

EVALUATION FINANCIÈRE DE 30 ANNÉES D'APPLICATION DES PRINCIPES DE GESTION PRO SILVA DANS LES FORÊTS DU DOMAINE D'HAUGIMONT

Gauthier Ligot, Simon Hauser, Charles Debois, Hugues Claessens

INTRODUCTION

La sylviculture Pro Silva aussi appelée “sylviculture proche de la nature” s'est construite en Europe depuis plus de 100 ans (Mason et al., 2022; Schütz, Jean-Philippe, 2011). Cette sylviculture est par ailleurs promue par une association du même nom fondée en 1989 en Slovénie (Schütz, Jean-Philippe, 2011). Les principes de la sylviculture Pro Silva privilégie l'utilisation des processus naturels afin de produire du bois de qualité tout en minimisant les coûts et dans le but de préserver la biodiversité et d'assurer une provision soutenue des différents services écosystémiques forestiers. Des éclaircies sélectives sont régulièrement réalisées afin de récolter du bois tout en maintenant des conditions favorables au développement d'une régénération naturelle diversifiée. Les coupes rases sont évitées (autant que possible). Un couvert continu est donc maintenu à tout moment et le développement d'une structure irrégulière, c.-a.-d. avec des arbres de dimensions et d'âges variés, est favorisé.

Ce traitement, qui s'appuie sur les fondements, encore plus anciens, du traitement des futaies irrégulières, a été fréquemment opposé à celui de la futaie équienne régénérée par coupe rase suivie de plantations (Hanewinkel, 2002; Knoke, 2012). Ce dernier, plus conventionnel, est mieux maîtrisé et documenté. L'évolution théorique de futaies équiennes (souvent monospécifiques) est notamment décrite dans des tables de production (ex. Perin et al., 2016) qui permettent aux gestionnaires de planifier et de définir précisément la nature et l'intensité de chacune des interventions sur un horizon de 50-100 ans. Cette sylviculture, plus industrielle, répond bien à la demande d'une filière bois qui s'y est spécialisée. Par ailleurs, les peuplements gérés avec un sylviculture Pro Silva ont rarement une structure à l'équilibre. Souvent la distribution des diamètres n'a pas la forme d'une exponentielle négative. Par conséquent, la structure et la composition des peuplements évoluent au cours du temps. Etant donné la diversité des situations et sans doute un manque d'études scientifiques, les décideurs disposent à ce jour de très peu d'éléments leur permettant d'évaluer l'impact financier de l'application d'une sylviculture Pro Silva.

Dans la littérature scientifique, la rentabilité du traitement des futaies irrégulières a fait l'objet essentiellement de travaux théoriques. A l'aide de modèles et de simulations, différentes études ont par exemple, identifié le volume sur pied et la structure diamétrique permettant de maximiser la rentabilité (Bare and Opalach, 1988; Buongiorno and Lu, 1990; Pelz, 1977). De nombreuses études ont également comparé, pour une essence donnée, la rentabilité de la gestion des futaies régulières

et des futaies irrégulières (Hanewinkel, 2002; Knoke, 2012). Plus récemment, la rentabilité de la conversion de peuplement régulier en peuplement irrégulier a également été investiguée (Davies and Kerr, 2015; Draper and Froese, 2021; Knoke, 2012; Vítková et al., 2021). Ces travaux suggèrent dans l'ensemble que la productivité en volume des futaies irrégulières est similaire à celles des futaies régulières. Cependant, il semble vraisemblablement que leurs revenus soient légèrement supérieurs étant donné que le traitement des futaies irrégulières permet de produire une plus grande proportion de bois de grandes dimensions et de qualité ; à une réduction des coûts totaux étant donné que la réduction des coûts de régénération ne serait pas compensée par l'augmentation de coûts d'exploitation ; et à la réduction des risques. Néanmoins, ces études reposent sur de nombreuses hypothèses en particulier concernant les risques et les coûts pris en compte. Elles sont par conséquent sujettes à de nombreux défauts remettant en question leur conclusions (Hanewinkel, 2002). Les deux traitements sont en effet très contrastés en termes d'investissement de départ, d'immobilisation du capital, d'étalement des recettes et des dépenses, de risques, de produits bois et de services écosystémiques associés (Hanewinkel et al., 2014). En outre, les deux traitements peuvent être déclinés en un très grand nombre d'itinéraires sylvicoles (modalités de régénération, composition, longueur de la révolution, surface terrière cible, ...). La comparaison de ces traitements n'est pas aisée étant donné qu'elle doit s'envisager à l'échelle de plusieurs dizaines d'années (voire d'une révolution entière pour les peuplements équiennes) tout en prenant compte la multifonctionnalité des forêts, la multiplicité des facteurs affectant la rentabilité et la multiplicité des itinéraires sylvicoles.

Etant donné qu'il est méthodologiquement très difficile de comparer des traitements sylvicoles contrastés (aussi bien avec une approche empirique qu'en utilisant des modèles), il paraît plus opportun d'appliquer une analyse comparative d'étude de cas. Cela consiste à documenter pour des conditions données la production et la rentabilité qu'il est possible d'obtenir. A notre connaissance, cela n'a néanmoins pas encore fait l'objet de publications scientifiques et ces informations se retrouvent peut-être davantage dans la littérature grise (en dehors des circuits habituel d'édition, comme les rapports des administrations et associations). C'est par exemple l'approche poursuivie par l'Association de la Futaie Irrégulière (Bruciamacchie and Tomasini, 2006; Susse et al., 2018) qui recense, pour un réseau de parcelles de taille limitée (5-15 ha), le volume et la nature des bois produits et récoltés ainsi que les revenus et coûts associés. Idéalement, ces données doivent être acquise à plus grande échelle afin de gommer les particularités de chaque peuplement et parce-que de nombreuses données financières ne sont accessibles qu'à cette échelle (frais de gestion, ventes de bois, entretien du réseau de voirie, location de la chasse...).

Afin de contribuer à cet effort de documentation, nous avons dressé le bilan économique de près de 30 années d'application des principes Pro Silva dans la propriété forestière d'environ 300 ha appartenant à l'Université de Namur (UNamur) en Belgique. En compilant des données d'inventaires forestiers et financières (dépenses et recettes), nous avons ainsi quantifié la production de bois et la rentabilité de cette gestion. Afin d'enrichir la discussion, nous avons en outre essayé de relativiser les chiffres obtenus avec ceux qui auraient pu être obtenus si une sylviculture plus conventionnelle à base de résineux avait été appliquée.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude correspond au domaine universitaire forestier de l'UNamur. Ce domaine est situé dans la Commune de Gesves, à 18 km au sud de Namur, dans l'entité de Faulx-Les Tombes, dans le Condroz namurois. La propriété est composée de 5 massifs (Figure 1) qui totalisent une surface de 297 ha. Située à une altitude comprise entre 130 et 277 m, la forêt bénéficie d'un climat sub-océanique avec une température moyenne de 10,1°C et des précipitations annuelles d'environ 883 mm/an généralement bien réparties au cours de l'année. Les sols sont généralement limono-caillouteux et peu profonds (moins de 80 cm). Dans l'ensemble, il s'agit de stations assez fertiles et peu contraignantes pour les spéculations forestières, en particulier, dans les massifs d'Haugimont, Maizeroule et Strud, où l'on retrouve de l'érable sycomore et du frêne. Pour le propriétaire, l'UNamur, cette propriété doit être une source de revenus puisque son acquisition visait à diversifier son patrimoine immobilier. La propriété est également utilisée pour des activités d'enseignements et des activités de recherche. Les premiers massifs ont été achetés fin des années 70 et le dernier en 2006 (Annexe Tableau 6). De 1978 à 2019, la propriété a été gérée par le même gestionnaire.

Au départ, la gestion était conventionnelle. Des coupes rases et des plantations ont notamment été réalisées dans le massif d'Haugimont, de Maizeroule et de Gesves. Il s'agissait de plantations de frêne, de chêne rouge d'Amérique, de chêne pédonculé, de hêtre, d'érable, de merisier, de douglas, de mélèze hybride, de noyers et de peupliers avec différents écartements (1,5x1,5 m, 2x2 m, jusqu'à 5x5 m pour des clones de merisiers et 10x10m pour les clones de peupliers interaméricain). Ces plantations totalisent une surface d'environ 30 ha.

En 1992, soit trois ans après la création de l'association Pro Silva, le gestionnaire constate que les frais de plantations sont très importants et vraisemblablement pas nécessaires car la régénération naturelle est souvent abondante et diversifiée. Il décide dès lors d'appliquer les principes de la silviculture Pro Silva dans tous les massifs et d'avoir recours uniquement à la régénération naturelle (Bille et al., 2013). Après cette date, il n'y a plus eu de plantations. Une exploitation par coupe rase a été exécutée en février 2019 dans six parcelles d'épicéa totalisant une surface de 18 ha dans le massif de Gesves à la suite d'une attaque très sévère de scolytes.

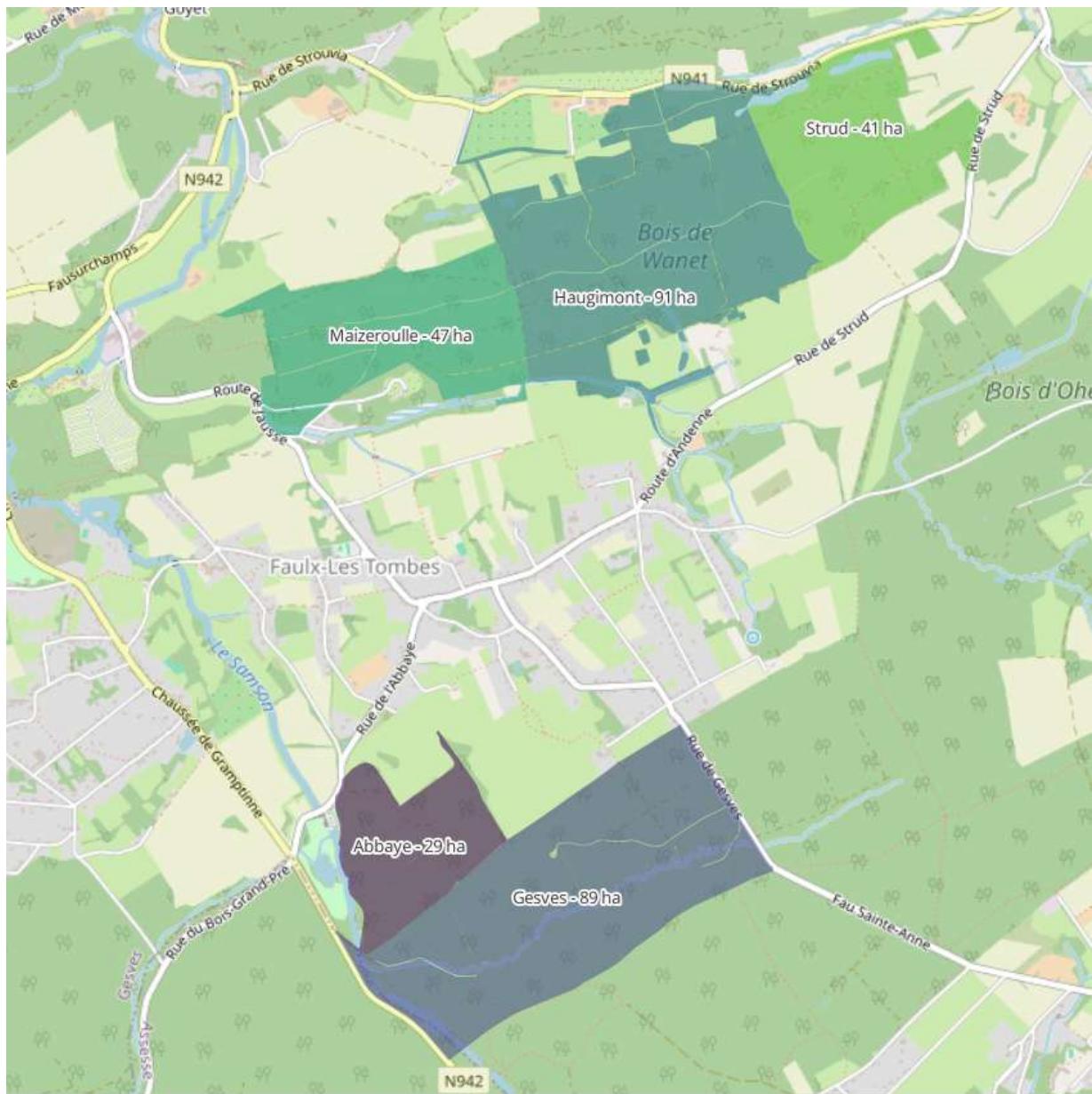


Figure 1: Localisation et superficie des cinq massifs du domaine universitaire d'Haugimont¹.

¹ Les surfaces mentionnées sur cette carte et utilisée dans cette étude sont légèrement différentes des surfaces cadastrales. D'une part, nous avons utilisé une méthode plus précise de mesure des surfaces (par digitalisation). D'autre part, nous avons considéré les pourtours des étangs au nord-est du massif comme faisant partie du massif de Strud et pas du massif d'Haugimont. Les données d'inventaires (et de certaines coupes) avaient été agrégées avec d'autres zones du massif de Strud et il n'était pas possible de les dissocier.

INVENTAIRES

Périodiquement, des inventaires en plein ont été réalisés dans les différents massifs. Dans chaque massif, des parcelles d'inventaire ont été délimitées et parcourues entièrement afin de dénombrer tous les arbres de plus de 30 cm² de circonférence par espèce et par classe de circonférence. Des inventaires ont été réalisés dans les massifs de Gesves et d'Haugimont en 1979 et en 1992. Le massif de Strud a été inventorié pour la première fois en 1995. C'est le seul massif à avoir été inventorié à cette date. Tous les massifs, y compris ceux de l'Abbaye et de Maizeroule, ont ensuite été inventoriés en 2009 et 2019. Tous les inventaires ont été réalisés entre novembre et avril. Pour cette étude, ces inventaires sont supposés avoir été réalisés avant les coupes de la même année.

A partir de ces données, nous avons calculé pour chaque massif (ou parcelle d'inventaire) et chaque année d'inventaire, la densité, la surface terrière, le volume sur pied et la valeur marchande. Ces grandeurs ont été calculées pour tous les arbres confondus ou par classe de circonférence et essence. Le volume bois fort tige (VC22_t, volume de la tige jusqu'à la recoupe de 22 cm de circonférence) et le volume bois fort des branches (VC22_b) ont été estimés en utilisant les tarifs de cubage à une entrée (Dagnelie, 1999). Le volume des branches a été estimé uniquement pour les arbres feuillus de plus de 70 cm de circonférence (limite de validité de l'équation de cubage) et il a été supposé nul pour les autres arbres. Pour les feuillus, le volume commercial de la grume a été calculé en utilisant l'approximation suivante (Longuetaud et al., 2013):

$$V_{com} = \frac{(VC22_t + VC22_b)}{1.4}$$

La valeur marchande d'un arbre *i* feuillu (VM_i) dépendait de la valeur de la grume ($V_{com,i} \cdot P_{com,i}$) et de la valeur du volume restant (bois de chauffage, $(VC22_{t,i} + VC22_{b,i} - V_{com,i}) \cdot P_{chauf}$), avec

$$VM_i = V_{com,i} \cdot P_{com,i} + (VC22_{t,i} + VC22_{b,i} - V_{com,i}) \cdot P_{chauf}$$

Pour les résineux, aucun bois de chauffage n'a été vendu et la valeur marchande se résumait à :

$$VM_i = VC22_{t,i} \cdot P_{com,i}$$

Le prix des grumes a été estimé en utilisant les prix unitaires au m³ ($P_{com,i}$) renseignés par la mercuriale (Annexe Figure 7) de la Fédération Nationale des Experts Forestiers de 2019 (Fédération Nationale des Experts Forestiers, 2019). Pour le bois de chauffage, le prix utilisé (P_{chauf}) était la moyenne des deux catégories de bois de chauffage renseignée dans la même mercuriale (bois de chauffage et baliveaux) : 15€/m³.

² Le seuil d'inventaire a varié entre les campagnes d'inventaire. Il était de 30 cm de circonférence en 1979 pour le massif d'Haugimont, de 40 cm pour le massif de Gesves en 1979, de 30 cm en 1992 et de 20 cm en 2009 et 2019. Pour cette étude, étant donné que les analyses traitent de la période 1992-2019, nous avons utilisé un seuil d'inventaire de 30 cm pour réaliser les analyses.

ESTIMATION DE LA PRODUCTIVITÉ

La productivité des peuplements a été estimée en utilisant les données des inventaires et des ventes de bois. L'accroissement périodique en volume $iV_{i \rightarrow f}$ de l'année i à l'année f , deux années lors desquelles des inventaires ont été réalisés, a été calculé selon :

$$iV_{i \rightarrow f} = \frac{V_f - V_i + V_e}{f - i}$$

où V_i est le volume sur pied estimé à partir de l'inventaire initial réalisé l'année i , V_f le volume sur pied estimé à partir de l'inventaire final réalisé l'année f et V_e la somme des volumes vendus entre les années i et $f - 1$.

Contrairement à V_i et V_f , les volumes vendus ont été estimés avant chaque vente par le gestionnaire et en utilisant une méthode de cubage légèrement différente. Lors du martelage, la circonférence, la hauteur de grume et l'essence des tiges à abattre ont été relevées. Pour les ventes, le volume des grumes avait été estimé par le gestionnaire en utilisant de tarif de cubage de Piette (1978) ou de Dagnelie (1999) après 2009. Le volume de bois de chauffage était estimé visuellement.

Différentes méthodes d'estimation du volume ont donc été employées pour réaliser cette analyse. Cette faiblesse n'impacte cependant que l'estimation de la productivité, qui est par conséquent et étant donné la nature des données assez approximative. Les volumes calculés avec les différentes méthodes de cubage n'ont pas été agrégés, ni comparés pour réaliser les autres analyses.

DONNÉES ÉCONOMIQUES

Pour la période étudiée, de 1992 à 2019, l'ensemble des dépenses et des recettes annuelles ont été rassemblées pour chacun des massifs. Les dépenses ont été regroupées en trois catégories : les frais de personnel, la construction et l'entretien de voirie et l'achat d'un véhicule³. Les recettes ont été regroupées en cinq catégories : les ventes de bois d'œuvre (grumes), les ventes de bois de chauffage, la location de la chasse, la location de la pêche (la rivière et les étangs sont complètement inclus dans le massif forestier) et l'obtention de subsides.

Les recettes utilisées correspondent presque toutes à des recettes réellement perçues sauf pour chaque massif. Elles n'ont pas fait l'objet d'une estimation. La seule exception est le loyer de chasse dans le massif de Strud avant 2012. En effet, ce massif a été acheté en 1994 et le prix d'achat avait été négocié à la baisse en contrepartie d'une cessation du droit de chasse jusque 2012. De 1995 à 2012, l'université de Namur n'a donc pas perçu de loyer de chasse pour ce massif. Dans nos calculs, nous n'avons pas inclus le gain réalisé lors de l'achat et nous avons donc ajouté la perception d'un loyer de chasse fictif et équivalent à celui perçu dans le massif adjacent (Massif d'Haugimont).

Hormis dans le massif de l'Abbaye, d'importants investissements de voiries ont été réalisés. Ceux-ci ont été réalisés très tôt et avant 1992 dans les massifs de Gesves et d'Haugimont. Ils étaient particulièrement conséquents dans le massif d'Haugimont. Dans le massif de Strud et de

³ Dans une version ultérieure de ce document, nous ajouterons le coût du précompte immobilier et les frais de personnel seront sans doute légèrement modifiés pour mieux refléter l'historique des dépenses réellement effectuées.

Maizeroulle, des investissements de voirie ont été réalisés après 1992 (en 2000 et 2014 dans les deux massifs). Ces dépenses ont été comptabilisées en supposant un amortissement de 30 ans.

De 1992 à 2019, la gestion forestière a été réalisée par un ingénieur et un ouvrier à hauteur de 20% et de 60% de leur temps de travail respectivement. En 1992, le coût total du personnel pour l'UNamur (charges sociales incluses) correspondait à une dépense de 45 695€ (en euros de 2019), soit 154€/ha/an. C'est la principale dépense annuelle. Cette dépense a été répartie entre les massifs proportionnellement à leur surface.

En 2003, l'UNamur a acheté un véhicule utilisé essentiellement pour la gestion forestière. Le coût de ce véhicule a également été réparti entre les massifs proportionnellement à leur surface en supposant un amortissement de 10 ans.

Les autres frais (petits matériels et de carburant) ont été supposés négligeables et ils n'ont pas été pris en compte.

Les prix utilisés pour les dépenses étaient des prix TVA comprises alors que les prix des ventes de bois étaient des prix hors TVA. Cela correspond à la situation d'un propriétaire non assujetti à la TVA ce qui était le cas de l'université de Namur jusque 2002.

L'ensemble de ces flux financiers étaient archivés en valeur nominale (euros courants). Ils ont été convertis en valeur réelle correspondant à l'année 2019 (euros constants) pour tenir compte de la variation des prix. La conversion a été réalisée en utilisant l'indice des prix à la consommation publiée par Statbel (STATBEL, 2024).

SCÉNARIOS THÉORIQUES

La rentabilité de plusieurs scénarios théoriques a été estimée. Le but était de fournir des ordres de grandeur permettant de relativiser la rentabilité observée dans le domaine d'Haugimont au regard de celle qui aurait pu être obtenue, en théorie, si une gestion plus conventionnelle (menant à la récole de peuplements par coupe rase suivie d'une plantation) avait été réalisée.

L'échelle d'analyse était différente de celles utilisées pour estimer la rentabilité de la sylviculture appliquée dans le domaine d'Haugimont. Contrairement aux analyses précédentes réalisées à l'échelle des massifs, l'analyse de la rentabilité des scénarios théoriques a été réalisée pour un peuplement d'un hectare qui se trouverait dans des conditions (ex. de sol) représentatives des conditions moyennes rencontrées dans le domaine d'Haugimont pendant les 30 dernières années (il s'agit toujours d'une analyse rétrospective).

Les scénarios théoriques utilisés correspondaient à des plantations équiennes d'épicéa ou de douglas. Pour chaque essence, nous avons défini un scénario idéal et deux scénarios alternatifs prenant en compte l'impact de différents aléas (scolytes, échec de régénération, perte de croissance). Au total, 6 scénarios alternatifs ont été examinés (Annexe Tableau 7 à 12).

Pour tous les scénarios, un ensemble d'hypothèses communes ont été posées pour estimer les coûts et recettes associées :

- **Broyage en plein avant la plantation.** Différentes méthodes de préparation du terrain peuvent être employées. Dans nos simulations, ce choix influence uniquement le montant de l'investissement lié à la plantation. Le broyage en plein suivi d'une plantation à la houe est vraisemblablement la méthode qui a été la plus employée ces 30 dernières années en

Belgique. C'est en outre le choix qui avait été réalisé par le gestionnaire du domaine d'Haugimont avant 1992. Le coût de la préparation du terrain a été estimé à 1238 €/ha. Cette valeur était la moyenne des valeurs proposées dans la mercuriale des travaux forestiers utilisées (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019).

- **Plantation à la houe de 2000 plants par hectare (2 x 2,5m).** Les tables de production publiées pour le douglas et l'épicéa proposent deux densités de plantation : 2000 et 2500 plants/ha. Nous avons choisi la modalité la moins dense qui permet de limiter l'investissement de départ en faisant l'hypothèse que la qualité des plants et leur reprise sont suffisantes pour construire un peuplement de qualité. Le coût de cette opération a été estimé à 1969 €/ha en supposant que le coût du plant était de 0,52 €/plant (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019) et le coût de la main œuvre était de 0.46 €/plant (ArboPlant, 2023).
- **Un dégagement 3 ans après la plantation.** Nous supposons que le broyage en plein permet un développement modéré de la végétation compétitrice les années suivant la plantation. Un seul dégagement a donc été simulé après 3 ans. La réalisation d'un dégagement supplémentaire (l'année 2) est parfois nécessaire mais nous ne l'avons pas pris en compte afin de ne pas sous-estimer la rentabilité du scénario théorique sans aléa. Le coût du dégagement a été estimé à 944 €/ha (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019).
- **Un élagage de pénétration avant la première éclaircie.** Conventionnellement, un élagage de pénétration est réalisé avant la première éclaircie. Ce travail facilite les opérations de martelage. Ce travail est omis par certains gestionnaires mais il reste très largement appliqué. Le coût de l'élagage a été estimé à 2032 €/ha (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019).
- Coupes d'éclaircies selon les **tables de productions**. Les éclaircies ont été simulées à l'aide des tables de production correspondant aux hypothèses du scénario simulé (Perin et al., 2016). Ces tables de production indiquent le volume total et le volume par catégorie de circonférence prélevé lors de chaque coupe. La rotation est de 6 ans.
- **Révolution de rentabilité maximum.** Différentes révolutions (nombre d'années entre la plantation et la récolte finale par coupe rase) ont été simulées. Pour chaque scénario, la révolution retenue était celle qui permettait de maximiser le taux interne de rentabilité.
- **Les prix des bois** utilisés pour calculer les recettes de chaque coupe sont les mêmes que ceux utilisés précédemment pour le calcul de la valeur marchande (Fédération Nationale des Experts Forestiers, 2019).
- **La valeur du fonds est fixée à 5000 €/ha.** Cette valeur correspond à une estimation à dire d'expert de la valeur de fonds pour l'année 2019 tenant compte des caractéristiques liées à la productivité et la localisation du domaine d'Haugimont. Le fonds correspond à la valeur d'un terrain déboisé ou sans tenir compte de la valeur des arbres sur pied. Il dépend notamment du potentiel de production.

Des hypothèses supplémentaires ont ensuite été posées spécifiquement pour chaque scénario.

PESSIÈRE SANS ALÉA

- **Classe de productivité II.** Dans le domaine d'Haugimont, à l'exception de quelques sols marginaux, la croissance des épiceas étaient généralement soutenues si l'on fait abstraction des attaques récentes de scolytes faisant suites à des années exceptionnellement chaudes et sèches. Dans ces conditions, la productivité des pessières correspondait à la classe de productivité II. En classe de productivité II, la hauteur dominante des plantations d'épicéa est de 27 m à 50 ans. L'accroissement moyen en volume après 50 ans est de 14,6 m³/ha/an.

PESSIÈRE AVEC DÉGÂTS DE SCOLYTES OU DE CHABLIS

Suite à différents aléas et notamment à des épisodes avec des chablis ou des attaques de scolytes, certaines pessières ne sont pas complètes ou sont récoltées avant le terme d'exploitabilité optimal et dans de mauvaises conditions. La dernière crise du scolyte a clairement mis en évidence l'importance de ce risque qui est d'ailleurs très élevé à basse altitude (Gomez, 2012). De tels dégâts ont d'ailleurs été observés dans le domaine d'Haugimont et ils ont été à l'origine de la coupe prématuée de 18 ha d'épicéa. Pour simuler cet aléa, nous avons posé les hypothèses supplémentaires suivantes :

- **Coupe rase après 46 ans.** Nous supposons qu'un chablis où une attaque de scolytes est constatée 46 ans après la plantation, soit 18 ans avant le terme d'exploitabilité optimale selon nos calculs (64 ans). Tous les arbres sont alors récoltés. Les scolytes s'attaquent généralement aux arbres de plus de 60 cm (Saintonge et al., 2022), soit dans les peuplements de plus de 30 ans pour la classe de productivité II. A 52 ans, la circonference quadratique moyenne est de 114 cm et la hauteur dominante de 27,4 m.
- **Prix des bois de 20 €/m³.** Suite à des dégâts de scolytes ou de chablis, la valeur des bois est souvent réduite (valeur de sauvetage). Nous faisons l'hypothèse que le prix est alors de 20 €/m³, soit une réduction d'environ 45% (pour cette étude, le prix d'un épicea sain de 100 cm était de 36,25 €/m³). En 2019, la diminution du prix des bois scolytés était très variable. La réduction était de 25 à 90 % selon Saintonge et al. (2022).

PESSIÈRE AVEC DIFFICULTÉS DE RÉGÉNÉRATION

Différents facteurs peuvent affecter la réussite des plantations d'épicéa. Les attaques d'hylobes peuvent être particulièrement problématiques. Des moyens de protections peuvent néanmoins être mis en œuvre pour gérer ce risque. En outre, le développement de la végétation concurrente peut nécessiter davantage d'interventions. Des hypothèses supplémentaires peuvent donc être posées pour tenir compte de coûts supplémentaires requis pour assurer le bon développement des plantations dans les situations plus compliquées :

- **Délai de 2 ans entre la mise à blanc et la plantation.** Dans les mois qui suivent une coupe rase, les populations d'hylobes peuvent être particulièrement abondantes. Elles diminuent ensuite progressivement dans le temps. Afin de réduire le risque d'attaque, il est conseillé d'attendre au moins 2 ans entre la coupe rase et la plantation (Lieutier, 2007). Ce délai engendre un coût lié à l'immobilisation du fonds pendant deux ans et une augmentation du coût de la préparation du terrain. Ce dernier est alors de 1526 €/ha (et plus 1238 €/ha). C'est la valeur maximum de la mercuriale utilisée (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019).

- **Pulvérisation des plants contre l'hylobe.** Après la plantation, les plants sont protégés chimiquement contre l'hylobe. Le prix est de 0.15 €/plants (300 €/ha) (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019).
- **Dégements l'année 4 et 5.** A la différence du scénario sans aléa, un dégagement supplémentaire est réalisé. Pour ce scénario, deux dégements sont réalisés, 2 et 3 ans après la plantation (944 €/ha pour chaque dégagement).

DOUGLASIAIE SANS ALÉA

- **Classe de productivité I.** Au sein de la propriété les sols sont généralement limono-caillouteux et bien drainés permettant un bon développement des plantations de douglas. En outre, l'analyse de la hauteur dominante de plantations existantes dans la propriété (à l'aide du modèle numérique de hauteur) semblent corroborer ce choix. La hauteur dominante des plantations simulée de douglas atteint 40 m à 50 ans. L'accroissement moyen en volume après 50 ans est de 22,4 m³/ha/an.

DOUGLASIAIE AVEC PERTE DE PRODUCTIVITÉ

Différents facteurs sont susceptibles d'affecter la productivité soutenue des douglasaias. Il s'agit notamment de différents bioagresseurs et d'événements climatiques particuliers. A ce titre, ces dernières années, l'état sanitaire des douglas est par endroit devenu préoccupant. Des défoliations importantes ont été rapportées depuis 2015 (Wilson et al., 2020). Pour simuler cet aléa, nous avons modifié l'hypothèse concernant le niveau de productivité :

- **Classe de productivité III.** Dans la classe de productivité III, la hauteur dominante à 50 ans est de 32 m pour un accroissement moyen en volume de 15,9 m³/ha/an. Cela représente donc une baisse de 20% de la croissance en hauteur dominante et de 29% de l'accroissement moyen en volume.

DOUGLASIAIE AVEC DIFFICULTÉS DE RÉGÉNÉRATION

Les bioagresseurs du douglas et des événements climatiques particuliers peuvent également affecter la reprise des plants les années après la plantation. D'ailleurs, depuis 10-15 ans, les plantations de douglas semblent dans certaines conditions plus difficiles à réussir. La croissance des jeunes douglas peut être très affectée par différents bioagresseurs (Ligot et al., 2020; Wilson et al., 2020) et dans les cas les plus extrêmes des mortalités importantes peuvent être observées. Pour simuler cet aléa, nous avons posé les hypothèses supplémentaires suivantes :

- **Regarnissage de 1000 plants/ha 3 ans après la plantation.** Nous simulons le cas de figure où la moitié des plants périssent après 3 ans. Un regarnissage est dès lors effectué (985 €/ha). Le retard de croissance et le regarnissage mènent en outre à un décalage de trois ans dans le développement de la plantation. Etant donné l'absence de travail du sol et de la végétation, des dégements doivent être répétés les trois premières années après le regarnissage (944 €/ha pour chaque dégagement).

INDICATEURS DE RENTABILITÉ

La rentabilité de la silviculture menée dans le domaine d'Haugimont ainsi que la rentabilité des scénarios théoriques a été décrite en calculant la valeur actuelle nette (VAN) et le taux interne de rentabilité (TIR). D'autres indicateurs, plus robustes, tels que le bénéfice actualisé à séquence infinie (BASI) auraient pu être calculés pour les scénarios théoriques. Néanmoins, ils n'auraient pas pu

l'être à partir des données observées pour décrire la rentabilité de la sylviculture appliquée dans le domaine d'Haugimont. La période de suivi était trop courte et les dépenses et recettes ne suivent pas un cycle que l'on peut considérer comme perpétuel. Ces indicateurs ne sont donc pas présentés dans ce document.

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

où R_i est la recette de l'année i , D_i la dépense de l'année i et r le taux d'actualisation. Le taux d'actualisation a été fixé à 2 %, soit une valeur nettement plus faible que celle utilisée dans d'autres secteurs d'activité (évaluation d'investissements à court terme) mais mieux adaptées pour évaluer la rentabilité de ressources environnementales et d'investissements de longues durées (Gosselin et al., 2011). Ce choix reste néanmoins important et relativement arbitraire. Le taux interne de rentabilité (TIR), correspond quant à lui au taux d'actualisation tel que :

$$VAN + \frac{VM_n + F}{(1+r)^n} - (VM_0 + F) = 0$$

où VM_0 et VM_n sont respectivement la valeur marchande au début et à la fin de la période considérée de n années. F est la valeur du fonds. Calculé de cette façon, le TIR tient compte du coût de l'immobilisation du capital sur pied⁴ et de l'immobilisation de la valeur du fonds. Cette méthode de calcul correspond à ajouter une dépense fictive l'année 0 correspondant à l'achat de la forêt (estimée comme la somme de la valeur marchande des arbres sur pied et du fonds⁵) et une recette l'année n correspondant à la vente de la forêt (estimée de la même façon). Dans le cas des scénarios théoriques, en début et fin de simulation (instant 0 et n), le peuplement correspond à une coupe rase (Il n'y a pas d'arbre sur pied). Dans ces cas, la valeur marchande est nulle ($VM_0 = 0$ et $VM_n = 0$) et la valeur du peuplement est égale à la valeur du fonds F .

L'interprétation du TIR se rapproche de celle d'un taux d'intérêt d'un placement bancaire. Les taux d'intérêt des placements bancaires sont néanmoins en valeur nominale et pas en valeur réelle comme le TIR. Pour comparer un TIR au taux nominal de placements bancaires, il convient cependant de tenir compte de l'inflation (f) avec l'expression suivante (Terreaux, 1990):

$$TIR_{nominal} = (TIR + 1) \cdot (1 + f) - 1$$

Nous estimerons le $TIR_{nominal}$ en supposant que l'inflation est de 2 %. L'inflation varie fortement d'une année à une autre mais elle est contrôlée par les institutions bancaires pour osciller autour de

⁴ La valeur de la superficie est supposée égale à la valeur marchande. La valeur d'avenir du peuplement n'a pas été considérée. Dans les peuplements inéquienne gérés sans coupe rase, la valeur d'avenir est généralement beaucoup plus faible que la valeur marchande (et parfois négative) et elle est également plus difficile à estimer.

⁵ Outre la valeur du fonds et de la valeur marchande des arbres, il conviendrait de tenir compte de la valeur d'avenir des arbres sur pied. Néanmoins, il n'est pas aisément de calculer cette grandeur rigoureusement à partir des données à notre disposition. En outre, l'importance de cette composante est normalement limitée dans des peuplements irréguliers dans lesquels la valeur marchande du peuplement est importante.

2% (STATBEL, 2024). Cette valeur est également proche de la valeur moyenne pour la période considérée. L'inflation moyenne de 1992 à 2019 était de 1,88 (Triami Media BV, 2024).

RÉSULTATS

STRUCTURE ET COMPOSITION

SITUATION INITIALE

La situation initiale correspondait à la situation décrite par le premier inventaire après l'adoption des principes Pro Silva (1992). La surface terrière ($12,6 \text{ m}^2/\text{ha}$), le volume sur pied et la valeur marchande étaient plus faibles dans le massif de Maizeroule que dans les autres massifs. Ceci s'explique par une exploitation particulièrement intense dans ce massif, entre 1984 et 1992. 10 ha avait fait l'objet de coupes rases et des éclaircies importantes avaient été réalisées dans les 37 ha restants. Dans les autres massifs, la surface terrière initiale moyenne était comprise entre 14,4 et $16,1 \text{ m}^2/\text{ha}$. Le massif de Gesves contenait plus de peuplement de résineux que les autres massifs (52% de la surface terrière). La proportion initiale de chêne (en surface terrière) était comprise entre 31,4% (Massif de Gesves) et 46,8% (Massif de l'Abbaye, Tableau 1). Un déficit de régénération naturelle était constaté dans tous les massifs ainsi qu'une proportion importante d'arbres de circonférence comprise entre 80 et 150 cm (Figure 1).

Tableau 1 : Description de la situation initiale de chaque massif : densité (NHA), surface terrière (GHA), volume sur pied (VHA), valeur marchande des arbres sur pied (VM), proportion en surface terrière des chênes ou des résineux. La situation initiale correspond à l'année du premier inventaire après l'achat du massif et après l'adoption des principes Pro Silva.

Massif	Année	NHA (/ha)	GHA (m ² /ha)	VHA (m ³ /ha)	VM (€ 2019/ha)	%Chênes	%Frêne	%Résineux
Abbaye	2009	239,7	14,7	176,6	10262,8	46,8	5,3	18,3
Gesves	1992	170,4	15,3	180,7	9892	31,4	2,0	52,1
Haugimont	1992	170,4	16,1	205,8	12521,9	43,0	10,2	19,0
Maizerouille	1992	194,7	12,7	146,2	6925,3	58,8	0,5	26,1
Strud	1995	225	14,9	187,7	12044,9	31,6	27,7	3,9

EVOLUTION

Au cours du temps, la surface terrière a augmenté légèrement et a oscillé entre 12 et 22 m²/ha dans les différentes zones d'inventaires (Annexe Figure 8). Elle a augmenté surtout dans le massif de Maizerouille où la surface terrière initiale était la plus faible. L'évolution du volume sur pied a suivi la même tendance en oscillant entre 120 et 220 m³/ha (Annexe Figure 9). L'augmentation de la valeur marchande a été en revanche beaucoup plus marquée hormis dans le massif de Gesves marqué par une grande coupe rase en 2018 (épicéa scolytés, Annexe Figure 10). L'augmentation annuelle de la valeur marchande était comprise entre 1,3% (Massif de Strud) et 3,1% (Massif de l'Abbaye). Cette augmentation est essentiellement liée à l'augmentation du nombre d'arbres de grandes dimensions car la proportion de chêne est restée pratiquement inchangée (Figure 3, Annexe Figure 12). Une autre évolution notable est celle du nombre d'espèces inventoriées qui a nettement augmenté (Annexe Figure 11), hormis dans le massif de l'Abbaye, pour lequel nous avons moins de recul.

Tableau 2 : Production en volume dans les différents massifs par période d'inventaire et après l'adoption des principes Pro Silva en 1992.

Massif	Année initiale	Année finale	Volume initial (m ³ /ha)	Volume final (m ³ /ha)	Prélèvement (m ³ /ha/an)	Production (m ³ /ha/an)
Abbaye	2009	2019	176,6	221,8	3	7,5
Gesves	1992	2009	180,7	227,6	5,2	7,9
Gesves	2009	2019	227,6	172,1	11,8	6,2
Haugimont	1992	2009	205,8	248,5	4,6	7,1
Haugimont	2009	2019	248,5	247,3	6,8	6,7
Maizerouille	1992	2009	146,2	259,6	3,3	10
Maizerouille	2009	2019	259,6	213,4	9,3	4,7
Strud	1995	2009	187,7	230,4	3,6	6,6
Strud	2009	2019	230,4	219,1	5,9	4,7

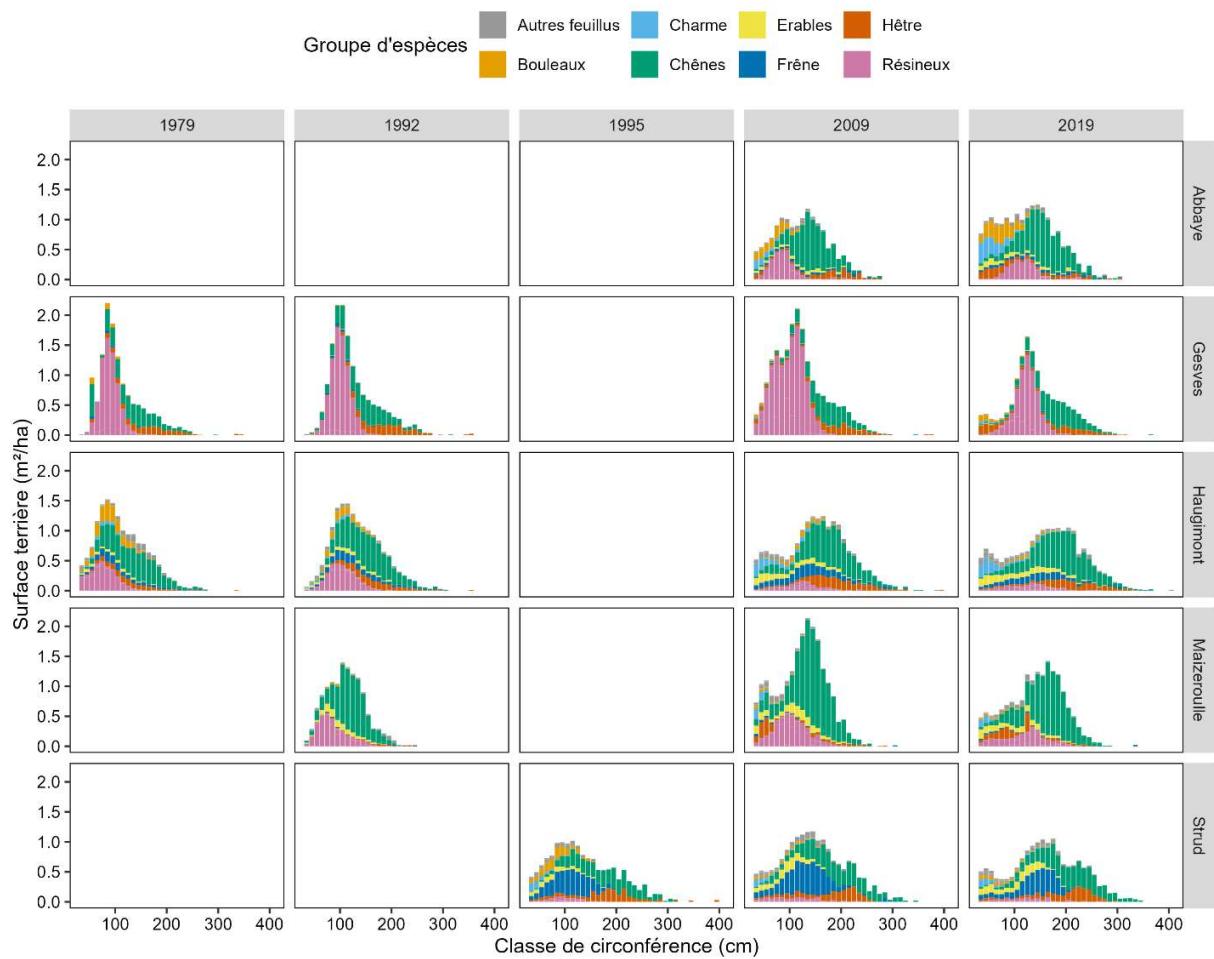


Figure 2 : Répartition de la surface terrière par classe de circonférence dans les différents massifs et lors de chaque campagne d'inventaire.

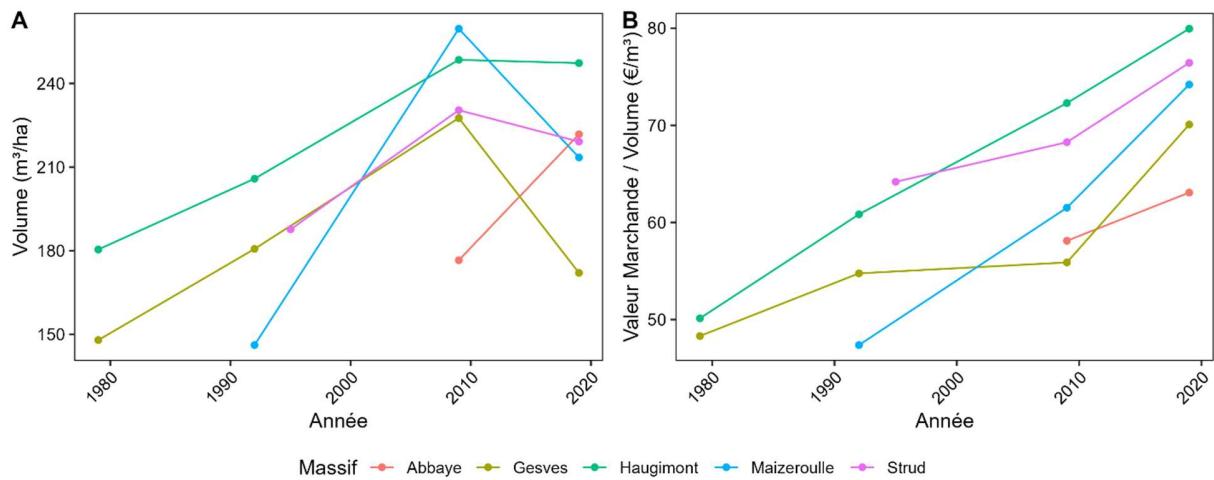


Figure 3 : Evolution du volume sur pied par massif (A) et du rapport entre la valeur marchande et le volume sur pied (B). La valeur des bois sur pied a augmenté au cours du temps essentiellement car la proportion de bois de plus grande valeur (chênes de grandes dimensions) a augmenté.

PRODUCTION ET PRÉLÈVEMENTS

De 1992 à 2019, les prélèvements de bois d'œuvre et de bois de chauffage étaient en moyenne de 6,2 m³/ha/an et le volume des bois sur pied a augmenté d'environ 0,7 m³/ha/an (moyennes pondérées par la surface des massifs). La productivité moyenne était d'environ 6,9 m³/ha/an. Les estimations de production étaient variables entre périodes d'inventaire et entre massif. Elle a varié entre 4,6 m³/ha/an (Massif de Maizerouille de 2009 à 2019) et 10,1 m³/ha/an (Massif de Maizerouille de 1992 à 2009). Les prélèvements les plus importants ont été observés entre 2009 et 2019 dans le massif de Maizerouille et dans le massif de Gesves. Dans le massif de Gesves, ce prélèvement en volume important résultait en partie de la coupe rase sanitaire de peuplements d'épicéa. Sur la période étudiée, le taux de prélèvement en volume (rapport entre les prélèvements et l'accroissement) était pour le massif de Gesves de 104%. Pour les autres massif, les taux de prélèvements en volume étaient compris entre 62-78%. Les taux de prélèvement en valeur étaient bien plus faibles. Il était de 80% pour le massif de Gesves et entre 45 et 54% dans les autres massifs. Ces chiffres soulignent, une fois de plus, que pendant la période étudiée, il y a eu une augmentation limitée du volume sur pied accompagnée d'une augmentation marquée de la valeur du capital. Après 27 ans, dans les trois massifs suivis depuis 1992, le volume de bois récolté total a atteint 206, 146 et 149 m³/ha (respectivement les massifs de Gesves, Haugimont et Maizerouille) soit 114%, 71% et 102% du volume sur pied présent initialement. Le montant cumulé des recettes de ces prélèvements équivalait à 91%, 48% et 103% de la valeur du capital sur pied. En 27 ans, les volumes prélevés cumulés sont donc proches du volume initial sur pied (Temps de rotation du capital en volume proche de 27 ans) (AFI, 2020). Les recettes cumulées sont légèrement inférieures à la valeur initiale du capital sur pied dans deux des trois massifs. Néanmoins, si on tient compte de l'augmentation du capital sur pied, le gain en valeur en 27 ans est bien supérieur au capital initial dans tous les massifs (Temps de rotation du capital en valeur inférieur à 27 ans).

RENTABILITÉ

DÉPENSES

La grande majorité des dépenses provenait du coût du personnel engagé pour la gestion. Le coût du personnel s'élevait à 154 €/ha/an. La deuxième dépense la plus importante était la création ou l'entretien du réseau de voirie. De telles dépenses ont été réalisées pendant la période considérée dans le massif de Maizerouille et dans le massif de Strud. Des dépenses similaires avaient également été effectuées dans les massifs d'Haugimont et de Gesves avant 1992, soit avant la période considérée pour les calculs de cette étude (Annexe Figure 13). En moyenne, les dépenses totales annuelles étaient comprises entre 162 €/ha et 267 €/ha dans les différents massifs (Figure 4). En moyenne, les dépenses étaient les plus élevées dans le massif d'Haugimont où d'importants travaux de voiries ont été effectués.

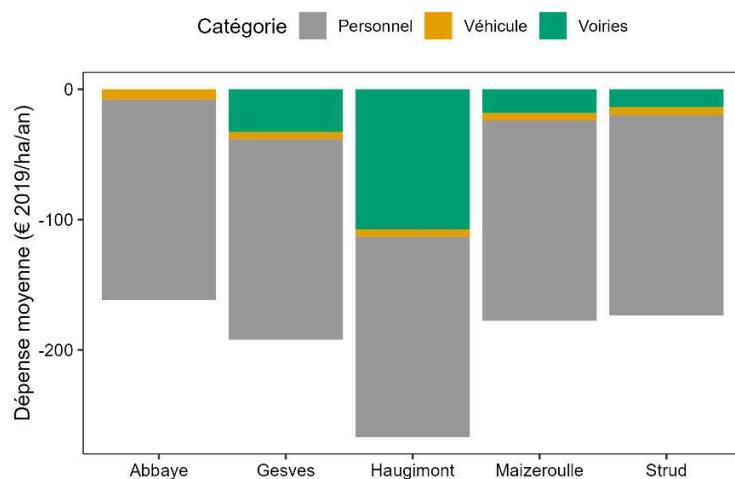


Figure 4: Dépenses annuelles moyennes (en euro constant de 2019) par massif.

RECETTES

Les recettes annuelles moyennes ont varié entre les massifs de 264 €/ha à 485 €/ha. Elles dépendaient en grande partie des ventes de bois et plus accessoirement des loyers de chasses et de pêche (Figure 5). Les recettes des ventes de bois comptaient pour 67% (Haugimont) et 82% (Maizerouille). Parmi les ventes de bois, les ventes de bois d'œuvre apportaient plus de revenus que les recettes de bois de chauffage. Les ventes de bois d'œuvre représentaient 36 à 62% des recettes totales et de 46 à 86% des recettes des ventes de bois. L'importance des ventes de bois de chauffage était évidemment plus faible dans le massif de Gesves qui contenait une grande proportion de peuplements résineux.

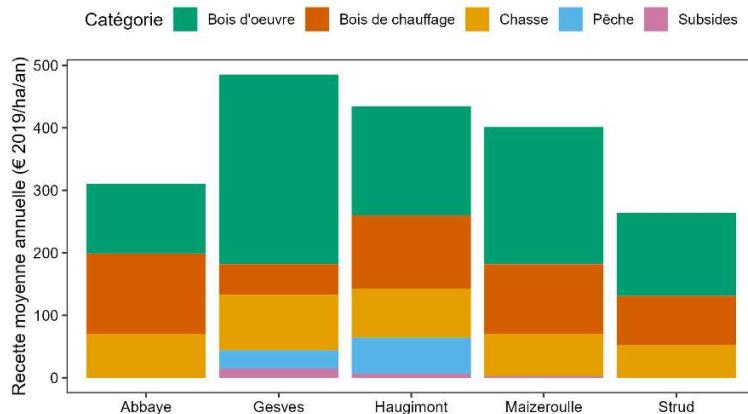


Figure 5 : Recettes moyennes annuelles par massif (en euro constant de 2019).

REVENUS

Les revenus annuels nets (recettes – dépenses) étaient compris entre 90 et 293 €/ha/an. Ils étaient particulièrement faibles dans le massif de Strud où les recettes étaient plus faibles et d'importants travaux de voiries avaient été effectués pendant la période étudiée.

VALEUR ACTUELLE NETTE

La valeur actuelle nette a été calculée par catégorie de dépenses et de recettes pour chaque massif (Tableau 3). La valeur actuelle nette incluant toutes les catégories de dépenses et de recettes était positive uniquement dans deux massifs, les massifs de l'abbaye et de Maizeroule. Dans les trois autres massifs, elle était comprise entre -934 et -2660 €/ha. Ce résultat dépendait du taux d'actualisation choisi. Avec un taux d'actualisation plus faible (ex. $r=1,4\%$), la valeur actuelle aurait été positive dans tous les massifs.

Les coûts les plus importants étaient par ordre décroissant : les frais de personnel, le coût d'immobilisation du fonds et le coût d'immobilisation du capital sur pied. Le coût de l'immobilisation du capital sur pied était faible (par rapport au coût d'immobilisation du fonds) car son calcul tenait compte de l'évolution de la valeur du capital qui a augmenté dans tous les massifs. Néanmoins, cette augmentation de la valeur du capital était généralement inférieure à 2% (valeur du taux d'actualisation choisi) et le solde résultant était généralement négatif. Les deux exceptions étaient le massif de Maizeroule où la valeur marchande a augmenté de manière plus prononcée, et le massif de l'Abbaye qui a été acheté beaucoup plus récemment et où la durée de l'immobilisation était plus courte.

En omettant différentes catégories pour le calcul de la VAN total (Tableau 3), on note que les résultats dépendent surtout des frais de personnel, de l'immobilisation de la valeur de la forêt et des recettes des ventes de bois. Omettre les autres catégories modifie peu les conclusions.

Tableau 3 : Valeur actuelle nette (€ 2019/ha) par catégories de dépenses et de recettes et par massif. La dernière ligne présente le rapport des recettes sur les coûts (BCR) en ne considérant que les frais de personnel et les recettes des ventes de bois afin de pouvoir comparer ces valeurs avec celles obtenues pour les scénarios de référence.

Catégories		Abbaye (29 ha)	Gesves (89 ha)	Haugimont (91 ha)	Maizeroule (47 ha)	Strud (41 ha)
(1)	Frais de personnel	-1899	-3338	-3338	-3338	-3156
(2)	Immobilisation du fonds	-846	-2071	-2071	-2071	-1854
(3)	Immobilisation du capital sur pied	566	-2828	-934	2355	-1838
(4)	Amortissement de l'achat du véhicule	-103	-114	-114	-114	-118
(5)	Amortissement des frais de voiries	0	-787	-2557	-368	-231
(6)	Subsides	0	200	9	0	0
(7)	Location de la pêche	0	385	756	0	0
(8)	Location de la chasse	876	1393	1179	1179	1053
(9)	Ventes de bois de chauffage	1720	674	1635	1034	1637
(10)	Ventes de bois d'œuvre	1312	5552	2780	3957	2673
Total		1626	-934	-2655	2634	-1833
(1) + (2) + (3) + (4) + (8) + (9) + (10)		1626	-732	-863	3002	-1714
(1) + (2) + (3) + (4) + (9) + (10)		853	-2011	-1928	1937	-931
(1) + (9) + (10)		1133	2888	1077	1653	1154
BCR : (9 + 10) / (1)		1.6	1.9	1.3	1.5	1.4

TAUX INTERNE DE RENTABILITÉ

Le taux interne de rentabilité (TIR) exprimé en valeur réelle a varié entre 1,4% (Massif de Haugimont) et 2,8 % (Massifs de Maizeroule et de l'Abbaye, Tableau 4). Ces taux correspondaient à des TIR en valeur nominale de respectivement 3,4% et 4,8%⁶. Ces taux ont été calculés en tenant compte de toutes les dépenses et recettes ainsi que du coût de l'immobilisation du capital initial (valeur marchande des arbres et valeur du fonds). Ils correspondent donc à une estimation de la rentabilité globale de la propriété forestière qui peut être comparée à la rentabilité d'autres investissements financiers.

Afin d'obtenir des estimations de la rentabilité que l'on puisse comparer à la rentabilité simulée (théorique) des scénarios de référence, les taux internet de rentabilité ont également été calculé en omettant les frais de voiries, de l'achat du véhicule ainsi que les revenus de la chasse, de la pêche et

⁶ Ces valeurs ont été calculée pour un taux d'inflation fixé arbitrairement à 2%. Si le taux d'inflation était plutôt de 1,88% (moyenne de 1992 à 2019) ou de 2,5%, les valeurs obtenues auraient été comprises respectivement entre 3,1% et 4,7% ou entre 3,5% et 5,3%.

l'obtention de subsides⁷. Les TIR obtenus sont alors du même ordre de grandeur mais légèrement inférieur en fonction des spécificités de chaque massif (Tableau 4). Ces derniers étaient compris entre 1,4% (Massif de Haugimont) et 2,6% (Massif de Maizeroule).

Tableau 4 : Estimations du taux interne de rentabilité et du taux interne de rentabilité en valeur nominale (corrigé pour tenir compte de l'inflation) en tenant compte de toutes les recettes et dépenses ou sans tenir compte des frais de voirie, de l'achat du véhicule et des revenus de la chasse, de la pêche et des subsides.

Massif	nb. années	Toutes dépenses et recettes		Sans les frais de voirie, véhicule et sans les revenus de la chasse, pêche et subsides	
		TIR	TIR _{nominal}	TIR	TIR _{nominal}
Maizeroule	27	2.8%	4.8%	2.6%	4.6%
Abbaye	13	2.7%	4.8%	2.3%	4.3%
Gesves	27	1.8%	3.8%	1.5%	3.5%
Strud	25	1.5%	3.5%	1.3%	3.3%
Haugimont	27	1.4%	3.4%	1.6%	3.6%

SCÉNARIOS THÉORIQUES

Le TIR des scénarios théoriques a varié entre 2,5% et 3,4% pour les douglasaias et 0,9% et 2,4% pour les pessières. L'impact des aléas simulés dépendait de nombreuses hypothèses et des résultats très différents auraient pu être obtenus en modifiant ces hypothèses (ex. échec de plantation plus sévère et répété dans le temps, combinaisons de différents aléas). Rappelons que le but de la démarche n'était pas de faire une analyse approfondie de l'impact de ces aléas mais de fournir des ordres de grandeur réalisistes de TIR qui puissent servir de point de comparaison avec le TIR observé dans le domaine d'Haugimont.

Parmi les aléas simulés, la coupe prématurée des épicéas et leur vente à un prix réduit suite à un dégâts de scolyte (ou de chablis) était l'aléa impactant le plus la rentabilité. Cet aléa conduisait à un taux de rentabilité de seulement 0,9%. Les autres aléas ont réduit la rentabilité plus modestement.

Pour les différents massifs observés, le TIR calculés sans prendre en compte les frais de voiries, de l'achat du véhicule ainsi que les revenus de la chasse, de la pêche et l'obtention de subsides était compris entre 1,3% et 2,6% (Tableau 4). Le TIR observé de chaque massif était toujours inférieur à celui attendu pour une douglasaias de classe de productivité I dans laquelle aucun aléa n'est observé et toujours supérieur à celui de la pessière récoltée de manière anticipée et à prix réduit. A l'exception du massif de Maizeroule, la rentabilité observée était également inférieure à toutes les douglasaias simulées. La rentabilité des différents massifs semblait donc plutôt équivalente à celle d'une pessière dans laquelle uniquement des aléas d'importance modérées sont observées.

⁷ La gestion de futaies équienne peut également mener à des frais de voiries, à l'achat de véhicules et sans compromettre les revenus de la chasse, de la pêche et l'obtention de subsides. Puisque ces recettes et ces coûts n'ont cependant pas été pris en compte pour évaluer les scénarios théoriques.

Tableau 5 : Evaluation de la rentabilité des scénarios de référence à l'aide de différents indicateurs : la valeur actuelle (VA) des recettes et des dépenses, le rapport bénéfice-coût (BCR), la moyennes des recettes et dépenses annuelles, le taux interne de rentabilité en valeur réelle (TIR) et en valeur nominale (TIR_{nominal}).

Indicateurs	Douglas			Epicéa		
	Sans aléa	Perte de croissance	Difficulté de régénération	Sans aléa	Difficulté de régénération	Dégât de scolytes
Révolution (Nb. années)	45	61	54	64	78	46
VA dépenses (€/ha)	-5606	-5606	-9063	-5411	-6637	-5411
VA recettes (€/ha)	15951	12653	16020	11345	11505	4718
BCR	2.8	2.3	1.8	2.1	1.7	0.9
Recettes moyennes (€/ha)	828	647	813	579	599	241
Dépenses moyennes (€/ha)	-137	-101	-185	-97	-99	-134
TIR	3.4%	2.5%	2.5%	2.4%	2.1%	0.9%
TIR nominal	5.4%	4.6%	4.5%	4.4%	4.2%	2.9%

DISCUSSION

ORIGINALITÉ ET LIMITES DE L'ÉTUDE

Nous disposons encore à ce jour de peu d'études empirique ayant dressé le bilan économique de propriétés forestières gérées selon les principes Pro Silva sur une durée de temps suffisamment longue (Bruciamacchie and Tomasini, 2006). Les données récoltées dans le domaine d'Haugimont, offraient donc une opportunité originale de contribuer à ce manque d'information puisque la propriété a été gérée par un seul gestionnaire qui a appliqué les principes de Pro Silva dans une propriété privée de près de 300 ha pendant près de 30 ans tout en y conduisant des inventaires en plein réguliers et en archivant l'ensemble des dépenses et des recettes. Il convient néanmoins de souligner que ces analyses devraient être répétées pour un plus grand nombre d'étude de cas avant de pouvoir formuler des principes généraux. C'est d'ailleurs un travail qui, après avoir réalisé cette étude, nous paraît important. Il conviendrait de documenter de façon la plus standardisée possible la rentabilité de propriétés forestières diverses afin d'obtenir des points de comparaison.

Nos résultats et les conclusions associées sont valables pour une étude cas particulière. Il s'agit de forêts composées essentiellement de peuplements feuillus à base essentiellement de chênes, de hêtre et de charme d'assez bonne productivité (6,9 m³/ha/an de volume bois fort tiges et branches). Ils étaient complétés par des plantations de divers feuillus et de résineux (28 % de la surface terrière). Le capital sur pied était initialement modéré (surface terrière variant de 12,7 m²/ha à 16,1 m²/ha, Tableau 1) avec un déficit d'arbres de petites et de grandes dimensions (Figure 2). Pendant la période analysée (1992-2019), la pression du gibier était faible, occasionnant peu de dégâts. Il s'agissait essentiellement d'abrutissement par les chevreuils. Peu de cerfs étaient observés dans le domaine. Outre l'application des principes Pro Silva (Bille et al., 2013), la gestion avait pour objectif de favoriser le développement de la régénération naturelle du chêne. Cet objectif est particulièrement ambitieux dans les mélanges avec du hêtre et du charme (Barrere et al., 2024; Ligot et al., 2014) et requiert donc des investissements particuliers (notamment des travaux pour

réduire la compétition interspécifique). La propriété contenait initialement de nombreux frênes (5% de la surface terrière de toute la propriété, mais jusqu'à 28% dans un des massifs) et une grande proportion d'entre eux ont été sévèrement touchés par la Chalarose du frêne menant à des dépérissements et des coupes prématuées (sans baisse néanmoins du prix de vente).

L'étude repose sur de nombreuses hypothèses. Poser d'autres hypothèses aurait mené à des résultats numériques différents (ex. valeurs du taux interne de rentabilité). Néanmoins, puisque les mêmes hypothèses sont appliquées à travers toutes les analyses, la plupart des enseignements tirés de cette étude seraient rester valable même si des hypothèses légèrement différentes avaient été réalisées. Parmi les hypothèses importantes, on note notamment le choix de la valeur du fonds et de la mercuriale des prix.

La valeur du fonds a été choisie de manière assez arbitraire car sa valeur dépend du marché et n'est pas facile à estimer, surtout pour des futaies irrégulières qui ne font pas l'objet de coupes rases. Ce choix influence directement les calculs de rentabilité (observée et simulée). En outre, nous avons supposé que la valeur du fonds était constante dans le temps alors que cette dernière a sans doute augmentée étant donnée l'amélioration des voiries et de la qualité du milieu pour la chasse.

En outre, la valeur marchande des arbres a été évaluée en utilisant une mercuriale unique. Cette méthode n'intègre pas l'effet de la fluctuation des prix ni l'impact du choix de gestion sur les coûts d'exploitation. On peut cependant s'attendre à ce que les coûts d'exploitation soient supérieure avec une gestion de futaies inéquennes (Davies and Kerr, 2015), pouvant mené à une réduction des prix unitaires et pouvant justifié l'utilisation de mercuriales différentes. Notons néanmoins, que la mercuriale utilisée reflète les prix moyens obtenus en région wallonne où, comme pour nos analyses, les résineux sont essentiellement gérés en futaies équiennes et les feuillus en futaie inéquennes.

Il est également important de rappeler qu'il s'agit d'une analyse rétrospective qui n'analyse que les revenus financiers passés perçus par le propriétaire. Aujourd'hui, afin de guider les choix sylvicoles à venir, les éléments de cette analyse devraient être complétés afin d'inclure l'ensemble des services écosystémique, marchands et non-marchands, et de tenir compte de la résilience future des forêts.

UN INVESTISSEMENT COMPÉTITIF ?

Dans la plupart des massifs étudiés, la rentabilité s'apparente à un placement compétitif par rapport à d'autres placements financiers à long terme. En tenant compte de tous les coûts et recettes, y compris des coûts d'immobilisation du capital sur pied initial et de la valeur du fonds, le taux interne de rentabilité était supérieur à 1,4 % dans les cinq massifs étudiés (Tableau 4). Cela correspond à un taux interne de rentabilité nominal de 3,4 % qui peut être comparé⁸ aux taux d'intérêt de placements financiers à long terme tels que des obligations d'état (Figure 6). Un TIR=1.4% correspondait à un TIR nominal de 3,4 %, soit un taux toujours supérieur à la plupart des taux d'intérêt offerts par les obligations d'état en Europe en janvier 2024 (OCDE, 2024). Pour quatre des massifs étudiés, la rentabilité observée semble être de l'ordre de grandeur voire supérieure à celle

⁸ Rappelons, qu'à la différence d'un placement financier, une forêt n'a pas seulement une valeur financière. Elle assure d'autres services écosystémiques que ceux qui ont une valeur financière. Le terme d'échéance est également beaucoup plus long que 10 ans. La comparaison entre un TIR d'un projet forestier et un taux d'intérêt d'un placement financier doit donc être analysé avec précaution et cela ne représente qu'un élément de comparaison parmi d'autres à considérer.

des obligations d'état de la plupart des états européens. Terreaux (1990) a en outre montré que pour qu'un projet forestier soit compétitif par rapport aux placements bancaires, le TIR du projet forestier devait généralement être égal ou supérieur à 1,8 %. Ce seuil a été atteint ou dépassé dans trois des cinq massifs.

Les estimations de rentabilité obtenues reflétaient évidemment les conditions particulières des massifs pendant une période également particulière. Par exemple, le TIR était particulièrement bas dans le massif de Strud (TIR = 1,5 %) alors qu'il s'agissait sans doute du massif le plus fertile. Ce massif contenait initialement une proportion importante de frêne (28% de la surface terrière). Suite à l'arrivée de la Chalarose du frêne, d'importants dépérissements ont été constatés dans ce massif menant à des ventes prématuées de frênes et à la décapitalisation provisoire du capital sur pied. En outre, des travaux de voirie importants ont été conduits dans ce massif. De plus, une des coupes prévues avant 2019 avait été reportée faute d'offre suffisante à la suite sans doute de la crise financière de 2008. Le lot de 206 m³ avait une valeur estimée de 33 750€. Ces différents éléments suggèrent que les recettes estimées pour la période 1992-2019 (227€/ha/an) étaient sans doute particulièrement basse. Entre 1995 et 2009, elles étaient d'ailleurs plus élevées et proche de 269€/ha/an (Bille et al., 2013).

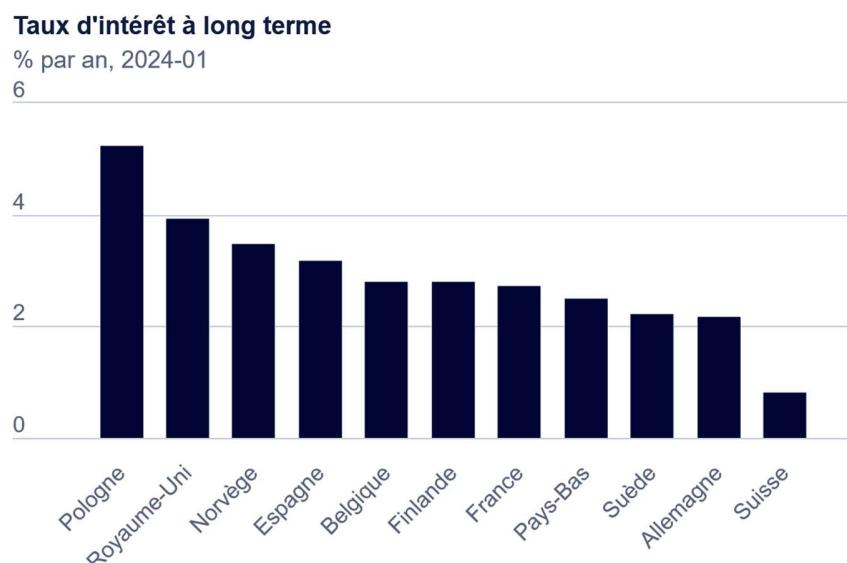


Figure 6 : Taux d'intérêt à long terme d'obligation d'états à échéance de 10 ans. Source : <https://www.oecd.org>

PRISE EN COMPTE DE L'IMMOBILISATION DU CAPITAL ET RESPONSABILITÉ SOCIÉTALE

Avec une gestion Pro Silva, le montant du capital initial paraît important à prendre en compte puisque le peuplement n'est jamais entièrement coupé. Le coût d'immobilisation du capital initial était d'ailleurs la deuxième catégorie de coût la plus importante après la prise en compte des frais de personnel.

Cependant l'importance de ce coût dépend du taux d'actualisation que chaque propriétaire est libre de fixer en fonction de ces attentes. Ce taux reflète la « préférence pour le présent » du propriétaire⁹. Etant donné les échéances longues des projets forestiers et l'importance des services écosystémiques non marchands qu'ils rendent, l'utilisation de taux d'actualisation faibles semble préférable (Gosselin et al., 2011). Certains propriétaires forestiers pourraient même utiliser un taux d'actualisation pratiquement nul si leur objectif prioritaire consiste à transmettre à leur successeur et aux générations futures, une forêt de valeur. Pour ces derniers, le coût d'immobilisation sera bien plus faible et maximiser le TIR n'est alors pas un critère pertinent. Il sera alors plus important d'évaluer la valeur future et la résilience de la forêt tout en s'assurant que le bilan annuel moyen est positif (moins de dépenses que de recettes). C'est objectif est parfaitement rempli dans tous les massifs du domaine d'Haugimont : les recettes annuelles étaient supérieures aux dépenses annuelles, la valeur du capital a augmenté et vraisemblablement aussi sa résilience étant donné l'augmentation du nombre d'espèce inventoriées et le développement d'une régénération naturelle généralisée et diversifiée (cf. les rapports du même projet sur le développement de la régénération et les inventaires de biodiversité).

UN BILAN COMPTABLE POSITIF MALGRÉ DES DÉPENSES IMPORTANTES

La sylviculture Pro Silva observée a bien permis de générer annuellement près de deux fois plus de recettes que de dépenses. Les recettes annuelles moyennes (non actualisées) étaient de 1,5 (Massif de Strud) à 2,5 (Massif de Gesves) fois plus élevées que les dépenses annuelles moyennes. Les recettes annuelles étaient comprises entre 264 €/ha/an et 485 €/ha/an alors que les dépenses annuelles étaient comprises entre 167 €/ha/an et 204 €/ha/an.

Alors que la sylviculture Pro Silva vise à réduire les coûts, dans certains cas, cette gestion semble demander des coûts non négligeables. Les dépenses observées à Haugimont montants étaient bien supérieurs à celles reportées par l'Association Futaie Irrégulière (AFI) (Bruciamacchie and Tomasini, 2003; Tomasini, 2013). Selon ces rapports, les frais principaux concernent le martelage (5-35 €2013/ha/an¹⁰), des frais de gestion (10-30 €2013/ha/an) et des travaux sylvicoles (0,3 heure/ha/an en moyenne et moins d'1 heure/ha/an). En mettant de côté les frais de création et d'entretien des infrastructures, les dépenses sont généralement (pour plus de 2/3 des parcelles AFI) inférieures à 50 €2013/ha/an. Parmi 44 parcelles du réseau AFI, les dépenses annuelles étaient proches de 145 €2013/ha/an pour une parcelle, proches de 110 €2013/ha/an pour deux parcelles et inférieures à 80 €2013/ha/an pour toutes les autres parcelles. Plusieurs explications peuvent être données pour expliquer pourquoi les dépenses documentées par l'AFI sont si faibles par rapport aux dépenses observées à Haugimont. Notre analyse a été réalisée à une échelle plus large que celle des données de l'AFI. Par conséquent, nous avons sans doute englobé dans notre analyse davantage de frais par unité de surface. Notamment, pour l'entièreté du domaine d'Haugimont (297 ha), la gestion et les travaux forestiers ont été internalisés en engageant un ingénieur forestier

⁹ Un taux d'actualisation élevé (ex. r=5 %) est appliqué si le propriétaire accorde peu d'importance à un revenu perçu loin dans le temps. Avec r=5%, un revenu de 1000€ dans 50 ans équivaut à un revenu de 87 € aujourd'hui ($M(t = 50) = M(t = 0)/(1 + r)^{50} = 1000/(1 + 0.05)^{50}$). Avec r=2%, le poids donné aux flux financiers futurs est plus important, et un revenu de 1000€ dans 50 ans équivaut à un revenu de 371 € aujourd'hui.

¹⁰ Il convient de multiplier ces montant par 1.088 pour obtenir des €2019 : 5,4 – 38,1 €2019/ha/an. La différence étant minime, les valeurs publiées n'ont pas été modifiées dans le texte.

(20% ETP) et un ouvrier (60 % ETP). Les frais de personnel étaient à eux seul de 154 €/ha/an et ils incluaient les charges sociales. Le temps de travail de ce personnel incluait également des tâches administratives, logistiques et des déplacements. Les frais de voirie figurent également parmi les frais qui n'ont sans doute pas été intégrés de la même façon par l'AFI. Elles étaient particulièrement importantes dans le massif d'Haugimont (149 €/ha/an en moyenne) et plus réduites, mais non négligeables, dans les massifs de Gesves, Strud et Maizerouille (33 €/ha/an, 14 €/ha/an et 18 €/ha/an respectivement).

Néanmoins, il semble que la sylviculture Pro Silva observée à Haugimont a requis des dépenses importantes, sans doute supérieures à celles observées dans d'autres propriétés forestières gérées avec un sylviculture Pro Silva et sans doute d'un ordre de grandeur assez proche de celui qui auraient pu être nécessaires avec une sylviculture plus conventionnelle. Notons que ces dépenses élevées ont permis d'assurer le développement de la régénération naturelle du chêne en mélange avec du hêtre et du charme. Pour y arriver, l'ouvrier avait pour consigne de passer dans toutes les parcelles chaque année et d'y effectuer les travaux nécessaires (cassage, coupe avec une scie manuelle, élagage). Elles ont également permis la réalisation d'inventaires (en plein) qui permettent de s'assurer de la durabilité de la gestion et du respect des objectifs et sans lesquels cette étude n'aurait pas été possible.

La gestion du domaine d'Haugimont a cependant dégagé des recettes très importantes et ce malgré une augmentation de la valeur du capital sur pied. Les recettes totales annuelles étaient comprises entre 263 et 485 €/ha/an et la majorité d'entre elles correspondaient à des ventes de bois (212 - 352 €/ha/an). A titre de comparaison, les recettes des ventes de bois dans les parcelles AFI sont en moyenne de 215 €/ha/an et varient entre 50 et 625 €/ha/an. Les recettes élevées de certaines des parcelles AFI étaient cependant parfois associées à une décapitalisation (Tomasini, 2013) ce qui n'est pas le cas dans le domaine d'Haugimont. Ces recettes élevées dans le domaine d'Haugimont sont le résultat de la vente de bois d'œuvre mais aussi, et à hauteur de 14-54%, de la vente de bois de chauffage. Ces recettes permettent de récupérer la valeur du capital initial en moins de 27 ans, ce qui est comparable à d'autres parcelles gérées en futaie irrégulière. Le temps de rotation en valeur du capital est généralement compris entre 21 et 33 ans selon l'AFI (AFI, 2020).

Les recettes des ventes de bois ont également été complétées par des revenus appréciables issues des loyers de chasse (52-88 €/ha/an) et de pêche (0-58€/ha/an). Les loyers de chasse étaient d'ailleurs pour tous les massifs sauf celui de Strud, dans la fourchette haute des données de l'AFI (5-80 €/ha/an).

Malgré des dépenses élevées, les revenus ont donc été soutenus et satisfaisants dans les cinq massifs étudiés. Selon l'AFI, des revenus bruts de plus de 200 €/ha/an ont en effet été obtenus dans la majorité des cas étudiés (Tomasini, 2013). Les revenus nets observés étaient supérieurs à 200 €/ha/an dans deux massifs (massifs de Gesves et Maizerouille), entre 149 et 167 €/ha/an dans deux autres massifs (Massifs de l'Abbaye et d'Haugimont) et de 90 €/ha/an dans le massif de Strud.

IMPACT FINANCIER DU CHOIX DE SYLVICULTURE

Comparer la rentabilité de traitements sylvicoles contrastés est une tâche complexe, qui conduit quelles que soient les approches (Hanewinkel et al., 2014) à des résultats nuancés et dont la portée est limitée à un contexte particulier et qui dépend d'un grand nombre d'hypothèses.

Selon nos simulations, qui reposent sur de nombreuses hypothèses, la rentabilité de la sylviculture Pro Silva, telle qu'appliquée à Haugimont (TIR = 1,4 – 2,6%), est vraisemblablement inférieure à celle d'une plantation de douglas sans aléa (TIR = 3,4%). Bien que de nombreuses études aient démontré la rentabilité supérieure des futaies irrégulières (Hanewinkel, 2002), ces études établissaient des comparaisons pour des peuplements d'une même essence. Notre comparaison se distingue de ces études car elle ne s'est pas limitée à l'effet du traitement sylvicole mais aussi à un changement d'essence permettant de tripler la productivité en volume (dans le cas du douglas).

En tenant compte des aléas, dont certains auraient très certainement été observés si des plantations avaient réellement été mises en œuvre, l'écart entre la rentabilité des scénarios théoriques et de la rentabilité de la sylviculture Pro Silva pourrait être plus tenu. Deux des cinq massifs étudiés avaient d'ailleurs une rentabilité proche (TIR 2,3-2,6%) de celles d'une douglasai impactée par un aléa modéré (TIR = 2,5%). Les trois autres massifs avaient néanmoins une rentabilité plus faible (TIR = 1,4-1,6%) correspondant plutôt à une pessières impactée par un aléa modéré (TIR = 2,1%). Aujourd'hui, avec l'effets des changements climatiques plus perceptibles qu'auparavant, planter des épicéas à basse altitude (et plus précisément dans le Condroz en Région Wallonne) apparaît comme une mauvaise décision évidente et donc la comparaison pourrait paraître fallacieuse. Pourtant, planter des épicéas à basse altitude n'était pas encore remis en question 30 années plus tôt (18 ha d'épicéa ont été planté dans le massif entre 1967 et 1971).

Cette comparaison entre des scénarios théoriques applicables à l'échelle d'un peuplement et des observations concernant une propriété entière est sujette à beaucoup défauts. L'impact réel de l'application d'une sylviculture conventionnelle à l'échelle de la propriété et dans le long terme n'a notamment pas été quantifié. Nous avons montré, qu'avec les scénarios théoriques, les recettes annuelles moyennes auraient été pu être plus importantes (241 et 828 €/ha/an) et que les dépenses auraient été, étonnamment, légèrement inférieures (70 et 150 €/ha/an). Néanmoins, ces valeurs moyennes ne prennent pas compte de la temporalité de ces flux monétaires. Si des plantations de douglas et d'épicéa avaient été mises en place massivement dans les années 90. Leur mise en œuvre aurait requis de couper les peuplements en place générant des revenus conséquents (\pm 7000 – 12000€/ha), réduisant la valeur du capital immobilisé sur pied et permettant de récupérer une partie du prix d'achat de chaque parcelle. Ensuite, des investissements importants (\pm 6000 - 8000 €/ha) aurait dû être consentis augmentant à nouveau le capital financier immobilisé. Pendant une période d'au moins 45 ans, les recettes auraient été réduites avant de récolter les recettes des premières coupes rases après 2035. Cette différence de temporalité souligne également le caractère réversible de la sylviculture Pro Silva. Contrairement, à la sylviculture des plantations qui passe par une coupe rase, la sylviculture Pro Silva ne modifie pas de façon drastique et irréversible (à l'échelle d'un plan d'aménagement, 20 ans) l'état et le fonctionnement de l'écosystème. Cette sylviculture limite donc moins les options de gestions futures (pour le plan d'aménagement suivant).

En outre, cette comparaison entre un scénario théorique sans aléa et la situation du domaine d'Haugimont reste très délicate étant données les hypothèses simplificatrices qui ont été réalisées et, par précaution, souvent en défaveur de la sylviculture Pro Silva. Lors de la construction des échéanciers, lorsque nous avions un doute sur certains paramètres, nous avons privilégié les hypothèses favorables (classe de productivité supérieure, nombre d'interventions et prix plus bas). De la même façon, contrairement à la situation observée à Haugimont, les calculs pour les scénarios théoriques n'incluaient pas de frais de gestion, ni de frais de personnel, ni de frais d'inventaire, et n'étais pas sensible à la variation des prix du marché du bois. Ces choix ont été réalisé de telle façon

à ce qu'ils induisent des biais qui rendent le résultat défendu (rentabilité de la gestion Pro Silva) plus difficile à obtenir.

CONCLUSIONS

Les choix sylvicoles affectent les écosystèmes forestiers, leur diversité, leur résilience ainsi que les différents services écosystémiques. Ce travail visait à évaluer l'intérêt d'une sylviculture donnée, la sylviculture Pro Silva telle qu'elle a été appliquée dans un cas d'étude, en étudiant une seule facette du problème : la rentabilité financière. En toute rigueur, les éléments présentés dans ce rapport doivent encore être nuancés notamment au regard de l'impact de la sylviculture sur la diversité et le développement de la régénération qui font l'objet de synthèses séparées. L'analyse démontre la rentabilité satisfaisante de la sylviculture appliquée en comparaison à d'autres parcelles forestières (parcelles AFI) et en regards à d'autres investissements à long terme. Elle a en outre été comparée à la rentabilité théorique qui aurait pu être obtenue avec une sylviculture plus conventionnelle ayant recours à des coupes rases et des plantations. Les résultats de cette comparaison sont nuancés et ils ne permettent pas d'affirmer clairement que la silviculture Pro Silva permet d'obtenir des rendements plus faibles que de ceux escomptés avec une sylviculture conventionnelle. Cela dépend très certainement des aléas et de la résilience des peuplements face à ces aléas.

REMERCIEMENTS

Ce rapport a été écrit dans le cadre d'un projet du Plan de Relance de la Wallonie (PRW108) intitulé « 30 années de sylviculture Pro Silva à Haugimont (UNamur) : bilan écologique et économique - Leçons et perspectives pour des forêts résilientes en Wallonie (HAUGIMONT) ». L'ensemble des partenaires du projet ainsi que du comité de pilotage, et en particulier Olivier Noiret, ont fait progresser les analyses de ce document. Cette analyse s'est en outre appuyée sur le travail de fin d'études de Guillaume de Decker et sur la réflexion menée avec les étudiants bioingénieurs du cours d'économie forestière en 2024 (Master de Gestion des Ressources Forestière et des Milieux Naturels, Gembloux Agro-Bio Tech, ULiège).

RÉFÉRENCES

- AFI, 2020. Valorisation de la base AFI. Association Futaie Irrégulière.
- ArboPlant, 2023. Comparaison des coûts de plantation. URL https://www.arboplants.be/public/documents/web/comparaison_co%C3%BBt_plantation_2023_tvac.pdf?t=8294
- Bare, B.B., Opalach, D., 1988. Determining Investment-Efficient Diameter Distributions for Uneven-Aged Northern Hardwoods. *Forest Science* 34, 243–249. <https://doi.org/10.1093/forestscience/34.1.243>
- Barrere, J., Ligot, G., Boulanger, V., Collet, C., Courbaud, B., de Coligny, F., Mårell, A., Saïd, S., Balandier, P., 2024. Oak regeneration facing deer browsing: Can competition between saplings offset the diversion effect? A simulation experiment. *Ecological Modelling* 489, 110608. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110608>
- Bille, F., Claessens, H., Debois, C., 2013. Deux décennies de sylviculture Pro Silva au domaine d'Haugimont : bilan sur l'évolution de la forêt. *Forêt Wallonne* 127, 15–27.

- Bruciamacchie, M., Tomasini, J., 2006. le réseau AFI, un observatoire permanent de la futaie irrégulière. *Forêt Wallonne* 82, 49–55.
- Bruciamacchie, M., Tomasini, J., 2003. Les résultats économiques. *Forêt entreprise* 151, 32–34.
- Buongiorno, J., Lu, H.-C., 1990. Economic stocking and cutting-cycle in a regulated selection forest. *Forest Ecology and Management* 32, 203–216. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(90\)90171-7](https://doi.org/10.1016/0378-1127(90)90171-7)
- Dagnelie, P., 1999. Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux.
- Davies, O., Kerr, G., 2015. Comparing the costs and revenues of transformation to continuous cover forestry for sitka spruce in Great Britain. *Forests* 6, 2424–2449. <https://doi.org/10.3390/f6072424>
- Draper, M.C., Froese, R.E., 2021. Six Decades of Growth and Yield and Financial Return in a Silviculture Experiment in Northern Hardwoods. *Forest Science* 67, 607–617. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxab024>
- Fédération Nationale des Experts Forestiers, 2019. Prix des bois automne-hivers 2018-2019. Jambes, Belgique.
- Gomez, N., 2012. Quel avenir pour le sapin et l'épicéa. Synthèse bibliographique sur l'autécologie et la vulnérabilité comparée du sapin et de l'épicéa dans le cadre des changements climatiques. Rendez-vous techniques Hors série no. 6, 3–8.
- Gosselin, M., Costa, S., Paillet, Y., Chevalier, H., 2011. Actualisation en forêt : pour quelles raisons et à quel taux ? *Revue Forestière Française* LXIII, 445–455. <https://doi.org/10.4267/2042/45828>
- Hanewinkel, M., 2002. Comparative economic investigations of even-aged and uneven-aged silvicultural systems: a critical analysis of different methods. *Forestry* 75, 473–481. <https://doi.org/10.1093/forestry/75.4.473>
- Hanewinkel, M., Frutig, F., Lemm, R., 2014. Economic performance of uneven-aged forests analysed with annuities. *Forestry* 87, 49–60. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt043>
- Knoke, T., 2012. The Economics of Continuous Cover Forestry, in: Pukkala, T., von Gadow, K. (Eds.), *Continuous Cover Forestry*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 167–193. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2202-6_5
- Lieutier, F., 2007. Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Ligot, G., Balandier, P., Courbaud, B., Jonard, M., Kneeshaw, D., Claessens, H., 2014. Managing understory light to maintain a mixture of species with different shade tolerance. *Forest Ecology and Management* 327, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.010>
- Ligot, G., Balandier, P., Scmitz, S., Claessens, H., 2020. Transforming even-aged coniferous stands to multi-aged stands: an opportunity to increase tree species diversity? *Forestry* 93, 1–14. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa004>
- Longuetaud, F., André, F., Desplanches, P., Colin, A., Deleuze, C., 2013. Les coefficients d'expansion pour déduire différents volumes de branches à partir de volumes de tige. *Rendez-vous Techniques de l'ONF* 39–40.
- Mason, W.L., Diaci, J., Carvalho, J., Valkonen, S., 2022. Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 95, 1–12. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab038>
- OCDE, 2024. Taux d'intérêt à long terme [WWW Document]. OCDE. URL <https://www.oecd.org/fr/data/indicators/long-term-interest-rates.html> (accessed 8.16.24).
- Pelz, D.R., 1977. Determination of Optimal Growing Stock Levels by Inventory Theory. *Forest Science* 23, 183–189. <https://doi.org/10.1093/forestscience/23.2.183>
- Perin, J., Hebert, J., Lejeune, P., Claessens, H., 2016. Nouvelles normes sylvicoles pour les peuplements purs équiennes d'épicéa et de douglas. ULiège, Gembloux Agro-Bio Tech.

- Piette, R., 1978. Barème de poche : à l'usage des marchands de bois, charbonnages, propriétaires, agents forestiers, entrepreneurs, sabotiers, etc...
- Saintonge, F.-X., Gillette, M., Blaser, S., Queloz, V., Leroy, Q., 2022. Situation et gestion de la crise liée aux scolytes de l'Épicéa commun fin 2021 dans l'est de la France, en Suisse et en Wallonie. *Revue forestière française* 73, 619–641. <https://doi.org/10.20870/revforfr.2021.7201>
- Schütz, Jean-Philippe, 2011. Development of close to nature forestry and the role of ProSilva Europe. *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 94, 39–42.
- STATBEL, 2024. Indice des prix à la consommation. URL <https://statbel.fgov.be/fr/themes/prix-la-consommation/indice-des-prix-la-consommation> (accessed 8.16.24).
- Susse, R., Allegrini, C., Bruciamacchie, M., Burrus, R., 2018. Le traitement des futaies irrégulières : valoriser les fonctions multiples de la forêt, Association Futaie Irrégulière. ed. Azur Multimedia.
- Terreaux, J.-P., 1990. Principes de gestion des investissements en forêt. Toulouse 1.
- Tomasini, J., 2013. Suivi économique mis en place sur le réseau AFI : flux financiers et évolution du capital. *Forêt Wallonne* 123, 13–24.
- Triami Media BV, 2024. Inflation harmonisée historique Belgique - Inflation IPCH.
- Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2019. Prix d'orientation des principaux travaux sylvicoles. Jambes, Belgique.
- Vítková, L., Saladin, D., Hanewinkel, M., 2021. Financial viability of a fully simulated transformation from even-aged to uneven-aged stand structure in forests of different ages. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 94, 479–491. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpab005>
- Wilson, E., San Martin, G., Ligot, G., 2020. The Douglas fir needle midge (*Contarinia pseudotsugae*) A potential threat to Douglas fir in the United Kingdom and Ireland? *Quarterly Journal of Forestry* 114.

ANNEXE

ACHAT DES MASSIFS FORESTIERS

Tableau 6 : Surface et prix d'achat des différents massifs.

Massif	Année d'achat	Surface (ha)	Prix d'achat (€ 2019/ha)
Haugimont	1978	90	19758
Gesves	1979	89	20358
Maizerouille	1984	47	17129
Strud	1994	40	11232
Abbaye	2006	28	7035

MERCURIALE DES PRIX

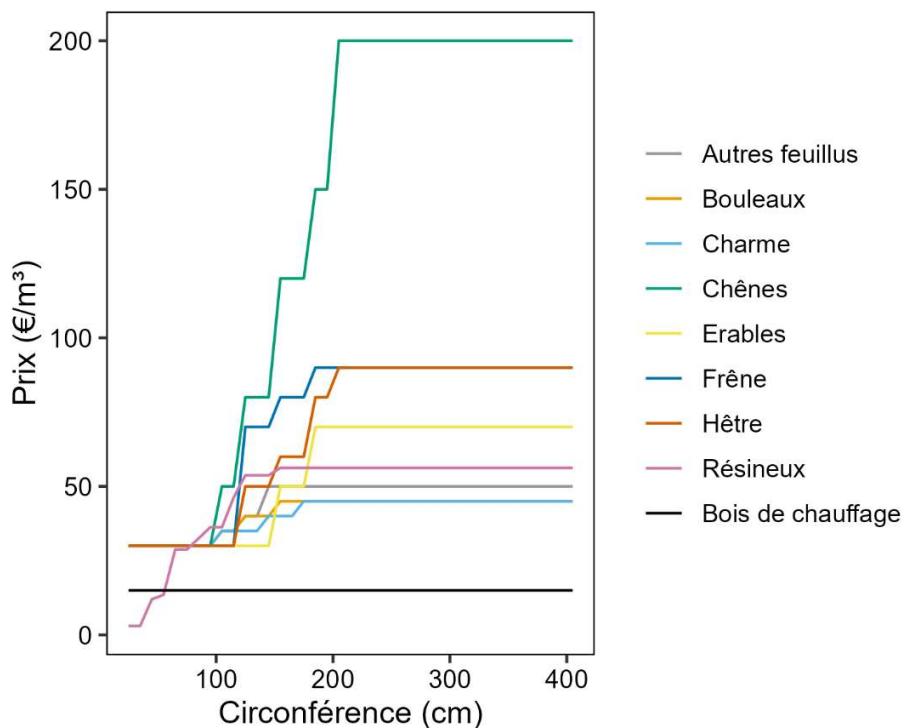


Figure 7 : Variation du prix unitaire en fonction de la circonférence et de l'essence pour le bois d'œuvre. Le prix du bois de chauffage est constant pour toutes les essences et catégories de grosseur.

EVOLUTION DES 5 MASSIFS

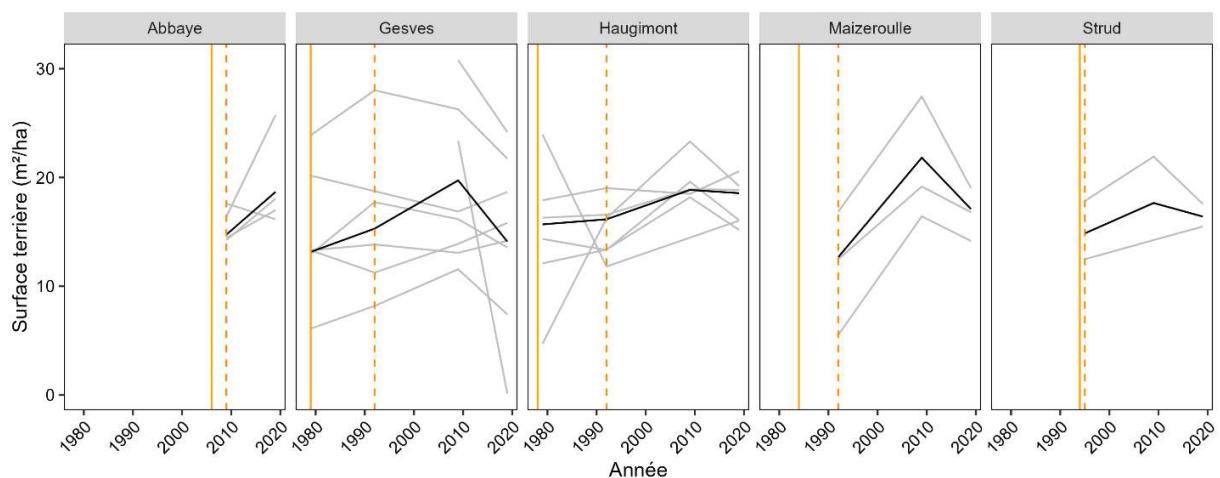


Figure 8 : Evolution de la surface terrière par zone d'inventaire (en gris) et en moyenne à l'échelle des massifs forestiers (en noir).

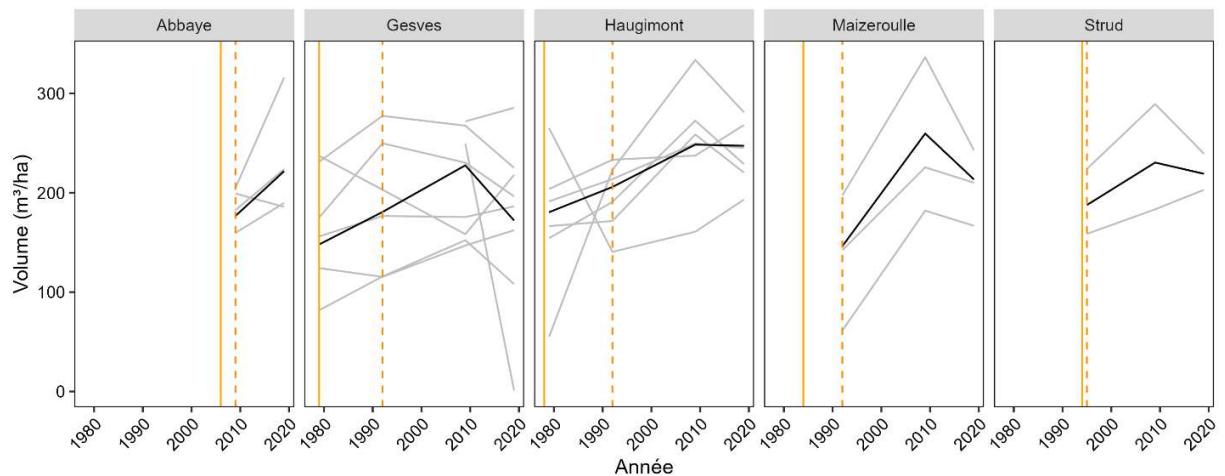


Figure 9 : Evolution du volume bois-fort total (tige + branche) par zone d'inventaire (en gris) et en moyenne à l'échelle des massifs forestiers (en noir).

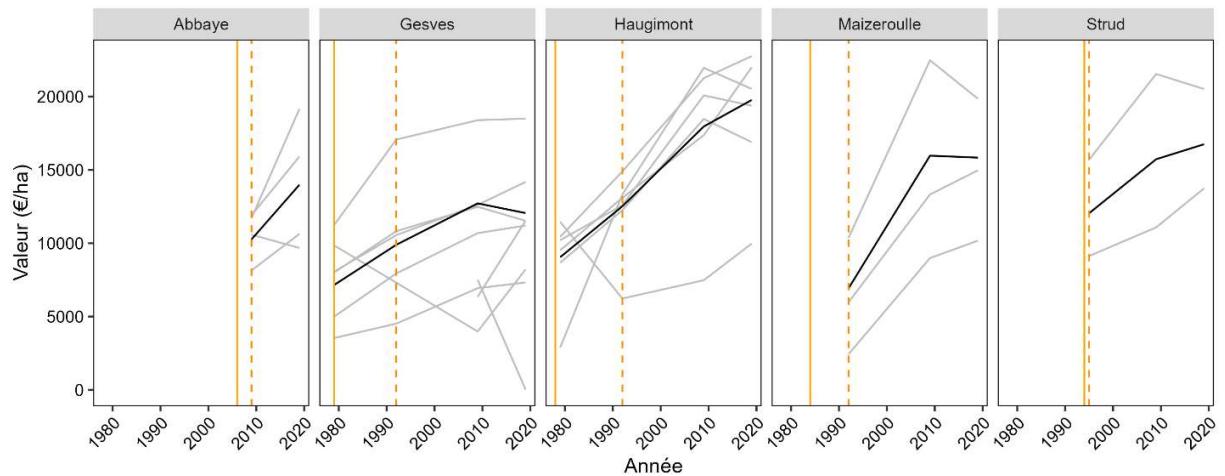


Figure 10 : Evolution de la valeur marchande (valeur des bois sur pied) par zone d'inventaire (en gris) et en moyenne à l'échelle des massifs forestiers (en noir). Le capital sur pied a augmenté dans tous les massifs et pratiquement toutes les parcelles d'inventaire.

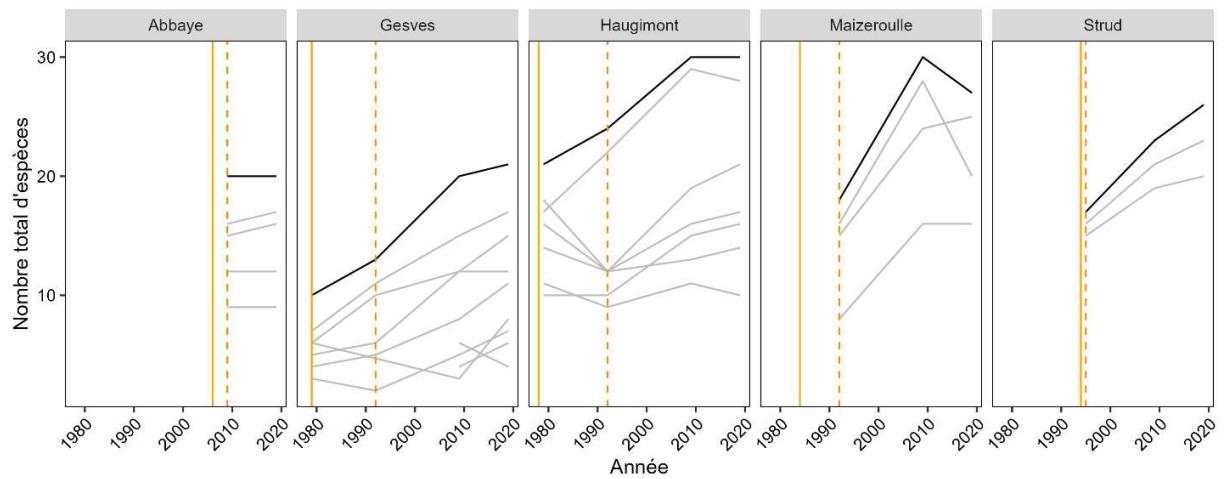


Figure 11 : Evolution du nombre d'espèces par zone d'inventaire (en gris) et à l'échelle des massifs forestiers (en noir). La diversité des arbres de la futaie es ten augmentation dans presque tous les massifs.

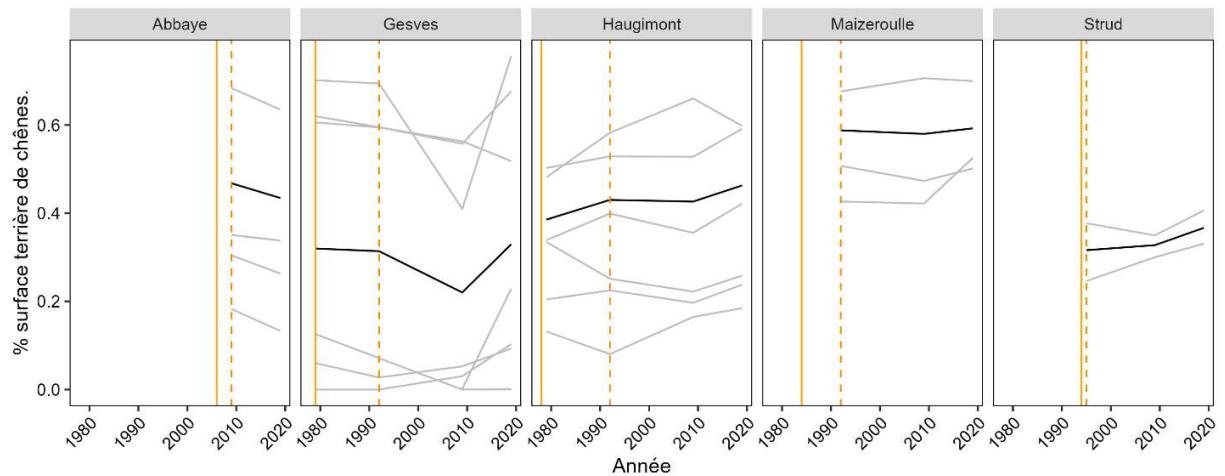


Figure 12 : Evolution de la proportion de la surface terrière occupée par le chêne dans chaque zone d'inventaire (en gris) et massifs forestiers (en noir). La proportion de chêne a peu évolué au cours du temps.

DÉPENSES ET RECETTES

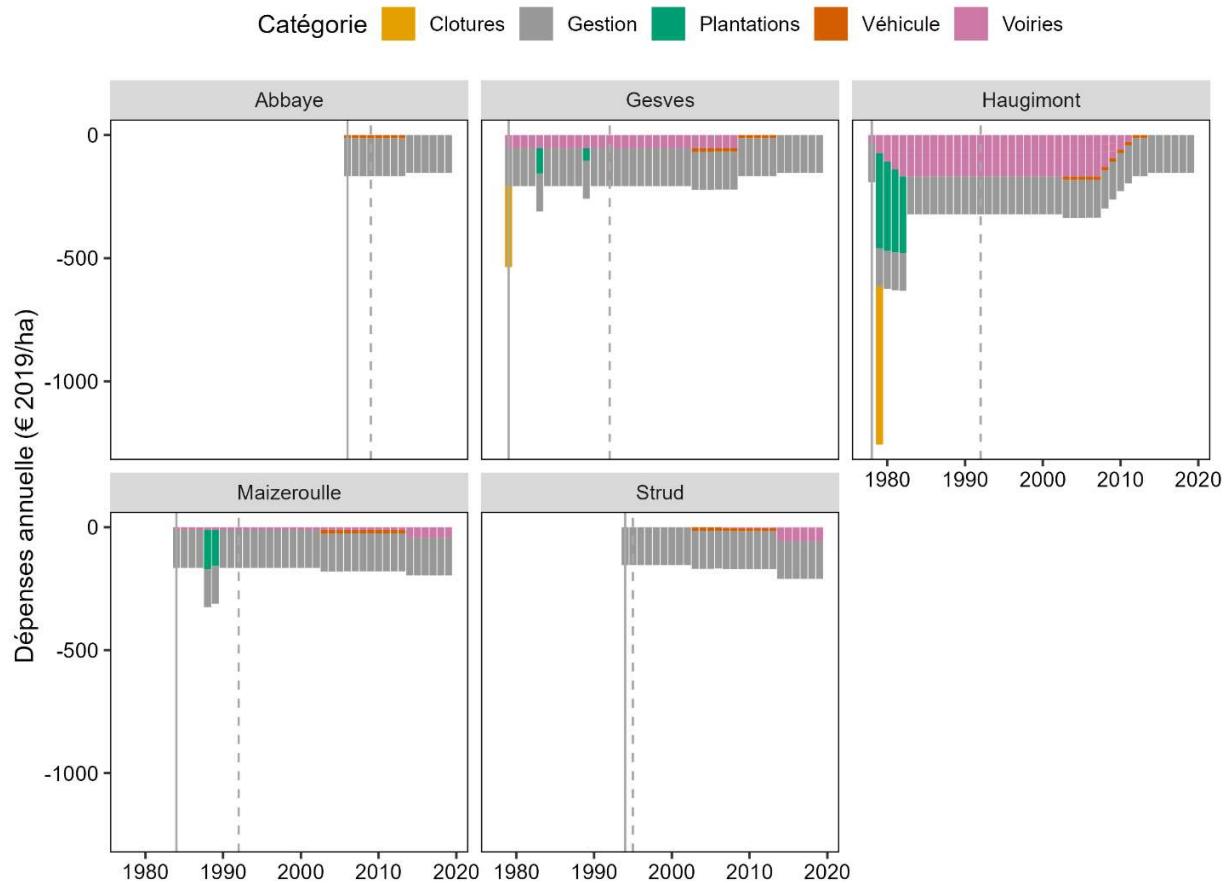


Figure 13 : Dépenses annuelles (en euro constant de 2019) dans les différents massifs. La ligne verticale en trait plein orange indique l'année de l'achat du bois et celle en pointillé indique l'année du premier inventaire considéré (après 1992). Les dépenses de voirie et l'achat du véhicule ont fait l'objet d'un amortissement sur 30 et 10 ans respectivement.

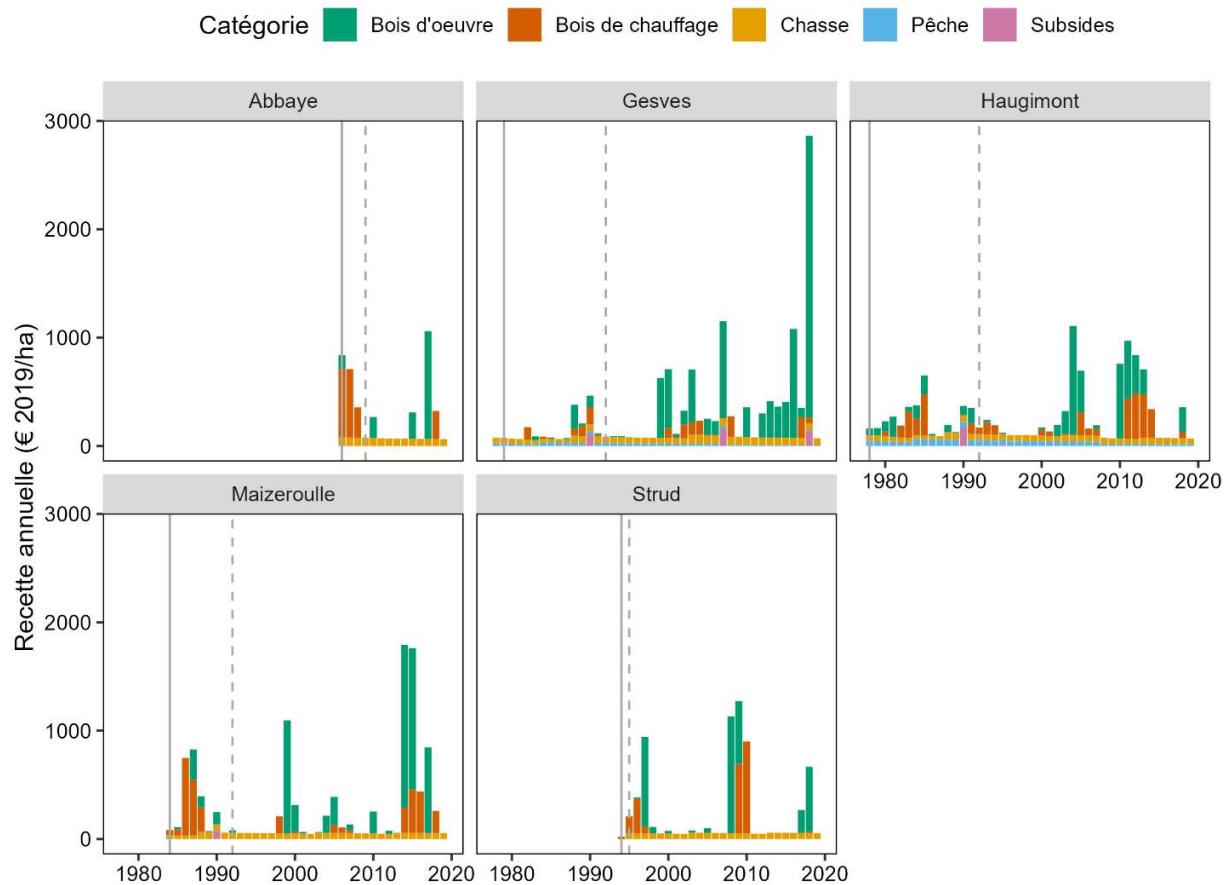


Figure 14 : Recettes annuelles (en euro constant de 2019) dans les différents massifs. La ligne verticale en trait plein orange indique l'année de l'achat du bois et celle en pointillé indique l'année du premier inventaire considéré (après 1992).

ECHÉANCIERS DES SCÉNARIOS THÉORIQUES

Tableau 7 : Echéancier du scénario de référence pour la pessière sans aléa.

Opération	Année	Prix (€/ha)	Volume (m ³)	Net (€/ha)
Broyage en plein (branches, rémanents, souches)	0	1238		-1238
Plants	0	1040		-1040
Plantation à la houe	0	929		-929
Dégagement	3	944		-944
Elagage de pénétration	22	2032		-2032
coupe	22	353	47	353
coupe	28	374	48	374
coupe	34	479	52	479
coupe	40	1023	60	1023
coupe	46	1229	70	1229
coupe	52	2259	68	2259
coupe	58	2002	66	2002
coupe finale	64	29330	550	29330

Tableau 8 : Echéancier du scénario de référence pour la pessière avec des dégâts de scolytes.

Opération	Année	Prix (€/ha)	Volume (m ³)	Net (€/ha)
Broyage en plein (branches, rémanents, souches)	0	1238		-1238
Plants	0	1040		-1040
Plantation à la houe	0	929		-929
Dégagement	3	944		-944
Elagage de pénétration	22	2032		-2032
coupe	22	353	47	353
coupe	28	374	48	374
coupe	34	479	52	479
coupe	40	1023	60	1023
coupe finale	46	8869	443	8869

Tableau 9 : Echéancier du scénario de référence pour la pessière avec des difficultés de régénération.

Opération	Année	Prix (€/ha)	Volume (m ³)	Net (€/ha)
Broyage en plein (branches, rémanents, souches)	2	1526		-1526
Plants	2	1040		-1040

Plantation à la houe	2	929		-929
Traitement contre l'hylobe	2	300		-300
Dégagement	4	944		-944
Dégagement	5	944		-944
Elagage de pénétration	24	2032		-2032
coupe	24	353	47	353
coupe	30	374	48	374
coupe	36	479	52	479
coupe	42	1023	60	1023
coupe	48	1229	70	1229
coupe	54	2259	68	2259
coupe	60	2002	66	2002
coupe	66	2411	64	2411
coupe	72	2832	63	2832
coupe finale	78	33765	606	33765

Tableau 10 : Echéancier du scénario de référence pour la douglasai sans aléa.

Opération	Année	Prix (€/ha)	Volume (m ³)	Net (€/ha)
Broyage en plein (branches, rémanents, souches)	0	1238		-1238
Plants	0	1040		-1040
Plantation à la houe	0	929		-929
Dégagement	3	944		-944
Elagage de pénétration	15	2032		-2032
coupe	15	323	45	323
coupe	21	498	69	498
coupe	27	928	77	928
coupe	33	1564	93	1564
coupe	39	1884	102	1884
coupe finale	45	32068	593	32068

Tableau 11 : Echéancier du scénario de référence pour la douglasai avec une perte de croissance.

Opération	Année	Prix (€/ha)	Volume (m ³)	Net (€/ha)
Broyage en plein (branches, rémanents, souches)	0	1238		-1238
Plants	0	1040		-1040
Plantation à la houe	0	929		-929
Dégagement	3	944		-944

Elagage de pénétration	15	2032		-2032
coupe	19	304	41	304
coupe	25	243	39	243
coupe	31	487	56	487
coupe	37	870	70	870
coupe	43	1455	79	1455
coupe	49	1538	79	1538
coupe	55	1990	79	1990
coupe finale	61	32600	588	32600

Tableau 12 : Echéancier du scénario de référence pour la douglasiaie avec des difficultés de régénération.

Opération	Année	Prix (€/ha)	Volume (m ³)	Net (€/ha)
Broyage en plein (branches, rémanents, souches)	0	1238		-1238
Plants	0	1040		-1040
Plantation à la houe	0	929		-929
Dégagement	3	944		-944
Plants	3	520		-520
Plantation à la houe	3	465		-465
Dégagement	3	944		-944
Dégagement	4	944		-944
Dégagement	5	944		-944
Elagage de pénétration	18	2032		-2032
coupe	18	323	45	323
coupe	24	498	69	498
coupe	30	928	77	928
coupe	36	1564	93	1564
coupe	42	1884	102	1884
coupe	48	2403	102	2403
coupe finale	54	36291	651	36291