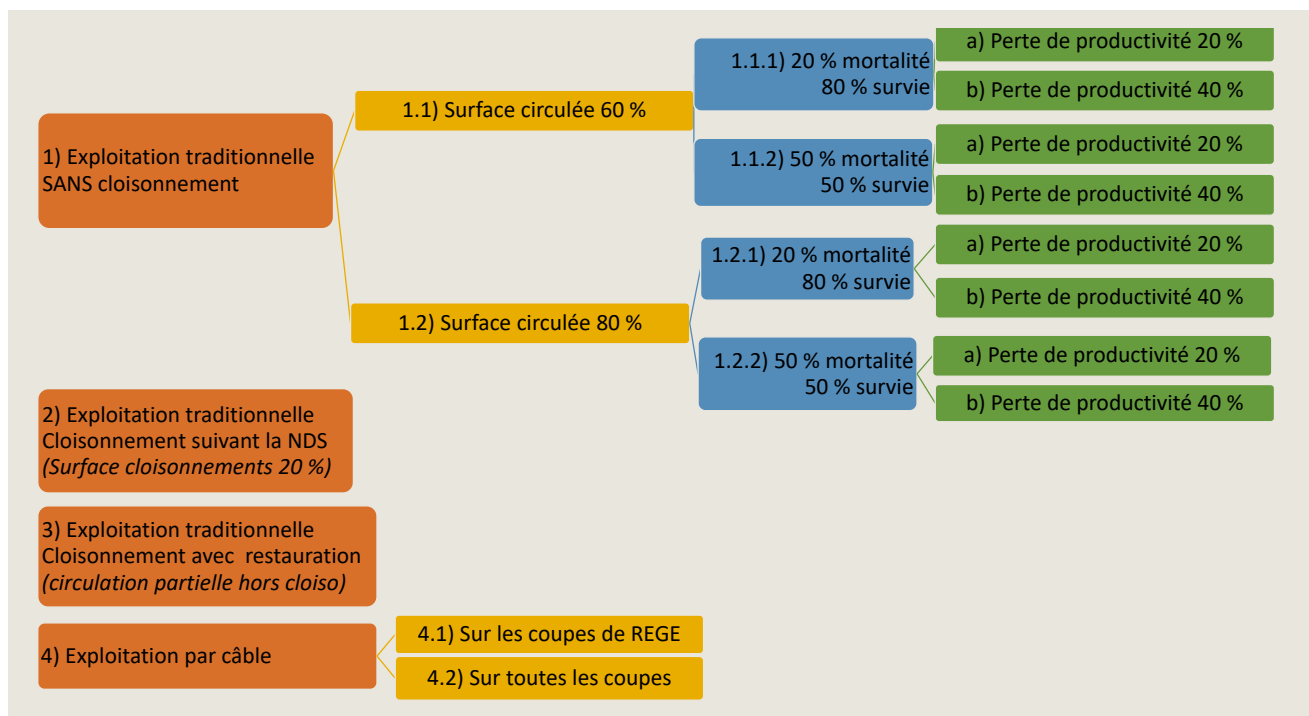
- 1.1. 60% de la surface parcellaire circulée au cours de l'ensemble du cycle.
Une proportion de 40% a été observée pour des chantiers non cloisonnés (Cacot, 2001). On émet l'hypothèse que les 40% circulés pour chacun des chantiers successifs représentent un cumul de 60 % de la surface. Sur cette surface, on aura 20 % de mortalité pour le scénario 1.1.1 (cf. Goutal-Pousse *et al.*, 2014), et 50% pour le scénario 1.1.2 (aucun chêne sur les zones les plus circulées). Quant à la productivité des arbres survivants (peuplement restant), elle subit une baisse de 20 % (Mariotti *et al.*, 2020) ou de 40% (Pousse *et al.*, même numéro) respectivement dans les options a et b.
- 1.2. 80% de la surface circulée au cours de l'ensemble du cycle.
Ici, on émet l'hypothèse que les 40% observés sur un chantier aboutissent, en fin de cycle, à 80% de surface circulée (observés en FD de Compiègne, Mohieddine, 2019). Sur cette surface, on aura comme précédemment 20 % (scénario 1.2.1) ou 50% de mortalité (scénario 1.2.2), et les arbres survivants peuvent présenter une perte de productivité de 20 % (option a) ou 40% (option b).

2. Scénario NDS : Exploitation traditionnelle avec circulation des engins seulement sur les cloisonnements et dans des conditions de cloisonnements praticables (sol sec ou gelé), selon les préconisations de la NDS-09-T-297. La mise en place du réseau de cloisonnements entraîne une perte de surface productive d'environ 20 %.

3. Scénario NDS et réparation du sol : Exploitation traditionnelle avec cloisonnement suivant la NDS mais des manquements aux règles de circulation en cas de fortes contraintes (sols jamais secs, risque de rupture de l'approvisionnement...) : les engins circulent alors sur cloisonnements humides, dégradent leur praticabilité et finissent par circuler à côté. D'où la nécessité d'un travail spécifique du sol (décompaction) sur l'ensemble de la parcelle au moment du renouvellement.

4. Scénarios d'exploitation par câble :

- 4.1. **Sur les coupes de régénération seulement :** Exploitation au câble, les lignes de câble étant installées sur des cloisonnements existants et ayant la même fonction. La perte de surface productive (cf. surface des cloisonnements) reste de 20%, la durée de régénération est raccourcie (et diminue d'autant la durée totale du cycle sylvicole) mais le coût d'exploitation est plus élevé.
- 4.2. **Sur toutes les coupes y compris les éclaircies :** Ce dernier scénario, purement théorique, permet de voir l'ampleur des écarts de résultat de ce type de calcul si on veut éviter au maximum les risques. Il entraîne seulement une perte de 3 % de surface productive sur toutes les coupes (Guide PROSOL 2009 chapitre 5 p. 79) mais un coût d'exploitation plus élevé.



↑ **Figure 1.** Scénarios selon l'intensité des effets du tassement du sol et les types d'exploitation (voir le détail en encadré).

Ensuite, le BASI correspond au calcul du BAS en répétant le même itinéraire à l'infini, en considérant que la fin d'un cycle correspond au début d'un autre. Cet indicateur est l'un des plus utilisés en économie forestière car il permet de comparer des itinéraires sylvicoles de durée différente et parce qu'il correspond à la valeur du fonds (sol nu) selon la théorie de Faustmann (Peyron et Maheut, 1999).

Les scénarios d'exploitation retenus pour l'analyse

Le scénario de base est celui du système d'exploitation classique sans restriction de circulation des engins sur la parcelle. Faute de données précises sur les effets du tassement pour le peuplement nous avons formulé pour ce scénario différentes hypothèses de perte de productivité et de mortalité en lien avec le tassement des sols. Ce scénario de base est comparé à trois autres scénarios : celui de l'application stricte de la note de service ONF n° NDS-09-T-297 qui exige la mise en place de cloisonnements d'exploitation et interdit la circulation des engins hors de ces cloisonnements ; un scénario où les dispositions de la NDS n'ont pas pu être pleinement respectées (cloisonnements rendus impraticables) et où un travail de restauration/décompactage est nécessaire ; et enfin un scénario d'exploitation par câble. Les scénarios testés sont synthétisés dans la figure 1 et en encadré (p. 25).

Les données utilisées pour l'analyse

L'analyse des performances économiques respectives des différents scénarios suppose de réunir ou construire les éléments permettant le calcul de tous les coûts et recettes sur l'ensemble d'un cycle sylvicole standard du chêne de qualité. Pour les recettes on a besoin d'une "fonction de prix" et d'un référentiel de prélèvement (en VUM* et volume total) pour chaque coupe du cycle. Pour les coûts, au-delà des coûts d'exploitation déjà évoqués, on se réfère à l'itinéraire technique de travaux sylvicoles (ITTS) habituel.

Prix du bois

Afin d'estimer le prix des bois, nous utilisons les données de ventes de l'ONF disponibles dans la base de données PRODBOIS. Les données des ventes de la direction territoriale Centre-Ouest-Aquitaine (DT COA) ont été utilisées pour être en lien avec les différents chantiers réalisés par câble aérien en plaine dans cette DT ; plus particulièrement les données de vente de bois sur pied (BSP), actuellement les plus nombreuses et qui intègrent de fait le coût de l'exploitation traditionnelle (pour la simulation du scénario câble, il faut alors utiliser les surcoûts estimés).

En filtrant sur les lots BSP de chêne vendus par soumission en DT COA en 2021, nous avons constaté que les prix de vente présentent des variations importantes (Fig. 2) selon le volume unitaire moyen du lot (VUM) mais aussi selon les contraintes environnementales d'exploitation, la concurrence des enchères, le prestige de la forêt, l'homogénéité du lot, la pente...

Pour résumer ces variations, nous avons défini un modèle statistique d'évolution du prix en fonction du volume unitaire moyen du lot (VUM). Ce modèle a la forme d'une équation polynômiale du second degré, qui permet de rendre compte de ce que les prix (le nuage de points de la figure 2) n'évoluent pas globalement de façon linéaire, mais se stabilisent sur les VUM élevés :

$$PU = -11.3VUM^2 + 127.3VUM + 139.1$$

- PU : Prix unitaire du lot (€/m³)
- VUM : Volume unitaire moyen (m³)

L'objectif ici n'est pas d'avoir une fonction de prédiction parfaite des prix mais de pouvoir estimer un prix moyen en fonction du VUM produit par la sylviculture dans cette région.

Coûts des travaux sylvicoles

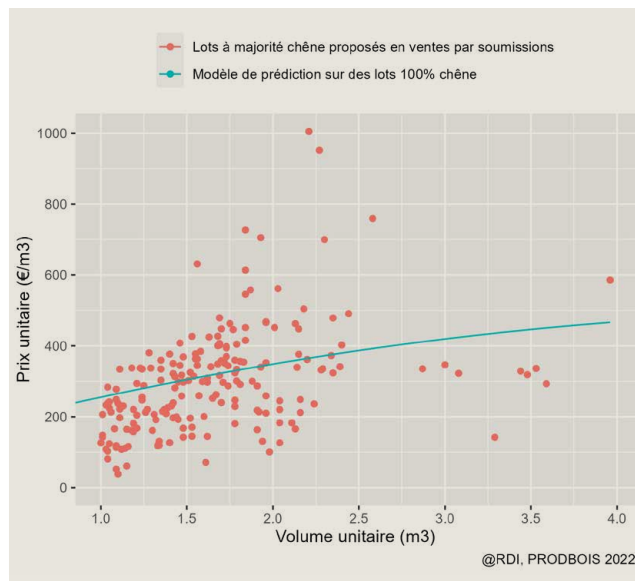
Le calendrier des travaux sylvicoles considérés correspond à l'itinéraire technique de la régénération naturelle et de l'amélioration d'une futaie de chêne préconisé dans le guide de sylviculture de la chênaie atlantique (Jarret, 2004). Les coûts ont été actualisés en 2021 grâce à la base de données TECK et correspondent aux chantiers réellement exécutés de la DT COA. Notons qu'il s'agit des travaux de base uniquement, sans prise en compte des travaux optionnels. Pour la restauration prévue par le scénario 3 (circulation hors des cloisonnements rendus impraticables), le pôle **RENFOR** a évalué (d'après Ulrich et al., 2014) un surcoût de préparation du terrain d'environ 2 000 euros/ha.

Volumes simulés avec le modèle de croissance Fagacées

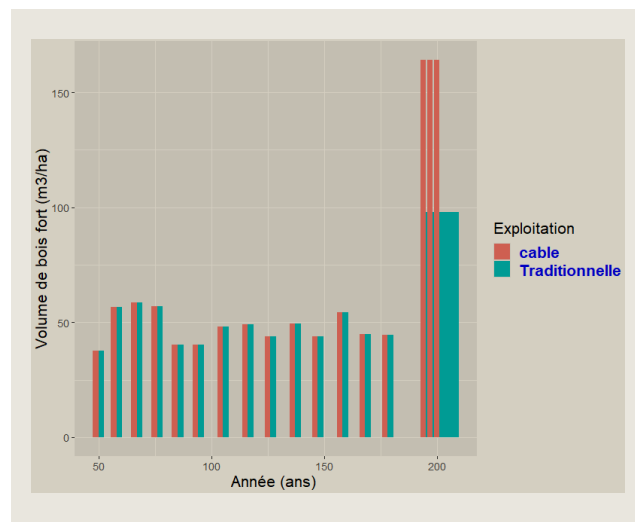
Pour calculer les volumes de bois prélevés à chaque coupe au cours du cycle (et de là les recettes et dépenses correspondantes), la méthode se base sur la simulation de la croissance du chêne en **fertilité 2** (fertilité moyenne) avec le modèle Fagacées (Le Moguédec & Dhôte, 2011).

Ce modèle permet de reconstituer la production d'un peuplement qui serait géré suivant les recommandations du guide de sylviculture de la chênaie atlantique de Jarret (2004).

Pour notre analyse, il est supposé que le volume du peuplement final est enlevé en 3 coupes de régénération seulement avec le câble, contre 5 coupes avec le système traditionnel (Fig. 3).



↑ Figure 2. Évolution du prix du chêne bois sur pied (DT COA - 2021) en fonction du volume unitaire.



↑ Figure 3. Volume de bois selon le type d'exploitation simulé avec le modèle Fagacées (Chênaie atlantique fertilité 2).

Type de travaux sylvicoles	Unité	Coût unitaire (euros/ha)
Travail/préparation de la végétation	HA	854
Création et entretien de cloisonnements	KM	120
Dégagement de régénération Naturelle	HA	742
Nettoyement - Dépressage	HA	1 154

↑ Tableau 3. Coûts moyens par type de travaux sylvicoles (en DT COA).

Résultats

■ Analyse sans prise en compte des risques globaux à long terme

Dans un premier temps, nous faisons l'analyse sans tenir compte des aléas susceptibles d'intervenir au cours d'un cycle sylvicole et au-delà.

Les bénéfices à long terme (BASI) des différents scénarios étudiés (cf. fig. 1 et encadré) sont présentés dans le tableau 4. Les valeurs en elles-mêmes n'ont pas grand intérêt, ce sont surtout les écarts en pourcentage par rapport au scénario par câble (coupes de régénération) qui importent.

Selon ces résultats, l'absence de cloisonnement conduit à des pertes économiques importantes variant entre -3 % et -45 % par rapport au scénario d'exploitation par câble pour les coupes de régénération.

Les pertes les plus sévères correspondent au scénario 1.2.2.b où 80 % de la surface est circulée, avec une mortalité de 50 % du peuplement et perte de productivité de 40 %.

L'exploitation traditionnelle avec cloisonnements strictement respectés (NDS-09-T-297) et l'exploitation par câble pour les coupes de régénération présentent finalement une rentabilité économique assez proche. Mais si les conditions de circulation sur les cloisonnements ne sont pas respectées et imposent des coûts de décompaction du sol impacté, la perte par rapport au câble est de 8 %.

Contre toute attente, c'est l'exploitation par câble de toutes les coupes, avec une faible emprise au sol des lignes de câble (3 % de surface impactée), qui semble être l'option la plus intéressante économiquement sachant que pour l'instant nous n'avons de références que pour des peuplements matures.

Dans tous les scénarios, les bénéfices de la sylviculture du chêne (en chênaie atlantique) restent toujours positifs et élevés (montants du BASI). Ceci vient de ce que la fonction de prix de nos calculs est construite sur les données actuelles, qui bénéficient d'un contexte actuel très favorable aussi bien pour le merrain, le sciage que pour le bois d'industrie ou énergie. Par exemple, le prix du chêne de diamètre 50 cm et plus a triplé entre 2010 et 2022 en forêt publique.

Scénarios évalués avec un taux d'actualisation de 2 % Sans risque économique ou climatique	BASI (euros/ha)	Ecart par rapport au scénario 4.1 par câble (%)
1) Exploitation traditionnelle SANS cloisonnement		
1.1) Surface circulée 60 %		
1.1.1) 20 % mortalité – 80 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	16 384	- 3 %
b) Perte de productivité 40 %	13 438	- 21 %
1.1.2) 50 % mortalité - 50 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	13 542	-20%
b) Perte de productivité 40 %	11 701	-31%
1.2) Surface circulée 80 %		
1.2.1) 20 % mortalité – 80 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	14 508	-14%
b) Perte de productivité 40 %	10 579	-38%
1.2.2) 50 % mortalité - 50 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	12 487	-26%
b) Perte de productivité 40 %	9 344	-45%
2) Exploitation traditionnelle cloisonnement suivant la NDS	17 610	4%
3) Exploitation traditionnelle cloisonnement avec restauration	15 610	-8%
4) Exploitation par câble		
4.1) Sur les coupes de REGE	16 967	0%
4.2) Sur toutes les coupes	18 084	7%

↑ **Tableau 4.** Comparaison des BASI (euros/ha) selon les scénarios évalués sans prise en compte des risques. Voir la description détaillée des scénarios en encadré et Fig. 1 p. 25-26

■ Analyse avec prise en compte des risques globaux à long terme

Dans un second temps, nous faisons une analyse qui prend en compte des risques multiples. En effet, la stabilité de tous les paramètres intégrés dans l'analyse économique au cours du cycle de production du chêne, soit environ 200 ans, est une hypothèse forte et sans doute illusoire.

De nombreuses recherches en économie forestière sont en cours sur ce sujet complexe mais nous choisissons l'approche proposée par Reed (1984), la plus facile à mettre en place, qui consiste à augmenter la valeur du taux d'actualisation (cf. annexe) par un taux de risque. Le taux testé est ainsi de 4 %, ce qui correspond au taux d'actualisation initial de 2 % auquel on ajoute 1 % pour chacune des deux grandes catégories de risques.

La première catégorie est celle des risques relatifs aux événements macroéconomiques liés aux investissements publics : crises économiques, guerre, hausse des prix de l'énergie (Quinet, 2013).

La deuxième est celle des événements destructifs sur les forêts : tempête, sécheresse, incendie... (Rakotoarison et Loisel, 2017 ; Loisel, 2020).

Les résultats sont donnés dans le tableau 5. Ils montrent une grande sensibilité de la rentabilité économique vis-à-vis des risques multiples qui vont s'accroître dans les prochaines décennies.

Cumulés à ces risques de grande envergure (instabilité socio-économique, changement climatique...), les dégâts sur le sol en l'absence de cloisonnement peuvent diminuer la rentabilité de 16 % à 122 % par rapport au scénario d'exploitation par câble pour les coupes de régénération (4.1). La situation où 80 % de la surface est circulée avec une forte mortalité et des pertes de productivité de 40 % aboutit à des bénéfices négatifs : dans ces conditions la sylviculture de chêne n'a aucun intérêt économique.

Là aussi, le scénario exploitation traditionnelle avec cloisonnements strictement respectés (n° 2) et l'exploitation par câble pour les coupes de régénération (n° 4.1) présentent une rentabilité économique assez proche (moins de 1% d'écart).

Le pire scénario, avec un bilan très négatif, est celui où le cloisonnement existant n'a pas pu être respecté (n° 3) et oblige, au moment du renouvellement, à un travail de remise en état du sol des cloisonnements et de décompactation du sol tassé de l'interbande (écart de -245 % !).

Scénarios évalués avec un taux d'actualisation de 4 % Avec risque économique et/ou climatique	BASI (euros/ha)	Ecart par rapport au scénario 4.1 par câble (%)
1) Exploitation traditionnelle SANS cloisonnement		
1.1) Surface circulée 60 %		
1.1.1) 20 % mortalité – 80 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	549,57	-16%
b) Perte de productivité 40 %	111,60	-83%
1.1.2) 50 % mortalité - 50 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	518,53	-21%
b) Perte de productivité 40 %	244,80	-63%
1.2) Surface circulée 80 %		
1.2.1) 20 % mortalité – 80 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	343,76	-47%
b) Perte de productivité 40 %	-240,20	-137%
1.2.2) 50 % mortalité - 50 % survie :		
a) Perte de productivité 20 %	321,68	-51%
b) Perte de productivité 40 %	-145,48	-122%
2) Exploitation traditionnelle cloisonnement suivant la NDS	650,26	-1%
3) Exploitation traditionnelle cloisonnement avec restauration	-950,09	-245%
4) Exploitation par câble		
4.1) Sur les coupes de REGE	654,28	0%
4.2) Sur toutes les coupes	152,73	-77%

↑ **Tableau 5.** Comparaison des BASI (euros/ha) selon les scénarios évalués avec prise en compte des risques. Voir la description détaillée des scénarios en encadré et Fig. 1 p. 25-26

Enfin, le scénario par câble sur toutes les coupes (4.2) devient peu rentable en contexte de risque. Ceci vient de ce que les surcoûts d'exploitation répétés pèsent lourdement sur la rentabilité, d'autant qu'ils interviennent dès les premières éclaircies alors même que la suite du cycle est exposée à des risques climatiques ou économiques.

Discussion et conclusion

Ces évaluations ont été faites de manière prospective pour synthétiser les connaissances scientifiques et techniques et éclairer les prises de décisions actuelles. En effet, nous ne pouvons plus réfléchir à une gestion durable de la forêt sans intégrer les risques multiples susceptibles d'intervenir au cours du cycle sylvicole, de l'installation des peuplements jusqu'à la récolte finale.

Ici, nous avons montré que les effets potentiels du tassement du sol sur le long terme aggravent les effets des aléas d'origine externe à la gestion forestière comme le changement climatique et les crises économiques. Il y a donc un effet en cascade d'impacts à considérer qui justifie du point de vue économique les précautions à prendre pour l'environnement forestier.

Dans les scénarios testés, l'exploitation des coupes de régénération au câble semble être le scénario le plus rentable, malgré un coût de réalisation plus élevé que celui du système d'exploitation traditionnel. Ceci est d'autant plus

vrai que nous n'avons pas pu prendre en compte l'effet négatif du tassement sur la profondeur d'enracinement (-30%, Mariotti et al 2020), qui va augmenter la sensibilité des peuplements aux dérèglements climatiques. Quant aux éventuels travaux de décompaction du sol, ils sont en réalité non seulement coûteux mais peu efficaces car les conditions d'application sont difficiles à contrôler. Les effets observés montrent que la structure du sol se détériore souvent après le travail (compaction et lissage) et elle n'est améliorée que dans un nombre limité de cas. (Vast et al., 2020).

Nos évaluations ont été appliquées au cas de la chênaie atlantique mais nos résultats amènent des conclusions extrapolables à d'autres territoires. En effet, le problème de tassement du sol est observable dans tous les sols forestiers dès que les cloisonnements ne sont pas respectés.

Par ailleurs le prix de la prestation de débardage par câble semble pouvoir diminuer par rapport aux références actuelles de montagne. En effet, les chantiers en plaine sont moins difficiles qu'en montagne et les opérations de montage et démontage des lignes (poste non productif) y sont plus rapides car les déplacements et les transferts d'accessoires y sont plus simples (voir l'article sur les retours d'expérience). De plus, si nous fournissons des chantiers aux entreprises câblistes tout au long de l'année (plaine en hiver, montagne en été), les amortissements seront calculés sur 12 mois et non 6 ou 8, ce qui a un effet direct sur leur coût de revient.



© Nathalie Petrel / ONF

↑ Exploitation au câble en 2010 en FD de Bellême

Concernant les recettes, il y a évidemment des incertitudes sur le marché du chêne à long terme. Si le prix du bois de chêne et la demande augmentent ou diminuent, la rentabilité sera fortement affectée mais cela ne devrait pas modifier le classement des scénarios tel qu'il résulte de nos analyses.

Enfin, tous les effets cumulés des tassements successifs sur le long terme n'ont pas pu être évoqués dans cet article. La qualité du bois, par exemple, est difficile à quantifier. Il n'existe pas de version de modèle de croissance comme *Fagacées*, avec distribution des volumes par qualités, pour des sols endommagés. En l'absence de références bibliographiques sur l'impact du système d'exploitation sur la qualité des bois, nous avons donc considéré que la proportion de chaque catégorie de qualité n'est pas modifiée par le système d'exploitation. Cependant sur le site de suivi à long terme des effets du tassement d'Azerailles, par exemple, une grande partie des plants de chêne de 12 ans sur sol tassé (avec ou sans travaux de décompaction par la suite) étaient fourchus à 1 m de hauteur à cause d'un manque de recru lié au tassement, alors que dans le témoin non perturbé les plants avaient bénéficié du gainage par le recru naturel (Pousse et al., même numéro). Ces arbres fourchus pourraient être éliminés durant les éclaircies à venir, seul un suivi à long terme permettra de connaître l'effet du système d'exploitation sur la qualité des arbres.

De même, la question des ruptures d'approvisionnement des scieries n'a pas été prise en compte. Or des systèmes d'exploitation reposant uniquement sur des engins terrestres sont exposés à de longues périodes de suspension des chantiers lorsque les sols sont trop humides, et la non-disponibilité prolongée du bois peut alors contraindre certaines usines à des semaines de chômage technique par manque de stock sur leurs parcs à bois et donc à un effondrement des prix d'achat des bois.

Nous n'avons pas intégré non plus la valeur des services écosystémiques autres que la production de bois (valeur du carbone, biodiversité, qualité de l'eau...) qui diminueront à mesure que les sols forestiers seront abîmés.

En conclusion, il y a une réflexion approfondie à mener sur ces nouvelles organisations de la mobilisation du bois à faible impact sur le sol. Et le câble est indéniablement une de ces alternatives.

**Hanitra Rakotoarison¹, Didier Pischedda², Martin Delsart¹,
Noémie Pousse³, Erwin Ulrich⁴**
1. ONF-DT SEINO, pôle RDI Fontainebleau
2. ONF-DCBS, expert national exploitation forestière
3. ONF-DT AURA, pôle RDI Chambéry
4. ONF-DFRN, mission adaptation des forêts au changement climatique

RÉFÉRENCES

- Ampoorter E., De Frenne P., Hermy M., Verheyen K., 2011. Effects of soil compaction on growth and survival of tree saplings: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*, vol. 12(5), pp. 394-402
- Cacot E., 2001. Exploitation forestière et débardage : pourquoi et comment réduire les impacts ? *AFOCEL Informations-forêt*, n°4, fiche n°637, 6 p.
- ONF - FCBA, 2009. Guide pratique : Pour une exploitation forestière respectueuse du sol et de la forêt « PROSOL ». 110 p.
- Goutal-Pousse N., Ranger J., 2014. Impacts de la circulation d'un porteur forestier sur deux sols sensibles au tassement et dynamique de leur restauration naturelle. *Rendez-vous techniques*, n° 43, pp. 33-39
- Jarret P., 2004. Chênaie atlantique. Paris: Office national des forêts, Coll. Guide des sylvicultures. 335 p.
- Le Moguédec G., Dhôte J.-F., 2011. Fagacées: a tree-centered growth and yield model for sessile oak (*Quercus petraea* L.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science*, vol. 69(2), pp. 257-269
- Loisel P., 2020. Under the risk of destructive event, are there differences between timber income based and carbon sequestration based silviculture?. *Forest Policy and Economics*, vol. 120, 102269.
- Mariotti B., Hoshika Y., Cambi M., Marra E., Feng Z., Paoletti E., Marchi E., 2020. Vehicle-induced compaction of forest soil affects plant morphological and physiological attributes: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management* vol. 462, 118004, pp 1-9
- ONF, 2009. NDS-09-T-297 - Travaux sylvicoles ou d'exploitation et protection des sols. (Document interne)
- Peyron J.L., Maheut J., 1999. Les Fondements de l'économie forestière moderne : le rôle capital de Faustmann, il y a 150 ans, et celui de quelques-uns de ses précurseurs et successeurs. *Rev. For. Fr.* vol. 51(6), pp. 679-698
- Quinet E., 2013. L'évaluation socioéconomique des investissements publics. Paris : Commissariat général à la stratégie et à la prospective, 354 p.
- Rakotoarison H., Loisel P., 2017. The Faustmann model under storm risk and price uncertainty: A case study of European beech in Northwestern France. *Forest Policy and Economics*, vol. 81, pp. 30-37
- Reed W.J., 1884. The effects of the risk of fire on the optimal rotation of a forest. *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 11(2), pp. 180-190
- Ulrich E.; Becker C.; Franco J.P., 2014. Préparer le sol avant plantation selon la technique "3B" avec tracteur et l'outil Culti 3B® : validation sur chantiers test 2014 - *Rendez-vous techniques de l'ONF*, n° 43, pp. 11 – 21.
- Vast F., Collet C., Koller R., Pousse N., Richter N., 2020. Le profil cultural, une méthode d'observation pour analyser les impacts de la préparation mécanisée sur la structure du sol. *RenDez-Vous techniques de l'ONF* n° 63-64, pp. 57-64



ANNEXE

Formule de calcul du BAS et du BASI

Le **BAS** est exprimé en euros/ha et se calcule par la formule suivante :

$$BAS = \sum_{t=0}^n \left[\frac{p_{BIBE} \cdot V_{BIBE}(t) + p \cdot V(t) - c(t)}{(1+r)^t} \right] + \sum_{t=0}^n \left[\frac{Ra - Ca}{(1+r)^t} \right]$$

où :

t : âge du peuplement, variant de 0 à n .

p_{BIBE} : Prix de la biomasse destinée à l'usage en bois d'industrie (BI) ou en Bois-énergie (BE) déterminé ici par une notion de diamètre¹ (euros/m³).

$V_{BIBE}(t)$: Volume de BIBE enlevé à la coupe (m³/ha), ici assimilé aux volumes de bois de diamètre inférieur à 25 cm.

p : fonction de prix du bois d'œuvre (BO) sur pied qui varie selon les caractéristiques dendrométrique du bois net des coûts d'exploitation (euros/m³).

$V(t)$: volume total de bois fort mobilisé à chaque date de coupe qui dépend de l'âge t du peuplement, de la gestion sylvicole envisagée et de la croissance du peuplement (m³/ha). Ce volume est calculé par les modèles de croissance ou les tables de production disponibles.

La recette en bois est obtenue avec la somme des recettes dans la vente de houppier et de bois fort

$C(t)$: coûts liés aux travaux sylvicoles selon l'âge t du peuplement. Il s'agit d'un coût moyen par ha qui inclut les coûts de la main d'œuvre, des machines ou des intrants,

Ra : Recettes annuelles (non liées aux itinéraires de sylviculture) qui peuvent provenir des recettes autres que le bois : revenu de la chasse, subvention et potentiellement un paiement pour les services écosystémiques ... (euros/ha/an).

Ca : Coûts annuels (hors itinéraires de sylviculture) qui sont des dépenses récurrentes comme les frais de gestion, la taxe foncière, les primes d'assurance, les frais de gardiennage.... (euros/ha/an).

r : taux d'actualisation. Son utilisation est nécessaire car les différentes recettes et coûts n'interviennent pas à la même année. Ici, nous avons fixé ce taux à 2 % comme préconisé par Terreaux (1990).

Le **BASI** se base sur l'hypothèse qu'à la fin d'une rotation, il y en a une nouvelle qui redémarre et la gestion sylvicole peut continuer ainsi à l'infini.

Pour avoir le bénéfice actualisé à séquence infini (**BASI**) exprimée en euros/ha, il faut multiplier le **BAS** par le terme

$$(1+r)^n / ((1+r)^n - 1)$$

ce qui donne :

$$BASI = BAS \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

1 • L'appellation BIBE fait référence à la biomasse provenant des houppiers, des brins, perches et arbres dont le diamètre moyen utilisé ici est en dessous de 20 à 25 cm et supérieur à 7cm.