

Modélisation de scénarios sylvicoles dynamiques en Mélèze

Identification d'itinéraires de
références en peuplements purs et
équiennes

Charlotte Longrée, Gauthier Ligot, Hugues Claessens

Mai 2026

Recherches financées par l'Accord-Cadre
de Recherche et de Vulgarisation forestières





Table des matières

CONTEXTE DE L'ÉTUDE	4
OBJECTIF RECHERCHÉ.....	5
PREMIÈRE PARTIE – MODÉLISATIONS SYLVICOLES	6
1.1. Scénarios sylvicoles modélisés	6
1.1.1. Scénario arbres-objectifs	6
Objectif :	6
Stratégie :.....	6
1.1.2. Scénario peuplement dynamique.....	7
Objectif :	7
Stratégie :.....	7
1.1.3. Scénario témoin.....	7
Objectif :	7
Stratégie :.....	8
1.2. Spécificités techniques des simulations sylvicoles et hypothèses posées	8
1.2.1. Principes	8
1.2.2. Logiciel utilisé	9
1.2.3. Hypothèses de simulations.....	10
1.3. Résultats des simulations sylvicoles	13
1.3.1. Analyses des scénarios en Site Index intermédiaire (SI2).....	13
Scénario arbres-objectifs.....	13
Scénario peuplement dynamique	17
Scénario témoin.....	21
Synthèse	23
1.3.2. Analyse des scénarios pour chaque site index	24
1.4. Discussion.....	25
DEUXIÈME PARTIE – MODÉLISATIONS ÉCONOMIQUES.....	26
2.1. Objectifs.....	26
2.2. Scénarios sylvicoles testés.....	26
2.3. Scénarios économiques testés	27
2.4. Spécificités techniques des simulations économiques et hypothèses posées.....	28
2.4.1. Principes	28
2.4.2. Logiciel utilisé	28
2.4.3. Coûts et recettes.....	29
2.4.4. Indicateurs	31



2.4.5.	Taux d'actualisation	32
2.5.	Résultats des simulations économiques.....	32
2.5.1.	Analyse de sensibilité sur la dimension d'exploitabilité pour les scénarios dynamiques	32
2.5.2.	Comparatif des itinéraires sylvicoles	36
	Rentabilité	36
	Coûts-Recettes-Bénéfices.....	37
	Influence de la désignation d'arbres-objectifs.....	40
	Nombre d'arbres minimum dans la composition finale des peuplements	41
	Synthèse	43
2.6.	Discussion.....	44
TROISIÈME PARTIE – CONSTRUCTION DES NOUVELLES NORMES SYLVICOLES		46
3.1.	Recommandation d'un scénario sylvicole dynamique	46
	Scénario sylvicole recommandé	46
	Variante A : Cas d'une densité de plantation plus élevée	58
	Variante B : Cas d'une densité de plantation plus faible	61
	Variante C : Cas d'une désignation d'arbres-objectifs	64
	Variante D : Cas d'une régénération naturelle du peuplement.....	67
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....		70
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		72
ANNEXES.....		73
	Annexe 1 : Spécificités techniques et hypothèses posées pour la modalisation des itinéraires sylvicoles dynamiques.....	73
	Annexe 2 : Valeurs moyennes du VAN ∞ relatives à l'analyse de sensibilité sur la dimension d'exploitabilité pour les scénarios dynamiques avec un taux d'actualisation de 3 %.	75
	Annexe 3 : Calcul du prix à ajouter lors de la vente des arbres élagués à grande hauteur pour compenser le coût de l'élagage.	77
	Annexe 4 : Spécificités techniques et hypothèses posées pour la modalisation des tables de productions des itinéraires sylvicoles dynamiques recommandés.	79

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Durant l'hiver 1998-1999, plusieurs parcelles expérimentales de sylvicultures très dynamiques en futaies pures et équiennes ont été installées dans de jeunes mélèzières en Wallonie. Trois modalités de traitement différentes et plus intensives y ont été testées, en reflet des recommandations sylvicoles du guide sur le mélèze en région wallonne (Rondeux et Pauwels 2001) : la modalité 15 m²/ha (interventions précoces et surface terrière après éclaircie fixée à 15 m²/ha), la modalité 18 m²/ha (interventions précoces et surface terrière après éclaircie fixée à 18 m²/ha) et la modalité AO (interventions précoces, désignation de 100 arbres-objectifs par hectare et détourages forts pour simuler une croissance proche de la croissance libre). Une placette témoin, représentative de la sylviculture conventionnelle (interventions tardives et peuplement maintenu dense), a également été suivie.

Le suivi individuel des arbres dans ces parcelles a permis de retracer l'évolution de différents paramètres dendrométriques au cours des 25 dernières années, dont la croissance en grosseur, la production en volume et la stabilité des peuplements. En 2024, une analyse dendrométrique comparative au cas par cas des modalités sylvicoles testées a permis d'identifier des tendances pour des stations de bonne productivité (Longrée 2024).

Il en ressort que les modalités dynamiques testées en peuplements purs et équiennes produisent des arbres plus gros plus rapidement par rapport à la placette témoin, permettant ainsi de raccourcir la révolution et donc la durée d'exposition des arbres aux aléas sanitaires et climatiques. Elles produisent aussi des arbres plus trapus résistants mieux au vent ou aux neiges lourdes. Cependant aucune des modalités ne se différencie nettement des autres pour les arbres dominants. Une limite semble toutefois être atteinte dans l'effet de l'intensité des coupes sur la production en volume du peuplement, où des coupes descendant en dessous d'une surface terrière de 18 m²/ha mèneraient vers une perte de production.

Ainsi, l'étude de 2024 indique que la combinaison des modalités 15 m²/ha et 18 m²/ha au sein d'un même traitement, pour des densités de plantations inférieures à 1.300 plants à l'hectare, pourrait permettre de trouver un compromis entre une production totale en volume intéressante, une bonne stabilité des peuplements et l'atteinte de dimensions individuelles de 180-190 cm (circonférence à 1m30) sur une révolution de 45 à 60 ans.

Ce bilan approfondi sur les données collectées et les résultats obtenus posent les prémices de recommandations sylvicoles et ouvrent la voie vers la construction de nouveaux itinéraires techniques.

OBJECTIF RECHERCHÉ

Les dispositifs expérimentaux en Mélèze ont permis de tirer des enseignements sylvicoles pour améliorer la conduite de cette essence dans nos forêts, notamment en vue d'optimiser la production de bois en peuplements purs et équiennes (Longrée et al. 2025).

La publication de nouvelles normes sylvicoles pour le Mélèze (itinéraires sylvicoles et tables de production associées) basées sur ces apprentissages permettra de guider les gestionnaires désireux de mettre en œuvre d'autres stratégies de sylviculture pour cette essence.

La première partie de ce travail de modélisation cherche à identifier ces normes sylvicoles, à partir des résultats de recherches expérimentales d'une part et des retours d'expériences pratiques de gestionnaires forestiers d'autre part.

Les principaux objectifs recherchés pour ces nouvelles normes sont les suivants :

- maximiser la production en volume et raccourcir les révolutions ;
- produire un bois de qualité apte à des usages multiples ;
- assurer la stabilité des peuplements face aux tempêtes ;

Deux itinéraires dynamiques, construits à partir de l'analyse des dispositifs en mélèze de 2024 (Longrée 2024), sont modélisés puis comparés afin d'identifier celui qui répondra le mieux aux objectifs visés. Un scénario témoin de la sylviculture conventionnelle du Mélèze appliquée en Wallonie est également modélisé et évalué à titre comparatif.

La seconde partie de ce travail de modélisation réalise une analyse théorique de la rentabilité économique des itinéraires dynamiques affinés grâce aux résultats de la partie précédente, en mettant notamment à l'épreuve la dimension d'exploitabilité afin de définir le choix le plus intéressant financièrement.

La troisième partie de ce travail de modélisation présente les nouvelles normes sylvicoles recommandées à partir des résultats obtenus et des retours d'expériences de gestionnaires de terrain.

PREMIÈRE PARTIE – MODÉLISATIONS SYLVICOLES

1.1. SCÉNARIOS SYLVICOLES MODÉLISÉS

Deux scénarios dynamiques ont été construits au départ de situations initiales différentes, définies à partir des recommandations énoncées par Rondeux et Pauwels (2001) et des retours d'expériences de gestionnaires forestiers. Le premier scénario a été modélisé en partant d'une distance de plantation de 3 x 3 m et le second en partant d'une distance de plantation de 2 x 2,5 m. Deux finalités sont simulées pour chacun : une récolte par mise à blanc d'une part et une décapitalisation progressive en vue de permettre l'installation d'une régénération naturelle d'autre part.

Un troisième scénario, témoin des itinéraires sylvicoles plus conventionnels a également été modélisé. La finalité simulée pour celui-ci sera une récolte par mise à blanc, conformément aux habitudes de gestion les plus souvent observées.

Les scénarios sylvicoles analysés sont les suivants :

- 1) Un **scénario arbres-objectifs** : plantation à large écartement, éclaircies précoces axées principalement sur le détournage d'arbres-objectifs sélectionnés. Deux finalités sont simulées : une récolte par mise à blanc et une décapitalisation progressive en vue d'une régénération naturelle.
- 2) Un **scénario « peuplement » dynamique** : plantation assez dense, éclaircies globalement par le haut fortes et précoces. Deux finalités sont simulées : une récolte par mise à blanc et une décapitalisation progressive en vue d'une régénération naturelle.
- 3) Un **scénario témoin** : plantation assez dense, éclaircies plus tardives et par le bas, récolte par mise à blanc.

1.1.1. SCÉNARIO ARBRES-OBJECTIFS

OBJECTIF :

Ce scénario vise à produire de gros bois de qualité en travaillant au profit des individus les plus prometteurs (arbres-objectifs), en répondant aux besoins écologiques de l'essence.

STRATÉGIE :

Ce scénario repose d'une part sur la valorisation dès le départ du potentiel de croissance juvénile du Mélèze en plantant à plus large écartement et d'autre part sur la mise en application des enseignements des dispositifs expérimentaux de sylvicultures dynamiques de D.Pauwels (Longrée et al. 2025), pour conduire les arbres-objectifs vers de grosses dimensions.

En pratique, les caractéristiques techniques appliquées sont les suivantes :

- Distance de plantation : 3 x 3 m (soit une densité initiale de 1.111 plants/ha) ;
- Désigner 80 arbres-objectifs à l'hectare lors de la première éclaircie ;
- Réaliser essentiellement des détournages au profit des arbres-objectifs. Même si la densité globale n'est pas un objectif, cela revient à ramener le peuplement à une surface terrière (Gha)

de 15 m²/ha après éclaircie avec une rotation de 3 ans, jusqu'à environ 25 ans puis à 18 m²/ha ensuite, avec une rotation de 6 ans.

- Finalité :
 - a. Récolte finale lorsque l'on atteint une circonférence moyenne du peuplement mesurée à 1m30 (c130 moyen) de 180 cm ;
 - b. A partir de c130 moyen de 150 cm, entamer une décapitalisation progressive avec des coupes qui prélèveront 25 % de la surface terrière à chaque passage, en rotation de 6 ans. Les plus gros bois qui ont déjà atteint la dimension d'exploitabilité fixée seront prélevés en priorité.

1.1.2. SCÉNARIO PEUPEMENT DYNAMIQUE

OBJECTIF :

Ce scénario vise à valoriser le potentiel de croissance juvénile du Mélèze à partir d'une distance de plantation habituelle plus élevée, grâce à l'application des enseignements tirés des dispositifs expérimentaux de sylvicultures dynamiques de D.Pauwels (Longrée et al. 2025). Cette densité de plantation plus élevée permet une meilleure sélection et autorise aussi des pertes lors de la reprise, des dégagements et face aux dégâts de gibier.

STRATÉGIE :

Ce scénario repose sur la valorisation dès le départ du potentiel de croissance juvénile du Mélèze en démarrant les interventions suffisamment tôt pour ne pas impacter celui-ci (Rondeux et Pauwels 2001) et sur la mise en application des enseignements des dispositifs expérimentaux de sylvicultures dynamiques.

En pratique, les caractéristiques techniques appliquées sont les suivantes :

- Distance de plantation : 2 x 2,5 m (soit une densité initiale de 2.000 plants/ha)
- Réaliser des éclaircies fortes globalement par le haut, rapidement, qui viseront à ramener le peuplement à une surface terrière cible de 15 m²/ha après coupe avec une rotation de 3 ans, jusqu'à environ 25 ans puis de 18 m²/ha ensuite, lorsque la rotation passe à 6 ans.
- Finalité :
 - a. Récolte finale lorsque les arbres atteignent un c130 moyen de 180 cm ;
 - b. A partir de c130 moyen de 150 cm, entamer une décapitalisation progressive avec des coupes qui prélèveront 25 % de la surface terrière à chaque passage, en rotation de 6 ans. Les plus gros bois qui ont déjà atteint la dimension d'exploitabilité fixée seront prélevés en priorité.

1.1.3. SCÉNARIO TÉMOIN

OBJECTIF :

Ce scénario vise à appliquer un scénario sylvicole représentatif de la sylviculture conventionnelle du Mélèze en Wallonie (première intervention tardive et réalisation d'éclaircies par le bas) à partir d'une distance de plantation habituelle.

STRATÉGIE :

Ce scénario se calque sur la table de production moyenne observée pour le Mélèze en Wallonie, reprise dans le guide sylvicole de D.Pauwels (Rondeux et Pauwels 2001).

En pratique, les caractéristiques techniques appliquées sont les suivantes :

- Distance de plantation : 2 x 2,5 m (soit une densité initiale de 2.000 plants/ha)
- Réaliser des éclaircies par le bas, en rotation de 6 ans, qui viseront à prélever un pourcentage de tiges à l’hectare (Nha) bien défini et donné dans la table de production de référence (Tableau 1).

Tableau 1. Âge des éclaircies et facteurs d’éclaircie repris dans les tables de production moyenne observées pour les peuplements de Mélèze en Wallonie (Rondeux et Pauwels 2001).

ÂGE	POIDS DE LA COUPE (% DU NHA PRÉLEVÉ)
18	35 %
24	35 %
30	30 %
36	30 %
42	25 %
48	15 %
...	15 %
84	100 %

1.2. SPÉCIFICITÉS TECHNIQUES DES SIMULATIONS SYLVICOLES ET HYPOTHÈSES POSÉES

1.2.1. PRINCIPES

Les simulations se sont déroulées en 3 temps :

- 1) Des simulations préparatoires ont d’abord été réalisées pour définir quel paramètre sylvicole du peuplement (âge, hauteur dominante¹, RDI²) serait utilisé comme paramètre de référence pour le déclenchement de la première éclaircie des scénarios dynamiques. C’est la hauteur dominante du peuplement (Hdom) qui a été retenue, pour sa facilité d’utilisation et parce qu’elle permet de construire des scénarios sylvicoles applicables quel que soit l’indice de productivité (Site index ou SI) de la parcelle.

Les simulations préparatoires ont permis d’identifier les valeurs de Hdom les plus adéquates au regard des objectifs et stratégies définis pour chaque scénario (cf. point 1.1 ci-dessus).

¹ Hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l’hectare du peuplement.

² Indice de Densité Relative, rapport du nombre de tiges d’un peuplement équienne monospécifique au nombre de tiges d’un peuplement équienne monospécifique de la même espèce et de même surface terrière jamais éclairci.

Une attention particulière a été portée à l'intensité des éclaircies, en veillant à limiter les risques pour la stabilité du peuplement (prélèvement de maximum 40% du Nha et 35% du Gha, en référence à ce qui est admis en épicéa et douglas (Perin et al. 2016)).

- 2) Une seconde série de simulations a ensuite été réalisée pour tester les 2 scénarios dynamiques et les comparer avec le scénario témoin. Ces modélisations concernaient uniquement le Site Index intermédiaire (SI 2, $H50^3 = 27$ m), représentatif de l'indice de productivité observé pour une grande majorité des mélèzières wallonnes (Perin et al. 2014).
- 3) Enfin, une troisième série de simulations a été lancée pour les autres Site Index (0, 1, 3 et 4), afin de les éprouver dans d'autres conditions de croissance d'une part et de comparer les résultats obtenus pour le Site Index intermédiaire d'autre part. Certaines hypothèses de simulations ont ainsi pu être discutées.

1.2.2. LOGICIEL UTILISÉ

Important : Les analyses ont été entreprises à partir d'un modèle de croissance moyen intégrant une multitude de données issues de peuplements purs et équiennes des 3 espèces de mélèze confondues. Il est donc important de conserver à l'esprit qu'elles représentent l'évolution de peuplements théoriques et qu'elles ne se réfèrent pas à un mélèze en particulier.

Les simulations ont été réalisées à l'aide de GYMNOS, un modèle de dynamique des peuplements forestiers développé afin de simuler l'évolution de plantations monospécifiques d'épicéa commun, de douglas et de mélèze dans le contexte wallon (Ligot et al., 2023).

Il s'agit d'un modèle empirique de dynamique de peuplement, indépendant de la distance entre arbres, fonctionnant avec un pas de temps annuel. Il est implémenté sous forme de module JAVA dans la plateforme open source Capsis4 (Dufour-Kowalski et al. 2012). Il comprend des équations et des algorithmes utilisés pour simuler l'initialisation des peuplements, la croissance en hauteur dominante (Perin et al. 2013), la croissance individuelle des arbres (Perin et al. 2017), la mortalité individuelle des arbres ainsi que les éclaircies.

Ce modèle a déjà été largement testé et utilisé pour définir des scénarios sylvicoles de référence, tels que les tables de production wallonnes de l'épicéa et du douglas (Perin et al. 2016).

Initialisation des peuplements

Pour nos simulations, l'initialisation des peuplements débute à 10 ans. Nous avons observé que la circonférence des arbres du peuplement (C_g) à l'initialisation était sous-estimée (environ 15 %) par le modèle⁴ de croissance par rapport aux mesures réalisées dans les dispositifs de suivis expérimentaux en Mélèze, impactant donc également la surface terrière du peuplement à l'initialisation (sous-estimation d'environ 30 %). Un facteur d'ajustement de 1,15 a donc été appliqué à la circonférence des arbres lors de l'initialisation (C_g à l'initialisation = C_g du modèle x 1,15) afin de pouvoir démarrer les simulations à partir de peuplements fictifs plus proches de la réalité.

³ Hauteur dominante du peuplement à 50 ans.

⁴ Cette sous-estimation était prévisible étant donné que le jeu de données utilisé pour la construction et la calibration du modèle contenait un nombre limité de jeunes peuplements de Mélèze (peu de données sur ces peuplements disponibles).

Simulation des éclaircies

Les éclaircies simulées dans GYMNOS sont définies par des valeurs d'intensité d'éclaircie, de type d'éclaircie (TYP) et par un coefficient stochastique d'éclaircie (S). L'intensité d'éclaircie correspond à une valeur cible de densité du peuplement, de volume sur pied ou d'indice de densité relative (RDI).

Le type d'éclaircie (TYP) varie entre 0 et 1 et traduit la préférence du forestier pour la récolte d'arbres de petite ou de grande taille. Une éclaircie de type 0 consiste à prélever les plus petits arbres alors qu'un type égal à 1 correspond au prélèvement des plus gros arbres. Pour prélever des arbres de circonférence intermédiaire, on appliquera un type de 0,5.

Le coefficient stochastique d'éclaircie (S) varie également entre 0 et 1 et correspond à un facteur qui ajoute de l'aléatoire dans la sélection des arbres éclaircis. Si TYP = 0 et S = 0, seuls les plus petits arbres sont récoltés, tandis que si TYP = 0 et S = 1, les arbres sont récoltés indépendamment de leur taille. L'algorithme calcule un score aléatoire pour chaque arbre, puis prélève successivement l'arbre ayant le score le plus faible jusqu'à atteindre l'intensité d'éclaircie souhaitée (Ligot et al., 2023).

Sélection d'arbres d'avenir

Des arbres d'avenir peuvent être sélectionnés et conservés jusqu'à la coupe finale. Ces arbres seront sélectionnés préférentiellement parmi les grands arbres en utilisant le même algorithme que celui employé pour simuler les éclaircies. Un facteur TYP et un facteur aléatoire S seront donc également utilisés.

1.2.3. HYPOTHÈSES DE SIMULATIONS

Dimension d'exploitabilité

Lorsque leur croissance rapide au stade juvénile est favorisée, les mélèzes présentent une proportion de bois juvénile plus conséquente dans leur grume, pouvant impacter les propriétés mécaniques du bois. Le bois juvénile (qui correspond au bois produit durant les 20 premières années pour les mélèzes) présente en effet une masse volumique et une densité plus faible que le bois adulte (Charron et al. 2003).

Ainsi, la présence de bois juvénile, tout comme la présence d'aubier, peut limiter la proportion de grume utilisable et nous poussent à vouloir définir une dimension d'exploitation de minimum 180 cm de circonférence à 1m30. Celle-ci assurera de rencontrer l'objectif de production de bois de qualité apte à divers usages.

Désignation d'arbres-objectifs et constitution finale des peuplements

S'agissant de la sylviculture d'arbres-objectifs, en Mélèze une désignation d'environ 50 arbres/ha serait recommandée (soit une distance minimum de 15 m entre chaque arbre lors de la désignation) (Baar 2010) pour garantir des densités optimales et des distances finales entre individus qui permettent de laisser les houppiers libres de toute concurrence. Toutefois, afin de conserver une certaine marge de sécurité face aux aléas sanitaires et pour s'assurer d'une rentabilité suffisante, nous avons décidé de désigner 80 arbres/ha dans nos simulations.

Dans une optique de rentabilité économique, nous avons également décidé de ne pas descendre en dessous de 80 arbres/ha pour la constitution du peuplement final pour le scénario « peuplement dynamique » à finalité de mise à blanc.

Coupes de décapitalisation (finalité régénération naturelle)

Selon la littérature, le niveau de matériel sur pied optimal de la futaie (exprimé en surface terrière) qui permet le bon fonctionnement de l'écosystème forestier pour les essences résineuses de lumière et demi-ombre (douglas, mélèze et épicéa), et notamment l'obtention et le maintien d'un semis de qualité de ces essences, ne devrait pas dépasser 22 à 32 m²/ha avant martelage (Baar 2010) (Wilhelm, 2016). Etant donné son caractère héliophile stricte, le mélèze se réfère plutôt à la limite basse de cette fourchette, soit 22 m²/ha. D'après les observations réalisées dans les dispositifs expérimentaux de mélèze (à partir desquels ont été construits les scénarios sylvicoles modélisés), en sylviculture dynamique les peuplements sont généralement maintenus en dessous de ce niveau de matériel sur pied très tôt (avant 30 ans). Afin de permettre à une régénération de s'amorcer sous couvert et pour éviter les sacrifices d'exploitabilité, nous estimons qu'entamer les coupes de décapitalisation à partir d'une circonférence moyenne de 150 cm à 1m30 constitue une bonne approche pour les simulations de régénération par voie naturelle. Ainsi, nous posons l'hypothèse qu'à partir de cette dimension la régénération (quelle qu'elle soit) sera apparente au sein des peuplements soumis aux itinéraires modélisés.

Afin d'éviter de déstabiliser les peuplements en place, les coupes de décapitalisation se limiteront à prélever 25 % de la surface terrière du peuplement à chaque rotation.

Itinéraires sylvicoles

Les hypothèses posées pour la simulation de chaque itinéraire sylvicole testé sont synthétisées dans les Tableau 2.

Tableau 2. Hypothèses de simulations posées pour chaque scénario sylvicole.

	HYPOTHÈSES POSÉES		
	SCÉNARIO ARBRES-OBJECTIFS (AO)	SCÉNARIO PEUPLEMENT DYNAMIQUE	SCÉNARIO TÉMOIN
Application d'un taux de survie à l'initialisation (10 ans)	Taux de survie de 80%	Taux de survie de 80%	Taux de survie de 80%
Déclanchement de la première éclaircie⁵	Hdom première éclaircie = 13,5 m	Hdom première éclaircie = 11,0 m	Âge = 18 ans
Désignation d'arbres-objectifs lors de la première éclaircie	Désignation de 80 AO. Sélection des arbres clairement par le haut parmi les arbres dominants du peuplement.	Désignation de 80 AO pour la simulation afin que le simulateur applique le type d'éclaircie souhaité. Sélection moins par le haut et plus aléatoire que pour le scénario AO.	Non
Rotations	6 ans	6 ans	6 ans

⁵ Hauteur dominante définie sur base des résultats des simulations préparatoires avec pour objectif d'éviter les effets néfastes de la concurrence sur l'accroissement juvénile.

Type d'éclaircies	Eclaircies réalisées par le haut	Eclaircies réalisées par le haut, mais de manière moins prononcée que pour le scénario AO	Eclaircies réalisées par le bas
Caractéristiques des éclaircies	<ul style="list-style-type: none"> Les 4 premières éclaircies ramènent le Gha à 15 m²/ha en passage à mi-rotation et la 1^{ère} éclaircie coïncide avec l'ouverture d'un cloisonnement Les éclaircies suivantes ramènent le Gha à 18 m²/ha en passage à rotation 		Les éclaircies prélèvent un certain pourcentage du nombre de tige à l'hectare (voir Tableau 1)
Condition de réalisation des éclaircies	Les éclaircies ne sont réalisées que si elles prélèvent au minimum 10% du Gha		/
Cas d'une finalité de scénario en mise à blanc – Facteur déclenchant la récolte finale	Cg objectif = 180 cm. Récolte finale lorsque cette valeur est atteinte en fin de rotation		
Cas d'une finalité de scénario en régénération naturelle - Dimension cible pour débiter la régénération	Cg = 150 cm. Décapitalisation de 25% du Gha à chaque rotation jusque Cg = 200 cm		/

Facteurs pour les simulations GYMNOS

Les facteurs utilisés dans l'algorithme du modèle GYMNOS pour la désignation des arbres-objectifs et la simulation des éclaircies de chaque itinéraire sylvicole testé sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Facteurs appliqués lors des simulations pour chaque scénario sylvicole au sein du logiciel GYMNOS.

	SCÉNARIO AO		SCÉNARIO PEUPLÉMENT DYNAMIQUE		SCÉNARIO TÉMOIN	
	Facteur TYP	Facteur aléatoire S	Facteur TYP	Facteur aléatoire S	Facteur TYP	Facteur aléatoire S
Désignation AO	0,95	0,30	0,80	0,50	/	/
1^{ère} éclaircie	0,80	0,60	0,60	0,60	0,20	0,80
Autres éclaircies	0,80	0,60	0,60	0,60	0,20	0,40
Coupes de décapitalisation pour la régénération naturelle	1,00	0,20	1,00	0,20	/	/



1.3. RÉSULTATS DES SIMULATIONS SYLVICOLES

La présentation des résultats s'articule en deux parties : l'une axée sur les résultats des simulations de chaque scénario pour le Site Index intermédiaire (SI2) et la seconde portant sur le comparatif des scénarios pour chaque Site Index. Les différentes variables sylvicoles présentées dans les tables sont reprises ci-dessous.

Age = Âge du peuplement depuis la date de plantation (années) ;

Hdom = Hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare (m) ;

Nha = Nombre de tiges du peuplement par hectare ;

Cg = Circonférence à 1m30 de l'arbre de surface terrière moyenne (cm) ;

Gha = Surface terrière du peuplement à l'hectare (m²/ha) ;

Vha = Volume du peuplement à l'hectare (m³/ha) ;

%Nha = Pourcentage du Nha prélevé par l'éclaircie ;

%Gha = Pourcentage du Gha prélevé par l'éclaircie ;

ACC = Accroissement Courant en Circonférence (cm/an) ;

AMV = Accroissement Moyen en Vha depuis la plantation (m³/ha/an) ;

ACV = Accroissement Courant en Vha (m³/ha/an) ;

AMG = Accroissement Moyen en Gha depuis la plantation (m²/ha/an) ;

ACG = Accroissement Courant en Gha (m²/ha/an) ;

PTV = Production totale en volume depuis la plantation (m³/ha) ;

H/d = Facteur de stabilité représenté par le rapport entre la hauteur dominante et le diamètre moyen du peuplement à 1m30

1.3.1. ANALYSES DES SCÉNARIOS EN SITE INDEX INTERMÉDIAIRE (SI2)

SCÉNARIO ARBRES-OBJECTIFS

Variante a) : Mise à blanc

- 17 ans : Première éclaircie -> Gha objectif après coupe de 15 m²/ha et rotation de 3 ans ;
- 26 ans : Dernière éclaircie en Gha-objectif de 15 m²/ha, passage à des rotations de 6 ans ;
- 32 ans : Eclaircie avec Gha-objectif après coupe de 18 m²/ha ;
- 50 ans : Dernière éclaircie ;
- 62 ans : Récolte finale.

Tableau 4. Table de production simulée pour le scénario AO en mise à blanc en SI 2 (H50 = 27 m)

Age	Hdom	AVANT ÉCLAIRCIE				ECLAIRCIE						APRÈS ÉCLAIRCIE				ACC	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV	h/d
		Nha_b	Cg_b	Gha_b	Vha_b	Nha_t	%Nha	Cg_t	Gha_t	%Gha	Vha_t	Nha_a	Cg_a	Gha_a	Vha_a							
17	14,1	889	57,4	23,3	164,5	301	0,34	58,9	8,3	0,36	59,2	587	56,6	15,0	105,2	3,3	1,6	1,4	16,0	9,7	164,5	78,2
20	15,9	587	65,2	19,8	153,2	142	0,24	65,4	4,8	0,24	37,7	445	65,1	15,0	115,5	2,8	1,4	1,4	14,5	10,6	212,4	76,6
23	17,5	445	73,5	19,1	159,2	98	0,22	72,5	4,1	0,22	34,5	347	73,8	15,0	124,6	2,8	1,2	1,4	13,2	11,1	256,0	74,5
26	18,9	347	82,0	18,5	164,2	71	0,20	79,3	3,5	0,19	31,7	276	82,6	15,0	132,5	2,7	1,0	1,4	12,2	11,4	295,6	72,0
32	21,4	276	98,0	21,1	205,7	45	0,16	93,0	3,1	0,15	30,6	231	98,9	18,0	175,1	2,6	0,9	1,3	11,5	11,5	368,8	68,0
38	23,4	231	112,8	23,4	244,3	63	0,27	103,5	5,4	0,23	57,1	168	116,0	18,0	187,2	2,3	0,7	1,2	9,9	11,5	438,0	63,4
44	25,0	168	129,6	22,4	246,3	43	0,26	114,0	4,4	0,20	49,9	125	134,5	18,0	196,4	2,3	0,6	1,2	8,6	11,3	497,1	58,5
50	26,4	125	147,9	21,8	247,8	31	0,24	124,5	3,8	0,17	43,8	95	154,7	18,0	204,0	2,2	0,6	1,1	7,8	11,0	548,5	53,7
62	28,8	95	180,9	24,6	297,4	95	1,00	180,9	24,6	1,00	297,4	0	NaN	0,0	0,0	2,2	0,5	1,0	12,9	10,4	641,9	50,1

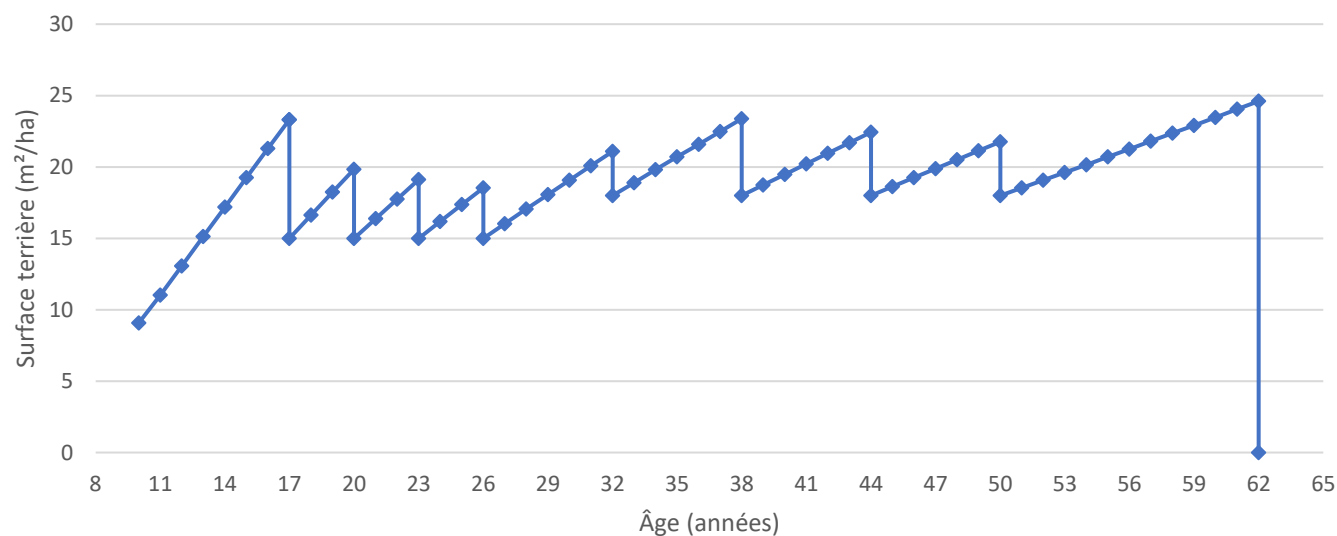


Figure 1. Evolution de la surface terrière à l'hectare (Gha) en fonction de l'âge du peuplement pour le scénario AO en mise à blanc.



Variante b) : Régénération naturelle

- 17 ans : Première éclaircie -> Gha objectif après coupe de 15 m²/ha et rotation de 3 ans ;
- 26 ans : Dernière éclaircie en Gha-objectif de 15 m²/ha, passage à des rotations de 6 ans ;
- 32 ans : Première éclaircie en Gha-objectif après coupe de 18 m²/ha ;
- 56 ans : Début décapitalisation ;
- 80 ans : Récolte finale.

Tableau 5. Table de production simulée pour le scénario AO en régénération naturelle en SI 2 (H50 = 27 m)

Age	Hdom	Avant éclaircie				Eclaircie						Après éclaircie				ACC	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV	h/d
		Nha_b	Cg_b	Gha_b	Vha_b	Nha_t	%Nha	Cg_t	Gha_t	%Gha	Vha_t	Nha_a	Cg_a	Gha_a	Vha_a							
17	14,1	888,7	57,5	23,3	164,7	302,7	0,34	58,9	8,3	0,36	59,5	586,0	56,7	15,0	105,2	3,3	1,6	1,4	16,0	9,7	164,7	78,1
20	15,9	586,0	65,2	19,8	153,2	140,6	0,24	65,8	4,8	0,24	37,7	445,4	65,0	15,0	115,5	2,8	1,4	1,4	14,5	10,6	212,7	76,6
23	17,5	445,4	73,4	19,1	159,1	99,3	0,22	72,1	4,1	0,22	34,5	346,1	73,8	15,0	124,6	2,8	1,2	1,4	13,2	11,1	256,3	74,4
26	18,9	346,1	82,0	18,5	164,2	70,5	0,20	79,3	3,5	0,19	31,6	275,6	82,7	15,0	132,5	2,7	1,0	1,4	12,2	11,4	295,8	71,9
32	21,4	275,6	98,1	21,1	205,7	44,7	0,16	93,2	3,1	0,15	30,6	230,9	99,0	18,0	175,1	2,6	0,9	1,3	11,5	11,5	369,0	68,0
38	23,4	230,9	112,8	23,4	244,3	62,3	0,27	104,2	5,4	0,23	57,2	168,6	115,8	18,0	187,2	2,3	0,7	1,2	9,9	11,5	438,2	63,5
44	25,1	168,6	129,3	22,4	246,4	42,7	0,25	114,3	4,4	0,20	50,0	125,9	134,0	18,0	196,4	2,3	0,6	1,2	8,6	11,3	497,4	58,7
50	26,4	125,9	147,4	21,8	247,9	30,7	0,24	124,2	3,8	0,17	44,0	95,2	154,1	18,0	203,9	2,2	0,5	1,1	7,6	11,0	548,9	53,8
56	27,7	95,2	167,5	21,3	249,4	21,2	0,22	177,6	5,3	0,25	63,3	74,0	164,5	15,9	186,1	2,2	0,5	1,0	6,4	10,6	594,3	52,8
62	28,6	74,0	178,1	18,7	224,4	16,5	0,22	188,9	4,7	0,25	57,3	57,5	174,8	14,0	167,1	2,3	0,4	1,0	5,4	10,2	632,6	51,4
68	29,4	57,5	188,6	16,3	199,4	12,9	0,22	199,2	4,1	0,25	50,8	44,6	185,4	12,2	148,6	2,3	0,3	0,9	4,5	9,8	664,9	49,9
74	30,2	44,6	199,4	14,1	175,9	10,1	0,23	209,9	3,5	0,25	44,9	34,5	196,2	10,6	131,0	2,3	0,3	0,9	3,8	9,4	692,2	48,3
80	30,9	34,5	210,6	12,2	154,0	34,5	1,00	210,6	12,2	1,00	154,0	0,0	NaN	0,0	0,0	2,4	0,2	0,8	14,0	8,9	715,3	46,1

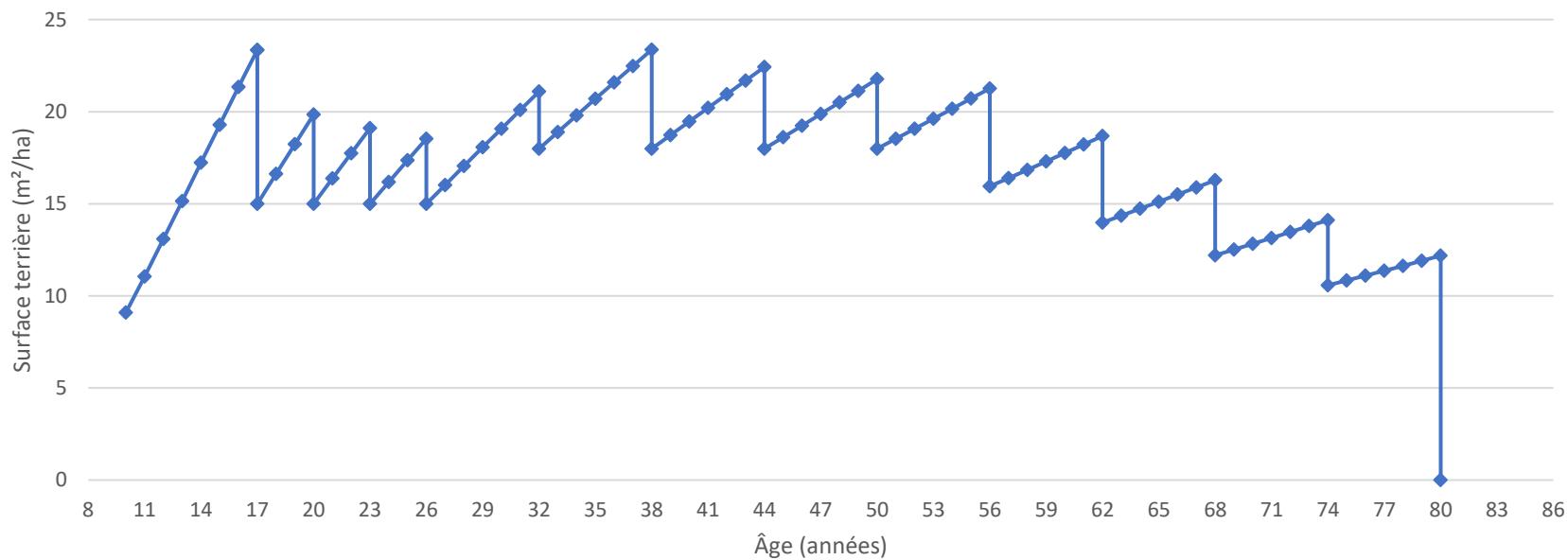


Figure 2. Evolution de la surface terrière à l'hectare (Gha) en fonction de l'âge du peuplement pour le scénario AO en régénération naturelle.

SCÉNARIO PEUPEMENT DYNAMIQUE

Variante a) : Mise à blanc

- 13 ans : Première éclaircie -> Gha objectif après coupe de 15 m²/ha et rotation de 3 ans ;
- 22 ans : Dernière éclaircie en Gha-objectif de 15 m²/ha, passage à des rotations de 6 ans ;
- 28 ans : Première éclaircie en Gha-objectif après coupe de 18 m²/ha ;
- 58 ans : Dernière éclaircie ;
- 64 ans : Récolte finale.

Tableau 6. Table de production simulée pour le scénario peuplement dynamique en SI 2 (H50 = 27 m)

Age	Hdom	Avant éclaircie				Eclaircie						Après éclaircie				ACC	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV	h/d
		Nha_b	Cg_b	Gha_b	Vha_b	Nha_t	%Nha	Cg_t	Gha_t	%Gha	Vha_t	Nha_a	Cg_a	Gha_a	Vha_a							
13	11,3	1599,2	42,1	22,5	132,1	534,9	0,33	42,1	7,5	0,33	44,5	1064,3	42,1	15,0	87,6	3,2	2,1	1,7	18,2	10,2	132,1	84,5
16	13,4	1064,2	50,1	21,3	142,2	314,8	0,30	50,1	6,3	0,30	42,4	749,4	50,2	15,0	99,8	2,7	1,7	1,8	16,7	11,7	186,7	83,7
19	15,2	749,4	58,2	20,2	149,8	195,8	0,26	58,0	5,2	0,26	39,1	553,6	58,4	15,0	110,6	2,7	1,5	1,8	15,2	12,5	236,7	81,8
22	16,8	553,6	66,4	19,4	156,2	130,1	0,24	65,4	4,4	0,23	35,9	423,5	66,7	15,0	120,2	2,7	1,2	1,7	14,1	12,8	282,2	79,2
28	19,7	423,5	81,7	22,5	204,9	91,3	0,22	78,6	4,5	0,20	41,2	332,2	82,5	18,0	163,7	2,5	1,1	1,6	13,1	13,1	366,9	74,8
34	21,9	332,2	95,9	24,3	242,2	96,3	0,29	91,0	6,3	0,26	63,8	235,9	97,9	18,0	178,4	2,2	0,9	1,5	11,1	13,1	445,4	70,4
40	23,8	235,9	111,0	23,1	245,3	60,0	0,25	103,9	5,2	0,22	55,5	175,9	113,4	18,0	189,8	2,2	0,7	1,4	9,7	12,8	512,3	65,9
46	25,3	175,9	126,3	22,3	247,8	43,2	0,25	112,3	4,3	0,19	49,2	132,7	130,5	18,0	198,5	2,2	0,6	1,3	8,5	12,4	570,3	60,9
52	26,6	132,7	143,4	21,7	249,5	30,9	0,23	123,1	3,7	0,17	45,1	101,8	149,1	18,0	204,4	2,1	0,5	1,3	7,5	11,9	621,2	56,1
58	27,6	101,8	162,1	21,3	249,7	21,8	0,21	134,8	3,2	0,15	33,9	80,0	168,7	18,1	215,8	2,2	0,5	1,2	7,0	11,5	666,5	51,3
64	29,2	80,0	181,9	21,1	257,7	80,0	1,00	181,9	21,1	1,00	257,7	0,0	NaN	0,0	0,0	2,2	0,4	1,1	15,1	11,1	708,5	50,5

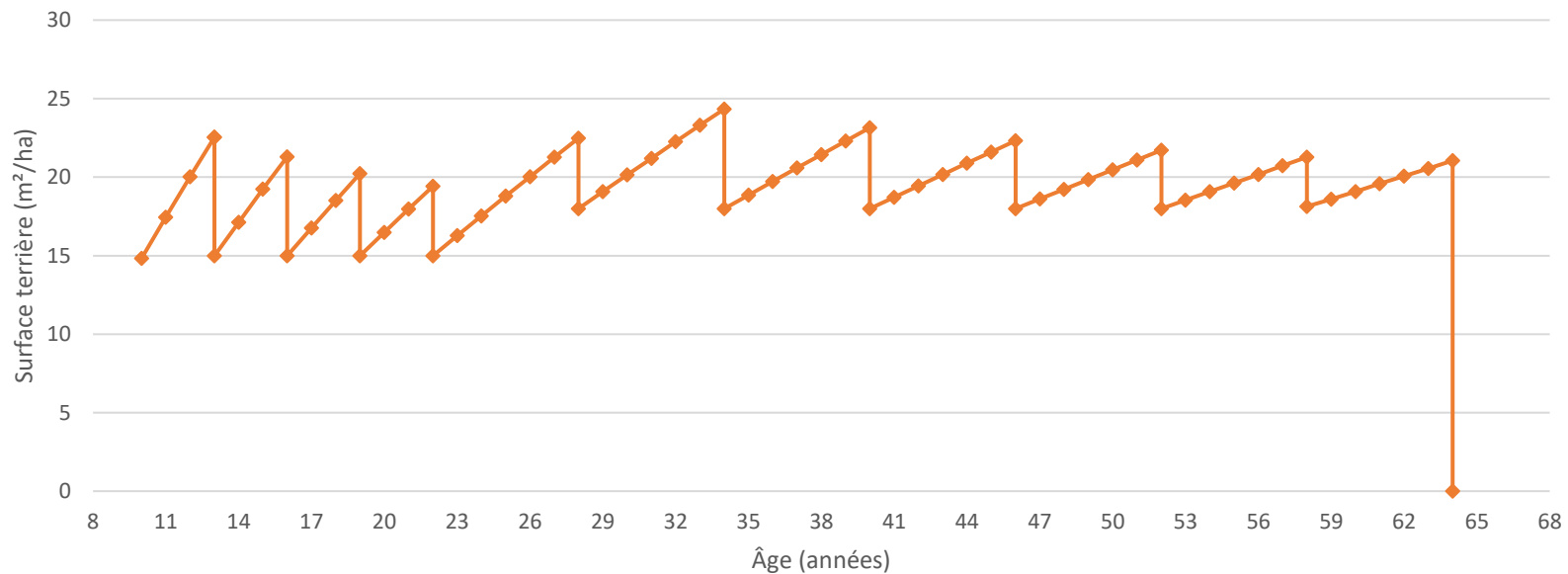


Figure 3. Evolution de la surface terrière à l'hectare (Gha) en fonction de l'âge du peuplement pour le scénario peuplement dynamique en mise à blanc.



Variante b) : Régénération naturelle

- 13 ans : Première éclaircie -> Gha objectif après coupe de 15 m²/ha et rotation de 3 ans ;
- 22 ans : Dernière éclaircie en Gha-objectif de 15 m²/ha, passage à des rotations de 6 ans ;
- 28 ans : Première éclaircie en Gha-objectif après coupe de 18 m²/ha ;
- 58 ans : Début décapitalisation ;
- 82 ans : Récolte finale.

Tableau 7. Table de production simulée pour le scénario peuplement dynamique en régénération naturelle en SI 2 (H50 = 27 m)

Age	Hdom	Avant éclaircie				Eclaircie						Après éclaircie				ACC	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV	h/d
		Nha_b	Cg_b	Gha_b	Vha_b	Nha_t	%Nha	Cg_t	Gha_t	%Gha	Vha_t	Nha_a	Cg_a	Gha_a	Vha_a							
13	11,3	1599,1	42,0	22,4	131,3	520,3	0,33	42,3	7,4	0,33	43,9	1078,8	41,8	15,0	87,5	3,2	2,1	1,7	18,2	10,1	131,3	85,1
16	13,4	1078,7	49,8	21,3	142,1	322,2	0,30	49,6	6,3	0,30	42,4	756,5	49,9	15,0	99,7	2,7	1,7	1,8	16,7	11,6	185,9	84,0
19	15,2	756,5	58,0	20,2	149,8	196,1	0,26	58,0	5,2	0,26	39,2	560,4	58,0	15,0	110,6	2,7	1,5	1,8	15,2	12,4	236,0	82,3
22	16,8	560,4	66,0	19,4	156,2	134,5	0,24	64,4	4,4	0,23	36,0	425,9	66,5	15,0	120,3	2,7	1,2	1,7	14,1	12,8	281,7	79,4
28	19,7	425,9	81,5	22,5	205,1	90,6	0,21	78,9	4,5	0,20	41,4	335,3	82,1	18,0	163,7	2,5	1,1	1,6	13,1	13,1	366,5	75,2
34	22,0	335,3	95,5	24,3	242,4	98,5	0,29	90,0	6,4	0,26	63,8	236,8	97,7	18,0	178,6	2,2	0,9	1,5	11,2	13,1	445,2	70,6
40	23,8	236,8	110,9	23,2	245,6	62,6	0,26	101,8	5,2	0,22	55,5	174,2	113,9	18,0	190,1	2,2	0,7	1,4	9,7	12,8	512,2	65,7
46	25,4	174,2	126,9	22,3	248,1	41,5	0,24	114,5	4,3	0,19	49,4	132,7	130,5	18,0	198,7	2,2	0,6	1,3	8,5	12,4	570,1	61,0
52	26,6	132,7	143,4	21,7	249,7	30,6	0,23	123,7	3,7	0,17	45,2	102,1	148,8	18,0	204,5	2,1	0,5	1,3	7,6	11,9	621,2	56,2
58	27,6	102,1	161,8	21,3	249,9	21,8	0,21	175,2	5,3	0,25	64,3	80,3	158,0	16,0	185,6	2,2	0,5	1,2	6,4	11,5	666,5	54,9
64	28,3	80,3	171,2	18,7	224,1	17,4	0,22	183,9	4,7	0,25	57,2	62,9	167,5	14,0	166,9	2,2	0,4	1,1	5,5	11,0	705,0	53,2
70	29,1	62,9	180,9	16,4	199,7	13,9	0,22	193,1	4,1	0,25	51,2	49,0	177,3	12,3	148,5	2,2	0,3	1,1	4,7	10,5	737,7	51,6
76	29,8	49,0	191,1	14,2	176,4	10,9	0,22	202,7	3,6	0,25	44,9	38,1	187,7	10,7	131,4	2,3	0,3	1,0	4,0	10,1	765,7	49,9
82	30,5	38,1	201,8	12,3	155,2	38,1	1,00	201,8	12,3	1,00	155,2	0,0	NaN	0,0	0,0	2,4	0,2	0,9	15,3	9,6	789,4	47,5

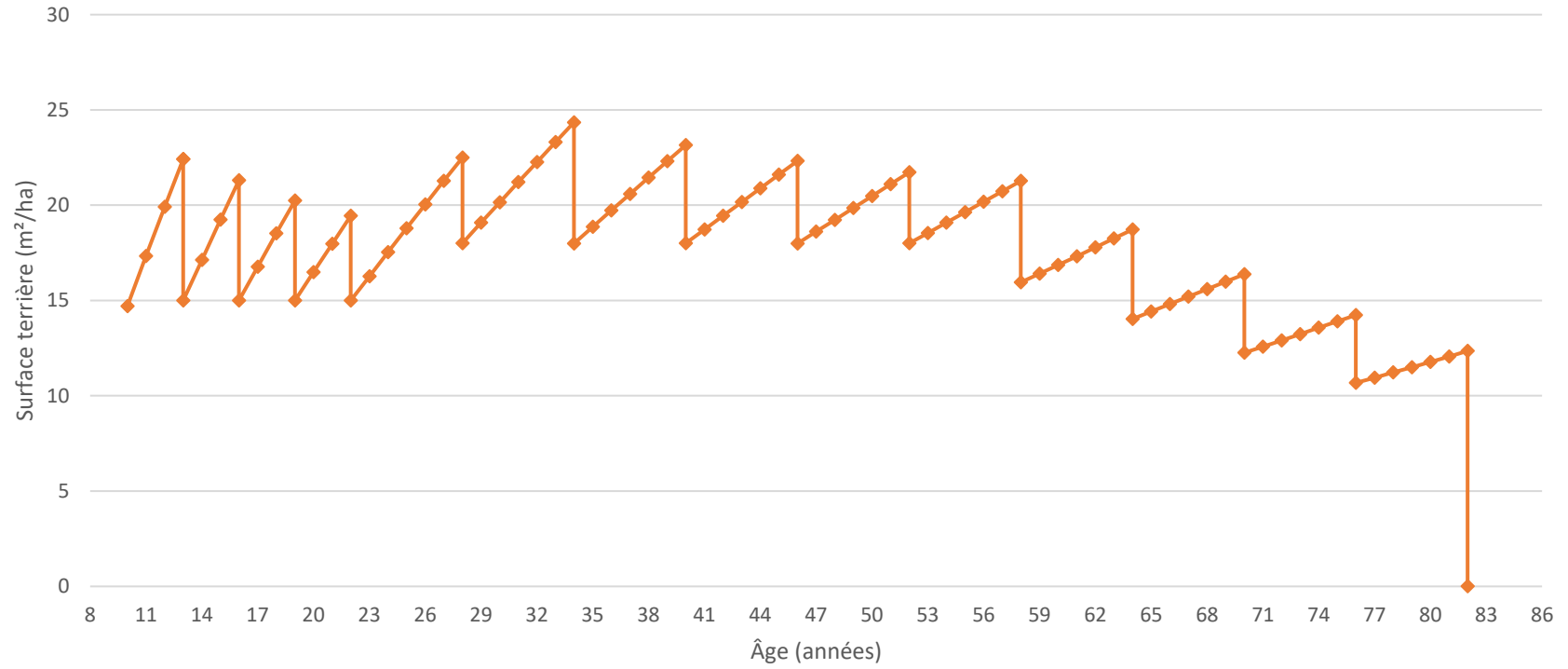


Figure 4. Evolution de la surface terrière à l'hectare (Gha) en fonction de l'âge du peuplement pour le scénario peuplement dynamique en régénération naturelle.

SCÉNARIO TÉMOIN

- 18 ans : Première éclaircie, rotation de 6 ans.
- 78 ans : Récolte finale.

Tableau 8. Table de production simulée pour le scénario témoin en SI 2 (H50 = 27 m)

Age	Hdom	Avant éclaircie				Eclaircie						Après éclaircie				ACC	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV	h/d
		Nha_b	Cg_b	Gha_b	Vha_b	Nha_t	%Nha	Cg_t	Gha_t	%Gha	Vha_t	Nha_a	Cg_a	Gha_a	Vha_a							
18	14,7	1583	51,3	33,2	236,1	554	0,35	49,4	10,8	0,32	76,3	1029	52,4	22,4	159,8	2,9	1,7	1,8	18,9	13,1	236,1	88,5
24	18,1	1024	63,2	32,5	273,4	358	0,35	56,5	9,1	0,28	75,8	665	66,5	23,4	197,6	1,8	1,4	1,8	16,9	14,6	349,7	85,3
30	20,7	664	77,2	31,5	298,8	199	0,30	69,2	7,6	0,24	72,0	465	80,4	23,9	226,8	1,8	1,1	1,7	14,9	15,0	450,9	81,0
36	22,9	464	91,1	30,7	316,2	139	0,30	82,0	7,5	0,24	77,3	325	94,8	23,2	238,9	1,8	0,9	1,6	12,9	15,0	540,3	75,8
42	24,6	325	105,7	28,9	316,5	81	0,25	96,1	6,0	0,21	66,2	244	108,7	22,9	250,3	1,8	0,8	1,5	11,5	14,7	617,9	71,2
48	26,1	244	119,9	27,9	319,0	37	0,15	108,6	3,4	0,12	39,9	207	121,7	24,4	279,1	1,9	0,8	1,4	10,9	14,3	686,6	67,3
54	27,4	207	132,6	29,0	344,4	31	0,15	121,2	3,6	0,13	43,9	176	134,5	25,3	300,4	1,8	0,7	1,4	10,3	13,9	751,9	64,0
60	28,5	176	145,4	29,6	362,5	26	0,15	134,1	3,8	0,13	47,0	150	147,3	25,8	315,6	1,8	0,7	1,3	9,9	13,6	813,9	60,9
66	29,6	150	158,2	29,8	374,7	23	0,15	146,1	3,8	0,13	48,8	127	160,3	26,0	325,9	1,8	0,6	1,2	9,4	13,2	873,1	58,0
72	30,6	127	171,4	29,7	382,2	19	0,15	160,3	3,9	0,13	51,2	108	173,3	25,8	331,0	1,9	0,6	1,2	8,9	12,9	929,4	55,4
78	31,5	108	184,7	29,3	384,6	108	1,00	184,7	29,3	1,00	384,6	-	-	-	-	1,9	0,5	1,1	8,5	12,6	983,0	53,0

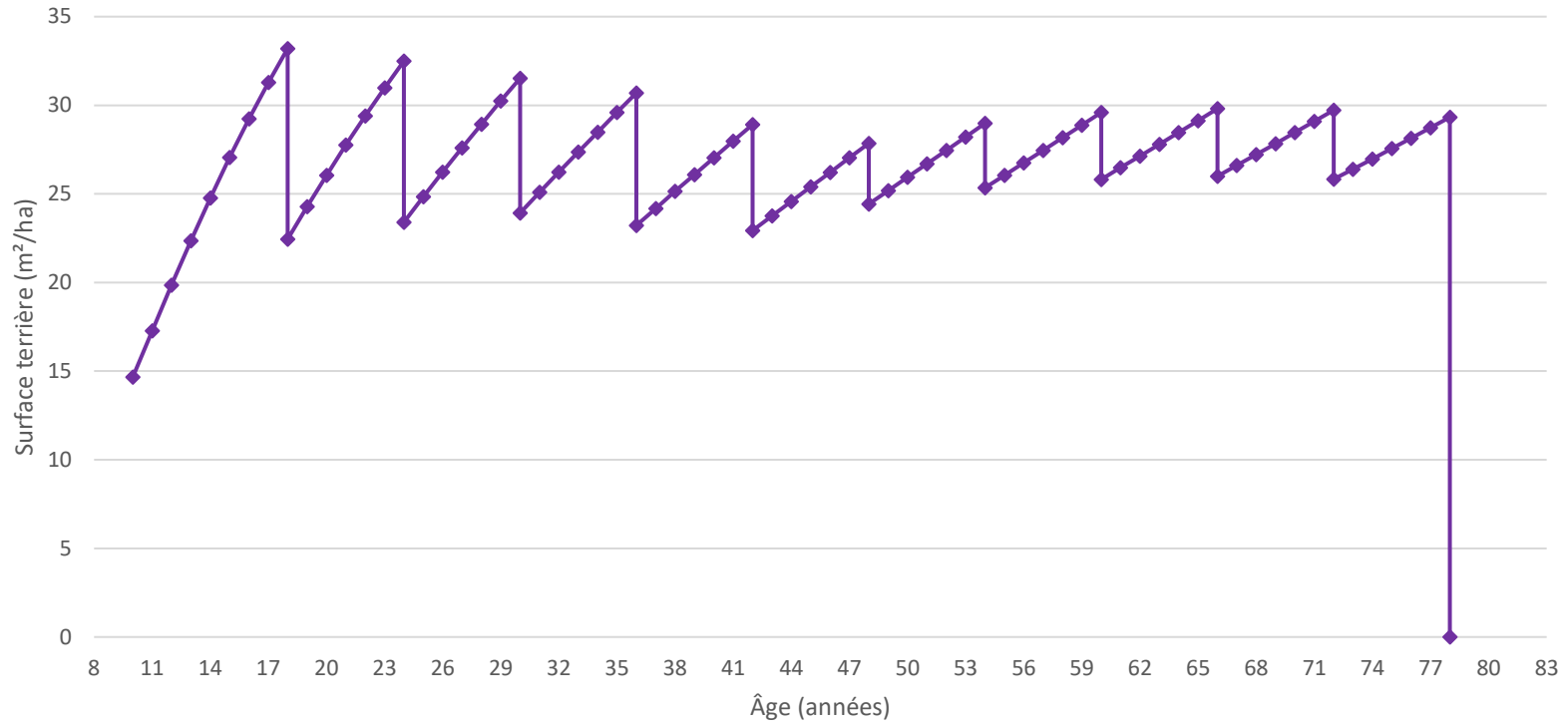


Figure 5. Evolution de la surface terrière à l'hectare (Gha) en fonction de l'âge du peuplement pour le scénario témoin.



SYNTHÈSE

Par rapport aux scénarios dynamiques, à dimensions finales équivalentes, le scénario *témoin* conduit à un allongement de la révolution d'une quinzaine d'années. Cela s'explique par des accroissements courants en circonférence en moyenne 22 % plus élevés dans les scénarios dynamiques.

Pour chacune des finalités testées, les résultats des simulations réalisées pour les deux scénarios dynamiques ne font pas ressortir de grandes différences en termes d'âge de récolte, de dimensionnement final des arbres, d'accroissements et de stabilité des peuplements entre les deux itinéraires. Même si elle est configurée de manière plus restrictive par rapport au scénario *peuplement dynamique*, la simulation des éclaircies au sein du scénario *arbres-objectifs* ne permet pas de mettre en évidence l'impact concret de la réalisation de détournage autour de certains arbres bien définis, notamment sur la croissance de ceux-ci.

Même si ces résultats rejoignent les observations réalisées en 2024 sur les dispositifs d'étude de la sylviculture dynamique en mélèze (Longrée et al. 2025), les limites du modèle dans la simulation de détournages localisés ne nous permettent pas de tirer de conclusions claires. En effet, bien que le simulateur puisse désigner des arbres qui seront préservés tout au long de la simulation (arbres-objectifs), il n'intègre pas d'indice de compétition spatialisé associé à chacun de ces arbres et qui permettrait de prélever préférentiellement autour de ceux-ci (simulation de détournages réels). Les éclaircies simulées dans ce scénario permettent donc d'approcher l'effet global des détournages sur le peuplement (en termes de densité (Gha)) mais ne rendent pas compte des effets localisés sur les arbres-objectifs. Ainsi, l'accroissement des arbres-objectifs pourrait être sous-estimé lors de la simulation.

Bien que ces résultats ne permettent pas de mettre en évidence l'effet d'une sylviculture d'arbres-objectifs sur les peuplements finaux, ils tendent toutefois à valider le fait que les grands principes sylvicoles communs (relatifs à l'intensité et la fréquence des éclaircies) sur lesquels reposent les scénarios dynamiques proposés permettent d'obtenir des conditions tirant un bon profit du potentiel de croissance juvénile des arbres, malgré une légère phase de compression. Effectivement, il apparaît que la densité de plantation impacte peu les résultats car la concurrence entre les plants est maîtrisée, c'est-à-dire que le peuplement est ramené à temps à un niveau de densité n'entravant pas sa croissance juvénile. Le démarrage de la première intervention sera donc directement fonction de la densité de plantation : plus dense sera la plantation, plus précoce sera la première éclaircie.

Ainsi, le scénario *peuplement dynamique* proposé, qui applique de manière plus anticipée le même principe d'éclaircies fortes par le haut que le scénario *arbres-objectifs* mais à partir d'une plantation plus dense, permet de repositionner le peuplement dans des conditions de croissance similaires à celles du scénario *arbres-objectifs* (qui reprend une densité de plantation plus faible et un début d'interventions plus tardif).

Les simulations en finalité de régénération naturelle montrent une décapitalisation limitée et dégressive en surface terrière.

1.3.2. ANALYSE DES SCÉNARIOS POUR CHAQUE SITE INDEX

Afin de vérifier les conclusions portées lors de l'analyse comparative en Site Index 2, des simulations ont été réalisées pour chaque Site Index. Afin d'alléger le processus d'analyse, seule la finalité par mise à blanc est concernée ici.

Il ressort de ce deuxième volet d'analyses que les observations réalisées pour le Site Index 2 sont également retrouvées pour les autres Site Index (Tableau 9) :

- Le scénario *témoin* conduit à un allongement de la révolution allant de quelques années (2 à 7 ans) en stations moins productives (sites index 4 et 3) à plus d'une dizaine d'années (15 à 20 ans) en stations productives (sites index 2, 1 et 0). Il présente des accroissements courants en circonférence en moyenne 28 % plus faible par rapport aux scénarios dynamiques. Les écarts sont plus marqués dans les stations productives (Sites index 0, 1 et 2).
- S'agissant des deux itinéraires dynamiques, les simulations réalisées ne font pas ressortir de grandes différences d'âges de récolte, de dimensionnement final des arbres (différences < 6 %) et d'accroissements en circonférence (AMC).

Tableau 9. Ages de la première éclaircie et de récolte, ainsi que les dimensions moyennes finales et les accroissements moyens des peuplements par scénario dynamique pour chaque Site Index (variante avec mise à blanc)

	SCÉNARIO AO					SCÉNARIO PEUPEMENT DYNAMIQUE				
	Age 1 ^{ère} éclaircie	Age récolte	Cg final (cm)	AMC (cm/an)	AMV (m ³ /an)	Age 1 ^{ère} éclaircie	Age récolte	Cg final (cm)	AMC (cm/an)	AMV (m ³ /an)
SI0	13	52	188	3,6	13,7	10	55	185	3,4	14,5
SI1	14	53	180	3,4	12,1	11	62	190	3,1	12,5
SI2	17	62	181	2,9	10,4	13	64	182	2,8	11,1
SI3	20	71	191	2,7	10,9	15	72	182	2,5	9,6
SI4	24	75	181	2,4	7,7	19	76	181	2,4	8,3
	SCÉNARIO TÉMOIN									
	Age 1 ^{ère} éclaircie	Age récolte	Cg final (cm)	AMC (cm/an)	AMV (m ³ /an)					
SI0	18	72	187	2,6	16,0					
SI1	18	72	182	2,5	14,3					
SI2	18	78	189	2,4	12,2					
SI3	18	78	185	2,4	10,5					
SI4	18	78	180	2,3	8,6					

Les grands principes sylvicoles relatifs à l'intensité et la fréquence des éclaircies, **qui constituent la trame des scénarios dynamiques proposés, permettent donc de rencontrer les objectifs attendus** pour les nouvelles normes sylvicoles. La densité de plantation initiale demandera d'ajuster le moment de la première éclaircie et le nombre d'interventions pour y arriver.



1.4. DISCUSSION

Les résultats de ces simulations sylvicoles indiquent qu'intervenir suffisamment tôt, surtout en densités de plantation plus importantes, permet d'éviter un ralentissement conséquent de la croissance en grosseur au stade juvénile, sous-entendant que la densité de plantation, in fine, importe peu tant que les premières interventions sont initiées à temps.

Le choix de densité de plantation plus élevée (2.000 plants/ha ou plus) pour bénéficier d'une légère phase de compression ou s'autoriser plus de pertes (reprise, dégâts de gibier) pourrait donc s'envisager sans problème dans le cadre d'une sylviculture dynamique. Toutefois, malgré ces avantages, une distance de plantation de minimum 3x3 m (soit 1.111 plants/ha ou moins) sera garante du besoin d'espace de l'essence dans son jeune âge (et donc de sa croissance soutenue), apportera plus de souplesse en cas d'interventions retardées et permettra d'éviter une première éclaircie à bois perdus.

Bien que les effets attendus de la désignation et du détournement d'arbres-objectifs (à savoir une croissance en grosseur plus élevée grâce à leur houppier développé (Baar 2010) (Wilhelm et Rieger 2017)) n'ont pas pu être mis en évidence à travers les simulations réalisées, la littérature s'accorde à dire que cette démarche sylvicole permet une production de gros bois de qualité, d'autant plus si un élagage à grande hauteur est réalisé. Le choix de désigner 80 arbres-objectifs à l'hectare implique des phases de capitalisation plus ou moins longues (une à deux rotations) pour atteindre la dimension finale de 180 cm de circonférence en finalité de mise à blanc. Au cours de cette phase, plus aucun revenu n'est retiré du peuplement et il n'est pas rare que cela ne coïncide pas avec les attentes financières de certains propriétaires forestiers. Cela suggérerait d'envisager un nombre plus restreint d'arbres-objectifs ou bien une dimension d'exploitabilité plus réduite.

Cette constatation prévaut également pour le choix de maintenir un nombre minimal de 80 arbres/ha dans la constitution du peuplement final pour le scénario *peuplement dynamique* à finalité de mise à blanc.

S'agissant des simulations en finalité de régénération naturelle, les coupes de décapitalisation (qui prélèvent 25 % de la surface terrière du peuplement tous les 6 ans) entraînent une diminution progressive mais limitée de la densité du peuplement, avec un abaissement de la surface terrière qui ralenti au fur et à mesure des coupes. Etant donné le niveau de stabilité des peuplements observé au moment du démarrage de ces coupes ($h/d = 52$ et 55), des prélèvements plus francs et plus constants pourraient être envisagés.

Les potentialités d'accroissement qui accompagnent les scénarios dynamiques testés ouvrent les réflexions autour de la dimension d'exploitabilité. Des dimensions plus élevées que celle proposée pourraient être envisagées, surtout sur les stations avec un bon indice de productivité (Site index 0 et 1) où viser la production de (très) gros bois de dimension supérieure à 180 cm de circonférence pourrait s'avérer plus rentable.

Enfin, on peut également s'interroger sur l'intérêt d'entreprendre une sylviculture de production sur les stations de moins bonne productivité (Site index 3 et 4), notamment d'un point de vue rentabilité. De plus, la durée des révolutions théoriques observées pour produire des bois de 180 cm de circonférence sur ces stations (entre 71 et 76 ans) pourrait inciter à viser des dimensions d'exploitabilité moins élevées. Là, à nouveau, la question de la rentabilité financière se pose.



DEUXIÈME PARTIE – MODÉLISATIONS ÉCONOMIQUES

2.1. OBJECTIFS

L'objectif poursuivi dans cette section consiste à estimer la rentabilité de différents itinéraires sylvicoles dynamiques définis à partir des résultats précédents (Première Partie – Modélisations sylvicoles), afin d'identifier lesquels s'avèrent financièrement les plus intéressants. A cette fin, plusieurs scénarios économiques ont été construits.

Cette analyse de rentabilité s'est articulée en deux temps :

- la réalisation d'une **analyse de sensibilité de la dimension-cible (Cg objectif)** pour chaque scénario sylvicole dynamique, selon le niveau de productivité de la station et le niveau d'importance des investissements. Cette partie consiste à identifier la ou les dimension(s) d'exploitabilité qui permet(tent) d'optimiser la rentabilité en itinéraire dynamique ;
- le **comparatif des scénarios sylvicoles** entre eux, scénario témoin inclus. Cette partie cherche notamment à identifier les situations théoriquement non-propices à la mise en œuvre d'une sylviculture de production d'un point de vue rentabilité.

2.2. SCÉNARIOS SYLVICOLES TESTÉS

A partir des résultats des simulations réalisées précédemment, quatre scénarios dynamiques ont été construits. Un cinquième scénario, témoin des itinéraires sylvicoles plus conventionnels a également été modélisé. Etant donné que les simulations économiques supposent une succession infinie de révolution de même durée pour chaque situation modélisée, seule une récolte finale par mise à blanc est considérée.

Les scénarios sylvicoles analysés sont les suivants :

- 1) Un **scénario dynamique standard** : plantation selon des écartements de 3 x 3 m (1.111 tiges/ha), éclaircies globalement par le haut fortes et précoces. Les premières interventions démarreront tôt de manière à permettre aux mélèzes de croître sans craindre la concurrence latérale.
- 2) Un **scénario dynamique à densité de plantation élevée** : plantation selon des écartements de 2 x 2,5 m (2.000 tiges/ha), éclaircies globalement par le haut fortes et précoces. Les premières interventions devront démarrer très tôt afin de limiter les effets plus précoces de la concurrence sur la croissance des mélèzes.
- 3) Un **scénario dynamique à densité de plantation faible** : plantation selon des écartements de 3,5 x 3,5 m (816 tiges/ha), éclaircies globalement par le haut fortes et précoces. Les premières interventions pourront démarrer plus tardivement.
- 4) Un **scénario dynamique avec désignation d'arbres-objectifs** : plantation selon des écartements de 3 x 3 m (1.111 tiges/ha), éclaircies clairement par le haut fortes et précoces afin de simuler des ouvertures approchant l'effet du détournement d'arbres-objectifs sélectionnés. Les premières interventions démarreront tôt de manière à permettre aux mélèzes de croître sans craindre la concurrence latérale.



- 5) Un **scénario témoin de la sylviculture conventionnelle** : plantation selon des écartements de 2 x 2,5 m (2.000 tiges/ha), éclaircies plus tardives et par le bas, selon les modalités observées dans les tables conventionnelles.

Pour l'ensemble des scénarios dynamiques, les premières éclaircies se succèdent selon une rotation de 3 ans jusqu'à 30-40 ans et visent à ramener le peuplement à une densité après coupe de 15 m²/ha. Ensuite, la rotation s'allonge à 6 ans et l'intensité des éclaircies diminue en visant à ramener le peuplement à un niveau de surface terrière après coupe de 18 m²/ha.

2.3. SCÉNARIOS ÉCONOMIQUES TESTÉS

Selon le contexte au sein duquel s'installe le nouveau peuplement et les objectifs de gestion, plusieurs opérations sylvicoles de préparation ou de soins à la plantation peuvent être réalisées : préparation du sol avant la plantation, protections des plants contre le gibier, réalisation d'un certain nombre de dégagements, élagage des arbres d'avenir, etc. Ces interventions représentent des investissements financiers parfois conséquents.

Afin d'évaluer la rentabilité financière des scénarios sylvicoles modélisés, nous avons souhaité tester deux scénarios économiques : l'un reflétant un contexte de plantation sans contraintes, c'est-à-dire ne nécessitant que peu d'interventions préparatoires ou soins sylvicoles jusqu'à la première éclaircie, et l'autre simulant un contexte de plantation sous contraintes fortes, c'est-à-dire nécessitant beaucoup d'investissements de départ pour garantir sa réussite.

Les éléments de contraintes intervenant dans les scénarios ont été définis sur base des cas de figure les plus fréquemment rencontrés dans le cadre de la sylviculture du Mélèze. Il s'agit :

- de **la végétation concurrente**, pouvant nécessiter un travail du sol préalable à la plantation et un nombre de dégagements plus important durant les 4 premières années ;
- de **la pression du gibier**, pouvant nécessiter le recours à des protections ou à l'application de répulsif sur les plants.

Ainsi, les scénarios économiques analysés sont les suivants :

- 1) Un **scénario « investissements faibles »** où les conditions à la plantation sont jugées « idéales » : une végétation concurrente peu compétitive, ne requérant pas de travail du sol et seulement un nombre minimum de dégagements, couplée à une faible pression du gibier ne nécessitant pas de mesures de protection ou de répulsion ;
- 2) Un **scénario « investissements élevés »** où les conditions à la plantation sont fortement contraintes : une végétation concurrente très compétitive dès le départ impliquant une préparation du sol et un nombre plus important de dégagements, couplée à une forte pression du gibier requérant l'utilisation de mesures de protections des plants.



2.4. SPÉCIFICITÉS TECHNIQUES DES SIMULATIONS ÉCONOMIQUES ET HYPOTHÈSES POSÉES

2.4.1. PRINCIPES

- Les simulations consistent à appliquer chaque scénario économique à chaque scénario sylvicole modélisé (4 scénarios dynamiques + scénario témoin). A partir d'échéanciers préalablement définis, plusieurs indicateurs financiers seront ainsi calculés afin d'évaluer la rentabilité de chaque scénario et ce pour tous les site index. Les hypothèses posées pour la simulation de chaque itinéraire sylvicole testé sont présentées en annexe (Annexe 1).
- Ces indicateurs seront utilisés pour 1) l'analyse de sensibilité de la dimension cible des scénarios dynamiques d'une part et 2) la comparaison de la rentabilité de ces itinéraires sylvicoles ainsi que du scénario témoin d'autre part.
- L'analyse de sensibilité envisagera des objectifs d'exploitabilité allant de 120 cm à 260 cm (circonférence à 1m30), par pas de 20 cm.
- Dans le cadre des simulations, on suppose une succession infinie de révolution de même durée pour chaque situation modélisée (scénario économique × scénario sylvicole × site index × Cg-objectif).
- Afin de nous assurer de la robustesse des résultats, les simulations ont été relancées 3 fois. Les résultats ci-dessous présentent donc une synthèse de ces simulations (valeurs moyennes) et les tendances qui en émergent.
- Bien qu'un élagage à grande hauteur soit généralement préconisé dans le cadre d'une sylviculture d'arbres-objectifs, il n'a pas été intégré aux simulations de ce scénario afin de ne pas fausser l'analyse de rentabilité. En effet, le coût de l'élagage peut être estimé à partir de mercuriales mais la plus-value sur le prix de vente des bois de mélèze élagués est encore difficilement quantifiable et peu de données exploitables dans le cadre de nos simulations sont disponibles à l'heure actuelle.

Nous profiterons donc de ces simulations pour :

- mettre en relief les influences éventuelles de la sylviculture sur la rentabilité économique en comparant deux scénarios identiques du point de vue investissements financiers (mêmes opérations sylvicoles réalisées) mais différents dans leurs objectifs sylvicoles de production (sylviculture généraliste d'un côté et sylviculture en faveur d'arbres-objectifs de l'autre).
- définir à quel prix faudrait-il vendre les arbres-objectifs pour que l'élagage à grande hauteur soit amorti.

2.4.2. LOGICIEL UTILISÉ

Les simulations ont été réalisées dans la plateforme de simulation Capsis4 (Dufour-Kowalski et al., 2012) avec le module GYMNOS et la librairie de calculs financiers Economics2 (Ligot et al., 2023). Cette librairie permet :

- de définir ou de calculer les coûts et les recettes de chaque simulation ;
- de calculer plusieurs indicateurs financiers ;
- de comparer différents scénarios facilement ;
- de calculer les indicateurs financiers pour différents taux d'actualisation.



2.4.3. COÛTS ET RECETTES

Analyser la rentabilité économique de scénarios sylvicoles demande de connaître les échéanciers de chaque itinéraire, c'est-à-dire l'ensemble des coûts et des recettes qui peuvent être perçus à différents moments.

Seuls les coûts liés aux interventions sylvicoles sont considérés ici. Les tableaux 10 et 11 reprennent respectivement les travaux relatifs à chaque scénario sylvicole ainsi que les interventions liées spécifiquement aux scénarios économiques testés. Le tableau 12 énonce quant à lui les coûts considérés pour chaque opération.

Les recettes sont estimées à partir des volumes et prix de vente des bois récoltés. Le tableau 13 présente les prix de vente des bois sur pied considérés, par catégories de grosseur.

Tableau 10. Travaux forestiers réalisés pour chaque scénario sylvicole testé.

	SCÉNARIO DYNAMIQUE STANDARD (DYNAMIQUE-STAND)	SCÉNARIO DYNAMIQUE À DENSITÉ INITIALE ÉLEVÉE (DYNAMIQUE-DENSE)	SCÉNARIO DYNAMIQUE À DENSITÉ INITIALE FAIBLE (DYNAMIQUE-LARGE)	SCÉNARIO DYNAMIQUE AVEC DÉSIGNATION D'AO (DYNAMIQUE-AO)	SCÉNARIO TÉMOIN (CONVENTIONNEL)
Travail du sol	<i>Selon le scénario économique</i>				
Plantation	1 111 plants/ha	2 000 plants/ha	816 plants/ha	1 111 plants/ha	2 000 plants/ha
Dégagements	Oui <i>Fréquence variable selon le scénario économique</i>				
Protection contre le gibier	<i>Selon le scénario économique</i>				
Première éclaircie	A l'âge où Hdom = 13,5 m	A l'âge où Hdom = 11,0 m	A l'âge où Hdom = 16 m	A l'âge où Hdom = 13,5 m	A 18 ans
Elagage de pénétration	Oui, lors de la première éclaircie				
Elagage à grande hauteur	Non	Non	Non	Non⁶	Non
Eclaircies suivantes	Selon les modalités prévues par le scénario				
Récolte finale	Pour l'analyse de sensibilité : Cg = 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240 ou 260 cm. Pour l'analyse comparative : selon les résultats de l'analyse de sensibilité.				Selon les résultats de l'analyse de sensibilité

⁶ Bien qu'un élagage à grande hauteur soit préconisé dans le cadre de ce scénario, pour les raisons expliquées précédemment il n'a pas été intégré aux simulations de l'analyse de sensibilité et du comparatif des scénarios (cf. 2.4.1).



Tableau 11. Travaux forestiers spécifiques à chaque scénario économique.

	SCÉNARIO ÉCONOMIQUE « INVESTISSEMENTS FAIBLES »	SCÉNARIO ÉCONOMIQUE « INVESTISSEMENTS ÉLEVÉS »
Travail du sol	/	Broyage des branches
Dégagements	1x/an pendant les 3 premières années	1x/an pendant les 4 premières années
Protection contre le gibier	/	Application d'un répulsif 1x/an pendant les 4 premières années

Les coûts des travaux sylvicoles sont issus de la mercuriale 2023-2024 des travaux de l'Union des Entrepreneurs de Travaux Forestiers de Wallonie (UETFV).

Tableau 12. Coûts des opérations prises en compte lors du calcul de la rentabilité des scénarios testés (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2025).

OPÉRATIONS	COÛTS MOYENS (HTVA)
Achat de plant	1,07 €/plant
Plantation	1,04 €/plant
Broyage des branches	1 250 €/ha
Dégagement	1 274 €/ha
Répulsif contre le gibier	0,16 €/plant
Elagage de pénétration (2 m)	2 366 €/ha
Elagage à grande hauteur (2 à 6 m)	5,58 €/arbre
Elagage à grande hauteur (6 à 8 m)	7,87 €/arbre

Ces coûts moyens ont été définis en considérant :

- la moyenne du coût lorsqu'un coût minimum et un coût maximum sont présentés ;
- un coût horaire moyen de la main d'œuvre (sans machine et sans frais de déplacement) de 45,50 €/heure ;
- un nombre de jour moyen de travail par ha pour chaque dégagement de 3,5 jours, soit 28 heures de travail total ;
- un nombre de jour moyen de travail par ha pour l'élagage de pénétration de 6,5 jours, soit 52 heures de travail total ;
- un coût à la plantation issu de la moyenne entre le coût d'une plantation à la houe-hache et le coût d'une plantation à la tarière et à la bêche ;

- un prix de plant issu de la moyenne entre les prix des plants des trois espèces de Mélèze (d'Europe, du Japon et hybride) ;
- un coût de répulsif issu de la moyenne entre le coût d'un répulsif contre l'abroustissement et le coût d'un répulsif contre le frottis.

Les prix de vente des bois sur pied sont issus de la liste des prix publiée par la Fédération des Experts Forestiers de Belgique (printemps 2025).

Tableau 13. Prix de vente moyens des bois sur pied de Mélèze au printemps 2025 par classes de circonférence considérés lors des simulations économiques (Fédération Nationale des Experts Forestiers, 2025).

CLASSE DE C150 (CM)	PRIX MOYEN AU M ³
20-39	5,50 €
40-59	10,00 €
60-69	22,50 €
70-89	37,50 €
90-119	60,00 €
120-149	65,00 €
150-179	75,00 €
180+	75,00 €

2.4.4. INDICATEURS

Au vu des principes sur lesquels reposent les simulations, des hypothèses de calculs formulées et des analyses visées (comparaison de scénarios sylvicoles à niveau de productivité et Cg-objectif différents notamment et donc de durées différentes), les indicateurs suivants ont été calculés :

- Le **Coût total actualisé (CA)**, somme de l'ensemble des coûts actualisés générés sur une période donnée. Les coûts sont actualisés, c'est-à-dire pondérés pour donner plus d'importance aux coûts intervenant au début du scénario. Il s'exprime en €/ha.

$$CA = \sum_{i=0}^n \frac{Di}{(1+r)^i}$$

- La **Recette totale actualisée (RA)**, somme de l'ensemble des recettes actualisées générées sur une période donnée. Il s'exprime en €/ha.

$$RA = \sum_{i=0}^n \frac{Ri}{(1+r)^i}$$

- Le **Bénéfice actualisé simple ou Valeur actuelle nette (VAN)**, indicateur de rentabilité partielle correspondant à la somme des bénéfices actualisés perçus sur une période donnée. Il s'exprime en €/ha.

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

- La **Valeur actuelle nette à perpétuité (VAN_∞)**, indicateur de rentabilité globale correspondant à la somme des bénéfices actualisés estimés sur une période de temps infinie. Cet indicateur permet de comparer des projets d'investissement de durées différentes. Il s'exprime en €/ha.



$$VAN_{\infty} = \sum_{i=0}^n \frac{Ri - Di}{(1+r)^i} \times \frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

- Le **Rapport bénéfico-coût** (BCR), indicateur correspondant au rapport entre les recettes actualisées et les coûts actualisés. Cet indicateur permet de comparer des projets avec des investissements (dépenses) différents.

$$BCR = \frac{\sum_i Ri / (1+r)^i}{\sum_i Di / (1+r)^i}$$

où

n = le nombre d'années du scénario (révolution)

Ri = les recettes de l'année i

Di = les dépenses de l'année i

r = le taux d'actualisation

On notera que le calcul des indicateurs ne considère ici que la rentabilité de la production de bois et n'intègre pas l'évaluation d'autres services écosystémiques.

2.4.5. TAUX D'ACTUALISATION

D'une manière générale, le taux d'actualisation utilisé pour évaluer les projets forestiers est compris entre 2 et 4 % (Gosselin et al. 2011) (Ligot 2025). Les échéances longues ainsi que les niveaux d'incertitudes importants associées aux projets forestiers justifient d'envisager des taux situés dans la partie basse de cette fourchette, voir même en deçà (Gosselin et al. 2011).

Ainsi, le taux d'actualisation a été fixé à 2 %.

2.5. RÉSULTATS DES SIMULATIONS ÉCONOMIQUES

2.5.1. ANALYSE DE SENSIBILITÉ SUR LA DIMENSION D'EXPLOITABILITÉ POUR LES SCÉNARIOS DYNAMIQUES

Pour rappel, cette analyse compare, pour les scénarios dynamiques, des dimensions d'exploitabilité allant de 120 cm à 260 cm (circonférence à 1m30) par pas de 20 cm. Dans le cadre des simulations, on suppose une succession infinie de révolution de même durée pour chaque situation modélisée (scénario économique × scénario sylvicole × Site index × Cg-objectif).

La Valeur actuelle nette à perpétuité (VAN_{∞}) est le principal indicateur utilisé dans le cadre de cette analyse. Les résultats présentent donc, pour chaque itinéraire sylvicole, l'évolution de cet indicateur en fonction de la dimension-cible, par Site index et scénario économique. Gardons à l'esprit que plus la valeur du VAN_{∞} est élevée, plus le projet d'investissement est rentable et que, au regard de ce qu'il a lieu de constater en région wallonne, nous considérons que le niveau de rentabilité commence à être satisfaisant à partir de 5.000 €/ha.



Valeur actuelle nette

D'une manière générale, l'analyse de la valeur actuelle nette montre que la mise en œuvre d'une sylviculture de production dynamique semble intéressante uniquement sur stations productives (Site index 0, 1 et 2). Ce sont les seules stations qui permettent d'atteindre des niveaux de rentabilité satisfaisants (> 5.000 €/ha). Les stations les moins productives (site index 4) seront à éviter car peu rentables, voir tout simplement non-rentables (valeurs de VAN ∞ négatives) lorsque les investissements financiers sont plus conséquents.

Lorsque des investissements élevés doivent avoir lieu (travaux sylvicoles nombreux) et que le sylviculteur souhaite avoir recours à des plantations plus denses (*'Dynamique-Dense'*) ou une approche par arbres-objectifs (*'Dynamique-AO'*), il conviendrait de se limiter aux stations les plus productives (Site index 0 et 1) si l'on souhaite maximiser la rentabilité. Dans le cadre d'itinéraires sylvicoles qui s'appuient sur des plantations à plus larges écartements (scénarios *'Dynamique-Stand'*, *'Dynamique-Large'* et *'Dynamique-AO'*), les stations moins productives (Site index 3) peuvent également fournir de bonnes rentabilités financières à condition de limiter les investissements.

Pour les stations à rentabilité acceptable, on observe que, quel que soit le niveau d'investissements financiers, la dimension d'exploitabilité qui maximiserait la rentabilité du scénario (valeurs maximales de VAN ∞ , en gras dans les tableaux) se situe, selon le niveau de productivité de la station :

- entre 160 cm et 200 cm pour le scénario dynamique standard et les scénarios dynamiques à densité de plantation faible (*'Dynamique-Large'*) et avec désignation d'arbres-objectifs (*'Dynamique-AO'*);
- entre 180 et 200 cm pour le scénario dynamique à densité de plantation élevée (*'Dynamique-Dense'*).

On observe également que, pour un niveau d'investissement financier et de productivité donné, le niveau de rentabilité de cette dimension cible n'est pas jugé significativement plus élevé que celui d'autres dimensions. En effet, l'évolution du VAN ∞ met en évidence une gamme de dimensions-cibles (en jaune dans le tableau) qui génèrent un même niveau de rentabilité, c'est-à-dire des valeurs de VAN ∞ très proches de la valeur la plus élevée (moins de 5 % de différences). Au regard de la variabilité qui peut accompagner les résultats des simulations, nous considérons que ces différences sont non-significatives. Ainsi, tant que la dimension d'exploitabilité vise une valeur comprise dans cette gamme, la rentabilité du scénario peut être considérée comme maximisée.

Globalement, cette gamme s'étend de 160 cm (voir 140 cm en situation de productivité très élevée et investissements faibles) à 220 cm.



Tableau 14. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique standard (en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissement envisagé.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-Stand	faibles	4	1401	2255	3028	3242	3397	3432	3427	3378
Dynamique-Stand	faibles	3	3872	5348	5899	6119	6089	6041	5931	5792
Dynamique-Stand	faibles	2	6732	8654	9253	9352	9214	8962	8695	8319
Dynamique-Stand	faibles	1	10748	12325	13004	12974	12622	12161	11611	11294
Dynamique-Stand	faibles	0	14515	16789	17481	17369	16750	16003	15253	14282
Dynamique-Stand	élevés	4	-3331	-2244	-1120	-741	-415	-218	-118	-90
Dynamique-Stand	élevés	3	-1318	670	1461	1987	2194	2275	2288	2225
Dynamique-Stand	élevés	2	1033	3680	4572	5044	5127	5089	4950	4756
Dynamique-Stand	élevés	1	4860	7035	8065	8447	8435	8174	7801	7575
Dynamique-Stand	élevés	0	8089	11025	12187	12474	12243	11862	11316	10614

Tableau 15. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique à densité de plantation élevée en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissements envisagé.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-Dense	faibles	4	-1721	-244	253	648	873	1029	1048	1060
Dynamique-Dense	faibles	3	1319	2450	3010	3365	3567	3663	3586	3527
Dynamique-Dense	faibles	2	3583	5671	6188	6417	6427	6338	6130	5895
Dynamique-Dense	faibles	1	7850	9426	9962	10000	9905	9600	9171	8751
Dynamique-Dense	faibles	0	10559	13177	14067	14146	13748	13156	12607	11827
Dynamique-Dense	élevés	4	-7210	-5330	-4608	-4024	-3582	-3250	-3094	-3009
Dynamique-Dense	élevés	3	-4415	-2993	-2086	-1370	-978	-742	-630	-623
Dynamique-Dense	élevés	2	-2803	11	852	1314	1692	1811	1818	1682
Dynamique-Dense	élevés	1	1342	3379	4335	4691	4944	4911	4753	4498
Dynamique-Dense	élevés	0	3090	6368	7974	8599	8667	8434	8000	7567

Tableau 16. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique à densité de plantation faible en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissements envisagé.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-Large	faibles	4	2171	3323	4059	4214	4305	4291	4271	4200
Dynamique-Large	faibles	3	4767	6235	6914	6994	6990	6845	6687	6476
Dynamique-Large	faibles	2	8100	9331	10228	10246	10046	9723	9380	9088
Dynamique-Large	faibles	1	11119	13420	13974	13943	13420	12940	12415	11813
Dynamique-Large	faibles	0	15735	17809	18472	18276	17619	16798	15969	15002
Dynamique-Large	élevés	4	-2364	-820	171	461	737	896	980	969
Dynamique-Large	élevés	3	-159	1827	2862	3093	3301	3350	3309	3225
Dynamique-Large	élevés	2	2866	4513	5922	6144	6222	6120	5899	5709
Dynamique-Large	élevés	1	5313	8466	9372	9631	9529	9185	8900	8364
Dynamique-Large	élevés	0	9710	12408	13573	13710	13426	12920	12318	11563



Tableau 17. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique avec désignation d'arbres-objectifs en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissements envisagé.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-AO	faibles	4	1415	2391	2890	3213	3479	3498	3472	3425
Dynamique-AO	faibles	3	3827	5526	5923	6014	6090	6017	5897	5739
Dynamique-AO	faibles	2	6712	8848	9156	9342	9194	8960	8691	8378
Dynamique-AO	faibles	1	10812	12569	12983	12893	12581	12143	11631	11082
Dynamique-AO	faibles	0	14641	16987	17218	17351	16880	16145	15373	14710
Dynamique-AO	élevés	4	-3317	-2091	-1354	-814	-397	-121	-94	-108
Dynamique-AO	élevés	3	-1346	844	1510	1790	2094	2250	2255	2195
Dynamique-AO	élevés	2	991	3848	4460	4899	5058	5044	4923	4744
Dynamique-AO	élevés	1	4980	7194	8049	8244	8277	8112	7808	7435
Dynamique-AO	élevés	0	8172	11228	11664	12378	12315	11918	11399	10558

A titre de comparaison, des simulations ont également été lancées avec un taux d'actualisation de 3 % (Annexe 2), plus représentatif de situations où l'on souhaite retrouver rapidement un retour sur investissement (préférence forte pour le présent).

Dans ce cas de figure, les situations d'investissements élevés seront à éviter systématiquement (rentabilité faible ou négative). En situation d'investissements financiers faibles, seules les stations très productives (Site index 0 et 1) permettent d'atteindre des niveaux de rentabilité satisfaisants (> 5.000 €/ha). Lorsque le sylviculteur souhaite avoir recours à des plantations plus denses ('Dynamique-Dense'), il conviendrait même de se limiter aux stations les plus productives (Site index 0).

Pour les stations à rentabilité acceptable, on observe que la gamme de dimensions-cibles qui génèrent un même niveau de rentabilité et pour lesquelles la rentabilité du scénario peut être considérée comme maximisée est plus restrictive et s'étend plutôt de 140 cm à 180 cm.

Conclusion

L'analyse de sensibilité montre que, dans le cadre des scénarios sylvicoles dynamiques à finalité de mise à blanc proposés, il est possible d'accorder une certaine souplesse dans le choix de la dimension d'exploitabilité. Ce n'est pas une circonférence-cible bien définie mais bien une gamme de circonférences qui permet de maximiser les niveaux de rentabilité. Ces dimensions vont de 160 cm à 220 cm, quel que soit le niveau d'investissements financier. Un propriétaire désireux d'observer une rentabilité plus directe visera plutôt une circonférence de maximum 180 cm et devra se restreindre aux stations les plus productives avec un faible niveau d'investissement.

La dimension-cible de 180 cm initialement fixée était donc assez bien définie.

Ces résultats suggèrent qu'il n'est pas forcément nécessaire d'allonger les révolutions (et donc les dimensions d'exploitabilité) pour rentabiliser les scénarios proposés. Cette observation offre au gestionnaire forestier une certaine marge de manœuvre dans ses objectifs (production de bois de bonnes dimensions sur des révolutions plus courtes, production de quelques arbres de qualité supérieure de très grosses dimensions, etc.) mais également dans le choix du moment de récolte et, ainsi, la possibilité de s'adapter au contexte socio-économique du moment (profiter de bons prix de



vente et/ou anticiper la coupe pour raison sanitaire en récoltant plus tôt, ou bien capitaliser en volume et récolter plus tard).

Au regard de ces résultats et pour les raisons liées à la présence de bois juvénile et d'aubier citées précédemment (cf. point 1.2.3.), la dimension d'exploitabilité que nous recommanderions pour les nouveaux scénarios sylvicoles en mélèze à finalité de mise à blanc reste celle de 180 cm de circonférence à 1m30.

2.5.2. COMPARATIF DES ITINÉRAIRES SYLVICOLES

Pour rappel, cette analyse compare et discute de la rentabilité des 4 scénarios dynamiques et du scénario témoin. Dans le cadre des simulations, on suppose une succession infinie de révolutions de même durée pour chaque situation modélisée (scénario économique × scénario sylvicole × Site index). Au vu des résultats de l'analyse de sensibilité, la dimension d'exploitabilité visée dans chaque scénario est de 180 cm et les stations les moins productives (Site index 4) n'ont pas été considérées.

Les indicateurs utilisés sont ceux présentés au point 2.4.4. Plusieurs paramètres sylvicoles décrivant les peuplements modélisés ont également été considérés dans l'interprétation des indicateurs (Volumes totaux à l'hectare, Volumes moyens produits à l'hectare).

RENTABILITÉ

Parmi les scénarios sylvicoles dynamiques à finalité de mise à blanc proposés, c'est le scénario '*Dynamique-Large*' qui s'avère le plus rentable, quel que soit le niveau de productivité de la station et le niveau d'investissements financiers. Les scénarios standard ('*Dynamique-Standard*') et par arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*') s'équivalent assez bien entre eux, offrant un même niveau de rentabilité (différences < 5 % en moyenne). Le scénario '*Dynamique-Dense*' constitue quant à lui le scénario le moins rentable systématiquement, avec -49 % de rentabilité en moyenne en situation d'investissements faibles et -178 % en situation d'investissements élevés, par rapport aux autres scénarios.

L'analyse comparative montre également que le scénario témoin ('*Conventionnel*') offre une bonne rentabilité et que celle-ci reste supérieure à celle des scénarios dynamiques (+23 % en moyenne). Lorsque les investissements financiers sont plus élevés et que la productivité de la station diminue (Site index 2 et 3), le scénario dynamique '*Dynamique-Large*' rencontre une rentabilité équivalente voir supérieure à celle du scénario témoin.

En situation d'investissements plus conséquents, la rentabilité des scénarios observe une diminution de -40 à -45 % en moyenne, à l'exception du scénario '*Dynamique-Dense*' qui est plus impacté, avec une rentabilité diminuée de -78 % en moyenne.

Tableau 18. Valeurs moyennes du VAN ∞ de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

		VAN ∞ (€/ha)			
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	17 369	12 974	9 352	6 119
	Dynamique-Dense	14 146	10 000	6 417	3 365
	Dynamique-Large	18 276	13 943	10 246	6 994
	Dynamique-AO	17 351	12 893	9 342	6 014
	Conventionnel	19 146	14 930	10 836	7 173
Elevés	Dynamique-Stand	12 474	8 447	5 044	1 987
	Dynamique-Dense	8 599	4 691	1 314	-1 370
	Dynamique-Large	13 710	9 631	6 144	3 093
	Dynamique-AO	12 378	8 244	4 899	1 790
	Conventionnel	14 369	9 942	6 136	2 438

COÛTS-RECETTES-BÉNÉFICES

L'analyse du VAN (bénéfices actualisés) montre que le scénario '*Dynamique-Large*' est le scénario dynamique qui rapporte le plus de bénéfices et le scénario '*Dynamique-Dense*' celui qui en génère le moins, quel que soit le niveau d'investissements financiers et de productivité. Il semblerait que le scénario par arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*') génère moins de bénéfices par rapport au scénario dynamique standard (-5 % en moyenne).

Tableau 19. Valeurs moyennes du VAN (Bénéfice Actualisé) de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

		VALEUR ACTUELLE NETTE (BÉNÉFICE ACTUALISÉ) (€/HA)			
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	11 042	8 858	6 719	4 589
	Dynamique-Dense	9 288	6 891	4 610	2 556
	Dynamique-Large	11 619	9 343	7 245	5 210
	Dynamique-AO	10 772	8 639	6 551	4 418
	Conventionnel	14 545	11 342	8 524	5 643
Elevés	Dynamique-Stand	7 930	5 821	3 623	1 490
	Dynamique-Dense	5 705	3 233	944	-1 041
	Dynamique-Large	8 716	6 576	4 344	2 305
	Dynamique-AO	7 593	5 469	3 435	1 315
	Conventionnel	10 916	7 553	4 827	1 918



Tableau 20. Valeurs moyennes des coûts actualisés de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

COÛTS ACTUALISÉS (€/HA)					
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	7 697	7 697	7 697	7 697
	Dynamique-Dense	9 740	9 740	9 740	9 740
	Dynamique-Large	7 220	7 220	7 220	7 220
	Dynamique-AO	7 697	7 697	7 697	7 697
	Conventionnel	8 330	8 330	8 330	8 330
Elevés	Dynamique-Stand	10 801	10 801	10 801	10 801
	Dynamique-Dense	13 385	13 385	13 385	13 385
	Dynamique-Large	10 119	10 119	10 119	10 119
	Dynamique-AO	10 801	10 801	10 801	10 801
	Conventionnel	11 999	11 999	11 999	11 999

Bien que le scénario '*Dynamique-Dense*' génère des recettes élevées, les coûts (élevés également) qu'il implique le placent comme scénario engendrant le moins de bénéfices parmi les scénarios dynamiques. En effet, même si les recettes qu'il apporte surpassent ou tout du moins équivalent celles des autres scénarios dynamiques (+1 % en moyenne), les coûts qu'il implique sont quant à eux nettement plus importants (+22 % en moyenne). C'est le scénario '*Dynamique-Large*' qui génère les coûts les moins élevés. Viennent ensuite les scénarios standard ('*Dynamique-Stand*') et arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*'), dont les coûts estimés sont identiques étant donné qu'ils reprennent les mêmes opérations sylvicoles.

Le scénario avec désignation d'arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*') est celui qui génère le moins de recettes parmi les scénarios dynamiques. Les différences par rapport au scénario standard ('*Dynamique-Stand*') restent toutefois assez marginales (-1,5 % en moyenne).

Le scénario témoin de la sylviculture conventionnelle ('*Conventionnel*') génère des coûts plus élevés (+10 % en moyenne) par rapport aux scénarios dynamiques à plantations plus larges (scénarios '*Dynamique-Stand*', '*Dynamique-Large*' et '*Dynamique-AO*'). En revanche, il génère des recettes plus élevées comparativement à l'ensemble des scénarios dynamiques (+15 % en moyenne). En effet, les volumes totaux plus élevés produits dans ce scénario permettent de générer plus de recettes. A noter que ceux-ci sont fournis sur des révolutions plus longues (de 9 à 21 ans en moyenne selon le niveau de productivité de la station) par rapport aux scénarios dynamiques.



Tableau 21. Valeurs moyennes des recettes actualisées de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

RECETTES ACTUALISÉES (€/HA)					
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	18 739	16 555	14 416	12 286
	Dynamique-Dense	19 028	16 631	14 350	12 296
	Dynamique-Large	18 839	16 563	14 464	12 430
	Dynamique-AO	18 469	16 336	14 248	12 115
	Conventionnel	22 875	19 672	16 854	13 973
Elevés	Dynamique-Stand	18 731	16 622	14 424	12 291
	Dynamique-Dense	19 090	16 618	14 329	12 344
	Dynamique-Large	18 835	16 695	14 463	12 423
	Dynamique-AO	18 394	16 270	14 236	12 116
	Conventionnel	22 915	19 552	16 826	13 917

L'analyse du rapport bénéfice-coût (BCR) indique clairement que, quel que soit le niveau d'investissements ou de productivité, le scénario '*Dynamique-Large*' est l'itinéraire dynamique qui rapporte le plus de revenus par euro investi et que le scénario '*Dynamique-Dense*' est celui qui en rapporte le moins. Les différences de bénéfices actualisés observées entre les scénarios standard ('*Dynamique-Stand*') et arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*') ne sont pas suffisamment significatives pour impacter leur valeur BCR, qui s'équivalent. Ces valeurs restent d'ailleurs très proches de celles du scénario '*Dynamique-Large*', suggérant un retour sur investissement assez similaire entre ces 3 scénarios dynamiques.

D'une manière générale, le scénario témoin ('*Conventionnel*') présente un BCR équivalent au scénario '*Dynamique-Large*' et très proche des scénarios standard ('*Dynamique-Stand*') et arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*'). Cela signifie que, pour ces scénarios, chaque euro investi rapportera le même revenu unitaire quel que soit l'itinéraire mis en œuvre.

Les valeurs du BCR de chaque scénario sur les parcelles moins productives (Site index 3) invitent à reconsidérer l'intérêt d'investir dans une sylviculture de production (qu'elle soit dynamique ou conventionnelle) sur de telles stations, et ce d'autant plus quand les investissements financiers nécessaires sont élevés. En effet, le retour sur investissement y est assez faible (valeurs de BCR < 2, traduisant que 1 € investi en rapporte moins de 2 € en finalité).

En situation d'investissements financiers élevés, le BCR de chaque scénario diminue nettement, rendant discutable l'intérêt de réaliser des investissements de cette envergure en dehors des stations les plus productives. Le scénario '*Dynamique-Dense*' ne semble, pour sa part, pas recommandé quel que soit le site index.



Tableau 22. Valeurs moyennes du rapport bénéfice-coût (BCR) de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

RAPPORT BÉNÉFICE-COÛT					
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	2,4	2,2	1,9	1,6
	Dynamique-Dense	2,0	1,7	1,5	1,3
	Dynamique-Large	2,6	2,3	2,0	1,7
	Dynamique-AO	2,4	2,1	1,9	1,6
	Conventionnel	2,7	2,4	2,0	1,7
Elevés	Dynamique-Stand	1,7	1,5	1,3	1,1
	Dynamique-Dense	1,4	1,2	1,1	0,9
	Dynamique-Large	1,9	1,6	1,4	1,2
	Dynamique-AO	1,7	1,5	1,3	1,1
	Conventionnel	1,9	1,6	1,4	1,2

INFLUENCE DE LA DÉSIGNATION D'ARBRES-OBJECTIFS

La comparaison des indicateurs financiers indique que les scénarios standard (*'Dynamique-Stand'*) et arbres-objectifs (*'Dynamique-AO'*) offrent des niveaux de rentabilité équivalents (valeurs de VAN ∞ similaires et valeurs BCR presque identiques). Leurs coûts estimés sont identiques étant donné qu'ils reprennent les mêmes opérations sylvicoles et des différences marginales entre les recettes s'observent (-1,5 % en moyenne). Elles proviennent très probablement des volumes totaux un peu moins élevés produits en scénario arbres-objectifs (-3 % en moyenne). Toutefois, les volumes moyens produits à l'hectare s'équivalent complètement entre les deux scénarios (Tableau 23).

Tableau 23. Valeurs moyennes du volume moyen produit pour les scénarios standard et arbres-objectifs pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

VOLUMES MOYENS PRODUITS (M ³ /HA/AN)					
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	13,6	11,7	10,1	8,8
	Dynamique-AO	13,9	11,9	10,3	8,9
Elevés	Dynamique-Stand	13,6	11,7	10,1	8,8
	Dynamique-AO	14,0	11,9	10,3	8,9

Ainsi, ces simulations ne permettent pas non plus de mettre en évidence d'effets de l'intégration d'une désignation d'arbres-objectifs sur la croissance des arbres dominants. Bien que ces résultats rejoignent les observations réalisées en 2024 sur les dispositifs d'étude de la sylviculture dynamique en mélèze, les limites du modèle dans la simulation de détournages localisés ne nous permettent pas de tirer de conclusions claires. Cependant, cela suggère tout de même que la façon de mener les éclaircies dans le scénario arbres-objectifs étudié (éclaircies orientées nettement plus par le haut) conduit à produire un peu moins de volume à l'échelle du peuplement.



RÉALISATION D'UN ÉLAGAGE À GRANDE HAUTEUR

Quelle que soit les conséquences de la conduite d'une sylviculture d'arbres-objectifs sur la croissance des arbres dominants du peuplement, l'une des implications majeures de ce type de sylviculture sur la rentabilité réside dans la plus-value de qualité individuelle des tiges désignées, sur laquelle le sylviculteur choisi de miser en y concentrant les éclaircies et en réalisant un investissement supplémentaire (élagage à grande hauteur).

La réalisation d'un élagage à grande hauteur augmenterait les investissements financiers (et donc les coûts) liés au scénario 'Dynamique-AO' (Tableau 24) et impliquerait donc de devoir augmenter les recettes afin d'être rentabilisé.

Une analyse réalisée à partir des coûts d'élagage à grande hauteur estimés au point 2.4.3 indique que, considérant les prix de vente actuels (cf. Tableau 13 du point 2.4.3.), **il ne faudrait augmenter le prix de vente final des arbres élagués que de 4 € par m³ (élagage de 2 à 6 m) à 10 € par m³ (élagage de 2 à 8 m) en moyenne pour compenser cet investissement supplémentaire.**

Les valeurs des différents paramètres intervenant dans le calcul, ainsi que les résultats de celui-ci pour chaque indice de productivité sont repris en annexes (Annexe 3).

Tableau 24. Valeurs moyennes des coûts actualisés avec élagage à grande hauteur pour le scénario arbres-objectifs pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé.

COÛTS ACTUALISÉS (€/HA)					
Investissements	silvScenario	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	7 697	7 697	7 697	7 697
	Dynamique-AO	8 016	8 016	8 016	8 016
Elevés	Dynamique-Stand	10 801	10 801	10 801	10 801
	Dynamique-AO	11 120	11 120	11 120	11 120

NOMBRE D'ARBRES MINIMUM DANS LA COMPOSITION FINALE DES PEUPELEMENTS

Afin de conserver une certaine marge de sécurité face aux aléas sanitaires et pour s'assurer d'une rentabilité suffisante, les scénarios dynamiques veillent à conserver un minimum de 80 arbres/ha pour la constitution du peuplement final. Il s'agit donc également du nombre d'arbres-objectifs désignés dans le scénario dynamique correspondant. Ainsi, pour produire des arbres de 180 cm de circonférence, cette prérogative peut entraîner des phases de capitalisation plus ou moins longues sans éclaircies avant la récolte finale des arbres. Cette constatation suggérerait d'envisager de conserver moins d'arbres à l'hectare.

Plusieurs simulations ont été réalisées pour comparer la rentabilité des scénarios qui conservent 80 arbres/ha avec des scénarios identiques qui conserveraient 50 arbres/ha (ou désignation de 50 arbres-objectifs/ha pour le scénario 'Dynamique-AO').

Rentabilité

La comparaison des VAN[∞] indique que les scénarios qui conservent ou désignent 80 arbres/ha sont tout aussi rentables que les scénarios qui conservent 50 arbres/ha (Tableau 25). Les différences moyennes de rentabilité varient de 0 à 3,5 % selon les itinéraires sylvicoles, la productivité et le niveau d'investissements considérés. Ces différences sont jugées non-significatives. A noter que la variation



du nombre d'arbres/ha minimum constitutifs du peuplement final ne change pas les observations de l'analyse comparative des itinéraires réalisée plus haut.

Tableau 25. Valeurs moyennes du VAN ∞ de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé, avec 50 arbres/ha minimum.

		VAN ∞ (€/ha)			
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	17 164	12 908	9 339	6 161
	Dynamique-Dense	13 937	9 919	6 411	3 439
	Dynamique-Large	18 123	13 854	10 288	7 047
	Dynamique-AO	16 894	12 691	9 194	6 133
	Conventionnel	19 069	14 924	10 840	7 170
Elevés	Dynamique-Stand	12 488	8 466	5 105	2 128
	Dynamique-Dense	8 599	4 762	1 557	-1 261
	Dynamique-Large	13 695	9 639	6 278	3 228
	Dynamique-AO	12 160	8 196	4 889	2 081
	Conventionnel	14 267	10 050	6 117	2 437

Coûts-Recettes-Bénéfices

L'analyse du VAN (bénéfices actualisés) montre que les scénarios qui conservent 50 arbres/ha rapportent en moyenne 2 à 8 % de bénéfices en plus et génèrent en moyenne 1 à 1,5 % de recettes supplémentaires par rapport aux scénarios qui gardent 80 arbres/ha (Tableau 29 et Tableau 27). S'agissant des coûts, ils sont identiques entre les deux cas de figure analysés. A noter qu'ici aussi, la variation du nombre d'arbres/ha minimum constitutifs du peuplement final ne change pas les observations de l'analyse comparative des itinéraires réalisée plus haut.

Tableau 26. Valeurs moyennes du VAN (Bénéfice Actualisé) de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé, avec 50 arbres/ha minimum.

		VALEUR ACTUELLE NETTE (BÉNÉFICE ACTUALISÉ) (€/HA)			
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	11 273	8 895	6 861	4 710
	Dynamique-Dense	9 518	7 181	4 808	2 660
	Dynamique-Large	11 903	9 547	7 448	5 354
	Dynamique-AO	11 095	8 746	6 605	4 688
	Conventionnel	14 487	11 337	8 527	5 640
Elevés	Dynamique-Stand	8 202	5 936	3 750	1 626
	Dynamique-Dense	5 872	3 395	1 168	-976
	Dynamique-Large	8 995	6 643	4 545	2 452
	Dynamique-AO	7 986	5 648	3 512	1 591
	Conventionnel	10 839	7 635	4 812	1 917



Tableau 27. Valeurs moyennes des recettes actualisées de chaque scénario sylvicole pour une dimension d'exploitabilité de 180 cm, en fonction du Site index et du niveau d'investissement envisagé, avec 50 arbres/ha minimum.

RECETTES ACTUALISÉES (€/HA)					
Investissements	Scénario sylv	Si 0	Si 1	Si 2	Si 3
Faibles	Dynamique-Stand	18 969	16 592	14 558	12 406
	Dynamique-Dense	19 257	16 920	14 547	12 400
	Dynamique-Large	19 122	16 767	14 668	12 573
	Dynamique-AO	18 792	16 442	14 302	12 385
	Conventionnel	22 817	19 667	16 857	13 970
Elevés	Dynamique-Stand	19 002	16 737	14 551	12 427
	Dynamique-Dense	19 258	16 780	14 553	12 409
	Dynamique-Large	19 113	16 761	14 663	12 571
	Dynamique-AO	18 787	16 449	14 313	12 392
	Conventionnel	22 838	19 634	16 811	13 916

SYNTHÈSE

Parmi les scénarios sylvicoles dynamiques proposés, c'est le scénario '*Dynamique-Large*' qui s'avère le plus rentable, quel que soit le niveau de productivité de la station et le niveau d'investissements financiers. Il s'agit du scénario qui rapporte le plus de bénéfices grâce au minimum de coûts générés.

Les scénarios standard ('*Dynamique-Stand*') et arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*' – sans élagage à grande hauteur) offrent des niveaux de rentabilité équivalents entre eux et un peu moins élevés que le scénario '*Dynamique-Large*'. Ces 3 scénarios offrent tout de même un retour sur investissement assez similaires.

Ces observations prévalent quel que soit le nombre d'arbres/ha minimum constitutifs du peuplement final (50 ou 80 arbres/ha) et la rentabilité d'un même scénario n'est pas significativement différente selon que l'on conserve 50 ou 80 arbres/ha.

Ces simulations ne permettent pas non plus de mettre en évidence d'effets de l'intégration d'une désignation d'arbres-objectifs sur la croissance des arbres dominants. Les limites du modèle dans la simulation de détourages localisés ne nous permettent cependant pas de tirer de conclusions claires.

Dans le cadre d'une sylviculture d'arbres-objectifs, la réalisation d'un élagage à grande hauteur est généralement envisagée pour la plus-value sur la qualité du bois qui en découle. Bien que cela représente un investissement supplémentaire, il ne faudrait augmenter le prix de vente final des arbres élagués que de 4 € par m³ (élagage de 2 à 6 m) à 10 € par m³ (élagage de 2 à 8 m) en moyenne pour le compenser.

Malgré des recettes similaires aux autres itinéraires, le scénario '*Dynamique-Dense*' est, quant à lui, le scénario dynamique le moins rentable en raison des coûts élevés qu'il engendre. En situation d'investissements financiers élevés, il ne semble pas recommandé, quel que soit le site index.

D'une manière générale, le scénario témoin offre une rentabilité supérieure à celle des scénarios dynamiques. Lorsque les investissements financiers sont plus élevés et que la productivité de la station diminue (Site index 2 et 3), le scénario '*Dynamique-Large*' rencontre une rentabilité équivalente voire supérieure à celle du scénario témoin. Ce dernier présente un retour sur investissement équivalent au



scénario '*Dynamique-Large*' et très proche des scénarios standard ('*Dynamique-Stand*') et arbres-objectifs ('*Dynamique-AO*').

D'un point de vue purement économique, le scénario témoin semble mieux convenir que les scénarios dynamiques pour les Site index moyen à faible (Site index 2 et 3).

Les résultats des simulations invitent à reconsidérer l'intérêt d'investir dans une sylviculture de production (qu'elle soit dynamique ou conventionnelle) sur les stations moins productives (Site index ≤ 3), et ce d'autant plus quand les investissements financiers nécessaires sont élevés.

En conclusion, les itinéraires sylvicoles dynamiques de production proposés ne sont rentables et n'offrent des retours sur investissements intéressants que lorsqu'ils sont mis en œuvre au sein de parcelles productives (Site index 0, 1 et 2). Dès que des investissements financiers élevés doivent être engagés, les scénarios impliquant une plantation à plus larges écartements (scénarios dynamiques standard – '*Dynamique-Stand*', à densité de plantation faible – '*Dynamique-Large*' ou intégrant la désignation d'arbres-objectifs - '*Dynamique-AO*') seront à privilégier. Il s'agit également des 3 itinéraires dynamiques qui permettent de minimiser les coûts. L'élagage à grande hauteur impliquera un coût supplémentaire mais pouvant être compensé par une augmentation limitée du prix de vente des bois.

2.6. DISCUSSION

Les simulations économiques ont montré qu'il était possible d'obtenir un niveau de rentabilité satisfaisant à partir de scénarios sylvicoles dynamiques. Les itinéraires testés sont restés simples (peuplements purs et équiennes, finalité de mise à blanc) afin de pouvoir être intégrés dans le simulateur et visaient principalement à n'éprouver qu'un seul aspect sylvicole (densité initiale du peuplement). Ces itinéraires peuvent cependant aisément se combiner avec d'autres techniques sylvicoles. En effet, bien que, dans le cadre de nos simulations, le principe d'une désignation d'arbres-objectifs ait été implémenté à une distance de plantation de 3 x 3 m, il pourrait tout aussi bien être mis en œuvre à partir d'une distance de plantation plus restreinte ou plus large. De même, chaque scénario pourrait également observer une finalité par régénération naturelle au lieu d'une finalité de mise à blanc.

Le peu de différences, notamment d'un point de vue rentabilité, entre les simulations qui conservent/désignent 50 arbres/ha ou 80 arbres/ha suggère qu'un nombre plus restreint d'arbres par rapport aux 80 arbres/ha initialement définis pourrait totalement être envisagé. Dans le cadre d'une désignation d'arbres-objectifs, cela aura une incidence considérable si l'on souhaite limiter les coûts d'élagage à grande hauteur. De plus, étant donné que le modèle ne permet pas de simuler clairement des détourages localisés, et donc de rendre compte des effets potentiels sur l'accroissement des arbres visés par les détourages, se focaliser sur 50 arbres-objectifs/ha assurerait de laisser suffisamment d'espace pour le développement des houppiers et favoriserait ainsi les accroissements.

Bien que l'élagage à grande hauteur des arbres-objectifs représente un coût supplémentaire, il reste vivement conseillé. En effet, il est fort probable que la meilleure qualité du bois qui en découle assure un prix de vente plus élevé des grumes élaguées, permettant à minima de compenser l'investissement réalisé (+ 4 €/m³ pour compenser un élagage de 2 à 6 m et + 10 €/m³ pour compenser un élagage de 2 à 8 m).



Ensuite, même si d'un point de vue rentabilité plusieurs dimensions d'exploitabilité s'équivalent assez bien, les considérations liées à la production de bois juvénile et à la présence d'aubier dans les grumes de mélèze nous poussent à tout de même viser la production de bois de 180 cm de circonférence à 1m30 minimum. La souplesse que les résultats des simulations suggèrent concernant le choix de la dimension-cible offre toutefois au forestier une certaine assurance de rentabilité face aux aléas futurs.

D'un point de vue rentabilité, les scénarios dynamiques ont montré quelques limites par rapport au scénario témoin de la sylviculture conventionnelle. Toutefois, les simulations ne tiennent compte de l'aspect économique que de manière restreinte, en ne considérant ni l'aspect qualité du bois (et donc de la valeur ajoutée d'une meilleure conformation des tiges, de l'absence de nœuds suite à un élagage à grande hauteur) ni des circonférences individuelles plus élevées et leurs influences sur le prix de vente des bois.

Les facteurs qui peuvent influencer la longévité du peuplement (stabilité, vigueur des arbres) ne sont également pas pris en compte, tout comme le facteur risque (climat changeant, événements extrêmes, risque sanitaire) qui peut être associé à l'allongement de la durée des révolutions. Sur ces points, les scénarios dynamiques ont montré leurs plus-values par rapport à la sylviculture conventionnelle du scénario témoin, en permettant notamment de diminuer les révolutions d'une dizaine d'années en moyenne (Longrée 2024).



TROISIÈME PARTIE – CONSTRUCTION DES NOUVELLES NORMES SYLVICOLES

3.1. RECOMMANDATION D'UN SCÉNARIO SYLVICOLE DYNAMIQUE

Sur base des enseignements sylvicoles retirés des dispositifs expérimentaux en Mélèze, des retours d'expériences pratiques sur la conduite de peuplements de Mélèze de la part de gestionnaires forestiers et finalement des résultats des différentes simulations réalisées dans le présent rapport, nous recommandons le scénario sylvicole ci-dessous. Afin de rester dans un scénario de futaie équienne tel qu'il est le plus souvent mis en œuvre, une récolte finale par mise à blanc a été considérée dans ce scénario.

Des variantes sont également proposées, abordant les cas de densités de plantation plus élevées ou plus faibles que celle retenue, d'une désignation d'arbres-objectifs et d'une régénération naturelle des peuplements. Ces versions alternatives proposent soit de démarrer d'une situation différente pour ramener le peuplement dans des conditions similaires à celles du scénario de référence, soit de démarrer du scénario de référence pour atteindre une autre finalité de récolte.

Il est important de rappeler que les tables de production représentent l'évolution de peuplements théoriques et ne se réfèrent pas à un mélèze en particulier. Ces tables visent à guider le gestionnaire dans la planification de ses interventions, en lui donnant un aperçu de ce qu'il est possible d'obtenir pour un mélèze moyen, sans avoir la prétention d'être une norme de référence absolue.

Les tables de production ont été modélisées à l'aide du logiciel GYMNOS et les spécificités techniques relatives à chaque itinéraire sont reprises en annexe (Annexe 4).

SCÉNARIO SYLVICOLE RECOMMANDÉ

Il s'agit du scénario qui fournit la meilleure perspective de production totale en volume tout en maximisant les dimensions individuelles des arbres dominants au sein de peuplements stables, avec finalité de mise à blanc. Une récolte progressive des bois arrivés à dimensions d'exploitabilité en vue de régénérer le peuplement par voie naturelle peut cependant tout aussi bien être envisagée. Ce cas de figure sera présenté plus loin (variante D).

L'itinéraire sylvicole recommandé pour les peuplements purs et équiennes de mélèzes, en objectif de régénération par mise à blanc, est le suivant :

- La plantation est entreprise selon des écartements de 3 x 3 m (1.111 tiges/ha). Une protection des plants contre le gibier (frottes essentiellement) est vivement recommandée.
- Des dégagements sont réalisés à minima durant les 2 premières années qui suivent la plantation. Un à deux passages supplémentaires peuvent être prévus dans les situations les plus difficiles (envahissement par la fougère aigle par exemple).
- L'élagage de pénétration (2 m) peut-être effectué en même temps que la première éclaircie.
- La première éclaircie est déclenchée lorsque la hauteur dominante du peuplement a atteint 13,5 m. Lors de cette première éclaircie, il est conseillé de prélever systématiquement une ligne tous les 21 m qui servira de cloisonnement d'exploitation.



- Les 4 premières éclaircies se succèdent selon une rotation de 3 ans et visent à ramener le peuplement à une densité après coupe de 15 m²/ha, de manière à permettre aux mélèzes de croître sans craindre la concurrence latérale.
- Après la 4^e coupe, la rotation s’allonge à 6 ans et l’intensité des éclaircies peut diminuer, en visant à ramener le peuplement à un niveau de surface terrière après coupe de 18 m²/ha.
- L’exploitation finale est envisagée lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1m30 a atteint 180 cm.

Le Tableau 28 ci-dessous synthétise l’itinéraire recommandé.

Les tables de production associées à cette norme sont présentées ci-dessous pour les 4 principales classes de productivité (24, 27, 30 et 33 m à 50 ans). Elles font référence à une densité de plantation de 1.111 plants par hectare, correspondant à des écartements à la plantation de 3 x 3 m, avec un taux de reprise de 80 %. Le Tableau 29 décrit les différentes variables sylvicoles présentées dans les tables.

Les principaux résultats associés à ces nouvelles normes sont synthétisés dans le tableau récapitulatif en introduction des tables.

Tableau 28. Itinéraire sylvicole recommandé pour le traitement des mélèzes

	Itinéraire recommandé
Plantation	<i>3 x 3 m (1.111 tiges/ha) (+ protection contre le gibier)</i>
<i>Dégagement</i>	1 ^{ère} année
<i>Dégagement</i>	2 ^e année
<i>(Dégagement)</i>	(3 ^e année)
<i>(Dégagement)</i>	(4 ^e année)
<i>Ouverture d’un cloisonnement d’exploitation</i>	Hdom = 13,5 m Coupe systématique d’1 ligne sur 7
<i>(Elagage de pénétration à 2 m)</i>	(Hdom = 13,5 m)
<i>1^{ère} éclaircie</i>	Hdom = 13,5 m Gha objectif de 15 m²/ha
<i>2^e, 3^e et 4^e éclaircies</i>	Eclaircie tous les 3 ans avec Gha objectif de 15 m²/ha
<i>A partir de la 4^e éclaircie</i>	Eclaircie tous les 6 ans avec Gha objectif de 18 m²/ha
<i>Exploitation finale</i>	Mise à blanc lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1,30 m atteint 180 cm



Tableau 29. Légende des tables de production

Variables	Description
Age	Age depuis la plantation (on considère que les plants sont âgés de 3 ans lors de la plantation)
Hdom	Hauteur dominante (moyenne des hauteurs des 100 plus gros arbres à l'hectare) en m
Nha	Nombre de tige par hectare
Cg	Circonférence à 1m30 de l'arbre de surface terrière moyenne en cm
Gha	Surface terrière totale par hectare (m ² /ha)
Vha	Volume sur pied total par hectare à la recoupe de 22cm (m ³ /ha)
ACC	Accroissement courant en circonférence à 1m30 (cm/an)
ACG	Accroissement courant en surface terrière (m ² /ha/an)
AMG	Accroissement moyen en surface terrière depuis la plantation (m ² /ha/an)
ACV	Accroissement courant en volume (m ³ /ha/an)
AMV	Accroissement moyen en volume depuis la plantation (m ³ /ha/an)
PTV	Production totale en volume depuis la plantation (m ³ /ha)
h/d	Coefficient de stabilité des peuplements : rapport entre hauteur dominante et diamètre moyen
% Ecl	Pourcentage du nombre de tige sur pied prélevé lors de l'éclaircie



Synthèse des nouvelles normes en futaie pure et équiène

Productivité		1ere éclaircie			Caractéristique de la coupe rase						Accroissement et stabilité			
Classe	H50	Hdom	Âge	Ecl	Cg cible	Hdom	Âge	Cg	Nha	Vha	AMC	PTV	AMV	h/d
	m	m	années	%	cm	m	années	cm	N/ha	m ³ /ha	cm/an	m ³ /ha	m ³ /ha/an	
0	33	13,5	12	26	180	32,6	51	183	80	290,8	3,6	694,0	13,6	56
1	30	13,7	14	29	180	30,6	59	179	83	269,2	3,0	708,6	11,4	52
2	27	13,4	16	30	180	29,3	67	185	77	254,7	2,8	671,2	10,0	50
3	24	13,3	19	31	180	27,3	73	185	71	221,3	2,5	634,8	8,7	46



Classe de productivité 0

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3x3m (80% de reprise)

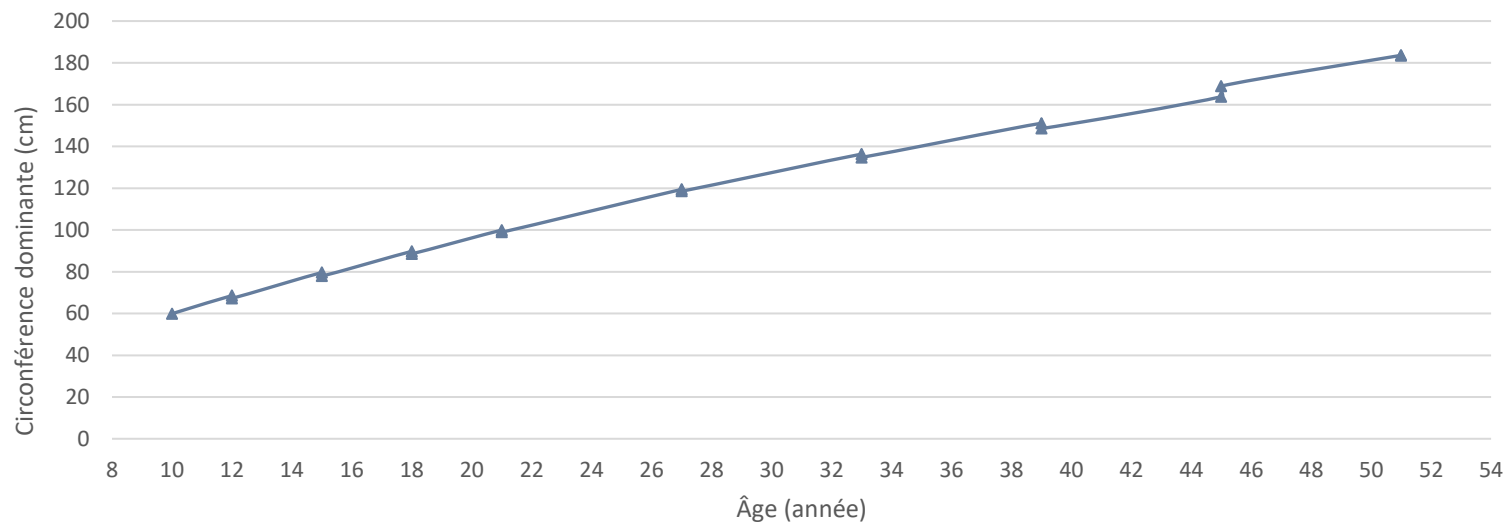
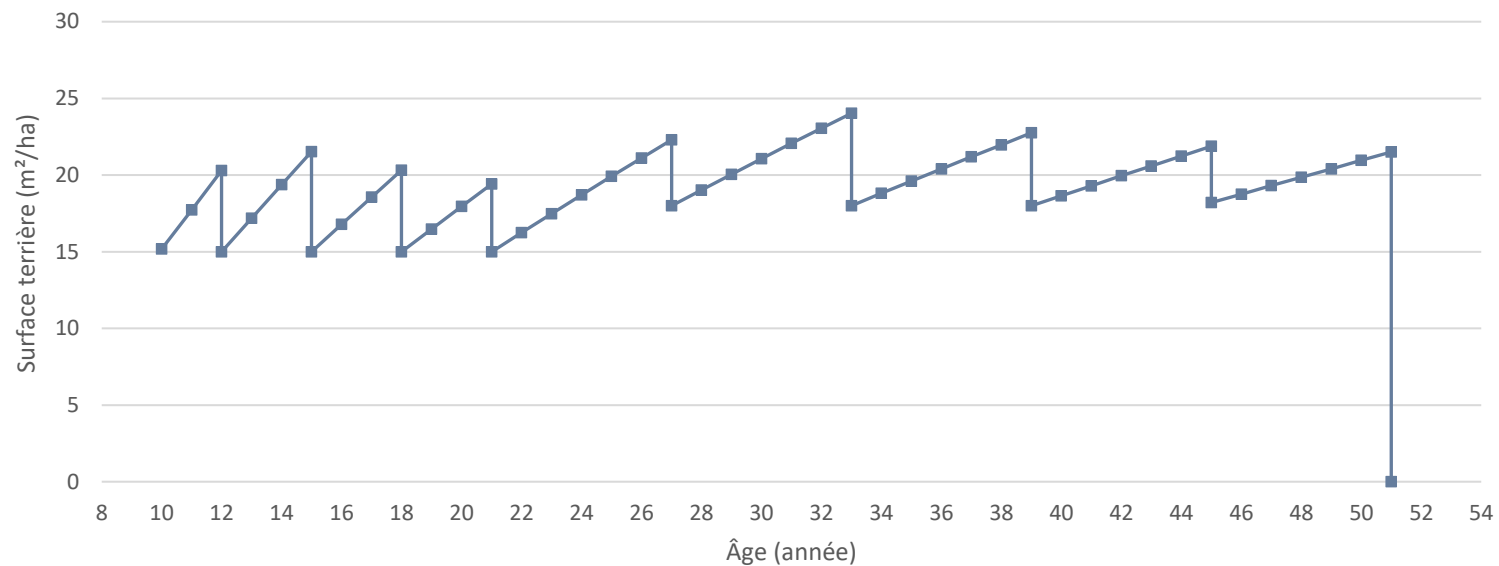
Récolte : Mise à blanc

Classe 0 (33 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 7

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
12	13,4	889	54	20,4	138,4	229	54	5,4	36,8	660	53	15,0	101,5	4,5	2,2	1,7	22,0	11,5	138,4	79	26
15	16,1	660	64	21,5	167,6	205	63	6,5	51,3	454	64	15,0	116,4	3,5	1,8	1,8	19,9	13,6	204,4	79	31
18	18,4	454	75	20,3	176,1	125	73	5,3	46,5	330	76	15,0	129,6	3,5	1,5	1,8	17,9	14,7	264,2	77	27
21	20,5	330	86	19,4	183,3	81	83	4,4	42,1	249	87	15,0	141,2	3,5	1,2	1,7	16,4	15,1	317,9	74	25
27	24,1	249	106	22,3	239,4	52	102	4,3	46,7	197	107	18,0	192,7	3,2	1,0	1,6	14,9	15,4	416,1	71	21
33	26,9	197	124	24,0	281,9	58	115	6,0	71,9	139	127	18,0	210,0	2,8	0,8	1,5	12,2	15,3	505,3	66	29
39	29,0	139	143	22,8	283,4	36	129	4,8	61,3	103	148	18,0	222,1	2,6	0,6	1,4	10,2	14,8	578,7	62	26
45	30,7	103	163	21,9	283,5	23	142	3,9	46,5	80	169	18,0	237,0	2,5	0,5	1,3	9,0	14,2	640,1	57	23
51	32,6	80	183	21,4	290,8	80	183	21,4	290,8	-	-	-	-	2,5	0,5	1,2	18,2	13,6	694,0	56	100





Classe de productivité 1

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3x3m (80% de reprise)

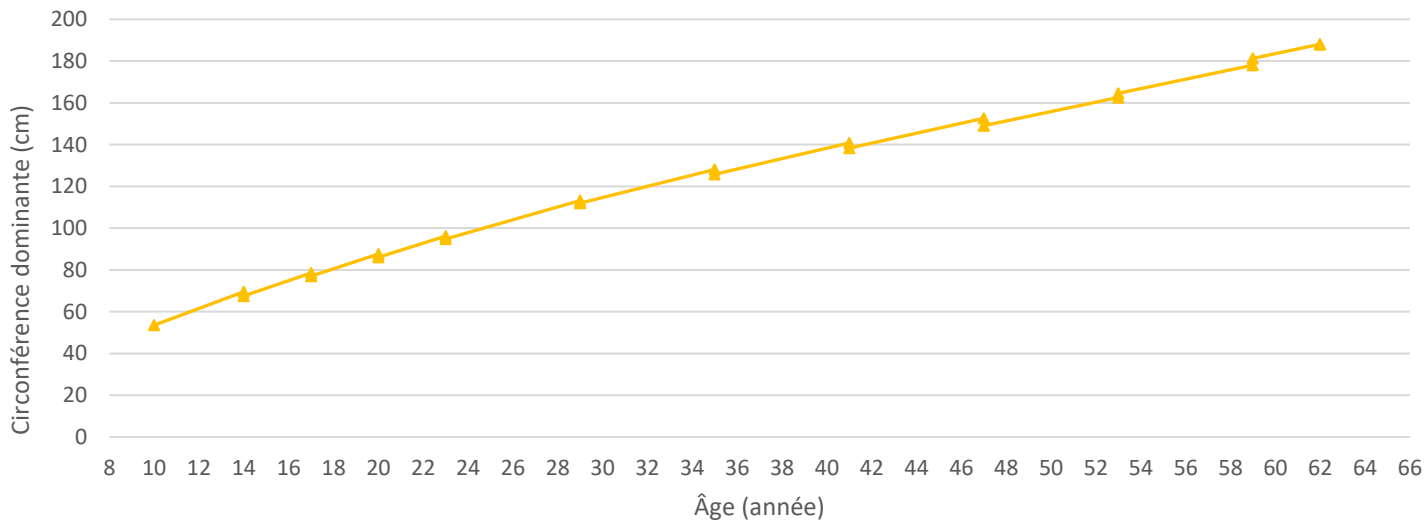
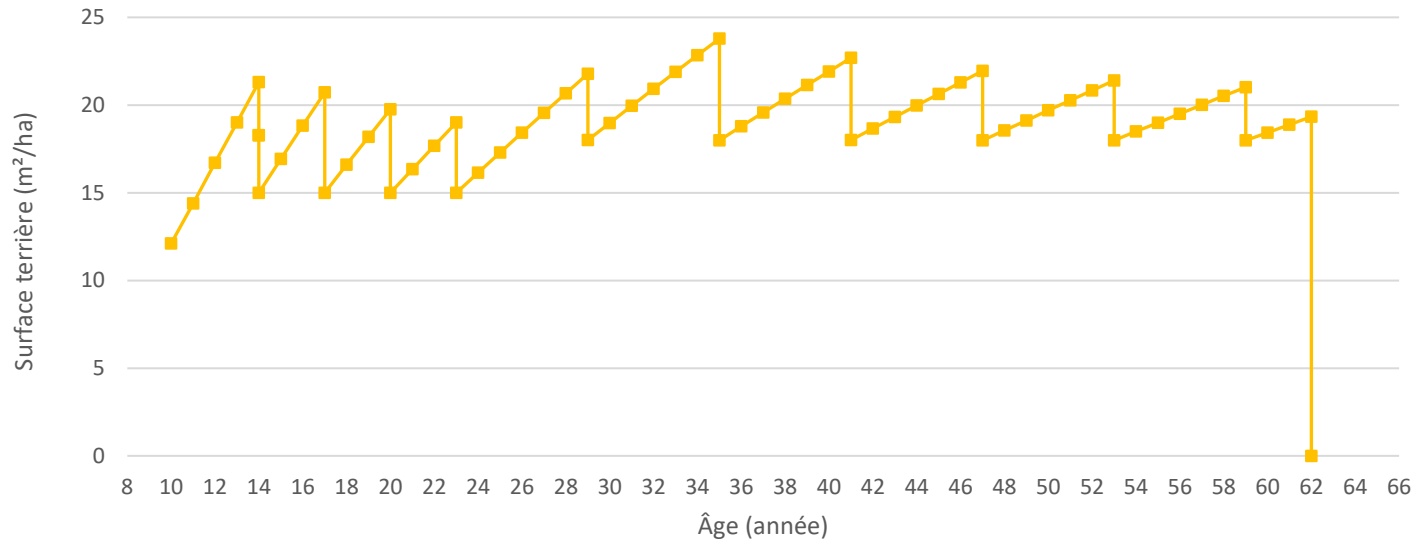
Récolte : Mise à blanc

Classe 1 (30 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 7

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
14	13,6	889	55	21,3	146,6	256	56	6,3	43,9	633	55	15,0	102,7	3,9	1,9	1,5	19,0	10,5	146,6	79	29
17	15,9	633	64	20,7	159,8	174	64	5,7	44,6	459	64	15,0	115,2	3,2	1,6	1,6	17,2	12,0	203,7	78	28
20	17,8	459	74	19,7	166,8	111	73	4,7	40,7	348	74	15,0	126,2	3,2	1,3	1,6	15,5	12,8	255,3	76	24
23	19,5	348	83	19,0	172,8	75	82	4,0	37,0	273	83	15,0	135,8	3,1	1,1	1,6	14,3	13,1	302,0	74	22
29	22,5	273	100	21,8	221,6	49	98	3,8	39,1	223	101	18,0	182,4	2,8	1,0	1,5	13,2	13,4	387,7	70	18
35	24,9	223	116	23,8	261,9	58	112	5,8	65,1	165	117	18,0	196,8	2,5	0,8	1,4	11,2	13,3	467,2	67	26
41	26,7	165	131	22,7	263,7	38	125	4,7	56,2	127	133	18,0	207,5	2,4	0,7	1,3	9,6	13,0	534,1	63	23
47	28,1	127	147	21,9	265,0	26	137	4,0	50,4	101	150	18,0	214,6	2,3	0,6	1,2	8,4	12,6	591,7	59	21
53	29,2	101	163	21,4	265,0	18	153	3,4	41,5	83	165	18,0	223,5	2,3	0,5	1,1	7,6	12,1	642,0	55	18
59	30,6	83	179	21,0	269,2	83	179	21,0	269,2	-	-	-	-	2,2	0,5	1,1	6,9	11,7	687,7	53	100





Classe de productivité 2

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3x3m (80% de reprise)

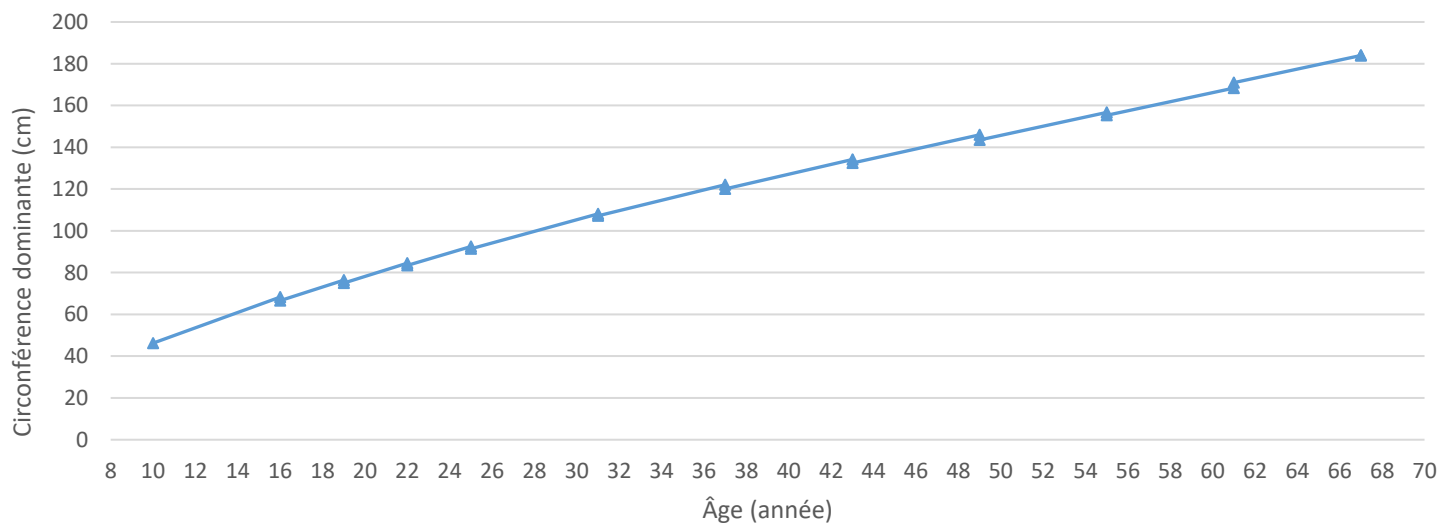
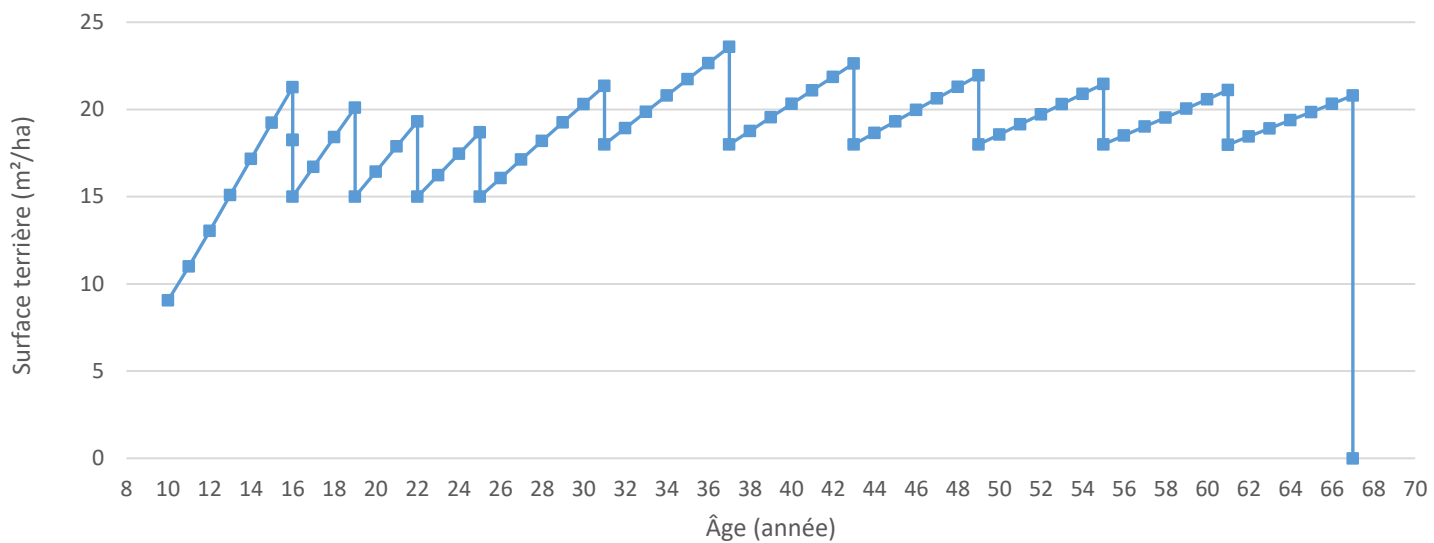
Récolte : Mise à blanc

Classe 2 (27 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 7

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
16	13,4	889	55	21,3	144,9	257	56	6,3	43,3	632	55	15,0	101,6	3,4	1,7	1,3	16,4	9,1	144,9	77	29
19	15,3	632	63	20,1	150,8	159	64	5,1	38,8	473	63	15,0	112,1	2,9	1,4	1,4	14,9	10,2	194,1	76	25
22	16,9	473	72	19,3	156,7	106	71	4,3	35,4	367	72	15,0	121,3	2,8	1,2	1,4	13,5	10,9	238,8	74	22
25	18,4	367	80	18,7	161,8	74	79	3,7	32,3	292	80	15,0	129,5	2,8	1,1	1,4	12,5	11,2	279,2	72	20
31	20,9	292	96	21,4	204,6	48	94	3,4	32,8	245	96	18,0	171,8	2,6	0,9	1,3	11,8	11,4	354,4	68	16
37	22,9	245	110	23,6	242,8	60	108	5,6	58,6	184	111	18,0	184,2	2,3	0,8	1,3	10,2	11,5	425,4	65	25
43	24,6	184	124	22,6	245,3	42	118	4,6	51,4	143	126	18,0	193,8	2,2	0,7	1,2	8,9	11,3	486,4	61	23
49	25,9	143	139	22,0	247,2	29	132	4,0	46,3	114	141	18,0	200,9	2,2	0,6	1,1	7,9	11,0	539,8	58	20
55	27,0	114	154	21,5	248,6	21	144	3,5	41,6	93	156	18,0	207,0	2,2	0,5	1,1	7,2	10,7	587,5	54	19
61	28,0	93	169	21,1	250,3	16	156	3,1	36,0	77	172	18,0	214,4	2,2	0,5	1,0	6,7	10,3	630,9	51	17
67	29,3	77	185	20,8	254,7	77	185	20,8	254,7	-	-	-	-	2,2	0,4	1,0	13,3	10,0	671,2	50	100





Classe de productivité 3

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3x3m (80% de reprise)

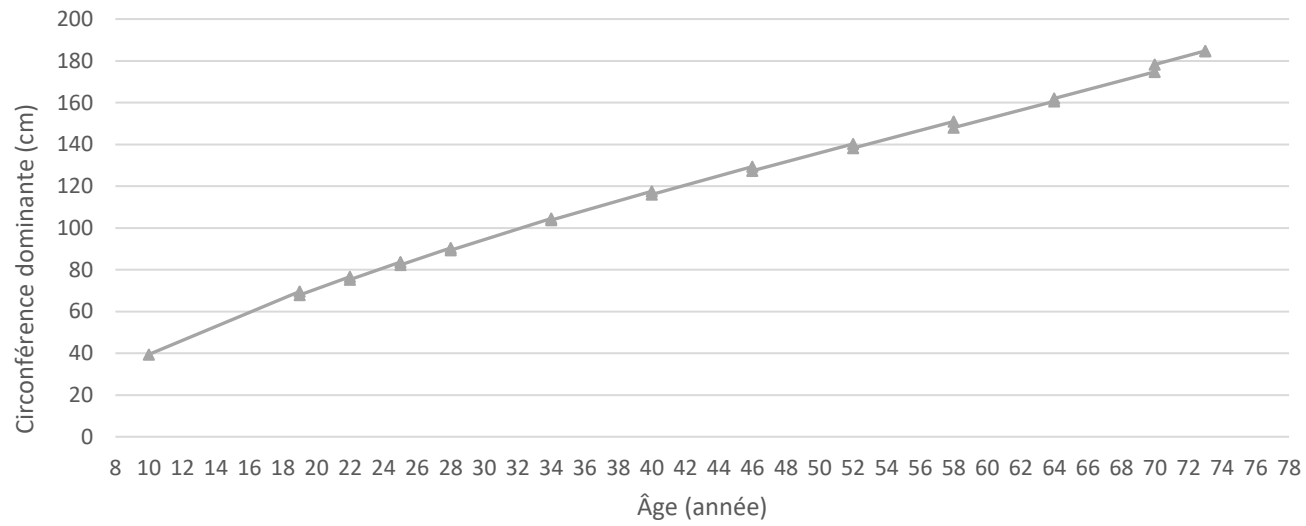
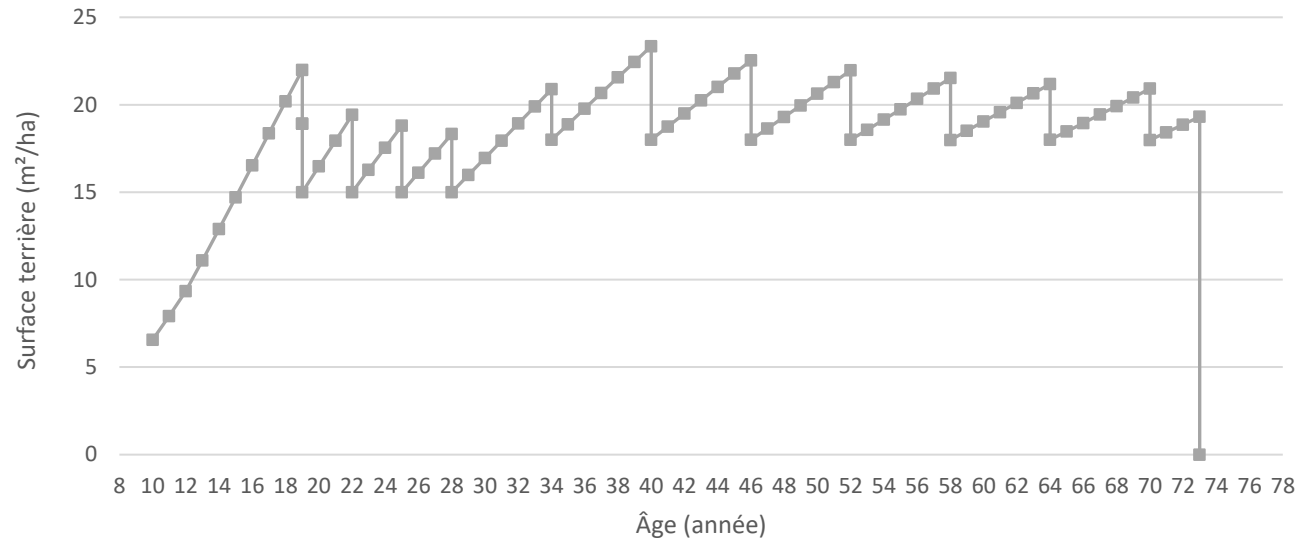
Récolte : Mise à blanc

Classe 3 (24 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 7

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
19	13,3	889	56	22,0	149,2	277	57	7,0	47,9	612	56	15,0	101,3	2,9	1,5	1,2	13,7	7,9	149,2	75	31
22	14,8	612	63	19,4	142,5	137	64	4,4	32,9	475	63	15,0	109,6	2,6	1,3	1,2	12,5	8,7	190,4	74	22
25	16,1	475	71	18,8	147,2	95	71	3,8	30,3	380	70	15,0	116,9	2,5	1,1	1,2	11,5	9,1	228,0	72	20
28	17,2	380	78	18,3	151,3	70	77	3,3	27,9	310	78	15,0	123,4	2,5	1,0	1,2	10,7	9,4	262,4	69	18
34	19,3	310	92	20,9	187,9	43	91	2,9	26,4	266	92	18,0	161,5	2,3	0,9	1,2	10,4	9,6	326,9	66	14
40	21,1	266	105	23,3	224,1	65	102	5,4	52,2	202	106	18,0	171,9	2,1	0,8	1,1	9,2	9,7	389,5	62	24
46	22,5	202	118	22,5	226,8	43	116	4,5	46,9	159	119	18,0	179,9	2,1	0,7	1,1	8,2	9,7	444,4	59	21
52	23,6	159	132	22,0	229,0	32	125	4,0	42,7	127	133	18,0	186,2	2,1	0,6	1,0	7,4	9,5	493,5	56	20
58	24,7	127	146	21,5	230,8	24	137	3,5	40,0	104	148	18,0	190,8	2,1	0,5	1,0	6,8	9,3	538,1	52	19
64	25,5	104	160	21,2	231,6	18	149	3,2	34,7	85	163	18,0	196,9	2,1	0,5	0,9	6,4	9,0	578,9	49	18
70	26,6	85	176	20,9	235,1	15	158	2,9	31,6	71	179	18,0	203,6	2,1	0,4	0,9	5,9	8,8	617,1	47	17
73	27,3	71	185	19,3	221,3	71	185	19,3	221,3	-	-	-	-	2,2	0,4	0,9	11,5	8,7	634,8	46	100





VARIANTE A : CAS D'UNE DENSITÉ DE PLANTATION PLUS ÉLEVÉE

Selon les préparations à la plantation envisagées, le contexte local (forte végétation concurrente herbacée, pression de gibier élevée, etc.) ou même simplement selon les volontés sylvicoles, certains gestionnaires choisiront des distances de plantation inférieures à 3 x 3 m. Dans ce cas de figure, les premières interventions devront alors démarrer plus tôt, afin de limiter les effets plus précoces de la concurrence sur la croissance des mélèzes. Il sera ensuite nécessaire de planifier des interventions régulières, rapprochées et fortes afin de réduire au maximum la compétition entre les houppiers durant les 30 premières années du peuplement. Intervenir trop tard engendrera un ralentissement irréversible de croissance en grosseur et augmentera les risques de déstabilisation des peuplements.

A titre d'exemple, cette variante propose un itinéraire permettant de ramener le peuplement dans des conditions de croissance similaires à celles du scénario de référence, en partant d'une densité de plantation plus élevée de 2.000 plants par hectare (soit une distance à la plantation de 2 x 2,5 m). A partir de cette situation de départ, il est recommandé de **démarrer la première éclaircie lors que la hauteur dominante du peuplement a atteint 11 m** et de suivre ensuite l'itinéraire de référence.

La table de production associée à cette variante est présentée ci-dessous à titre indicatif pour la classe de productivité 2 (27 m à 50 ans). La table est présentée avec un taux de reprise de 80 %.

Tableau 30. Itinéraire sylvicole de la variante A.

	Variante A : Densité initiale plus élevée
<i>Plantation</i>	2 x 2,5 m (2.000 tiges/ha) (+ protection contre le gibier)
<i>Dégagement</i>	1 ^{ère} année
<i>Dégagement</i>	2 ^e année
<i>(Dégagement)</i>	(3 ^e année)
<i>(Dégagement)</i>	(4 ^e année)
<i>Ouverture d'un cloisonnement d'exploitation</i>	Hdom = 11 m Coupe systématique d'1 ligne sur 9
<i>Elagage de pénétration à 2 m</i>	Hdom = 11 m
<i>1^{ère} éclaircie</i>	Hdom = 11 m Gha objectif de 15 m²/ha
<i>2^e, 3^e et 4^e éclaircies</i>	Eclaircie tous les 3 ans avec Gha objectif de 15 m²/ha
<i>A partir de la 4^e éclaircie</i>	Eclaircie tous les 6 ans avec Gha objectif de 18 m²/ha Conserver minimum 80 arbres/ha
<i>Exploitation finale</i>	Mise à blanc lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1,30 m atteint 180 cm



Variante A : Densité de plantation plus élevée

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 2x2,5m (80% de reprise)

Récolte : Mise à blanc

Classe 2 (27 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 9

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
13	11,3	1599	42	22,5	131,5	514	43	7,5	44,2	1085	42	15,0	87,3	3,2	2,1	1,7	18,2	10,1	131,5	85	32
16	13,3	1085	50	21,3	141,9	317	50	6,3	42,5	769	50	15,0	99,4	2,7	1,8	1,8	16,7	11,6	186,1	85	29
19	15,2	769	58	20,3	149,5	199	58	5,3	39,3	569	58	15,0	110,3	2,7	1,5	1,8	15,2	12,4	236,2	83	26
22	16,8	569	66	19,5	156,0	131	65	4,5	36,2	439	66	15,0	119,8	2,7	1,3	1,7	14,2	12,8	281,9	80	23
28	19,6	439	80	22,5	204,8	90	79	4,5	41,8	348	81	18,0	163,0	2,5	1,1	1,6	13,1	13,1	366,9	76	21
34	21,8	348	94	24,4	241,9	95	92	6,4	64,6	253	95	18,0	177,3	2,2	0,9	1,5	11,2	13,1	445,8	73	27
40	23,6	253	107	23,2	244,7	63	102	5,2	56,5	190	109	18,0	188,2	2,1	0,7	1,4	9,8	12,8	513,2	68	25
46	25,0	190	122	22,4	246,7	42	114	4,4	50,3	148	124	18,0	196,4	2,1	0,6	1,3	8,6	12,4	571,7	63	22
52	26,2	148	136	21,8	248,1	31	126	3,8	46,0	117	139	18,0	202,1	2,1	0,6	1,3	7,7	12,0	623,4	59	21
58	27,1	117	151	21,4	248,5	23	137	3,4	41,7	94	155	18,0	206,8	2,1	0,5	1,2	7,0	11,5	669,8	55	20
64	28,0	94	168	21,0	249,0	18	148	3,1	34,3	77	172	18,0	214,7	2,1	0,5	1,1	6,6	11,1	712,0	51	19
70	29,3	77	185	20,8	254,2	77	185	20,8	254,2	-	-	-	-	2,1	0,4	1,1	14,9	10,7	751,4	50	100





VARIANTE B : CAS D'UNE DENSITÉ DE PLANTATION PLUS FAIBLE

Afin de satisfaire au mieux le besoin d'espace des mélèzes dans leur jeune âge sans être trop interventionniste, certains gestionnaires envisageront une distance de plantation supérieure à 3 x 3 m.

Dans ce cas de figure, les premières interventions pourront en effet démarrer plus tardivement. Il faudra toutefois rester attentif au développement de la végétation concurrente. Les éclaircies devront également être fortes et régulières durant les 30 premières années du peuplement.

Cette variante propose, à titre d'exemple, une adaptation de l'itinéraire de référence pour une densité de plantation plus faible de 816 plants par hectare (soit une distance à la plantation de 3,5 x 3,5 m). A partir de cette situation de départ, il est recommandé de **démarrer la première éclaircie lorsque la hauteur dominante du peuplement a atteint 16 m** et de suivre ensuite l'itinéraire de référence. Un dégagement supplémentaire sera très probablement à prévoir. L'une des 3 éclaircies à surface terrière objectif de 15 m²/ha qui suivent la première coupe selon des passages à mi-rotation pourra être supprimée.

La table de production associée à cette variante est présentée ci-dessous à titre indicatif pour la classe de productivité 2 (27 m à 50 ans). Elle fait référence à un taux de reprise de 80 %.

Tableau 31. Itinéraire sylvicole de la variante B.

	Variante B : Densité initiale plus faible
<i>Plantation</i>	3,5 x 3,5 m (816 tiges/ha) + protection contre le gibier
<i>Dégagement</i>	1 ^{ère} année
<i>Dégagement</i>	2 ^e année
<i>Dégagement</i>	3 ^e année
<i>(Dégagement)</i>	(4 ^e année)
<i>Ouverture d'un cloisonnement d'exploitation</i>	Hdom = 16 m Coupe systématique d'1 ligne sur 6
<i>(Elagage de pénétration à 2 m)</i>	(Hdom = 16 m)
<i>1^{ère} éclaircie</i>	Hdom = 16 m Gha objectif de 15 m²/ha
<i>2^e et 3^e éclaircies</i>	Eclaircie tous les 3 ans avec Gha objectif de 15 m²/ha
<i>A partir de la 3^e éclaircie</i>	Eclaircie tous les 6 ans avec Gha objectif de 18 m²/ha Conserver minimum 80 arbres/ha
<i>Exploitation finale</i>	Mise à blanc lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1,30 m atteint 180 cm



Variante B : Densité de plantation plus faible

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3,5x3,5m (80% de reprise)

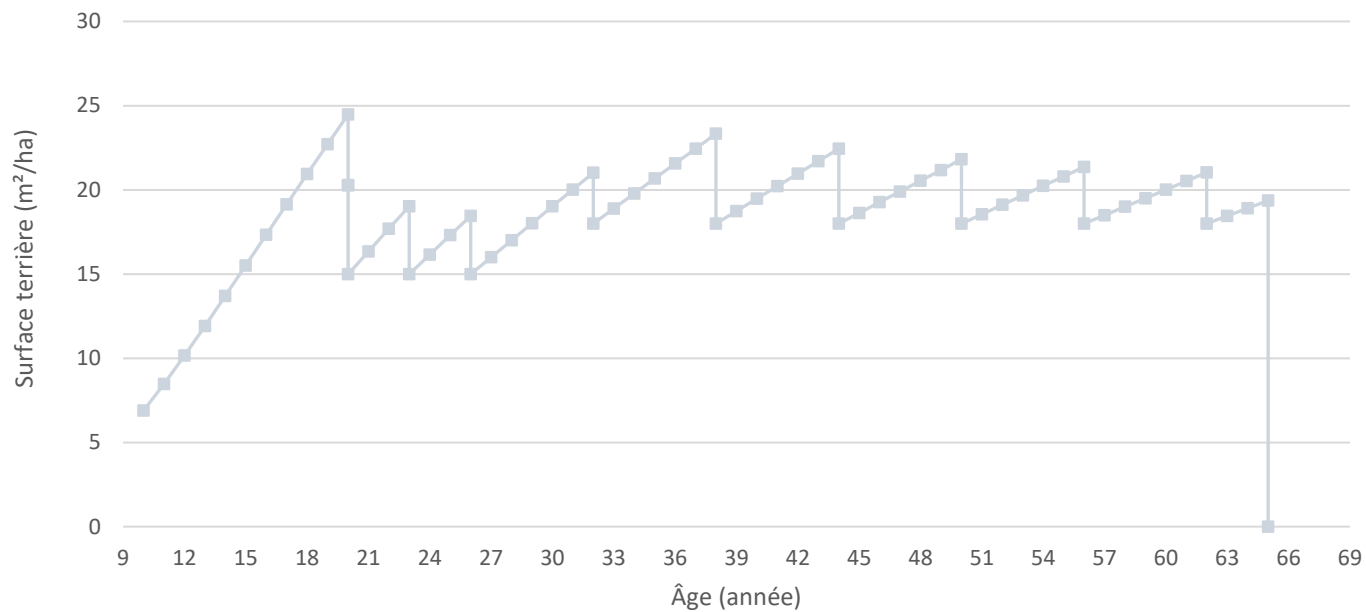
Récolte : Mise à blanc

Classe 2 (27 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 6

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
20	15,9	653	69	24,5	190,5	252	69	9,5	74,5	401	69	15,0	116,0	3,4	1,3	1,2	14,3	9,5	190,5	73	39
23	17,5	401	77	19,0	158,8	85	77	4,0	34,1	316	77	15,0	124,7	2,9	1,2	1,2	12,9	10,1	233,3	71	21
26	18,9	316	86	18,5	163,5	60	85	3,5	31,1	256	86	15,0	132,5	2,8	1,0	1,2	12,0	10,5	272,2	69	19
32	21,4	256	102	21,0	204,5	38	100	3,0	29,8	218	102	18,0	174,7	2,6	0,9	1,2	11,4	10,8	344,2	66	15
38	23,4	218	116	23,3	243,3	53	113	5,3	56,7	166	117	18,0	186,6	2,4	0,7	1,1	9,8	10,9	412,8	63	24
44	24,9	166	130	22,4	245,7	35	126	4,5	50,0	131	132	18,0	195,8	2,3	0,6	1,1	8,7	10,7	471,9	60	21
50	26,2	131	145	21,8	247,7	25	138	3,8	45,2	106	146	18,0	202,5	2,2	0,6	1,0	7,8	10,5	523,8	56	19
56	27,3	106	159	21,4	249,0	19	151	3,4	39,4	87	161	18,0	209,6	2,2	0,5	1,0	7,1	10,2	570,4	53	18
62	28,4	87	174	21,0	252,2	14	163	3,0	35,5	73	176	18,0	216,7	2,2	0,5	0,9	6,5	9,9	613,0	51	17
65	29,2	73	183	19,4	236,3	73	183	19,4	236,3	0	NaN	0,0	0,0	2,2	0,4	0,9	12,9	9,7	632,6	50	100





VARIANTE C : CAS D'UNE DÉSIGNATION D'ARBRES-OBJECTIFS

Cette variante intègre la désignation d'arbres-objectifs au sein du scénario de référence pour les forestiers désireux de rencontrer un objectif de production de gros bois de qualité.

Il est dès lors recommandé de **désigner un maximum de 80 arbres-objectifs à l'hectare parmi les plus beaux bois dominants du peuplement** lors la première éclaircie et de suivre ensuite l'itinéraire de référence. Un élagage à grande hauteur de ces arbres sera réalisé. Lors des éclaircies, l'abaissement de la surface terrière se concentrera en priorité autour des arbres désignés.

A titre indicatif, la table de production associée à cette variante est présentée ci-dessous pour la classe de productivité 2 (27 m à 50 ans). La table fait référence à une densité de plantation de 1.111 plants par hectare, correspondant à des écartements à la plantation de 3 x 3 m, avec un taux de reprise de 80 %.

Tableau 32. Itinéraire sylvicole de la variante C.

Variante C : Désignation d'arbres-objectifs	
<i>Plantation</i>	3 x 3 m (1.111 tiges/ha) (+ protection contre le gibier)
<i>Dégagement</i>	1 ^{ère} année
<i>Dégagement</i>	2 ^e année
<i>(Dégagement)</i>	(3 ^e année)
<i>(Dégagement)</i>	(4 ^e année)
<i>Ouverture d'un cloisonnement d'exploitation</i>	Hdom = 13,5 m Coupe systématique d'1 ligne sur 7
<i>(Elagage de pénétration à 2 m)</i>	(Hdom = 13,5 m)
<i>Désignation d'AO</i>	Hdom = 13,5 m Désignation de 80 arbres-objectifs
<i>1^{ère} éclaircie</i>	Hdom = 13,5 m Gha objectif de 15 m²/ha
<i>Elagage à grande hauteur (6 à 8 m)</i>	Hdom = 13,5 m Elagage des AO sur 6 à 8 m
<i>2^e, 3^e et 4^e éclaircies</i>	Eclaircie tous les 3 ans avec Gha objectif de 15 m²/ha centralisé autour des AO
<i>A partir de la 4^e éclaircie</i>	Eclaircie tous les 6 ans avec Gha objectif de 18 m²/ha centralisé autour des AO
<i>Exploitation finale</i>	Mise à blanc lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1,30 m atteint 180 cm



Variante C : Désignation d'arbres-objectifs

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3x3m (80% de reprise)

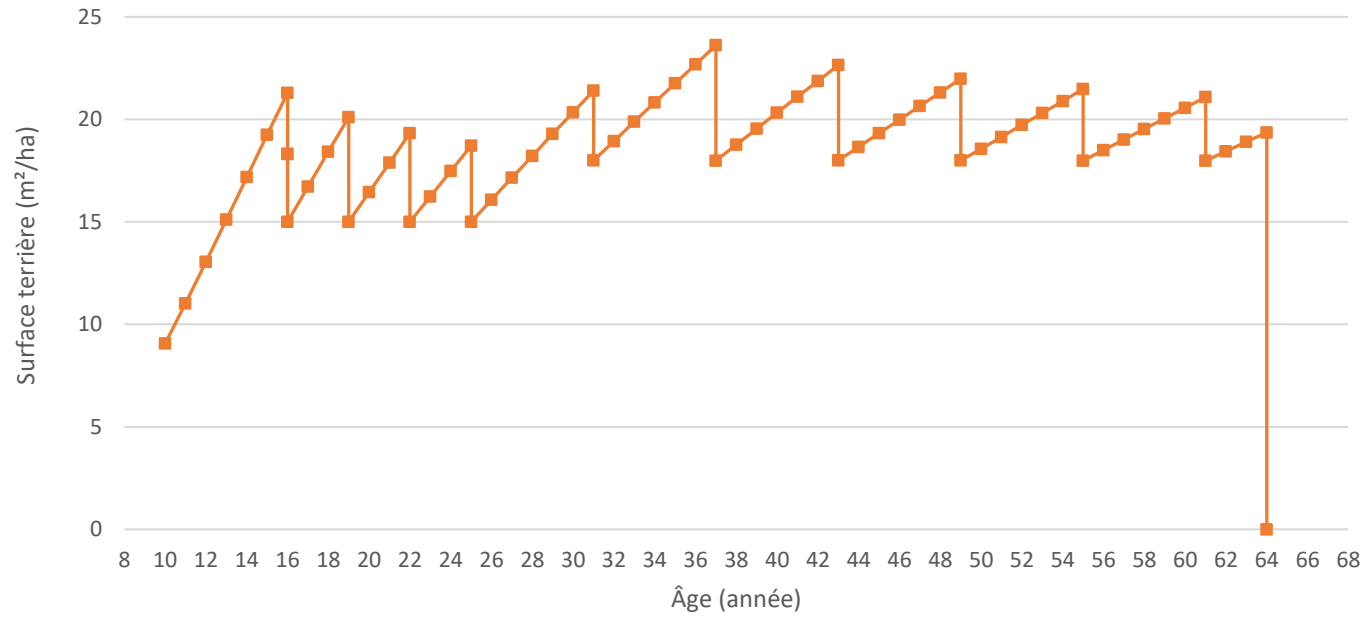
Récolte : Mise à blanc

Classe 2 (27 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 7

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
16	13,4	889	55	21,3	145,0	249	58	6,3	43,5	640	54	15,0	101,5	3,4	1,7	1,3	16,4	9,1	145,0	78	28
19	15,2	640	63	20,1	150,8	155	64	5,1	39,0	485	62	15,0	111,8	2,9	1,4	1,4	14,9	10,2	194,3	77	24
22	16,9	485	71	19,3	156,6	105	72	4,3	35,7	380	70	15,0	120,8	2,8	1,2	1,4	13,5	10,9	239,0	75	22
25	18,3	380	79	18,7	161,5	75	79	3,7	32,7	305	79	15,0	128,8	2,7	1,1	1,4	12,5	11,2	279,6	73	20
31	20,8	305	94	21,4	204,1	49	94	3,4	33,3	256	94	18,0	170,8	2,6	0,9	1,3	11,8	11,4	354,9	69	16
37	22,8	256	108	23,6	241,8	65	104	5,6	58,9	191	109	18,0	182,9	2,3	0,8	1,3	10,2	11,5	426,0	66	25
43	24,4	191	122	22,7	243,8	44	116	4,7	51,5	148	124	18,0	192,3	2,2	0,7	1,2	8,9	11,3	487,0	62	23
49	25,7	148	137	22,0	245,6	31	127	4,0	46,3	116	139	18,0	199,3	2,2	0,6	1,1	7,9	11,0	540,3	58	21
55	26,8	116	152	21,5	246,7	23	137	3,5	41,3	93	156	18,0	205,4	2,2	0,5	1,1	7,2	10,7	587,7	54	20
61	27,8	93	169	21,1	248,4	18	147	3,1	34,8	75	174	18,0	213,6	2,2	0,5	1,0	6,5	10,3	630,7	50	19
64	28,7	75	180	19,4	233,2	75	180	19,4	233,2	0	NaN	0,0	0,0	2,2	0,4	1,0	13,8	10,2	650,3	50	100





VARIANTE D : CAS D'UNE RÉGÉNÉRATION NATURELLE DU PEUPEMENT

Cette variante propose une alternative à la finalité par mise à blanc du scénario de référence, pour les forestiers désireux de régénérer leur peuplement par voie naturelle.

Ainsi, il est recommandé de **réaliser des coupes par dimension-cible** en vue de décapitaliser progressivement le peuplement et favoriser le recrus naturel présent sous les mélèzes. Ces coupes débuteront **lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1m30 atteint 150 cm** et viseront à **prélever 5 m²/ha de surface terrière tous les 6 ans, par récolte des bois ayant atteint leur dimension d'exploitabilité** (180 cm à 1m30).

Ces recommandations peuvent également être mises en pratique à partir de n'importe quelles variantes proposées ci-avant.

A titre indicatif, la table de production associée à cette variante est présentée ci-dessous pour la classe de productivité 2 (27 m à 50 ans). Elle fait référence à une densité de plantation de 1.111 plants par hectare, correspondant à des écartements à la plantation de 3 x 3 m, avec un taux de reprise de 80 %.

Tableau 33. Itinéraire sylvicole de la variante D.

Variante D : Régénération naturelle	
<i>Plantation</i>	3 x 3 m (1.111 tiges/ha) (+ protection contre le gibier)
<i>Dégagement</i>	1 ^{ère} année
<i>Dégagement</i>	2 ^e année
<i>(Dégagement)</i>	(3 ^e année)
<i>(Dégagement)</i>	(4 ^e année)
<i>Ouverture d'un cloisonnement d'exploitation</i>	Hdom = 13,5 m Coupe systématique d'1 ligne sur 7
<i>(Elagage de pénétration à 2 m)</i>	(Hdom = 13,5 m)
<i>1^{ère} éclaircie</i>	Hdom = 13,5 m Gha objectif de 15 m²/ha
<i>2^e, 3^e et 4^e éclaircies</i>	Eclaircie tous les 3 ans avec Gha objectif de 15 m²/ha
<i>A partir de la 4^e éclaircie</i>	Eclaircie tous les 6 ans avec Gha objectif de 18 m²/ha
<i>1^{ère} coupe par dimension-cible</i>	Lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1,30 m atteint 150 cm Prélèvement de 5 m²/ha en Gha par récolte des arbres ayant atteint 180 cm de circonférence à 1,30 m
<i>Coupes par dimension-cible suivantes</i>	Prélèvement de 5 m²/ha en Gha par récolte des arbres ayant atteint 180 cm de circonférence à 1,30 m tous les 6 ans
<i>Récolte finale</i>	Lorsque la circonférence moyenne du peuplement à 1m30 atteint 200 cm



Variante D : Régénération naturelle du peuplement

Caractéristiques :

Essence : Mélèze

Plantation : 3x3m (80% de reprise)

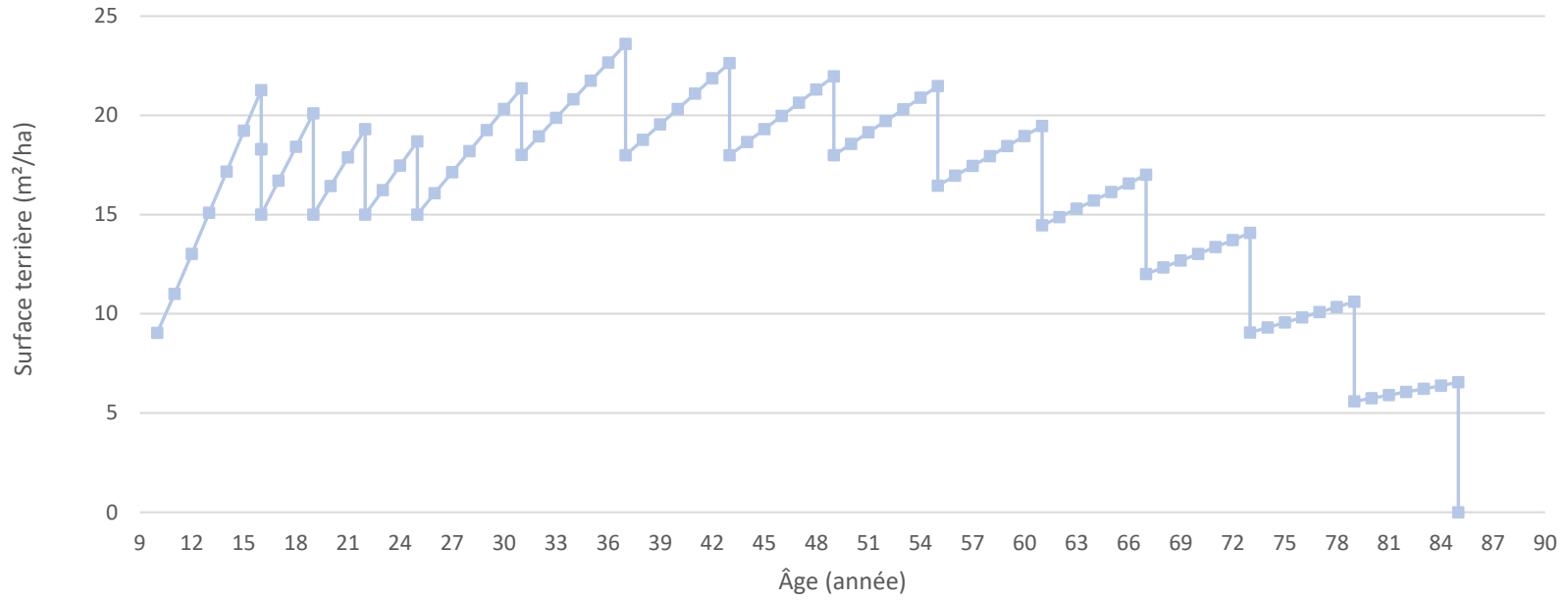
Récolte : Coupes par dimension-cible

Classe 2 (27 m à 50 ans)

Cloisonnement : 1 ligne sur 7

Table de production

Age année	Hdom m	Avant prélèvement				Prélèvement				Après prélèvement				Accroissements						h/d	Ecl %
		Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	Nha N/ha	Cg cm	Gha m ² /ha	Vha m ³ /ha	ACC cm/ha/an	ACG m ² /ha/an	AMG m ² /ha/an	ACV m ³ /ha/an	AMV m ³ /ha/an	PTV m ³ /ha		
16	13,4	889	55	21,3	144,8	258	56	6,3	43,2	631	55	15,0	101,6	3,4	1,7	1,3	16,4	9,1	144,8	77	29
19	15,3	631	63	20,1	150,8	160	63	5,1	38,7	471	63	15,0	112,1	2,9	1,4	1,4	14,9	10,2	194,0	76	25
22	16,9	471	72	19,3	156,7	104	72	4,3	35,4	368	72	15,0	121,3	2,8	1,2	1,4	13,5	10,8	238,6	74	22
25	18,4	368	80	18,7	161,8	74	79	3,7	32,4	294	80	15,0	129,4	2,8	1,1	1,4	12,5	11,2	279,1	72	20
31	20,9	294	96	21,4	204,5	48	94	3,4	32,7	246	96	18,0	171,8	2,6	0,9	1,3	11,8	11,4	354,2	68	16
37	22,9	246	110	23,6	242,8	61	108	5,6	58,7	185	110	18,0	184,1	2,3	0,8	1,3	10,2	11,5	425,3	65	25
43	24,5	185	124	22,6	245,2	41	119	4,6	51,6	144	125	18,0	193,6	2,2	0,7	1,2	8,9	11,3	486,3	62	22
49	25,9	144	138	22,0	247,1	29	131	4,0	46,4	115	140	18,0	200,6	2,2	0,6	1,1	8,0	11,0	539,8	58	20
55	27,0	115	153	21,5	248,3	22	170	5,0	61,4	93	149	16,5	186,9	2,2	0,5	1,1	6,8	10,7	587,5	57	19
61	27,5	93	162	19,5	228,0	20	177	5,0	59,9	73	158	14,5	168,1	2,2	0,4	1,0	5,8	10,3	628,6	55	22
67	28,2	73	171	17,0	203,0	18	185	5,0	61,0	55	166	12,0	142,0	2,2	0,3	1,0	4,8	9,9	663,5	53	25
73	28,9	55	180	14,1	170,5	17	191	5,0	61,9	37	175	9,1	108,6	2,3	0,3	0,9	3,6	9,5	692,0	52	32
79	29,4	37	189	10,6	130,0	17	195	5,0	62,3	21	184	5,6	67,7	2,4	0,2	0,9	2,2	9,0	713,4	50	45
85	29,9	21	199	6,5	80,9	21	199	6,5	80,9	0	NaN	0,0	0,0	2,5	0,1	0,8	14,9	8,5	726,6	47	100





CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce travail de recherche vise à identifier de nouvelles normes sylvicoles pour le Mélèze (itinéraires sylvicoles et tables de production associées) à partir des enseignements retirés des dispositifs expérimentaux de sylvicultures dynamiques (Longrée 2024). Ces normes cherchent à maximiser la production en volume sur des révolutions plus courtes et à produire un bois de qualité apte à des usages multiples, tout en assurant la stabilité des peuplements face aux tempêtes.

La première partie de ce travail de modélisation compare deux itinéraires dynamiques et un scénario « classique », témoin de la sylviculture conventionnelle des Mélèzes en Wallonie.

Il ressort que le scénario témoin conduit à un allongement de la révolution d'une quinzaine d'années et à des accroissements courants en circonférence plus faibles (22 % en moyenne), par rapport aux scénarios dynamiques.

Les résultats de l'analyse comparative des scénarios dynamiques ne permettent pas de mettre en évidence l'effet d'une sylviculture d'arbres-objectifs sur les peuplements finaux. Ils tendent toutefois à valider le fait que les grands principes sylvicoles relatifs à l'intensité et la fréquence des éclaircies, qui constituent la trame des scénarios dynamiques proposés, permettent de rencontrer les objectifs attendus. La densité de plantation semble peu importer tant que les premières interventions dynamiques sont initiées à temps.

Cette analyse alimente également les réflexions, sylvicoles et économiques, autour des paramètres techniques utilisés dans les itinéraires dynamiques testés (densité de plantation, dimension d'exploitabilité, nombre d'arbre/ha à conserver/désigner dans le peuplement final), permettant d'affiner certains choix liés à la simulation et d'élaborer quatre scénarios dynamiques plausibles.

La seconde partie de ce travail de modélisation analyse la rentabilité économique de ces quatre itinéraires sylvicoles dynamiques, en finalité de mise à blanc.

Les simulations économiques permettent d'améliorer les recommandations concernant les dimensions d'exploitabilité et d'identifier les cas de figure où la mise en œuvre d'une telle sylviculture de production s'avère rentable. Il ressort qu'il est possible d'accorder une certaine souplesse dans le choix de la dimension d'exploitabilité : les dimensions qui permettent de maximiser les niveaux de rentabilité vont de 160 cm à 220 cm, quel que soit le niveau d'investissements financiers. Cette observation offre au gestionnaire forestier une certaine marge de manœuvre dans ses objectifs de production mais également dans le choix du moment de récolte, avec ainsi la possibilité de s'adapter au contexte socio-économique du moment.

Il apparaît également que les itinéraires sylvicoles dynamiques de production proposés ne sont rentables et n'offrent des retours sur investissements intéressants que lorsqu'ils sont mis en œuvre au sein de parcelles productives (Site index 0, 1 et 2). Dès que des investissements financiers élevés doivent être engagés (travail du sol, protection contre le gibier, dégagements nombreux), les scénarios impliquant une plantation à plus larges écartements (3 x 3 m minimum) seraient à privilégier. Ces observations prévalent quel que soit le nombre d'arbres/ha minimum constitutifs du peuplement final (50 ou 80 arbres/ha) et la rentabilité d'un même scénario n'est pas significativement impactée par ce choix.

Ces simulations économiques ne permettent pas non plus de mettre en évidence d'effets de l'intégration d'une désignation d'arbres-objectifs sur la croissance des arbres dominants. En revanche,



elles permettent d'estimer qu'il ne faudrait augmenter le prix de vente final des arbres-objectifs que de 4 € à 10 € par m³ en moyenne pour compenser l'investissement supplémentaire que représente l'élagage à grande hauteur. Etant donné la plus-value que cette opération peut apporter en termes de qualité du bois (et donc de valorisation), son intégration dans les itinéraires dynamiques mérite d'être prise en considération.

Même si le scénario témoin semble mieux convenir par rapport aux scénarios dynamiques d'un point de vue purement économique, notamment pour les site index moyen (Si2) à faible (Si3), il faut considérer ces observations en y intégrant les facteurs non pris en compte lors des simulations (qualité du bois, stabilité des peuplements, dimensions individuelles, durée de la révolution). L'ensemble de ces aspects doivent être intégrés à la réflexion du sylviculteur.

La dernière partie de ce travail de modélisation permet d'élaborer de nouvelles normes sylvicoles (itinéraires sylvicoles et tables de production associées) pour optimiser la conduite des peuplements purs et équiennes de mélèze.

La norme recommandée s'appuie sur une distance de plantation de 3x3 m (soit une densité de 1.111 plants/ha), jugée garante du besoin d'espace de l'essence dans son jeune âge et donc de sa croissance juvénile soutenue. Cette densité initiale apportera, en outre, plus de souplesse en cas d'interventions retardées et permettra d'éviter une première éclaircie à bois perdus. La production de bois juvénile et la présence d'aubier dans les grumes de mélèze nous poussent à viser la production de bois de 180 cm de (circonférence à 1m30) minimum. Une récolte finale par mise à blanc est considérée afin de rester dans un scénario de futaie équiennne tel qu'il est le plus souvent mis en œuvre.

A partir de ce scénario de base, des variantes sont également proposées, abordant les cas de densités de plantation plus élevées (Variante A) ou plus faibles (Variante B), d'une désignation d'arbres-objectifs (Variante C) et d'une régénération naturelle des peuplements (Variante D).

Ce travail de recherches pose les bases pour la construction d'un guide sylvicole actualisé qui intégrerait les nouvelles normes identifiées. Ces normes pourraient présenter des tables de production à durée de révolution plus longue afin de permettre aux gestionnaires désireux de s'inspirer des itinéraires proposés, de pouvoir rester flexibles dans le choix de la dimension d'exploitabilité.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baar, François. 2010. « Le martelage en futaie irrégulière, feuillue ou résineuse ». SPW, DGARNE.
- Charron, Stéphane, Benoit Jourez, Michèle Marchal, et Jacques Hébert. 2003. « Étude comparative des caractéristiques physiques et mécaniques du bois des mélèzes d'Europe (*Larix decidua* Mill.), du Japon (*Larix kaempferi* (Lambert) Carr.) et de leur hybride (*Larix x eurolepis* Henry) ». *BASE*, janvier 1. <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?frbrVersion=2&id=14436&lang=nl>.
- Gosselin, Marion, Sandrine Costa, Yoan Paillet, et H. Chevalier. 2011. « Actualisation en forêt : pour quelles raisons et à quel taux ? » *Revue forestière française* 63 (4): 445-55. <https://doi.org/10.4267/2042/45828>.
- Ligot, Gauthier. 2025. *Fondements d'économie des ressources forestières*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/326916>.
- Longrée, Charlotte. 2024. *Suivis de dispositifs expérimentaux de mélèzes - Retour d'analyses*. Scientifique. Université de Liège.
- Longrée, Charlotte, Hugues Claessens, Dominique Pauwels, et Gauthier Ligot. 2025. « Bilan d'une expérience sylvicole de 25 ans : des perspectives pour accompagner le déploiement des mélèzes en forêt wallonne ». *Forêt.Nature*, n° 173 (février). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/328239>.
- Perin J, Hebert J, Brostaux Y et al (2013) Modelling the top-height growth and site index of Norway spruce in Southern Belgium. *For Ecol Manage* 298:62-70. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.009>
- Perin, Jérôme, Olivier De Thier, Hugues Claessens, Philippe Lejeune, et Jacques Hebert. 2014. « Nouvelles courbes de productivité harmonisées pour le douglas, l'épicéa et les mélèzes en wallonie ». *Forêt Wallonne* 129 (mars/avril). <https://orbi.uliege.be/handle/2268/169148>.
- Perin, Jérôme, Jacques Hebert, Philippe Lejeune, et Hugues Claessens. 2016. *Nouvelles normes sylvicoles pour les peuplements purs équiennes d'épicéa et de douglas*. juin 9. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/198122>.
- Perin J, Claessens H, Lejeune P et al (2017) Distance-independent tree basal area growth models for Norway spruce, Douglas-fir and Japanese larch in Southern Belgium. *Eur J For Res* 136(2):193-204. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1019-y>
- Rondeux, Jacques, et D. Pauwels. 2001. « Les mélèzes ». *Fiche technique*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/83795>.
- Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2025. Prix d'orientation des principaux travaux sylvicoles – Mercuriale 2023-2024. Jambes, Belgique.
- Wilhelm, Georg Josef, et Helmut Rieger. 2017. *Stratégie QD: Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels*. CNPF-IDF.
- Wilhelm M.E. (2016) *Document de formation*, ONF



ANNEXES

ANNEXE 1 : SPÉCIFICITÉS TECHNIQUES ET HYPOTHÈSES POSÉES POUR LA MODALISATION DES ITINÉRAIRES SYLVICOLES DYNAMIQUES.

Tableau 34. Hypothèses de simulations posées pour chaque scénario sylvicole testés lors des modélisations économiques.

	HYPOTHÈSES POSÉES				
	SCÉNARIO DYNAMIQUE STANDARD	SCÉNARIO DYNAMIQUE À DENSITÉ INITIALE ÉLEVÉE	SCÉNARIO DYNAMIQUE À DENSITÉ INITIALE FAIBLE	SCÉNARIO DYNAMIQUE AVEC DÉSIGNATION D'AO	SCÉNARIO TÉMOIN DE LA SYLVICULTURE CONVENTIONNELLE
Application d'un taux de survie à l'initialisation (10 ans)	Taux de survie de 80%				
Ouverture de cloisonnements d'exploitation systématiques (1 ligne tous les 20 m)	Prélèvement d'1 ligne sur 7	Prélèvement d'1 ligne sur 9	Prélèvement d'1 ligne sur 6	Prélèvement d'1 ligne sur 7	Prélèvement d'1 ligne sur 9
Déclanchement de l'ouverture des cloisonnements et de la première éclaircie	Hdom = 13,5 m	Hdom = 11,0 m	Hdom = 16 m	Hdom = 13,5 m	Age = 18 ans
Désignation d'arbres-objectifs lors de la première éclaircie	Désignation de 80 AO pour la simulation afin que le simulateur applique le type d'éclaircies souhaité. Sélection moins par le haut et plus aléatoire que pour le scénario AO.			Désignation de 80 AO. Sélection des arbres clairement par le haut parmi les arbres dominants du peuplement.	Non
Rotations	6 ans				
Type d'éclaircies	Eclaircies réalisées par le haut, mais de manière moins prononcée que pour le scénario AO			Eclaircies réalisées par le haut	Eclaircies réalisées par le bas
Nombre d'éclaircie ramenant le Gha à 15 m²/ha en	4	4	3	4	/



passage à mi-rotation					
Nombre d'éclaircie ramenant le Gha à 18 m²/ha en passage à rotation	Réalisation d'éclaircies jusqu'à atteindre le Cg de finalité et tant que la condition de réalisation des éclaircies est rencontrée				/
Condition de réalisation des éclaircies	Les éclaircies ne sont réalisées que si elles prélèvent au minimum 10% du Gha				/
Finalité	Mise à blanc Récolte finale lorsque Cg objectif est atteint en fin de rotation ou à mi-rotation.				

Tableau 35. Facteurs appliqués lors des simulations pour chaque scénario sylvicole testés lors des modélisations économiques.

	SCÉNARIOS DYNAMIQUES STANDARD, À DENSITÉ DE PLANTATION ÉLEVÉE ET À DENSITÉ DE PLANTATION FAIBLE		SCÉNARIO DYNAMIQUE AVEC DÉSIGNATION D'ARBRES-OBJECTIFS		SCÉNARIO TÉMOIN DE LA SYLVICULTURE CONVENTIONNELLE	
	Facteur TYP	Facteur aléatoire	Facteur TYP	Facteur aléatoire	Facteur TYP	Facteur aléatoire
Désignation AO	0,80	0,50	0,95	0,30	/	/
Ouverture des cloisonnements	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00
1^{ere} éclaircie	0,60	0,60	0,80	0,60	0,20	0,80
Autres éclaircies	0,60	0,60	0,80	0,60	0,20	0,40



ANNEXE 2 : VALEURS MOYENNES DU VAN ∞ RELATIVES À L'ANALYSE DE SENSIBILITÉ SUR LA DIMENSION D'EXPLOITABILITÉ POUR LES SCÉNARIOS DYNAMIQUES AVEC UN TAUX D'ACTUALISATION DE 3 %.

Les tableaux ci-dessous présentent les valeurs moyennes de VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour chaque scénario dynamique, en fonction de l'indice de productivité (Site index) et du niveau d'investissement envisagé. Les valeurs maximales des situations où une rentabilité satisfaisante est rencontrée (> 5.000 €/ha) sont reprises en gras. Les situations non rentables (valeurs négatives) apparaissent en rouge. La gamme de dimensions-cibles qui génèrent un même niveau de rentabilité, c'est-à-dire des valeurs de VAN ∞ avec moins de 5 % de différences de la valeur la plus élevée, transparaît en jaune.

Tableau 36. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique standard, en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissement envisagé, pour un taux d'actualisation de 3%.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-Stand	faibles	4	-648	-368	-278	-275	-332	-462	-517	-707
Dynamique-Stand	faibles	3	884	1540	1546	1515	1327	1193	973	720
Dynamique-Stand	faibles	2	3060	3579	3594	3428	3294	2877	2523	2298
Dynamique-Stand	faibles	1	5645	6104	6003	5823	5182	4896	4287	4150
Dynamique-Stand	faibles	0	7959	8819	8970	8715	7850	7429	6580	5869
Dynamique-Stand	élevés	4	-4446	-4028	-3815	-3641	-3647	-3716	-3729	-3870
Dynamique-Stand	élevés	3	-3274	-2224	-2074	-1993	-2045	-2123	-2282	-2509
Dynamique-Stand	élevés	2	-1219	-493	-74	-87	-213	-454	-767	-897
Dynamique-Stand	élevés	1	1264	1972	2116	2024	1678	1472	958	499
Dynamique-Stand	élevés	0	3040	4314	4787	4751	4199	3844	3244	2553

Tableau 37. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique à densité de plantation élevée en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissements envisagé, pour un taux d'actualisation de 3%.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-Dense	faibles	4	-3221	-2857	-2591	-2635	-2603	-2681	-2707	-2843
Dynamique-Dense	faibles	3	-1348	-1021	-933	-891	-1015	-1178	-1256	-1397
Dynamique-Dense	faibles	2	366	931	996	1032	845	555	383	92
Dynamique-Dense	faibles	1	3094	3382	3340	3236	3050	2538	2020	1877
Dynamique-Dense	faibles	0	5430	6159	6074	5920	5208	4851	4136	3443
Dynamique-Dense	élevés	4	-7270	-6795	-6480	-6214	-6178	-6188	-6219	-6269
Dynamique-Dense	élevés	3	-5531	-4997	-4768	-4685	-4648	-4705	-4805	-4804
Dynamique-Dense	élevés	2	-4069	-3339	-3030	-2854	-2854	-2993	-3155	-3377
Dynamique-Dense	élevés	1	-1526	-937	-729	-757	-832	-1078	-1479	-1649
Dynamique-Dense	élevés	0	459	1502	1733	1699	1331	1085	487	-35



Tableau 38. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique à densité de plantation faible en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissements envisagé, pour un taux d'actualisation de 3%.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-Large	faibles	4	-1509	-1170	-890	-864	-948	-1039	-1176	-1324
Dynamique-Large	faibles	3	156	589	812	731	589	460	212	62
Dynamique-Large	faibles	2	2317	2777	2867	2832	2531	2175	1979	1635
Dynamique-Large	faibles	1	3963	5194	5181	4973	4391	4125	3544	3019
Dynamique-Large	faibles	0	6789	7879	7979	7782	7046	6616	5765	5086
Dynamique-Large	élevés	4	-5064	-4613	-4098	-4043	-4024	-4042	-4136	-4215
Dynamique-Large	élevés	3	-3576	-2996	-2522	-2467	-2546	-2602	-2772	-2903
Dynamique-Large	élevés	2	-1629	-878	-611	-545	-691	-931	-1071	-1370
Dynamique-Large	élevés	1	-461	1440	1573	1515	1162	951	494	-17
Dynamique-Large	élevés	0	2263	3684	4175	4129	3648	3284	2638	2011

Tableau 39. Valeurs moyennes du VAN ∞ en fonction de la dimension cible pour le scénario dynamique avec désignation d'arbres-objectifs en fonction du Site index (si) et du niveau d'investissements envisagé, pour un taux d'actualisation de 3%.

Scénario sylv	Investissements	si	Dimension cible (cm)							
			120	140	160	180	200	220	240	260
Dynamique-AO	faibles	4	-944	-652	-595	-588	-631	-816	-846	-918
Dynamique-AO	faibles	3	963	1207	1230	1152	944	834	586	421
Dynamique-AO	faibles	2	2718	3332	3302	3259	2908	2726	2317	1932
Dynamique-AO	faibles	1	5464	5719	5611	5383	5089	4485	4182	3621
Dynamique-AO	faibles	0	7588	8553	8488	8255	7870	6937	6502	5637
Dynamique-AO	élevés	4	-4707	-4290	-4096	-3999	-3981	-4040	-4046	-4214
Dynamique-AO	élevés	3	-3643	-2517	-2416	-2388	-2406	-2496	-2676	-2783
Dynamique-AO	élevés	2	-1537	-721	-539	-420	-560	-697	-989	-1285
Dynamique-AO	élevés	1	1049	1641	1776	1656	1466	1072	810	340
Dynamique-AO	élevés	0	2608	4082	4304	4328	4049	3422	3052	2346



ANNEXE 3 : CALCUL DU PRIX À AJOUTER LORS DE LA VENTE DES ARBRES ÉLAGUÉS À GRANDE HAUTEUR POUR COMPENSER LE COÛT DE L'ÉLAGAGE.

Le montant à ajouter au prix de vente des arbres élagués à grande hauteur pour compenser le coût de l'élagage a été obtenu grâce à la formule suivante :

$$P = \frac{C \times (1 + r)^t}{Vf}$$

où

P = Prix au m³ à ajouter lors de la vente des arbres-objectifs élagués à grande hauteur (en €/m³)

C = Coût actualisé de l'élagage à grande hauteur des arbres-objectifs (€/ha).

r = Taux d'actualisation (ici 0,02, soit 2 %)

t = Âge des arbres-objectifs lors de la récolte (en années)

Vf = Volume total des arbres élagués au moment de la récolte (en m³/ha)

Les calculs ont été réalisés pour deux densités d'arbres-objectifs par hectare (50 et 80), élagués à grande hauteur au moment de la première éclaircie et récoltés par mise à blanc au moment où la dimension cible de 180 cm de circonférence à 1m30 était atteinte. Deux options d'élagage à grande hauteur ont été considérées : 2 à 6 m d'une part et 2 à 8 m d'autre part.

Etant donné que l'âge de la première éclaircie et l'âge de récolte varient en fonction de la productivité de la station, le calcul a été réalisé pour chaque indice de productivité (site index).

Les coûts de l'élagage ont été calculés sur base des prix moyens renseignés dans la mercuriale 2023-2024 des travaux de l'UETFW (Union des entrepreneurs de travaux forestiers de Wallonie, 2025) repris au point 2.4.3.

Les valeurs des différents paramètres intervenant dans le calcul, ainsi que les résultats de celui-ci pour chaque indice de productivité sont repris dans le Tableau 40 et le Tableau 41. Les données sont issues des tables de productions obtenues par simulation de l'itinéraire sylvicole dynamique avec désignation d'arbres-objectifs (Variante C).



Tableau 40. Paramètres intervenant dans le calcul du montant à ajouter au prix de vente des bois élagués sur une hauteur de 2 à 6 m et résultats, selon l'indice de productivité et pour un taux d'actualisation de 2 %.

Nombre d'arbres-objectifs désignés	Site index	Coût moyen de l'élagage de 2 à 6 m (€/ha)	Âge de réalisation de l'élagage (années)	Coût moyen actualisé de l'élagage de 2 à 6 m (€/ha)	Âge de récolte des arbres élagués (années)	Volume total des arbres-objectifs récoltés (m ³ /ha)	Prix à ajouter lors de la vente (€/m ³)	Prix moyen à ajouter (€/m ³)
80 AO	Si0	446,4	12	352,0	48	2 840,9	3,2	3,9
	Si1	446,4	14	338,3	56	2 882,4	3,6	
	Si2	446,4	16	325,2	61	2 635,9	4,1	
	Si3	446,4	19	306,4	67	2 446,4	4,7	
50 AO	Si0	279,0	12	220,0	54	2 119,6	3,0	3,8
	Si1	279,0	14	211,4	59	1 934,3	3,5	
	Si2	279,0	16	203,2	64	1 775,0	4,1	
	Si3	279,0	19	191,5	73	1 799,9	4,5	

Tableau 41. Paramètres intervenant dans le calcul du montant à ajouter au prix de vente des bois élagués sur une hauteur de 2 à 8 m et résultats, selon l'indice de productivité et pour un taux d'actualisation de 2 %.

Nombre d'arbres-objectifs désignés	Site index	Coût moyen de l'élagage de 2 à 8 m (€/ha)	Âge de réalisation de l'élagage (années)	Coût moyen actualisé de l'élagage de 2 à 8 m (€/ha)	Âge de récolte des arbres élagués (années)	Volume total des arbres-objectifs récoltés (m ³ /ha)	Prix à ajouter lors de la vente (€/m ³)	Prix moyen à ajouter (€/m ³)
80 AO	Si0	1 076,0	12	848,4	48	2 840,9	7,7	9,4
	Si1	1 076,0	14	815,5	56	2 882,4	8,6	
	Si2	1 076,0	16	783,8	61	2 635,9	10,0	
	Si3	1 076,0	19	738,6	67	2 446,4	11,4	
50 AO	Si0	672,5	12	530,3	54	2 119,6	7,3	9,1
	Si1	672,5	14	509,7	59	1 934,3	8,5	
	Si2	672,5	16	489,9	64	1 775,0	9,8	
	Si3	672,5	19	461,6	73	1 799,9	10,9	



ANNEXE 4 : SPÉCIFICITÉS TECHNIQUES ET HYPOTHÈSES POSÉES POUR LA MODALISATION DES TABLES DE PRODUCTIONS DES ITINÉRAIRES SYLVICOLES DYNAMIQUES RECOMMANDÉS.

Tableau 42. Hypothèses de simulations posées pour chaque scénario sylvicole dynamique

	HYPOTHÈSES POSÉES				
	SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE	VARIANTE A : DENSITÉ INITIALE PLUS ÉLEVÉE	VARIANTE B : DENSITÉ INITIALE PLUS FAIBLE	VARIANTE C : DÉSIGNATION D'AO	VARIANTE D : RÉGÉNÉRATION NATURELLE
Application d'un taux de survie à l'initialisation (10 ans)	Taux de survie de 80%				
Ouverture de cloisonnements d'exploitation systématiques (1 ligne tous les 20 m)	Prélèvement d'1 ligne sur 7	Prélèvement d'1 ligne sur 9	Prélèvement d'1 ligne sur 6	Prélèvement d'1 ligne sur 7	Prélèvement d'1 ligne sur 7
Déclanchement de l'ouverture des cloisonnements et de la première éclaircie	Hdom = 13,5 m	Hdom = 11,0 m	Hdom = 16 m	Hdom = 13,5 m	Hdom = 13,5 m
Désignation d'arbres-objectifs lors de la première éclaircie	Désignation de 80 AO pour la simulation afin que le simulateur applique le type d'éclaircies souhaité. Sélection moins par le haut et plus aléatoire que pour le scénario AO.			Désignation de 80 AO. Sélection des arbres clairement par le haut parmi les arbres dominants du peuplement.	Identique au scénario de référence
Rotations	6 ans				
Type d'éclaircies	Eclaircies réalisées par le haut, mais de manière moins prononcée que pour le scénario AO			Eclaircies réalisées par le haut	Identique au scénario de référence
Nombre d'éclaircie ramenant le Gha à 15 m²/ha en passage à mi-rotation	4	4	3	4	4
Nombre d'éclaircie ramenant le Gha à 18 m²/ha en passage à rotation	Réalisation d'éclaircies jusqu'à atteindre le Cg de finalité et tant que la condition de réalisation des éclaircies est rencontrée				



Condition de réalisation des éclaircies	Les éclaircies ne sont réalisées que si elles prélèvent au minimum 10% du Gha	
Finalité	Mise à blanc Cg objectif = 180 cm. Récolte finale lorsque cette valeur est atteinte en fin de rotation	Régénération naturelle Début des coupes de régénération lorsque Cg = 150 cm. Décapitalisation de 5 m ² /ha en Gha à chaque rotation jusque Cg = 200 cm

Tableau 43. Facteurs appliqués lors des simulations pour chaque scénario sylvicole dynamique.

	SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE		VARIANTE C		VARIANTE D	
	VARIANTE A VARIANTE B		Facteur TYP	Facteur aléatoire	Facteur TYP	Facteur aléatoire
	Facteur TYP	Facteur aléatoire				
Désignation AO	0,80	0,50	0,95	0,30	0,80	0,50
Ouverture des cloisonnements	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00
Eclaircies	0,60	0,60	0,80	0,60	0,60	0,60
Coupes de décapitalisation pour la régénération naturelle	/	/	/	/	1,00	0,20