

Fiche technique

CONVERSION EN FUTAIE IRRÉGULIÈRE



Fachstelle Waldbau
Centre de sylviculture
Centro per la Selvicoltura

IMPRESSUM

Éditeur
Centre de compétence en sylviculture (CCS)
www.waldbau-sylviculture.ch

Auteur
Pascal Junod (CCS)
Avec la collaboration de Robert Jenni (OFEV), Peter Ammann, Martin Brüllhardt et Romain Blanc (CCS)
L'auteur exprime ses plus sincères remerciements à tous les relecteurs pour leurs remarques avisées

Citation
Junod P., 2024 : Conversion en futaie irrégulière. Fiche technique. CCS, BZW-Lyss, 46 p.

Mise en page
Romain Blanc

Remarques sur l'usage de la langue
Pour une meilleure lisibilité, la forme masculine/neutre est utilisée dans le document. Elle se réfère aux personnes indépendamment de leur sexe.

Texte en italique
La plupart des termes en italique contiennent des liens qui renvoient à des illustrations, des tableaux ou au glossaire.

Photos de couverture
En haut, forêt pérenne, Basadingen (TG).
En bas, martelage d'une éclaircie jardinatoire (spray orange), au profit d'un châtaignier (ruban bleu), Boudry (NE).

PDF-Download
www.waldbau-sylviculture.ch/publica/2024_CONVERSION_EN_FUTAIE_IRREGULIERE_web.pdf
Cette publication est également disponible en allemand.

Fiche réalisée avec l'appui de l'Office fédéral de l'environnement, OFEV, Berne

© CCS octobre 2024

TABLE DES MATIÈRES

1 Introduction ... 4

2 Modes, itinéraires et mesures de conversion ... 6

3 Principes pour mener à bien une conversion ... 9

Démarches relevant de l'aménagement forestier

3.1 Définir le type de structure visé à long terme ... 9
3.2 Établir un parcellaire fixe ... 9
3.3 Préciser le concept de desserte ... 11
3.4 Identifier les types de station ... 11
3.5 Apprécier le volume sur pied actuel des peuplements à convertir ... 11
3.6 Estimer l'accroissement ... 12
3.7 Préciser la composition – actuelle et souhaitée – des espèces ... 12
3.8 Fixer la rotation des coupes, le taux de prélèvement et la possibilité ... 13
3.9 Contrôle ... 14

Démarches du ressort de la sylviculture

3.10 Martelage périodique de l'éclaircie jardinatoire par unité de gestion ... 15
3.11 Soins à la jeune forêt ... 16

4 Caractéristiques distinctives des futaies régulières / irrégulières ... 17

5 Atouts et défis des futaies irrégulières ... 24

5.1 Atouts ... 24
5.2 Défis ... 26

6 Conclusion ... 27

Littérature ... 28

Annexes ... 30

1 Terminologie ... 30
2 Exemple d'itinéraire A2 : marteloscope de Cortaillod, division 4 ... 36
3 Exemple d'itinéraire A3 : marteloscope, div. 7 – et ensemble de la forêt – du Derbaly ... 38
4 Exemple d'itinéraire B2 : marteloscope de Rüschegg ... 41
5 Exemple d'itinéraire C : marteloscope du Gibloux ... 43
6 Autres exemples de conversion ... 45

Conversion en futaie irrégulière, en bref ... 46



1 INTRODUCTION

Les structures forestières complexes, proches de la nature, sont de plus en plus appréciées – et ce n'est que justice – notamment en raison de la résilience accrue qu'elles présentent face aux perturbations de toute sorte (Brang et al., 2016), ainsi qu'en vertu de leur aspect paysager durable et stable, apprécié par la population. L'intérêt croissant des propriétaires et praticiens forestiers à l'égard de structures forestières irrégulières, contraste cependant avec la modeste documentation spécifique dédiée à la *conversion* vers ce type de structure. Si les forêts jardinées et pérennes, à couvert continu, font l'objet de nombreuses publications, il n'en va pas de même des *processus de conversion*[1].

L'objectif de cette fiche technique, outre un rappel des particularités ainsi que des avantages et désavantages des futaies irrégulières, est de proposer une description de cheminements possibles en vue d'*hétérogénéiser à petite échelle la structure des peuplements réguliers*, en intégrant l'aspect du changement climatique, notamment le fait (1) que la part des feuillus va progresser dans de nombreux massifs, et (2) qu'en plaine la durée de vie des arbres de la strate supérieure va diminuer. Cette notice est avant tout destinée aux *propriétaires* et *gestionnaires* forestiers, aussi bien *aménagistes* que *sylviculteurs*. Elle s'inspire d'exemples aux étages de végétation collinéen et submontagnard.

La conversion débute au moment où la décision est prise de s'affranchir de coupes surfaciques. Il s'agit d'une ***décision stratégique*** *du propriétaire forestier*. Elle a pour conséquence – à plus ou moins long terme – la création de forêts irrégulières, composées d'essences en station. L'objectif d'une conversion réside cependant moins dans la structure elle-même, que dans *l'état d'équilibre démographique, qui permet à l'écosystème d'être le plus autofonctionnel possible*. La représentation schématique ci-après (fig. 1) illustre deux options possibles en matière de régénération des forêts, l'une à l'origine, l'autre à l'aboutissement du processus de conversion.

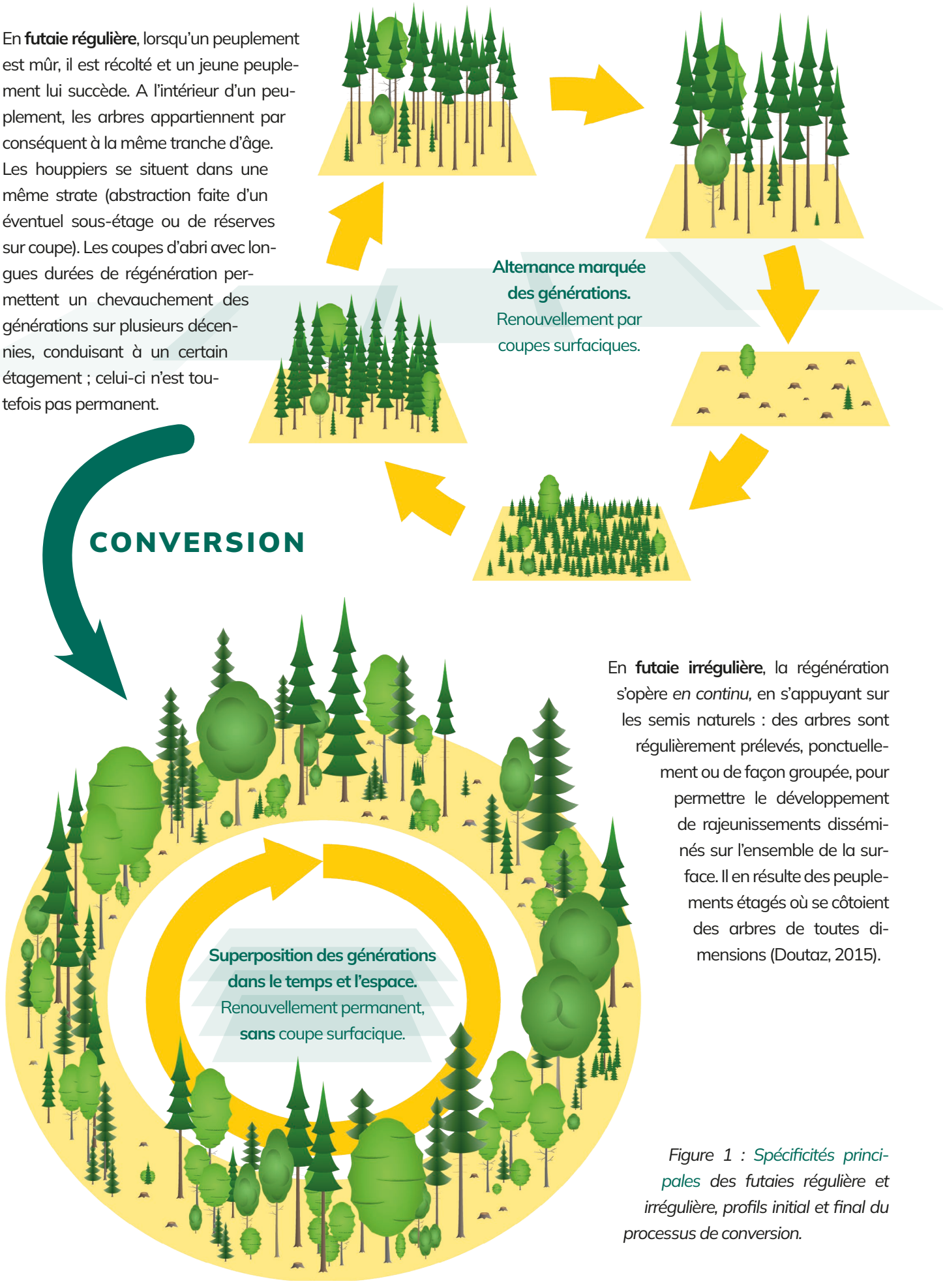
Soulignons d'emblée, qu'à l'échelle régionale, il n'y a pas lieu d'opposer futaie régulière et irrégulière, tant les deux systèmes sont importants et complémentaires, notamment pour le maintien de hauts degrés de biodiversité (Schall et al., 2018). Parfois discréditées en termes de biodiversité, les futaies irrégulières possèdent néanmoins un potentiel écologique élevé, moyennant l'adoption de réflexes adéquats lors des interventions sylvicoles répétées (recours au rajeunissement naturel, maintien d'arbres-habitats et de bois morts, acceptation d'ouvertures et de phases pionnières résultant de perturbations naturelles...).

---

1) Deux articles de Jean-Philippe Schütz dans la littétature scientifique primaire : 2001, Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests (7 pages) et 2002b, Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures (8 pages) ;
12 pages dans le script de Jean-Philippe Schütz, 2002 : Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen ; 8 pages dans Sylviculture 2, 1997 ;
3 pages publiées par Andreas Zingg dans LA FORET / WALD und HOLZ en 2013 ;
6 pages dans le script CEFOR de Jacques Doutaz, 2015 : Forêts irrégulières ;
2 pages dans l'Aide-mémoire forêt pérenne, édité en 2019 par ProSilvaSuisse (Hatt, 2019) ;
aucune indication dans le Manuel des connaissances professionnelles Forestier(ère)-bûcheron(ne), Codoc, édition 2020.

Introduction

En **futaie régulière**, lorsqu'un peuplement est mûr, il est récolté et un jeune peuplement lui succède. A l'intérieur d'un peuplement, les arbres appartiennent par conséquent à la même tranche d'âge. Les houppiers se situent dans une même strate (abstraction faite d'un éventuel sous-étage ou de réserves sur coupe). Les coupes d'abri avec longues durées de régénération permettent un chevauchement des générations sur plusieurs décennies, conduisant à un certain étagement ; celui-ci n'est toutefois pas permanent.



En **futaie irrégulière**, la régénération s'opère *en continu*, en s'appuyant sur les semis naturels : des arbres sont régulièrement prélevés, ponctuellement ou de façon groupée, pour permettre le développement de rajeunissements disséminés sur l'ensemble de la surface. Il en résulte des peuplements étagés où se côtoient des arbres de toutes dimensions (Doutaz, 2015).

Figure 1 : Spécificités principales des futaies régulière et irrégulière, profils initial et final du processus de conversion.

2 MODES, ITINÉRAIRES ET MESURES DE CONVERSION

L'attitude des gestionnaires qui œuvrent pour le maintien / la création de futaies irrégulières se caractérise par (1) le profond **respect** devant la croissance sobre et ininterrompue des peuplements, (2) la **patience** (figure 6) nécessaire pour accompagner l'écosystème sans le brusquer et (3) la ferme **volonté de veiller à la continuité** [2] de l'ensemble des processus. Les 3 *modes de conversion* proposés par Schütz (1997) répondent parfaitement à l'esprit du *changement dans la continuité* (figure 2) :

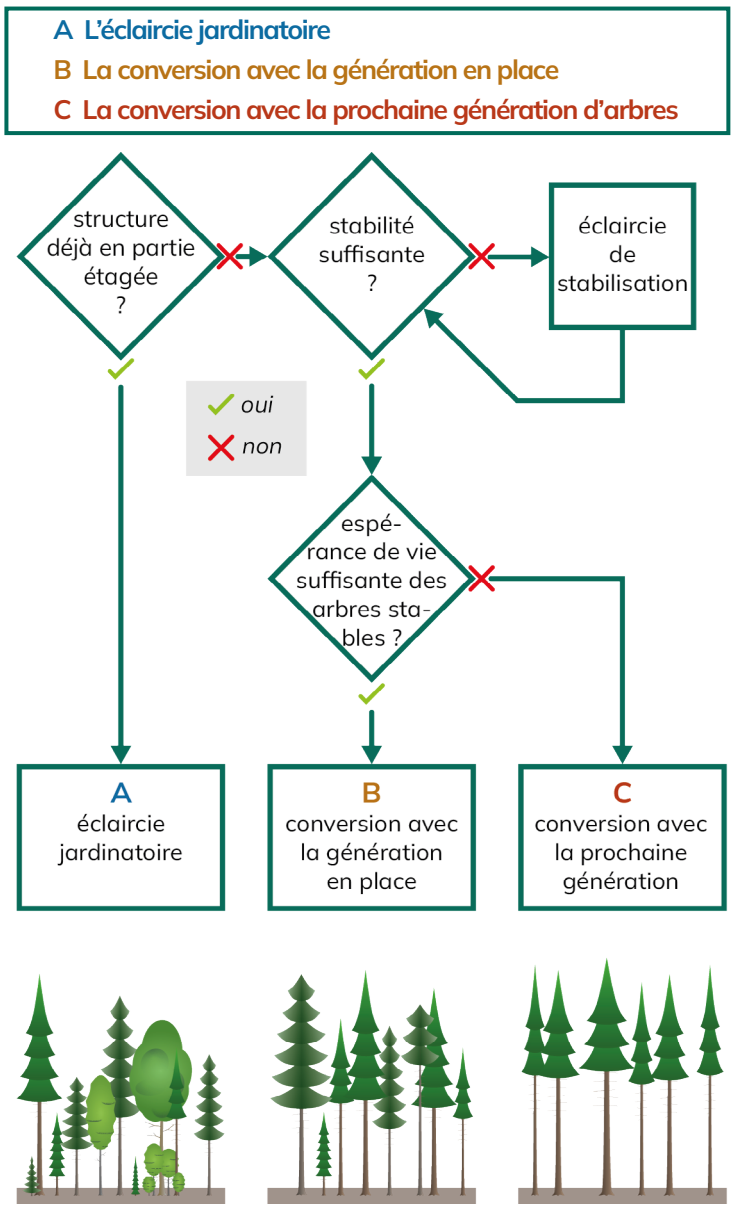


Figure 2 : Schéma décisionnel aboutissant aux 3 modes de conversion (Schütz, 1997).

La **durée de vie des arbres d'ossature de la strate supérieure** (question centrale du schéma décisionnel) est un critère clé pour la conversion d'une futaie régulière en futaie irrégulière.

À l'avenir, dans un climat changeant, il ne sera plus possible de compter avec de longues durées de survie comme on l'a fait jusqu'à présent, surtout lorsqu'il s'agit d'épicéas. Plus de réalisme en ce qui concerne les risques – mais aussi de confiance à l'égard des dynamiques naturelles ainsi que des capacités de résilience – sont de mise pour le futur.

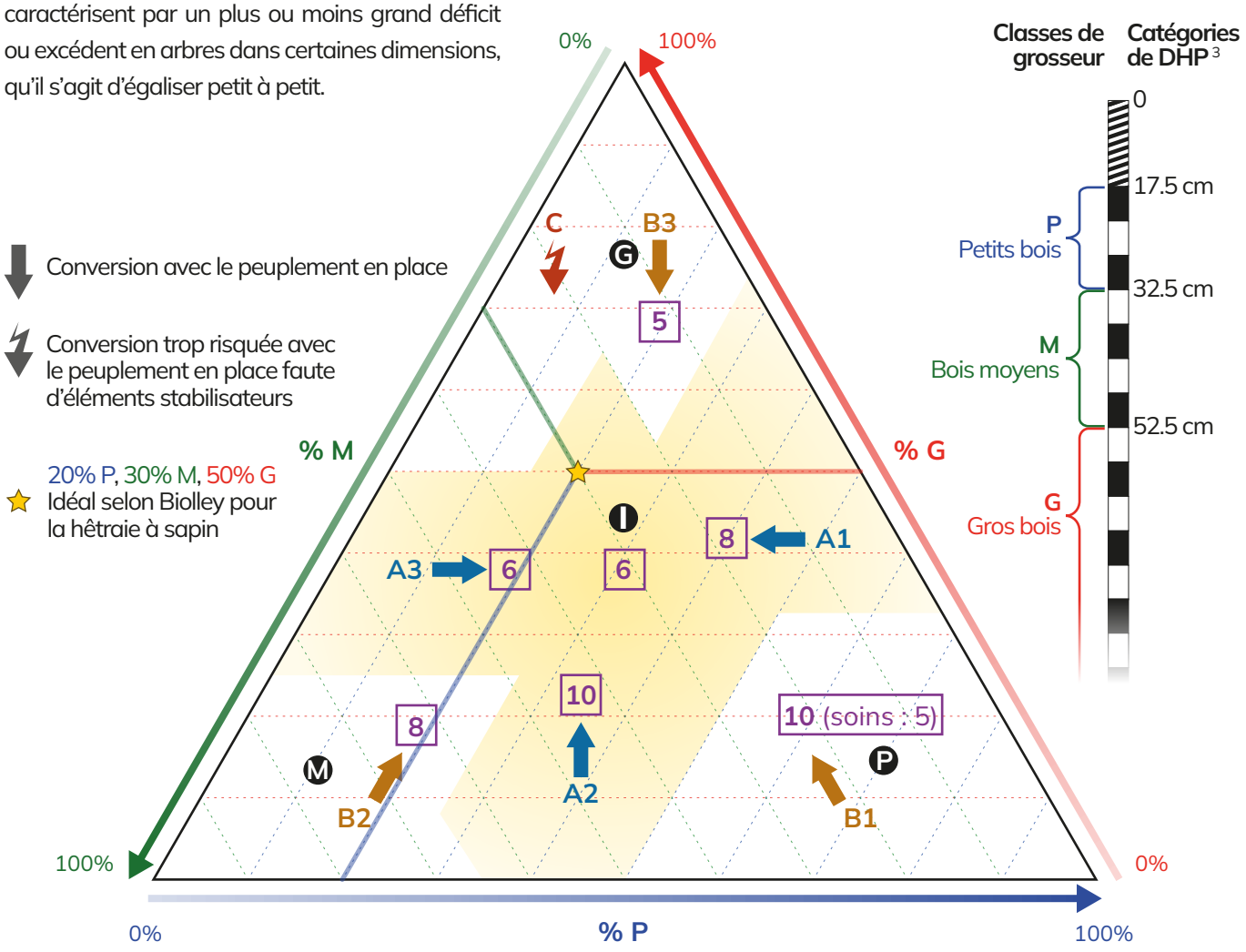
Entre les modes **B** et **C**, une conversion sera d'autant plus risquée que le peuplement est âgé, qu'il est artificialisé, que la proportion d'épicéa est élevée, que le mélange est appauvri, que les couronnes sont étriquées ou que le volume sur pied est chargé.

Le choix du *mode de conversion* procède d'une analyse sylvicole générale approfondie, tenant compte du peuplement en place (état sanitaire et mécanique, essences présentes, volume sur pied, structure, âge, longueur des couronnes, capacité de réaction), des potentialités de la station, notamment de ses incidences sur le vieillissement de la génération en place et aussi de l'évolution prévisible de la station et du mélange dans le contexte du changement climatique.

*2) La notion de **continuité** est à comprendre dans le sens le plus global : continuité du climat forestier, des processus d'accroissement, de prélèvement et de décomposition du bois et de la biomasse en général, du matériel producteur, du paysage, des fonctions de protection, des fonctions sociales et d'approvisionnement en bois. Cette **continuité**, qui s'affiche à la fois dans l'espace et dans le temps **ne signifie toutefois pas immuabilité**. Des variations (du volume sur pied par exemple) sont opportunes, pour autant qu'elles ne contrarient pas la pérennité des processus.*

Représentés sur le triangle des structures, les **3 modes de conversion** (A/B/C) peuvent s'articuler en **7 itinéraires de conversion** possibles, illustrés à la figure 3 (par des flèches) et détaillés dans le tableau 1. Les peuplements en conversion se caractérisent par un plus ou moins grand déficit ou excédent en arbres dans certaines dimensions, qu'il s'agit d'égaliser petit à petit.

Types de structure (P, M, G, en % du volume)
- I : peuplement irrégulier (secteur jaune)
- P : peuplement régularisé dans les petits bois
- M : peuplement régularisé dans les bois moyens
- G : peuplement régularisé dans les gros voire très gros bois



A1 Eclaircie jardinatoire ménageant les bois moyens
A2 Eclaircie jardinatoire ménageant les gros bois (exemple : Cortaillod, div. 4)
A3 Eclaircie jardinatoire ménageant les petits bois (exemple : Derbaly)

B1 Eclaircie jardinatoire avec maintien des *éléments structurants*
B2 Eclaircie jardinatoire avec « *fort par-ci, léger par-là* » (exemple : Rüschegg)
B3 Eclaircie jardinatoire avec décapitalisation et rotations courtes

C Conversion **trop risquée** avec la génération actuelle, faute *d'éléments stabilisateurs*. Récolte progressive du peuplement instable, avec - en guise de préparation à la conversion avec la future génération - le maintien de tout ce qu'il y a de proche de la nature (essences en station), de structurant et de stable du massif actuel. Eviter toute intervention diffuse ou création de petites trouées, en raison du risque élevé de dislocation du massif. Seuls ces peuplements ne conviennent pas à la conversion directe (exemple : Gibloux)

Chiffre violet Rotation indicative, valable pour les étages de végétation collinéen et submontagnard

Figure 3 : Itinéraires de conversion destinés à combler les déficits structurels.

3) DHP = diamètre à hauteur de poitrine (à 1.3 m du sol).

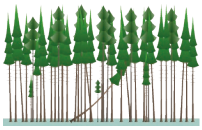
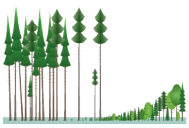
Situation de départ	Itinéraire de conversion	Mesures générales	Mesures en phase intiale	Mesures en phase plus avancée	Situation en fin de conversion
 Peuplement structuré à deux étages **petits bois – gros bois**	**A1** Ménager les bois moyens	Maintenir les individus stables. Augmenter la diversité des espèces, en favorisant notamment les essences les mieux adaptées au climat futur (*tree-app.ch*). Rotation indicative : **8 ans** (valable pour les étages de végétation collinéen et submontagnard).	Récolter en priorité dans les gros bois, les essences peu adaptées au climat futur et/ou surreprésentées.	Individualiser[4] les houppiers des *prétendants*. Promouvoir les arbres avec couronne longue et empattements racinaires bien formés.	
 Peuplement structuré **petits bois – bois moyens**	**A2** Ménager les gros bois *Exemple : Cortaillod*	Capitaliser en maintenant les gros bois le plus longtemps possible. Individualiser les houppiers des *prétendants* après que leur bille de pied se soit qualifiée. Rotation indicative : **10 ans**.	Favoriser de façon échelonnée et ciblée des *prétendants* d'essences adaptées à la station et au climat futurs.	Récolter avec parcimonie les essences surreprésentées tout en promouvant une large dispersion des diamètres.	
 Peuplement structuré **bois moyens – gros bois**	**A3** Ménager les petits bois *Exemple : Derbaly*	Maintenir les individus stables. Décapitaliser par rotations brèves. Rechercher la *perméabilité ponctuelle du couvert* pour permettre à la lumière de stimuler la régénération et l'évolution de l'humus. Rotation indicative : **6 ans**.	Parmi les bois moyens, favoriser des arbres vigoureux à houppier long, branches fines, bille de pied de qualité et empattements racinaires bien formés.	Poursuivre la décapitalisation par récolte, parfois groupée, de gros bois (actions capricantes). Individualiser les houppiers des *prétendants*.	
 Peuplement régularisé dans les **petits bois** (perchis)	**B1** Capitaliser en maintenant les éléments structurants *Exemple : Habsburg*	Favoriser les essences adaptées au climat futur et les minoritaires. Maintenir les rares bois moyens et gros bois. Éclaircir (dynamiser) en misant sur les arbres les plus vigoureux, si nécessaire créer des ouvertures dans la strate supérieure. Rotation indicative : **10 ans**. Plus soins situatifs en faveur des essences héliophiles tous les **5 ans**.	Maintenir tout ce que le peuplement contient de structurant (pionniers, réserves sur coupe, rescapés, arbre-habitat, buissons, ronciers ponctuels…).	Dégager par étapes les *prétendants*. Récolter avec mesure les essences surreprésentées.	
 Peuplement régularisé dans les **bois moyens**	**B2** Structurer, avec créativité *Exemple : Rüschegg*	Maintenir les individus stables, ainsi que les éventuels petits et gros bois. Favoriser les arbres vigoureux à houppier long, branches fines et bille de pied de qualité. Diversifier les essences, en prélevant p.ex. des arbres dit « *intermédiaires* ». Rotation indicative : **8 ans**.	Structurer le massif en s'efforçant de ne pas faire partout pareil : « *fort par-ci, léger par-là* », jusqu'à la non-intervention (attitude capricante). Favoriser les *prétendants*.	Poursuivre l'individualisation des *prétendants* et des essences aptes au climat futur. Continuer la structuration des secteurs homogènes.	
 Peuplement régularisé dans les **gros bois**	**B3** Décapitaliser sans déstabiliser	Préserver les individus et groupes stables. Décapitaliser par rotations très courtes. Oser des trouées (en prélevant p.ex. plusieurs arbres le long d'une même ligne, ce qui facilite leur exploitation), pour permettre à la lumière de stimuler ponctuellement la régénération et l'activité biologique du sol. Promouvoir le mélange, par plantations ponctuelles en l'absence de semenciers. Rotation indicative : **5 ans**.	 Décapitaliser en osant quelques « *lucarnes* » adossées à des *éléments stabilisateurs*. Préserver le rajeunissement lors de la vidange des bois.	 Poursuivre la décapitalisation et la structuration du massif, tout en favorisant les essences adaptées à la station et au climat futurs.	
 Vieille futaie instable. Peuplement uniforme, couronnes étriquées	**C** Eviter de convertir avec le peuplement en place *Exemple : Gibloux*	Inscrire clairement la décision de conversion avec la génération suivante. Maintenir tout ce qui est proche de la nature et stable. Conserver les éléments structurants (pionniers, ronciers, rustres…) pour hétérogénéiser la nouvelle génération. Plantations ponctuelles en l'absence de semenciers. Eviter les éclaircies diffuses (qui souvent ne profitent qu'à la ronce ou au hêtre) ! Rotation indicative : **4-8 ans**.	 « *Coupes de lisière* », par étapes et sinueuses. Eviter les fronts de coupe perpendiculaires aux vents dominants.	Sur la nouvelle génération, appliquer des mesures similaires à celles de l'itinéraire B1.	 *La complexité des écosystèmes forestiers et la diversité des types de station font que les situations en fin de conversion sont diverses.*

Tableau 1 : Itinéraires et mesures de conversion en fonction du degré de différenciation structurelle du peuplement initial.

4) La structure irrégulière a ceci de particulier que, même sans détourage spécifique de son houppier, l'arbre d'avenir désigné en lieu et place appropriée, bénéficiera d'une lumière importante et de qualité pour ses éléments assimilateurs.



3 PRINCIPES POUR MENER À BIEN UNE CONVERSION

Pour donner un maximum de chance de succès aux itinéraires de conversion (itinéraires **A** et **B** du chapitre précédent), plusieurs étapes sont importantes. Certaines relèvent de l'aménagement forestier, d'autres de la sylviculture, avec pour règle : « ***l'aménagement*** *fixe la stratégie pour mieux laisser la* ***sylviculture*** *s'exprimer* ». Chronologiquement, il s'agit de :

3.1 Définir le type de structure visé à long terme

Cette décision stratégique initiale s'accompagne d'une délimitation claire des périmètres à l'intérieur desquels l'objectif est de s'affranchir de coupes surfaciques. Une telle décision, assortie d'un plan de situation, gagne à être inscrite dans le document de planification et communiquée à l'ensemble des intervenants.

Au sein de grandes propriétés forestières, l'idée n'est pas forcément de mettre l'entier du périmètre en futaie irrégulière, mais de varier délibérément les structures visées à long terme (selon tableau 4 en annexe), afin notamment d'augmenter la richesse structurelle de l'écosystème. À l'inverse, dans le mode de traitement de la coupe progressive, il est envisageable de convertir en structures irrégulières certaines parties de la forêt qui s'y prêtent, en raison par exemple de la station ou d'un étagement déjà existant.

3.2 Établir un parcellaire fixe

Pour les massifs d'une surface supérieure à 3 ha, il est recommandé de scinder la forêt en ***unités de gestion*** de surfaces équilibrées (délimitées sur plan et si possible aussi dans le terrain). Idéalement le nombre d'unités correspond à un multiple de la rotation (figure 4).

Le plan de situation de l'ensemble des unités de gestion d'un même propriétaire forme le *parcellaire*.

La répartition de la surface forestière en *unités de gestion* permet de fixer et de visualiser l'ordre dans lequel les unités de gestions seront visitées par la coupe. C'est le seul ordre – géographique et temporel – en futaie irrégulière.

La figure 4 présente un exemple de *parcellaire* pour un propriétaire forestier, avec années de passage des *éclaircies jardinatoires*. La rotation est de 6 ans, ce qui permet d'intervenir à temps pour dégager/accompagner les espèces de lumière. La *rotation de courte durée* permet également (1) une bonne adéquation avec les années de forte fructification, (2) une prise en compte précoce des stress liés au changement climatique, (3) une promotion continue des espèces héliophiles et (4) une décision sylvicole facilitée en cas d'hésitation relative à un arbre individuel : *dans le doute, il convient de s'abstenir et de reporter la décision au prochain passage*.

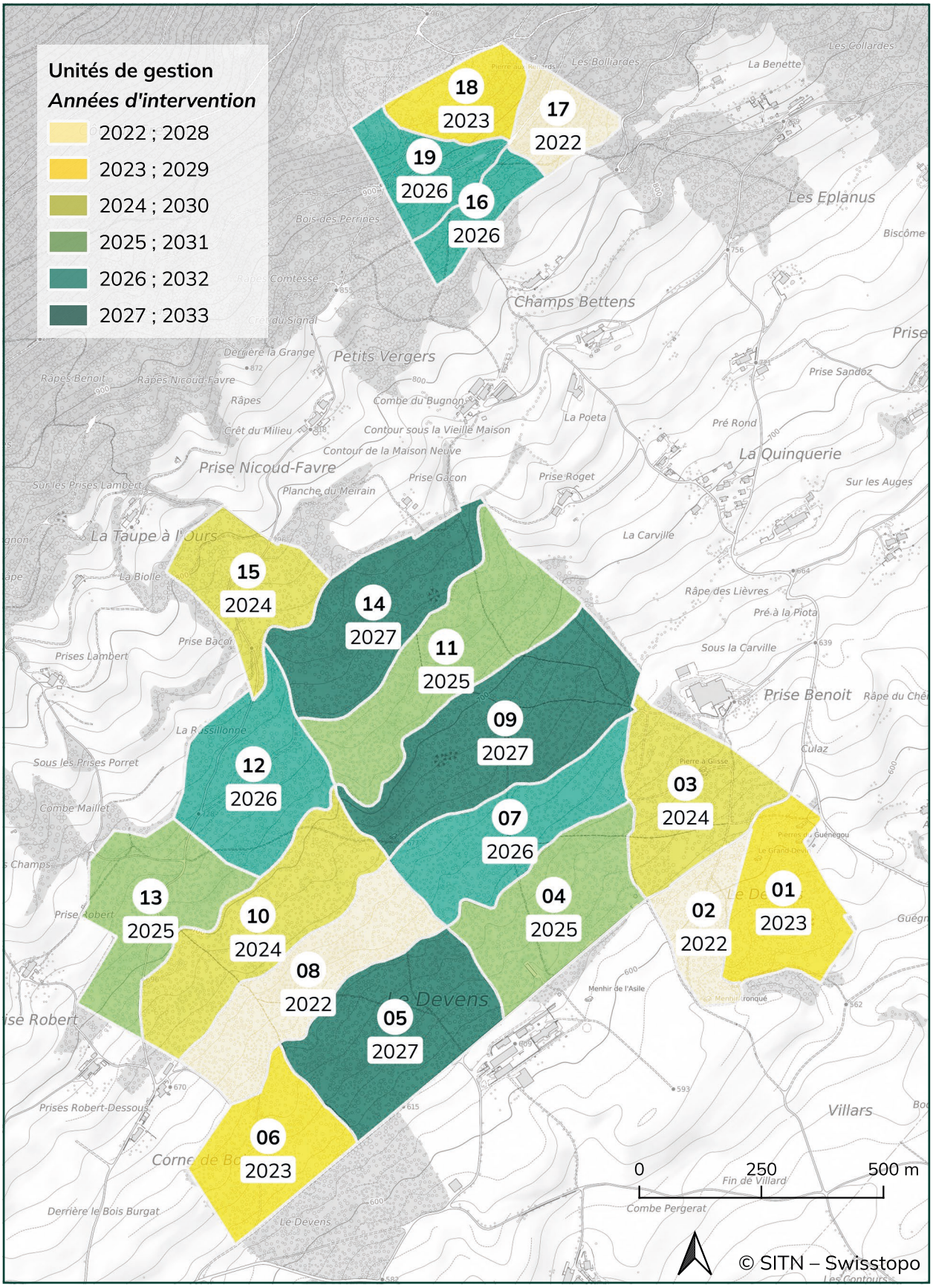


Figure 4 : Exemple de parcellaire pour un propriétaire forestier, avec années de passage des éclaircies jardinatoires.

3.3 Préciser le concept de desserte

L'existence d'une bonne desserte (chemins, pistes, layons ou lignes de câble et places de dépôt) est une des conditions de réduction des dommages au sol par le débardage de grumes disséminées. Elle contribue aussi à la préservation du peuplement restant et est un sûr garant des récoltes futures d'arbres répartis sur tout le parterre de coupe. Avant chaque martelage, il est essentiel de connaître le concept de desserte (voies et directions de sortie des bois). La conversion en terrains desservis par lignes de câble est non seulement possible, mais particulièrement bienvenue. Plus les structures seront irrégulières, plus la vocation protectrice des peuplements sera assurée de manière durable. Dans ces massifs, la structure visée à long terme s'apparentera davantage au jardinage par groupes qu'au jardinage pied par pied. Les unités de gestion seront définies en adéquation avec les *lignes de câble* et les *unités de vidange* (Magaud, 2020).

3.4 Identifier les types de station

Cette information est indispensable pour la pratique d'une sylviculture proche de la nature.

Elle permet notamment (1) d'imaginer comment la forêt évoluerait sans influence humaine, en intégrant les effets du changement climatique ; (2) de définir des buts sylvicoles réalistes, en termes de mélange et de qualité des produits ; (3) d'estimer la productivité (accroissement) et l'espérance de vie des arbres d'ossature ; (4) de mesurer l'effort à fournir, avec les chances de succès et les risques encourus, et (5) de prévoir la réaction des peuplements suite aux interventions sylvicoles.

Si aucune carte des stations n'est disponible, l'application Tree App (*www.tree-app.ch*) permet une détermination des types de station sur la base de critères de filtrage. De plus, Tree App renseigne sur l'évolution probable des stations dans le contexte du changement climatique.

3.5 Apprécier le volume sur pied actuel des peuplements à convertir

Le matériel sur pied (msp) – exprimé en *surface terrière* [m²] ou en volume [sv] – est une donnée qui peut varier dans de fortes proportions selon les contextes (stations, essences, structures). La connaissance du *volume sur pied* [5] ou de la *surface terrière*[6] et de la *proportion des classes de grosseur* (petits, moyens, gros bois) qui le compose, est essentiel pour bien démarrer le processus de conversion, ainsi que pour en suivre l'évolution.

Une courbe de répartition du nombre de tiges et des essences par catégories de diamètre (*telle qu'illustrée en haut de la page 40*) est encore mieux pour apprécier la situation de départ.

Ce diagnostic d'entrée ou analyse initiale, basé sur un inventaire (en plein ou par échantillonnage), profitera d'être doublé d'observations relatives à la vitalité et la stabilité des arbres, la qualité et la valeur des billes de pied, le développement et le dynamisme des plages de rajeunissement.

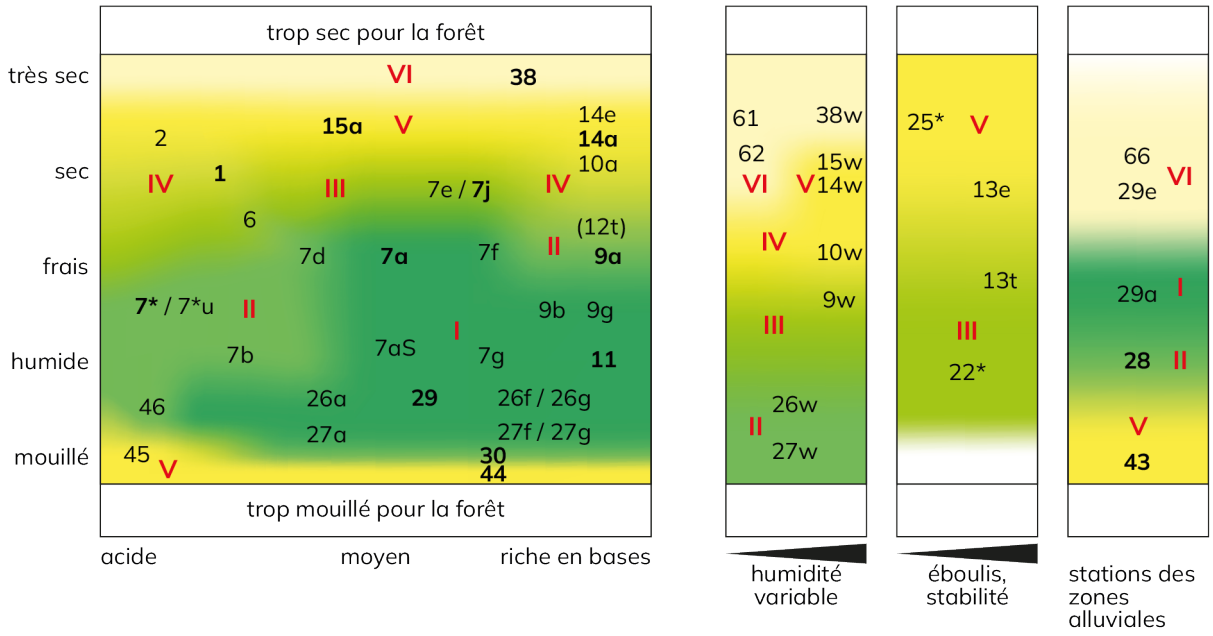
5) Volume sur pied : volume d'un ou des arbres inventoriés d'un peuplement forestier. Synonymes : matériel sur pied (msp) ; capital sur pied. Le volume sur pied d'un arbre s'exprime en sylve [sv]. Il est déterminé à partir de son diamètre à hauteur de poitrine (DHP), mesuré à 1,3 m du sol, et à l'aide d'un tarif.

6) Surface terrière : pour un arbre = aire de la section perpendiculaire à l'axe du tronc, mesurée à hauteur de poitrine et exprimée en m² *; pour un peuplement : somme des sections de tous les arbres inventoriés (exprimée en m²/ha).*

3.6 Estimer l'accroissement

Selon la fertilité des stations concernées, il est possible d'estimer l'accroissement de chaque *unité de gestion*. Cette estimation permettra de fixer la *rotation des coupes* ainsi que le volume de bois exploitable.

La figure 5 ci-dessous indique l'accroissement annuel prévisible pour les principales stations de l'étage submontagnard.



I	II	III	IV	V	VI	Classes de fertilité
13	10	8	6	4	2	Accroissement en m³/ha/an
500	◄	·····	·····	·····	► 250	*Rés. : volume sur pied cible approx., en sv*
300	◄	·····	·····	·····	► 150	*Feuil. : volume sur pied cible approx., en sv*
40	◄	·····	·····	·····	► 20	*Rés. : surface terrière cible[1] approx., en m²/ha*
25	◄	·····	·····	·····	► 12	*Feuil. : surface terrière cible approx., en m²/ha*

Figure 5 : Ecogramme avec accroissements annuels et volumes sur pied cible estimés ***pour l'étage submontagnard****. Ces volumes indicatifs diffèrent selon les essences et selon les besoins en lumière (adapté de Kaufmann, 2015 ; valeurs de surface terrière selon Hatt, 2019, p. 22 et AFI, 2018, p. 40). Plus élevée sera la part d'espèces de lumière, plus le volume d'équilibre sera faible.*

3.7 Préciser la composition – actuelle et souhaitée – des espèces

Le mélange des essences contribue grandement au succès du processus de conversion, ainsi qu'à l'adaptabilité des peuplements futurs.

En tenant compte de la station, des effets attendus du changement climatique ainsi que des produits et des prestations écosystémiques recherchés, il convient de définir la proportion (% du volume ou de la surface terrière) des essences souhaitées à l'avenir pour chaque *unité de gestion*. La plupart des descriptions cantonales accompagnant les cartes des stations donnent de précieux conseils relatifs au choix des essences. Il en va de même de l'application Tree App (*www.tree-app.ch*), en particulier pour l'étage collinéen.

La composition des espèces souhaitées permettra d'estimer le volume sur pied idéal à envisager pour la futaie irrégulière qui résultera du processus de conversion (figure 5).

1) Surface terrière cible : valeur maximale (avant martelage) qui, selon la station et la composition des essences, garantit suffisamment de lumière et de chaleur pour le rajeunissement et l'étage intermédiaire. La surface terrière cible peut être d'autant plus grande que la fertilité est élevée et que les essences sont tolérantes à l'ombrage.

3.8 Fixer la rotation des coupes, le taux de prélèvement et la possibilité

La *rotation des coupes* dépend à la fois de l'accroissement estimé, de la différence entre le volume sur pied actuel et le volume sur pied objectif, des essences présentes, de la stabilité du peuplement en place, ainsi que des infrastructures de vidange des bois. La rotation entre les coupes est un élément central de la continuité du geste sylvicultural. Des interventions avec prélèvement excessif (taux de prélèvement [7] >25%), de même que des rotations trop longues, nuisent au principe de continuité. Le tableau 2 exprime quelques ordres de grandeur de ces relations.

En principe, lorsque le volume sur pied est proche du volume optimal, le prélèvement est égal à l'accroissement annuel multiplié par la durée de la rotation. Ceci revient à couper entre 15 et 20% du capital sur pied pour les feuillus et entre 20 et 25% pour les résineux (AFI, 2018).

Une rotation des coupes de moins de 6 ans (aux étages collinéen et submontagnard) n'est pas pertinente (excepté pour les itinéraires de conversion **C** et **B3**), ne serait-ce que pour laisser au peuplement le temps de se stabiliser.

En cas de matériel excessif, pour décapitaliser progressivement, il convient plutôt de raccourcir les rotations que d'augmenter les taux de prélèvement. Ceci permet une meilleure réaction du peuplement et minimise les risques.

Avec le changement climatique, nous observons toutefois que les aléas (tempête, canicule, sécheresse, orage violent, grêle, insecte ravageur, maladie fongique…) évoluent, se combinent, se répètent, se renforcent au point d'atteindre l'état physiologique de nombreux arbres. Face aux incertitudes, sur les stations sensibles, une sylviculture plus dynamique, avec un passage des coupes à mi rotation se justifie. Une possibilité annuelle prélevée dans le double de divisions permet notamment (1) de réduire la part des chablis, en récoltant les arbres irréversiblement défaillant avant qu'ils ne perdent leur valeur économique et (2) de promouvoir, de façon rapprochée, le développement d'essences minoritaires et/ou héliophiles (figure 6).

Le calendrier qui indique les années de passage des coupes dans chaque unité de gestion, avec la possibilité correspondante, est un outil de planification important, il doit cependant rester un *tableau prévisionnel* et ne pas être un carcan. D'une façon générale, il s'agit de garder une certaine flexibilité, parfois même de faire preuve d'opportunisme par rapport à la planification établie : coupe exceptionnelle suite à une bonne glandée par exemple ou report de coupes suite à des quantités élevées de chablis. En cas d'événement inattendu, le tableau prévisionnel permet de mieux improviser !

Tableau 2 : Relation entre accroissements, rotations et prélèvements (valeurs indicatives), pour un objectif de maintien du volume sur pied initial (4e colonne) avec une ***intensité de l'intervention de 20%****.*

Accroissement sv/ha/an	**Rotation** durée optimale	**Prélèvement sv/ha** (y.c. chablis)	Msp initial pour intensité de 20% **sv/ha**
2	20 ans	40	200
4	14 ans	56	280
6	10 ans	60	300
8	8 ans	64	320
10	7 ans	70	350
13	6 ans	78	390

La *possibilité périodique* en volume, pour chaque unité de gestion, peut être obtenue par la formule :

$$P = A * r - (V_f - V_i)$$

P = possibilité pour la période en sv
A = accroissement, y compris le passage à la futaie en sv/an [8]
V_f = volume final ou volume souhaité ***à l'issue de la rotation*** *en sv*
V_i = volume initial ou volume actuel en sv
r = rotation en années

7) Taux de prélèvement = volume prélevé (y.c. chablis) / volume sur pied avant intervention. Synonyme : intensité de l'intervention.
8) Le ***passage à la futaie*** *regroupe les arbres ayant atteint ou dépassé le seuil d'inventaire entre deux relevés successifs.*

3.9 Contrôle

Les contrôles évitent des dérapages et, si nécessaire, permettent de redresser le chemin suivi. En futaie irrégulière équilibrée, l'aménagement doit contrôler *à postériori*, en aucun cas il doit diriger. Les éventuelles corrections interviennent lors de la prochaine intervention. Le contrôle porte sur différents niveaux : l'évolution du volume sur pied ; la répartition volumétrique des petits, moyens et gros bois ; l'état des *prétendants* et le *passage à la futaie* ; l'impact de la gestion sur la naturalité du milieu (mélange des essences, arbres morts, arbres-habitats, dendromicrohabitats).

Le *passage à la futaie* est très utile car il représente l'indicateur *à postériori* du niveau de renouvellement des peuplements. Il permet d'apprécier le flux (des tiges et des essences) vers l'équilibre recherché. Un *passage à la futaie* harmonieux devrait comporter **2 à 3 tiges par hectare et par an pour des massifs résineux et 1 à 2 tiges par hectare et par an pour des peuplements feuillus** (AFI, 2018, p. 27).

Le *passage à la futaie* n'étant généralement connu que des adeptes de la méthode du contrôle (Biolley, 1897), peu pratiquée de nos jours, il peut être avantageusement suppléé par le *nombre de tiges de la première catégorie de diamètre*. Ce nombre, facile à déterminer, est un indicateur important du réservoir de recrutement, permettant de savoir s'il convient de diminuer ou pas le volume sur pied. Pour assurer un renouvellement durable, le nombre empirique de tiges de catégorie DHP 15 cm (12.5 – 17.5 cm) devrait osciller entre 70 (peuplements avec DHP_{max} > 110 cm) et 100 (peuplements avec DHP_{max} < 80 cm). Pour les forêts pérennes de hêtre, 90-120 tiges d'un diamètre 8-11,9 cm sont nécessaires par ha afin d'assurer l'équilibre démographique (Brüllhardt et al., 2022a).

En futaie irrégulière la planification est particulièrement souple, avec diagnostics périodiques, fixation des *possibilités* et prévisions à moyen terme (10 à 25 ans). Cette souplesse est un atout crucial dans le contexte du changement climatique, fait d'incertitudes et d'amalgames d'aléas divers. La temporalité de gestion pourrait bien devoir s'adapter, avec des suivis et révisions plus fréquents qu'actuellement.



Figure 6 : Exemple de patience nécessaire pour mener à maturité les billes de pied de qualité, ici avec une espèce minoritaire.
Alisier torminal à Basadingen (TG) :
Âge sur la photo (2000) : 30 ans.
Âge à la récolte : 120 ans.
Année de récolte : env. 2090.



3.10 Martelage périodique de l'éclaircie jardinatoire par unité de gestion

En phase de conversion – lors des éclaircies jardinatoires – les martelages permettent d'accompagner activement l'écosystème forestier dans la direction de l'objectif fixé. Sa mise en œuvre est une synthèse d'aspects écologiques, économiques, esthétiques..., appliquée au cas particulier de chaque unité de gestion. Les perturbations jouent souvent un rôle complémentaire non négligeable ! Le sylviculteur n'est jamais seul à la manœuvre, la nature « *martèle* » également, à sa manière, amenant son lot de chablis ; créant parfois des mosaïques de structures très complexes ; ouvrant quelquefois de larges lucarnes uniformes (en particulier dans les peuplements non en station).

Lors d'une éclaircie jardinatoire, la priorité est de promouvoir/maintenir la *stabilité* du peuplement. Viennent ensuite les aspects *d'amélioration* du peuplement existant (essences, qualité des billes de pied) et de *récolte* des arbres mûrs ou concurrents. La *structuration* ainsi que la promotion de la *régénération* – en veillant à ce qu'elle ne se développe pas sur l'ensemble du peuplement, et en s'abstenant d'élargir les trouées existantes – ne sont pas prioritaires [9], mais des effets secondaires, indirects, autrement dit la résultante du dosage de la lumière dans l'étage supérieur.

Les lisières – aussi bien en futaies régulière qu'irrégulière – méritent à être traitées de manière spécifique. Il s'agit de milieux de transition riches en biodiversité, particulièrement propices à l'épanouissement de buissons et d'espèces héliophiles. Les maîtres mots du traitement de ces interfaces sont : étagé, sinueux, richesse en petites structures, créativité...

Les éclaircies jardinatoires visent simultanément plusieurs effets, en tenant compte des fonctions de chaque arbre, ainsi que de la configuration de l'ensemble de l'unité de gestion. Il est opportun de parcourir le peuplement dans un esprit positif, en cherchant à mettre en évidence les « *pépites* » (raretés, éléments stabilisateurs, arbres avec potentiel de valeur, arbres à pic...). Il n'est pas indiqué de se focaliser sur les gros vilains ! On risque ce faisant de créer des trouées pénalisantes, sachant que l'ombre en futaie irrégulière est une force utile : il est plus facile d'apporter une pincée de lumière sur un recrû établi (figure 8) qu'un ajout d'ombre sur une trouée enroncée ! L'irrégularité ne doit pas être obtenue en procédant à des sacrifices d'exploitation (récolte prématurée d'abres de valeur). Elle n'est pas une fin en soi, mais résulte simplement de la recherche de la productivité durable et maximale en valeur des arbres considérés individuellement. **Ce n'est pas au forestier d'irrégulariser la forêt, mais de l'accompagner en toute patience et en toute modestie de sorte que l'écosystème forestier soit en mesure de se structurer lui-même.** En tout endroit, il convient de se poser les questions suivantes :

- Les **stabilisateurs** sont-ils en nombre suffisant (pour assurer la stabilité, mais également la production et l'éducation) ? En phase de conversion tout spécialement, les *arbres d'ossature* jouent un rôle clé [10].
- Y a-t-il trop (peuplement surexploité) ou trop peu (excédent de gros bois) de **prétendants** ? Y a-t-il lieu d'enlever des *arbres intermédiaires* qui font dépérir les branches charpentières des producteurs et qui empêchent les jeunesses ou les *prétendants* de monter ?
- La **salle d'attente** (où s'opère la sélection naturelle) est-elle suffisamment garnie ? Avec les essences d'avenir souhaitées ?

En résumé : convertir en futaie irrégulière, c'est comme jouer avec un variateur de lumière, pour moduler localement l'éclairage et donner son ambiance (son climat) à la scène écosystémique. Un bon martelage se pratique aussi avec le cœur, avec créativité et surtout avec plaisir. Convertir, c'est *sylvi-cultiver* avec la lumière !

9) En phases initiales de conversion (A2, B2 et B3), cette affirmation est à nuancer. Dans ces contextes, pour amener de la jeunesse, il faut aussi avoir un œil sur la régénération, en particulier celle des feuillus.

*10) À l'instar de Schütz (2002), nous admettons que pour réussir une conversion en prenant des risques acceptables, il faut disposer, par hectare, d'au moins **40 éléments stabilisateurs** à haute espérance de vie. **En forêt à dominance de feuillus**, l'expérience nous montre que **20 éléments d'ossature répartis sur un hectare suffisent pour débuter une conversion**.*

3.11 Soins à la jeune forêt

Il est judicieux de procéder à des soins après chaque éclaircie jardinatoire ; en présence d'essence héliophile parmi les arbres de place, des soins à mi-rotation sont nécessaires. Ceux-ci seront ciblés sur un petit nombre d'individus/cellules et différenciés selon les espèces (figure 7). Ils éviteront les gestes trop précoces et les actions homogénéisantes. La croissance et la hiérarchisation des jeunes tiges permet de savoir si l'apport en lumière suffit. Pour maintenir des plages d'ombre, on peut sans autre conserver des sujets branchus, qui contribuent, de surcroît, à la structuration du peuplement.

En phase de conversion, comme en futaie irrégulière équilibrée, les soins se pratiquent en parfaite adéquation avec les principes de *rationalisation biologique* (Ammann, 2012), ainsi qu'avec ceux prônant la désignation, échelonnée dans le temps, des arbres de place (Codoc, 2020, p. 21 à 26).

Dans sa thèse de doctorat en futaie jardinée, Duc souligne qu'il convient, lors des soins, d'abord de réfléchir si la cellule de jeune forêt peut se développer sans aide jusqu'à la prochaine coupe. Si c'est le cas on évitera d'intervenir (Duc, 2002, p. 217).

Dans le contexte du changement climatique, il est recommandé – en l'absence de semenciers – de promouvoir le mélange par plantation, semis ou translocation de sauvageons, toujours en complément du rajeunissement naturel et de manière ponctuelle.

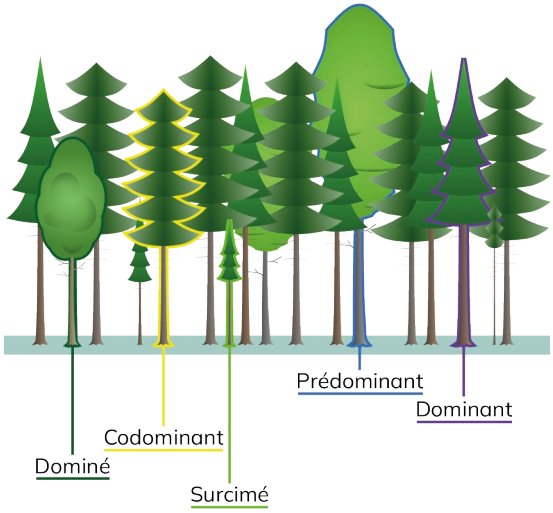
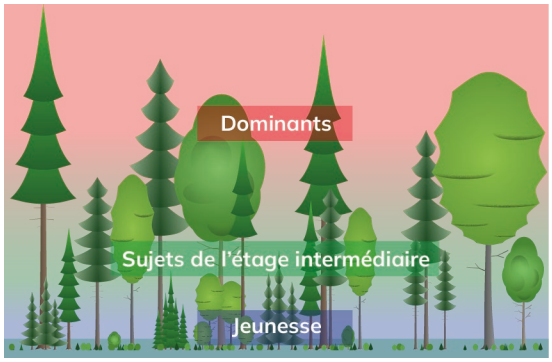


Figure 7 : Intervention ponctuelle dans un rajeunissement naturel mélangé. Rubans bleus : douglas aidés en cime par cassage des hêtres voisins.
Bevaix (NE), division 15, avril 2021.

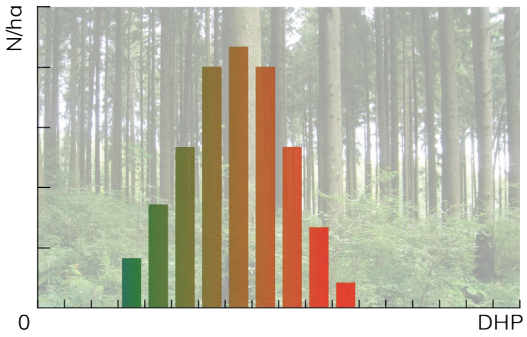
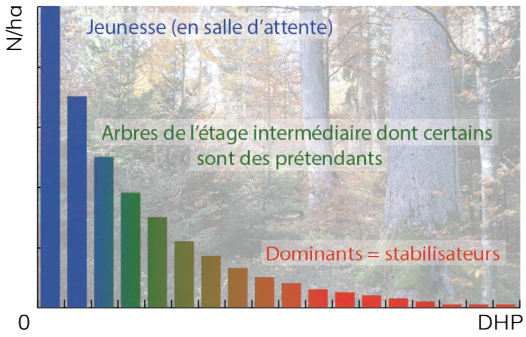
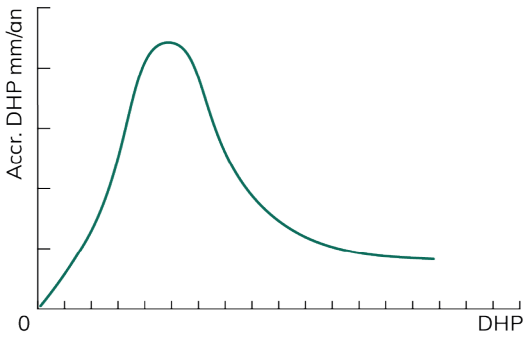
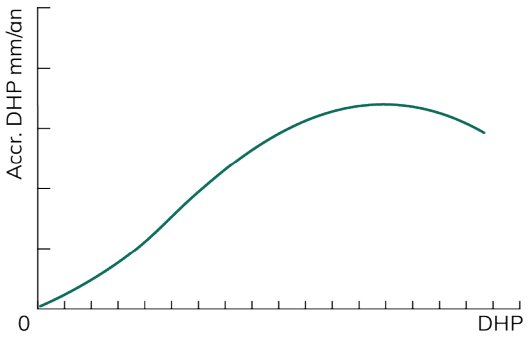
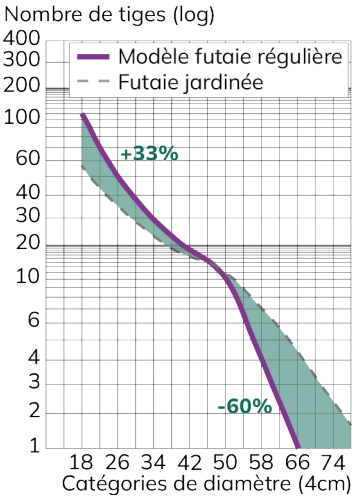
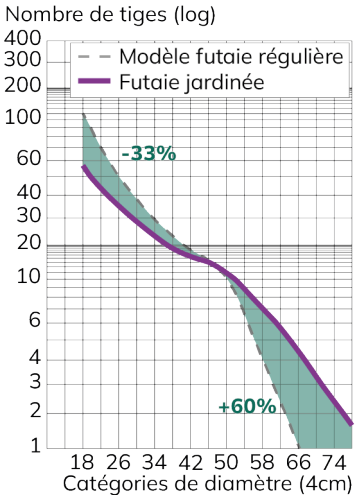
4 CARACTÉRISTIQUES DISTINCTIVES DES FUTAIES RÉGULIÈRES / IRRÉGULIÈRES

Pour apprécier l'ensemble des conséquences induites par une conversion de futaie régulière en futaie irrégulière, le tableau 3 reprend en parallèle les différences fondamentales entre ces deux archétypes sylvicoles.

Tableau 3 : Traits distinctifs des futaies régulière et irrégulière.

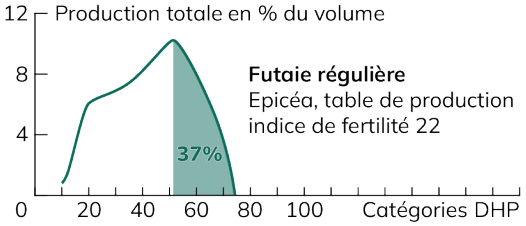
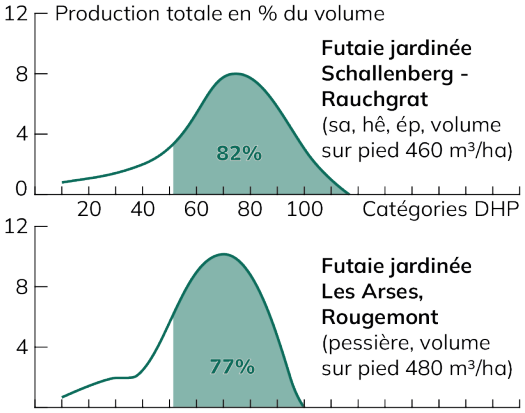
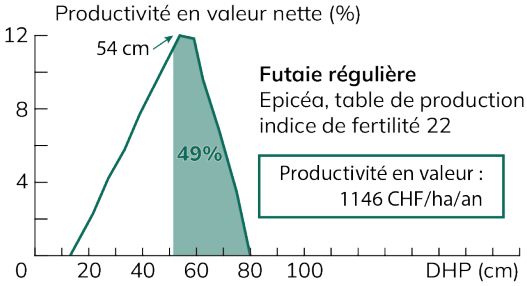
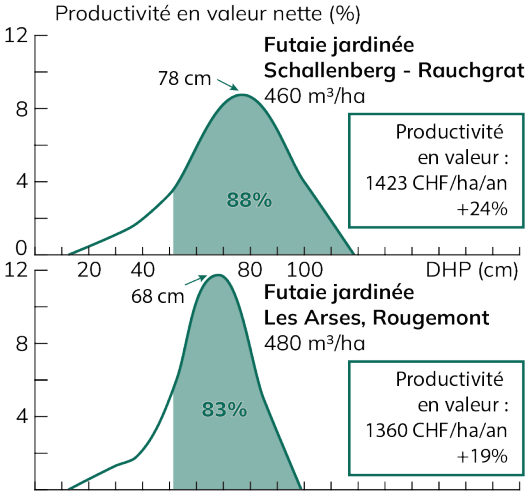
	Futaie régulière	conversion → Futaie irrégulière
Inspiration	Sylvicultures d'inspiration « *productiviste* [11] ».	Sylvicultures d'inspiration « *écosystémique* ».
Rajeunissement	Surfacique.	Non-surfacique (dispersé, ponctuel).
Durée de régénération	Durée de régénération **plus ou moins courte** (de 0 à environ 50 ans).	Pas de durée de régénération à proprement parler car la régénération est **permanente** au sein des unités de gestion.
Relation entre les arbres	*Communauté de compétition*. Forte concurrence au sein des houppiers et des racines.	*Communauté « d'entraide »*. Les anciens constituent la superstructure qui accueille la jeunesse et procure un climat forestier favorable.
Statuts des arbres	 En futaie régulière, même s'ils ont le même âge, les arbres n'ont pas tous la même hauteur ni le même diamètre. La *vitalité* – qui influence la vitesse de croissance – varie d'un individu à l'autre. En outre, la concurrence renforce ces différences de croissance : les arbres qui poussent rapidement dépassent et font de plus en plus d'ombre aux moins rapides. Il en résulte une hiérarchisation, avec émergence de « *positions sociales* », lors d'un processus appelé *autodifférenciation*. Cette communauté de compétition *révèle les plus vigoureux* et leur permet de s'imposer, principe fondamental de l'évolution. Elle contribue aussi, de manière décisive, à la qualification (élagage naturel) des billes de pied.	 En futaie irrégulière, chaque arbre joue sa partition. Dans ce concert, il est possible de distinguer trois « *familles* » (Bastien, 2002) : • La **jeunesse**, que certains appellent *vivier, salle d'attente* ou *avenir de la forêt*. Cet ensemble est constitué d'arbres qui n'attendent qu'une ouverture du couvert pour s'élancer en hauteur. • Les **sujets de l'étage intermédiaire** les plus vigoureux rejoindront rapidement les dominants après leur mise en bonne posture. • Les **sujets de l'étage dominant**, véritable ossature ou charpente de l'édifice, dont les fonctions peuvent être multiples : *producteur, protecteur, éducateur, stabilisateur, diversificateur, semencier, arbre-habitat….*

11) Dans un but didactique, les traits de certaines caractéristiques ont été volontairement forcés. L'inspiration « productiviste » des futaies régulières, par exemple, vaut certes pour les coupes rase et les plantations surfaciques, mais assurément pas pour les coupes progressives fines.

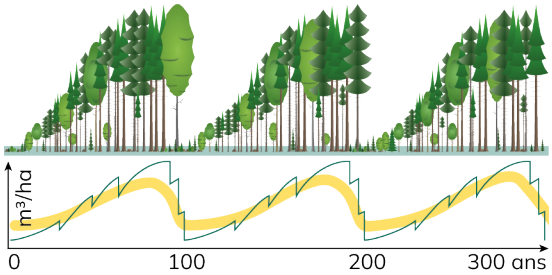
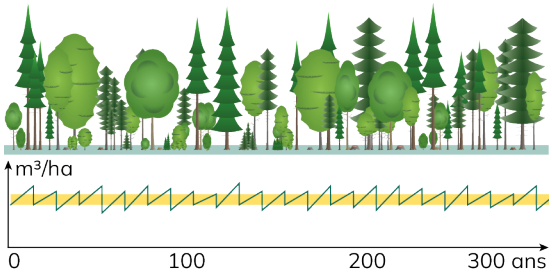
	Futaie régulière	conversion	Futaie irrégulière
Répartition du nombre de tiges par catégories de diamètre, à l'échelle d'un peuplement	 Distribution selon une courbe en cloche (courbe de Gauss). Faible *dispersion des diamètres*.		 Courbe de distribution du nombre de tige décroissante. Grande *dispersion des diamètres*.
Croissance en diamètre	 En futaie régulière, la croissance en diamètre augmente très rapidement en jeunesse pour atteindre assez vite un maximum, puis ralentir ensuite (Schütz, 1997).		 En futaie jardinée (et irrégulière avec espèces d'ombre), l'accroissement est lent en jeunesse, il n'augmente que progressivement, mais reste ensuite longtemps soutenu.
Proportion de gros bois	 Proportion moindre de gros bois.		 Proportion élevée de gros bois. La futaie jardinée présente un tiers de tiges en moins au-dessous de 50 cm et 60% de plus au-delà (Schütz, 1997).
	Compte-tenu du changement climatique, la production de gros bois sera de plus en plus soumise à des contraintes sanitaires. Même si les diamètres d'exploitabilité seront moindres, les structures irrégulières resteront pertinentes pour produire des billes de pied relativement grosses et de qualité.		

	Futaie régulière	conversion	Futaie irrégulière
Longueur et forme des houppiers			
	Houppiers des arbres dominants *contigus*, plus étriqués et plus **courts** que ceux de l'étage supérieur en futaie irrégulière. **Proportion importante de branches mortes** dans les parties inférieures des couronnes (Mitscherlich, 1952, 1963 ; Bastien, 2002) [12]. Espace vertical disponible partiellement occupé par les houppiers.		Les arbres de futaie irrégulière présentent des **houppiers longs, non contigus et bien développés, en ce qui concerne l'étage supérieur** (env. 50% de leur hauteur pour les arbres en croissance libre). Cette bonne forme des houppiers leur confère une stabilité individuelle favorable et la faculté d'une croissance longtemps soutenue (Schütz, 1997). *Occupation durable de l'espace vertical* par les éléments assimilateurs.
Stabilité collective >> individuelle			
	Principalement *stabilité collective*, avec stabilité individuelle des (pré) dominants [12].		*Principalement stabilité individuelle* (avec stabilité collective au sein des collectifs du jardinage par groupe et des cellules de jeunes perches).
	La conversion vise un transfert progressif de la *stabilité collective* vers la *stabilité individuelle*, au fur et à mesure du dégagement des *éléments stabilisateurs*.		

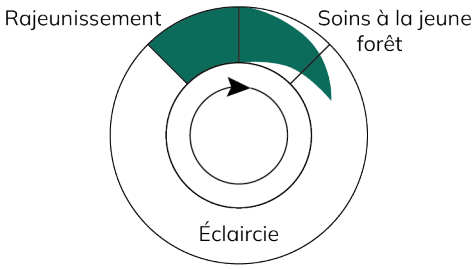
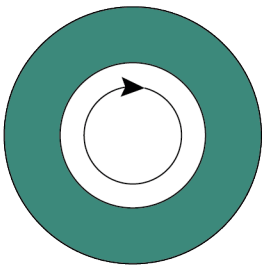
12) De nos jours, avec les concepts modernes orientés arbres de place (stratégie QD, Wilhelm, Rieger 2013 et 2017), cet aspect est à relativiser du fait de la promotion d'arbres de places vigoureux, avec couronne ample.

	Futaie régulière	conversion	Futaie irrégulière
Production totale en volume	La production totale en volume est à peu près la même en futaies régulières et irrégulières, mais elle est répartie différemment entre les catégories de diamètre. La production totale en volume dépend moins de la structure que de la station.		
Répartition des assortiments ***Résineux***	 Répartition de la production totale *en volume* en fonction des catégories de diamètre des arbres exploités. En futaie régulière, il s'agit du modèle selon la table de production de Badoux (1968) tenant compte du peuplement final et de la somme des produits préalables.	 En futaie jardinée, la production totale correspond aux interventions de jardinage dans des futaies en état d'équilibre (Schütz, 1997).
Feuillus	Pour les massifs feuillus, la tendance est la même que pour les résineux. En futaie régulière, 14% des exploitations échoient aux dimensions supérieures à 52 cm de DHP et 41% dans les bois de petite dimension.		À l'exemple de la futaie irrégulière de hêtre de Langula (Thuringe, D), la proportion de gros bois est de 51%, celle des petits bois de 22% (Schütz, 1997 et 2002).
Productivité en valeur ***Résineux***	 Répartition de la productivité en *valeur nette*, en fonction des catégories de diamètre des arbres exploités (Schütz, 1985). ***>> Production « de masse ».*** En raison du changement climatique, la production de l'épicéa en plaine n'est plus d'actualité. Les nouveaux concepts de soins et d'éclaircies orientés clairement sur les arbres de place (stratégie QD), couplés à la nécessité de promouvoir les mélanges font que la production de masse va peu à peu se muer en production de billes de pied de qualité.	 Selon Schütz (1985), la productivité en *valeur nette* des futaies jardinées est de 19% à 24% supérieure à celle des futaies régulières ; sans tenir compte des différences de qualité des bois produits, mais uniquement de leurs dimensions. ***>> Production de gros bois de qualité.***

Caractéristiques distinctives des futaies régulières / irrégulières

	Futaie régulière	conversion	Futaie irrégulière
Feuillus	En raison d'une qualification efficiente et d'une croissance dynamique, les futaies régulières feuillues permettent l'obtention de bois de très bonnes qualités – à condition toutefois d'effectuer des éclaircies d'arbres de place conséquentes.		L'expérience acquise dans les forêts de hêtre de Thuringe (D) montre que les arbres, individualisés trop rapidement, donnent du bois de qualité inférieure à la moyenne, en raison du développement de branches gourmandes. Par contre, le maintien de petits collectifs en phase de qualification, déjà à partir de quelques individus, confère une meilleure qualité aux billes de pied (Schütz, 2002).
Qualification des billes de pied	Par *compression latérale*. Elagage naturel par concurrence et ombrage des voisins.		Par *éducation à la pénombre*, qui fait que les arbres développent en jeunesse des branches fines, s'élaguant naturellement par la suite.
Mécanisation	Les futaies régulières se prêtent à des travaux de récolte entièrement mécanisés (coûts de l'ordre de CHF 35-40.-/m³, en 2022).		En futaie irrégulière, la mécanisation des travaux de récolte des bois est limitée. Les exploitations sont manuelles et semi-mécanisées (coûts de l'ordre de CHF 45-60.-/m³, en 2022).
Volume sur pied et prestations écosystémiques • Production • Protection • Accueil / loisirs / santé • Maintien de la biodiversité • Conservation du paysage • Régulation du régime des eaux • Stockage de carbone • Capacité d'accueil de la faune	 *À-coups* de matériel sur pied et d'obtention des prestations. Localement, le volume sur pied varie fortement entre la création du peuplement (volume minimal) et sa récolte (volume maximal). À plus grande échelle, les volumes s'équilibrent et la durabilité est assurée.		 *Continuité* du matériel sur pied et de l'ensemble des prestations écosystémiques, même sur de petites surfaces. Dans une futaie irrégulière, le volume sur pied ne fluctue que peu au fil du temps, du fait des coupes périodiques, répétées, visant à prélever l'accroissement.
Naturalité	Bien que s'appuyant sur les processus naturels, les forêts exploitées – régulières et irrégulières – se distinguent fondamentalement de l'évolution de la forêt vierge. Dans les forêts exploitées, les récoltes ont lieu à un moment où le bois des grumes est encore sain et commercialisable. Les phases de vieillesse et de délabrement (riche en bois mort), font ici largement défaut. Dans les conditions régnant sur le Plateau suisse, on peut dire, pour simplifier, que la durée de révolution dans la futaie régulière est 3 à 4 fois moindre que « *l'espérance de vie* » de la forêt vierge sur stations comparables (Schütz et al., 2016).		Une futaie irrégulière étagée ne correspond pas à un état naturel stable car la tendance générale des forêts vierges est de se refermer et de se régulariser (accumulation de biomasse), jusqu'à ce que le vieillissement, entraînant le dépérissement et la chute d'arbres, occasionne des trouées successives provoquant une phase temporaire étagée. **Les coupes douces et fréquentes sont bien le « *moteur* » des futaies irrégulières.** Par rapport à l'évolution naturelle de la forêt vierge, les phases pionnière, de vieillesse et de délabrement font également largement défaut en futaie irrégulière [13].

*13) Pour atténuer cette lacune, il est judicieux de mettre en œuvre un réseau cohérent, combinant **arbres-habitats**, **îlots de sénescence** et **réserves forestières**, ainsi que préservation / favorisation des **essences pionnières**. Pour ce qui est de la localisation et du dimensionnement des ouvertures en faveur des pionniers, déléguons en l'initiative ainsi que le dynamisme aux seules forces naturelles.*

	Futaie régulière	conversion	Futaie irrégulière
Décisions sylvicoles fondées sur :	L'agencement des peuplements. ***>> Sylviculture de peuplements.*** De nos jours, les décisions en futaie régulière se fondent de plus en plus sur les arbres individuels (éclaircies d'arbres de place, *stratégie QD*, Wilhelm, Rieger 2013 et 2017).		L'aptitude individuelle de chaque arbre. ***>> Sylviculture d'arbres.*** « *Le soin à l'individu ou au petit groupe est une préoccupation prioritaire et constante de la futaie irrégulière en vue de la meilleure productivité ou fonctionnalité de l'ensemble.* » (de Turckheim, Bruciamacchie, 2005).
Ordre spatial	L'agencement spatial dicte la conduite des opérations, en fonction de critères d'exploitation et de risques. La régénération débute sur les *limites de transport*.		Agencement spatial fortuit. Les décisions sylvicoles ne sont pas dictées par la jeune forêt mais uniquement mises en harmonie avec sa présence.
Mesures sylvicoles	Distinction entre les divers types de traitement (soins aux recrûs, soins aux fourrés, éclaircies d'arbre de place, mise en lumière, récolte). Les interventions de sélection/éclaircie et de régénération sont dissociées.		**Tout en un !** Intervention unique, basée sur les ***principes du jardinage***, qui vise simultanément : la récolte, la sélection, le mélange, l'amélioration de la structure, le rajeunissement… Seuls les *soins à la jeune forêt* (DHP < 20 cm) sont réalisés postérieurement aux coupes. La stratégie en futaie irrégulière est ***l'amélioration continuelle du potentiel existant***, sans a priori sur la structure actuelle ou future. Ainsi, *l'irrégularité* n'est pas une fin en soi, mais la conséquence indirecte des coupes successives, fondées sur les **principes du jardinage**. Il en va de même du *rajeunissement*, qui n'est qu'un effet secondaire et non l'objectif principal des interventions.
Possibilités d'adapter la composition des espèces d'arbres (zone colorée)	 En futaie régulière, la situation clé, offrant le plus fort levier pour influencer le cortège d'espèces, est la phase de rajeunissement. C'est à ce moment, ainsi que lors des éclaircies qui s'en suivent, que se décide la composition en essences du nouveau peuplement (adapté de Allgaier et al., 2017). Cette phase est certes plus courte, elle offre cependant plus de possibilités pour les essences de lumière.		 Les rotations brèves (6-10 ans) en futaie irrégulière de plaine permettent d'y appliquer des mesures continues et douces. Le système est flexible et constamment adaptable. Si l'on souhaite éviter que seules des essences d'ombre se régénèrent, il faut alors prévoir des ouvertures adaptées à l'écologie des espèces héliophiles, en veillant d'être en phase avec leur rythme de fructification (p.ex. apport de lumière sur semis de chêne acquis ; figure 8).

Caractéristiques distinctives des futaies régulières / irrégulières

	Futaie régulière	conversion → Futaie irrégulière
Contrôle de l'équilibre et de la durabilité	Sur la base des *proportions en surface des stades de développement*. Suivi surfacique, par peuplement et tranches d'âge / stades de développement.	Sur la base de la *répartition du nombre des tiges selon les différentes catégories de diamètre*. Sans suivi surfacique. L'équilibre est généralement recherché à l'échelle de l'unité de gestion. Le contrôle se fait *à postériori*, les éventuels réajustements lors de la prochaine coupe.
Métaphores	*Immeuble locatif dans lequel seul le dernier étage est habité.*	*Immeuble locatif avec de la lumière et de la vie à tous les étages.*
	École de recrue avec des individus ayant tous le même âge et le même uniforme.	*Festival multigénérationnel regroupant des personnes éclectiques.*
	Culture de céréales, moissonnées simultanément par champ entier.	*Tomates, cueillies individuellement et de manière échelonnée à pleine maturité.*



Figure 8 : Semis de chêne sessile acquis. Le moment est optimal pour apporter un environnement lumineux suffisant à ces jeunes chênes.

- *Un apport de lumière plus précoce n'aurait profité qu'aux herbacées concurrentes.*
- *Sans création d'un puit de lumière à ce stade, l'ensemble des brins s'étiolera très rapidement.*
- *Ensuite, les jeunes chênes en futaie irrégulière ont plus besoin de lumière « léopardisée » [14] (phases de lumière directe) que tamisée.*

Chanet de Colombier (NE), glandée de l'automne 2020, photo : août 2021.

14) Lumière léopard : Lumière qui résulte de la porosité globale hétérogène de la canopée en futaie irrégulière, caractérisée par une infiltration dans tout le peuplement sous la forme de multiples taches lumineuses.

5 ATOUTS ET DÉFIS DES FUTAIES IRRÉGULIÈRES

5.1 Atouts

Libérées de tout schéma ou de toute norme de gestion, mais soumises à un contrôle des résultats, les futaies irrégulières présentent une large palette d'atouts à même d'apporter une réponse favorable à la plupart des défis actuels auxquels sont confrontées les forêts. Selon Saucy et Blanc (2019 [15], 2022), les futaies irrégulières sont susceptibles d'apporter une solution adéquate et conjointe aux menaces suivantes : changement climatique ; régression de la biodiversité ; difficulté économique des propriétaires ; atteinte aux sols forestiers et péjoration de la qualité des eaux potables. Inspirées par le fonctionnement des écosystèmes forestiers naturels (forêts vierges), les futaies irrégulières donnent, de surcroît, une grande *flexibilité ou marge de manœuvre* à la gestion sylvicole, en permanence, et ce sur l'ensemble de la surface forestière.

Pour renforcer la capacité adaptative des forêts dans le contexte du changement climatique, **cinq principes** sont actuellement préconisés (figure 9). Ces principes d'adaptation font – à juste titre – la part belle aux forêts mélangées, richement structurées, dans le respect des concepts bien connus de la *sylviculture proche de la nature*. Du fait des nombreuses incertitudes, il serait effectivement coûteux et risqué d'opter pour une stratégie contraire, fondée sur des mesures interventionnistes telles que les plantations de grande emprise. La forêt n'a pas à être « *transformée* » de manière surfacique, tant elle dispose de mécanismes d'adaptation inventifs et efficients.

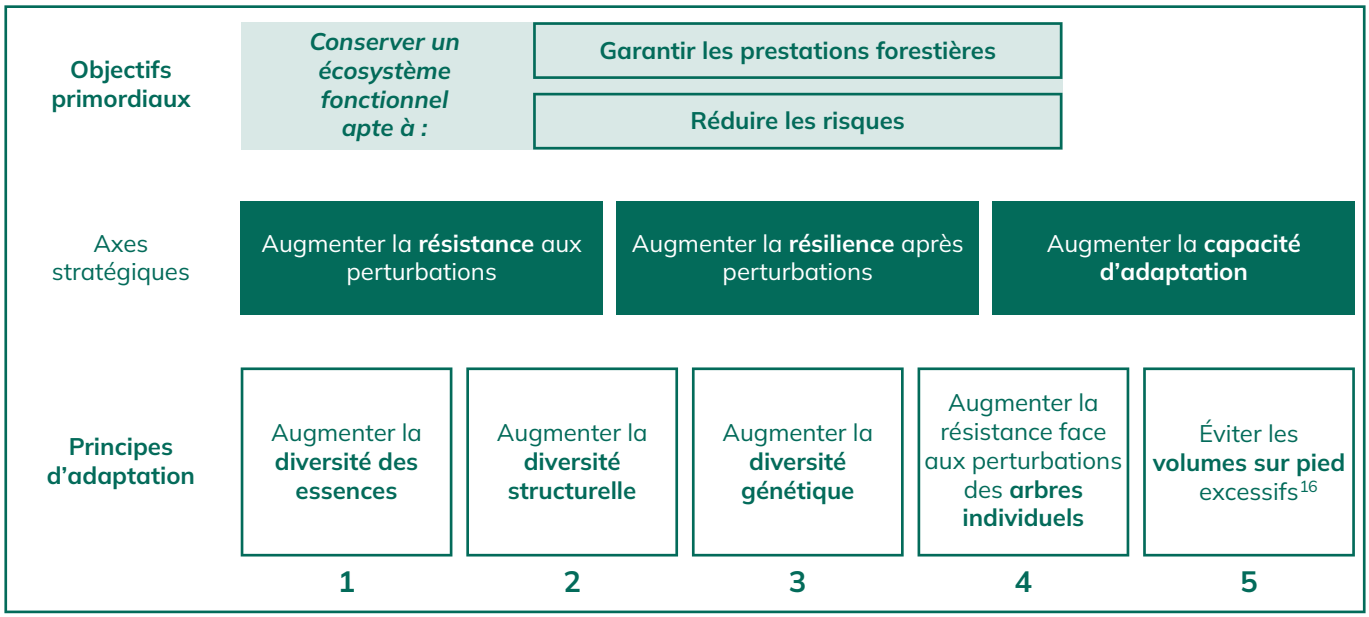


Figure 9 : Principes destinés à renforcer la capacité adaptative des forêts face au changement climatique et à ses effets collatéraux (adapté de Brang et al., 2016).

15) Le travail de Bachelor (HAFL) de M. Saucy et R. Blanc repose sur une étude de littérature rigoureuse, doublée d'une enquête particulièrement soignée auprès des cantons suisses.

16) La formulation originale du 5e principe : « Réduire les révolutions resp. les diamètres cibles » convenant principalement aux futaies régulières, il est plus à propos, en futaie irrégulière, de faire référence au matériel sur pied. Il convient par ailleurs de ne pas réduire systématiquement les révolutions, mais de différencier selon les essences et les produits potentiels. Les billes de pied de qualité de certaines espèces (p.ex. CH, DG, ME, PS) prennent exponentiellement de la valeur avec l'augmentation de leur diamètre.

Atouts et défis des futaies irrégulières

Dans l'énumération ci-dessous, les **atouts** signalés par un fond de couleur sont particulièrement bienvenus pour contrer / atténuer le changement climatique.

- **Stockage du carbone.** La production constante de **gros bois de qualité = bois d'œuvre** accroît la séquestration du carbone, ainsi parqué pour une longue durée. Le rapport du GIEC (2022) conseille la sylviculture à couvert continu, qui permet un stockage de carbone important et durable[17].

- **Mélanges.** La sylviculture irrégulière permet de gérer, sur une même unité de gestion, un mélange d'essences conformes à la station à des termes d'exploitabilité différents. Le mélange des essences contribue pour beaucoup à la création d'une *ambiance lumineuse* opportune au développement du sous-étage. Le fait que des arbres proches d'essences différentes prospectent des horizons de sols variés optimise l'accès à l'eau et aux nutriments, ce qui est propice au maintien d'un système de production en bon état de fonctionnement. Les mélanges sont aussi un gage d'adaptabilité aux risques économiques (« *ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier* »).

- **Stabilité, risques limités.** Les futaies irrégulières sont plus résistantes aux coups de boutoir des tempêtes de vent (Dvořak, 2001 ; Kuhn, 2012). Cela s'explique par le fait que les arbres de futaie irrégulière ont généralement une forme de tige favorable que la croissance libre leur a permis de s'adapter aux oscillations sous l'effet du vent et ainsi de développer un bon enracinement, et que le centre de gravité du houppier est relativement bas (Schütz, 2021). La résistance élevée face aux perturbations – biotiques et abiotiques – s'explique également par le fait que les futaies irrégulières ne présentent ni surface mise à nu, ni front de coupe.

- **Résilience.** Les arbres privilégiés à chaque intervention pour leur vigueur sont à même de fructifier promptement et abondamment, réduisant d'autant la vulnérabilité de l'écosystème vis-à-vis du changement climatique. En futaie irrégulière, l'écosystème forestier conserve l'essentiel de sa réactivité et de sa capacité créatrice.

- **Diversité génétique.** Le *rajeunissement naturel* offre une souplesse d'adaptation remarquable. Combiné au nombre considérable de jeunes brins, il permet à la sélection naturelle d'opérer sur une base d'individus et de génotypes extrêmement large.

- **Présence de gros arbres.** En futaie irrégulière, aucun arbre dont la valeur augmente n'est récolté en faveur de jeunes individus. La présence de gros et très gros bois, avec un houppier ample et peu de branches basses contribue au maintien d'une ambiance lumineuse favorable, assurant de surcroît un rôle stabilisateur, protecteur, reproducteur et éducateur pour la jeunesse.

- **Climat forestier favorable.** L'ombre et l'évapotranspiration induisent des températures moins extrêmes et une humidité plus élevée en futaie irrégulière qu'à découvert. Plus il fait chaud, plus l'effet « *fraîcheur* » de la forêt est important[18]. Les différents étages sont source d'éclairements variés, ce qui favorise la diversité des habitats pour la flore et la faune. Sauf « *accidents* » (perturbations) ou cas très particuliers, la futaie irrégulière ne connaît pas d'arrivée massive de lumière, ni d'explosion de la végétation adventice. Le couvert à la fois permanent et variable du sol protège l'humus, aussi bien contre une décomposition accélérée (en cas d'ouverture excessive) que contre une acidification (en cas de couvert trop fermé).

- **Multifonctionnalité optimisée.** Fourniture constante et conjointe de ressources et de prestations écosystémiques (AFI, 2018).

- **Adaptée aux petites parcelles.** Selon Schütz, 2002, le jardinage par exemple est praticable de façon équilibrée et durable dès 1/3 ha.

- **Économie.** *Pas de fardeau financier* pour le propriétaire résultant d'investissements consentis lors de la création de peuplements. Production continue de produits commercialisables.

- **Soins à la jeune forêt peu coûteux.** Soins ciblés sur un petit nombre de cellules/d'abres, avec très haut degré de rationalisation biologique.

- **Source d'apaisement pour les usagers de la forêt.** L'acceptabilité de la gestion en futaie irrégulière est grande car sa mise en œuvre modifie peu l'existant et les interventions y sont discrètes.

- **Planification simple.** Pas besoin de carte des peuplements, un parcellaire (figure 4) suffit.

---

17) GIEC – Working Group 3, Report Assesment – Chapter 7 (p. 51), avril 2022. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/
18) Zellweger et al. 2019, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/geb.12991

5.2 Défis

Les **défis** surlignés par un fond de couleur sont particulièrement handicapants dans le contexte du changement climatique, car ils restreignent la capacité adaptative de l'écosystème forestier.

- **Équilibre forêt-gibier.** Le rajeunissement naturel décentralisé doit pouvoir prospérer sans protection. A défaut d'une densité de gibier supportable, l'abroutissement sélectif nuit à la diversité des essences, ce qui restreint fortement le potentiel adaptatif des peuplements ainsi que la motivation des gestionnaires.

- **Espèces de lumière pénalisées.** Sans un certain courage pour « *oser les trouées* » [19] seules les essences d'ombre et de demi-ombre tirent leur épingle du jeu du fait de la récolte arbre par arbre. Ce défaut de mélange péjore l'adaptabilité au changement climatique. En futaie irrégulière, des interventions spatialement hétérogènes favorisent les mélanges d'espèces d'arbres (Brüllhardt et al., 2022b).

- **Proportion élevée de résineux.** La forêt jardinée classique présente une proportion très élevée de résineux (sapin, épicéa). Dans le contexte du changement climatique, en hêtraie et hêtraie à sapin, cette prévalence représente un risque à ne pas sous-estimer.

- **Endurance puis persévérance.** La conversion exige du temps (souvent plusieurs décennies) et de la patience, autrement dit de l'endurance. Il est important de ne pas précipiter les choses ce qui aurait pour conséquence de déstabiliser les peuplements ou de créer des massifs à une voir deux strates. Une fois la structure irrégulière en place, la *pérennité de gestion* demeure, l'endurance fait place à la persévérance. Tout retard dans les récoltes périodiques de l'accroissement conduit à une accumulation de biomasse, une altération de la dynamique de renouvellement, ainsi qu'une régularisation de la structure.

- **Qualité des feuillus à embranchement sympodique.** Ces essences (hêtre, chêne p. ex.) ne sont généralement pas de bonne qualité en raison du développement de branches gourmandes. Elles demandent une éducation en petits collectifs pour permettre une bonne qualification de leur bille de pied (Schütz, 2002).

- **Personnel bien formé.** Un personnel maîtrisant *l'écologie des essences*, les *conditions locales de station* et les *techniques sylvicoles* est incontournable pour assurer le succès du traitement en irrégulier. Créativité, patience et *plaisir* à pratiquer la sylviculture font également partie du bagage clé pour gérer l'irrégulier.

- **Desserte suffisante.** Les accès (chemins, pistes, layons, lignes de câble) ainsi que les places de dépôt de bois doivent être suffisants en nombre mais surtout bien pensés et entretenus. Ils sont le meilleur garant d'une exploitation de qualité avec un impact minimal sur les peuplements et les sols.

- **Récolte soigneuse des bois.** L'exploitation en futaie irrégulière est souvent plus délicate qu'en futaie régulière (respect du sol et du peuplement restant, notamment des perches et jeunes *prétendants à l'étage supérieur*), ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation. En dépit de cette récolte des bois plus onéreuse, le modèle de production de la futaie irrégulière est globalement plus économique que celui de la futaie régulière – du fait principalement des moindres investissements et des recettes résultant de la vente des bois de qualité (Mohr et Schori, 1999 ; Knoke, 1997).

- **Assortiments panachés.** Les coupes fréquentes en futaies irrégulières livrent de modestes volumes de bois, composé d'assortiments divers. Leur commercialisation requière souvent une *vente groupée de bois* ou une collaboration entre propriétaires afin d'obtenir un volume commercialisable suffisant. Considérée sous l'angle du risque économique, la *diversité de la production* peut toutefois s'avérer plus salutaire qu'handicapante, en évitant d'être tributaire d'un seul client.

19) En futaie irrégulière équilibrée, les trouées sont subordonnées à la gestion de la qualité. En présence d'arbres adultes vigoureux et de valeur, il ne faut pas se laisser berner par les semis ! Les trouées ne se justifient qu'en présence de semenciers d'espèces héliophiles et au « bon moment ». Pour les chênes, la fenêtre temporelle optimale d'un apport de lumière se trouve être après glandée, sur plantules acquises, âgées de 1 à 2 ans (figure 8). Pour les pins et les mélèzes, le bon moment coïncide avec l'automne-hiver qui suit une année à graines. Les années à graines pour le pin sylvestre se manifestent tous les 2-3 ans, parfois annuellement ; pour le mélèze d'Europe : tous les 3-5 ans sur le Plateau, 7-10 ans en montagne (EPFZ, 2007).

6 CONCLUSION

Toutes les formes de *sylvicultures irrégulières* reconnaissent à la forêt son statut **d'organisme vivant**, la considérant de manière holistique, dans la droite ligne de l'idée exprimée il y a 120 ans par Henry Biolley : « *La forêt est un organisme vivant, et vivant à la manière de la famille et de la société humaine ; c'est une association d'organismes unis par les lois et les besoins d'une solidarité très réelle.* » H. Biolley, 1901. La forêt irrégulière est bel et bien comme une société où les plus âgés protègent et éduquent les plus jeunes, une communauté vivante intergénérationnelle.

Les différents modes de traitement des futaies irrégulières sont d'une grande souplesse. Ils permettent d'accompagner la formidable créativité de l'écosystème forestier générant, avec efficience, de très hauts degrés de multifonctionnalité. Ils sont ainsi susceptibles de concilier harmonieusement les exigences de la gestion durable, les attentes de la société et les perspectives économiques des propriétaires. Convertir en futaie irrégulière signifie passer d'une inspiration « *productiviste* » à une vision « *écosystémique* » ; passer d'un milieu simplifié à un système complexe ; savoir se mettre en retrait pour laisser le « *lead* » à la nature et n'intervenir que pour accompagner ses processus.

Le sylviculteur qui intervient dans une forêt irrégulière ou en conversion gagne à le faire avec beaucoup d'humilité. Accompagner ou restaurer un écosystème si complexe, si longévif, est à la fois privilège et responsabilité ! Succès et plaisir seront au rendez-vous pour qui cherchera à comprendre l'intérêt de chaque arbre, la partition jouée par chacun d'eux.

« *Un écosystème est une symphonie du vivant dans laquelle chaque espèce joue sa partition. À l'homme de deviner la sienne pour élever la musique du monde sans dissonance.* »

Bernard Boisson, 2008



LITTÉRATURE

Allgaier Leuch B., Streit K., Brang, P. (2017) Naturnaher Waldbau im Klimawandel. Merkblatt für die Praxis, 59.1. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 8 p.

Ammann P. (2012) Concepts de soins à la jeune forêt avec rationalisation biologique. La Forêt 65, 7/8: 17-19. https://www.waldbau-sylviculture.ch

Association Futaie Irrégulière (2018) Le traitement des futaies irrégulières. Valoriser les fonctions multiples de la forêt. AFI, 143 p.

Bastien Y. (2002) Futaie jardinée. ENGREF, Nancy, 29 p.

Biolley H. (1897) L'aménagement des forêts d'après la méthode du contrôle, Texte manuscrit, 31 p. https://www.pro-silva-helvetica.ch

Biolley H. (1901) Le jardinage cultural, dans Œuvre écrite. Supplément aux organes de la société forestière suisse N° 66, 1980, 48 p.

Blanc R., Saucy M. (2022) Challenges forestiers – réponses sylvicoles. Schweiz Z Forstwes 173, 5: 222–229. doi: 10.3188/szf.2022.0222

Boisson B. (2008) La Forêt primordiale. Edition Apogee, 194 p.

Borel W. (1929) Guide pour l'application du contrôle aux futaies jardinées. Besançon, Imprimerie Jacques et Demontrond, 104 p.

Brändli U.-B., Abegg M., Allgaier Leuch B. (2020) Inventaire forestier national suisse. Résultats du quatrième inventaire 2009-2017. Birmensdorf, WSL ; Berne, Office fédéral de l'environnement. 341 p. https://www.dora.lib4ri.ch

Brang P., Küchli C., Schwitter R., Bugmann H. & Ammann P. (2016) Waldbauliche Strategien im Klimawandel. In A. R. Pluess, S. Augustin & P., Brang (Hrsg.) Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien (Forum für Wissen, 1. Aufl., S. 341–364). Bern: Haupt Verlag.

Brüllhardt M., Rotach P., Bugmann H. (2022a) Sustainable regeneration in uneven-aged mixed deciduous forests managed by selection silviculture: the role of demographic structure. Forestry 95, 2: 201–214. doi: 10.1093/forestry/cpab041

Brüllhardt M., Rotach P., Bugmann H. (2022b) Lichtverfügbarkeit, Baumwachstum und Nachhaltigkeit im Dauerwald auf Buchenstandorten. Schweiz Z Forstwes 173, 6: 270–279. doi: 10.3188/szf.2022.0270

Canton de Neuchâtel (2016) Principes sylviculturaux, 41 p. www.ne.ch

Codoc (2020) Manuel des connaissances professionnelles Forestières-bûcheronne/Forestier-bûcheron. Chapitre 6, Codoc/OFEV, 58 p.

de Turckheim B., Bruciamacchie M. (2005) La futaie irrégulière. Théorie et pratique de la sylviculture irrégulière, continue et proche de la nature. Edisud (Aix en Provence), 286 p.

Doutaz J. (2015) Support au module D10 (5) Forêts irrégulières du Centre forestier de formation (CEFOR) de Lyss, filière « forestière ES », 59 p.

Dvořak L., Bachmann P., Mandallaz D. (2001) Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen. Schweiz Z Forstwes 152: 445-452. doi: 10.3188/szf.2001.0445

Duc P. (2002) Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neuenburger Jura). Beih Schweiz Z Forstwes 91. 243 p. doi: 10.3929/ethz-a-004503520

ETHZ (2007) Mitteleuropäische Waldbaumarten. Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz. Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz & Dendrologie ETH Zürich, 247 p., ethz.ch

Glanzmann L., Schwitter R., Zürcher S. (2019) Praxishilfe für die Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, www.gebirgswald.ch

Gurnaud A. (1884) La sylviculture française. Librairie Agricole de la Maison Rustique, Paris & Besançon. 91 p.

Hasenauer H. (2016) Die Bedeutung von Dauerversuchsanlagen im Waldbau. BFW Kolloquium: Dauerversuche – wertvolles Erbe oder schwere Last? bfw.ac.at

Hatt S. (2019) Checkkarten Dauerwald. ProSilvaSchweiz, 36 p.

Junod P. (2020) Effiziente Pflege von Eichenjungwald, 12 p. Merkblatt 08 proQuercus. www.proquercus.org

Kaufmann G., Kurt E., Netzer V., Wasser B., Burger T. (2015) Die natürliche Vielfalt der Wälder im Kanton Solothurn. Amt für Wald, Jagd und Fischerei, Kanton Solothurn, 108 p. www.so.ch

Knoke T. (1997) Ökonomische Aspekte der Holzproduktion in ungleichaltrigen Wäldern: einführende Untersuchungen zur Forstbetriebsplanung im Kreuzberger Gemeindewald. Forstw. Cbl. 116, S. 178-196. mediatum.ub.tum.de

Kuhn T. (2012) Bestandesstruktur und Sturmanfälligkeit in den Neuenburger Wäldern. Masterarbeit ETH.

Leibundgut H. (1949) Grundzüge der Schweizerischen Waldbaulehre. Forstwiss. Cbl. 61, (5): 257-291.

Magaud P. et al. (2020) Débardage par câble aérien, GUIDE TECHNIQUE, TOME 1. Projet Interreg FORMICABLE. https://www.formation-forestiere.ch/

Mitscherlich G. (1952) Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. Schriftenr. Bad. Forst. Versuchsanst. Freiburg i. Br., vol. 8, pp. 3-42.

Mitscherlich G. (1963) Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. Allg. Forst.- u. J.-Ztg. 134: 1-12.

Mohr C., Schori C. (1999) Femelschlag oder Plenterung - Ein Vergleich aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Schweiz Z Forstwes 150: 49-55. doi: 10.3188/szf.1999.0049

Möller A. (1922) Der Dauerwaldgedanke, sein Sinn und seine Bedeutung. Berlin: Springer, 84 p.

Péter-Contesse J. (1953) Sur les peuplements non en station. Journal forestier suisse, année 1953, N° 7/8. 13 p.

Roch M. (2020) Le Derbaly, une forêt qui me tient à coeur. SFN Fribourg, 51 p.

Saucy M., Blanc R. (2019) Forêt suisse : problématiques et recommandations sylvicoles. État des lieux des principaux défis forestiers et approches sylvicoles pour y faire face. Travail de Bachelor, HAFL, 189 p.

Schall, P, Gossner, MM, Heinrichs, S, et al. (2018) The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. J Appl Ecol 55: 267– 278. doi: 10.1111/1365-2664.12950

Schaller G. (2015) Portrait de la forêt cantonale du Derbaly / FR. https://www.pro-silva-helvetica.ch/

Schütz J.-Ph. (1985) La production de bois de qualité dans la forêt jardinée. Ann. Gembloux, vol. 91, pp. 147-161.

Schütz J.-Ph. (1997) Sylviculture 2 : La gestion des forêts irrégulières et mélangées, Presses polytechniques et universitaires romandes, 178 p.

Schütz J.-Ph. (1999) Praktische Bedeutung der Überführung für die Umsetzung der Plenteridee. Forst u. Holz. 54: 104-108.

Schütz J.-Ph. (2001) Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests. For. Ecol. Manag. 151,1–3:87-94. doi: 10.1016/S0378-1127(00)00699-X

Schütz J.-Ph. (2002a) Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen. Skript zu Vorlesung Waldbau II und Waldbau IV, 132 p.

Schütz J.-Ph. (2002b) Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. Forestry 75, 4: 329–337. doi: 10.1093/forestry/75.4.329

Schütz J.-Ph. (2006) Le Canton de Neuchâtel et le jardinage moderne. Schweiz Z Forstwes 157: 250-253. doi: 10.3188/szf.2006.0250

Schütz J.-Ph. (2009) La forêt pérenne : aimable rêverie sylvicole ou concept d'avenir? Schweiz Z Forstwes 160 (6): 132–136. doi: 10.3188/szf.2009.0132

Schütz J.-Ph. (2021) La futaie jardinée, héritage pour le futur. Nouvelle revue neuchâteloise 149, 9 p.

Schütz, Saniga, Diaci, Vrska (2016) Comparing close-to-nature silviculture with processes in pristine forests: Lessons from central Europe. Ann. For. Sci. 73 (4): 911-921. doi: 10.1007/s13595-016-0579-9

Wilhelm G. J., Rieger H. (2013) Naturnahe Waldwirtschaft mit der QD-Strategie. Stuttgart: Ulmer. 207 p.

Wilhelm G. J., Rieger H. (2017) Stratégie QD. Une gestion de la forêt basée sur la qualité et les cycles naturels. CNPF, Forêt.Nature, Paris, Namur 193 p.

Zingg A. (2013) 100 ans de forêt jardinée: Premiers fruits des essais à long terme. La Forêt, 66(5), 19-21. https://www.dora.lib4ri.ch/

ANNEXES

1 Terminologie

Régime forestier

Façons d'exploiter les ressources forestières par l'homme. En Suisse, nous distinguons les régimes forestiers suivants :

- Régime de la futaie 86.2% [20] régénération principalement par brins de semence.
- Régime du taillis 3.9% régénération principalement par rejets de souches et drageons.
- Régime du taillis sous futaie 0.4% taillis avec réserve de baliveaux, issus de brins de semence.
- Régimes mixtes 9.5% pâturage boisé, selves ; les produits ne sont pas seulement forestiers.

Le régime de la futaie est – de loin – le plus représenté dans notre pays. **Selon l'agencement spatial et la durée avec laquelle les peuplements sont rajeunis, on distingue les futaies régulière et irrégulière** (tableau 4, col. 3).

Tableau 4 : Classification des régimes forestiers, modes de traitement et structures obtenues.

Régime forestier		Type de structure	Mode de traitement	Structure résultante [21]
	Futaie 7.3%	**Futaie irrégulière** (rajeunissement plus ou moins ponctuel, sur toute la surface de l'unité de gestion)	Jardinage Jardinage par groupes	Forêt jardinée pied par pied Forêt jardinée par groupes
	13.0%		Coupe jardinatoire Coupe en mosaïque	Forêt pérenne Forêt irrégulière en mosaïque
		Conversion	**Éclaircie jardinatoire**	
	65.9%	**Futaie régulière** (rajeunissement sur-facique, concentré sur une partie de la forêt)	Coupe progressive fine [22] Coupe progressive Coupe de lisière Coupe d'abri Coupe « *rase* »	Forêt de type régulier, traitée en coupe progressive
	Taillis 3.9%			
	Taillis sous futaie 0.4%			
	Pâturage boisé 9.5%			

20) Pourcent de la surface forestière suisse (forêt accessible sans la forêt buissonnante), selon IFN4 (Brändli et al., 2020).

21) En fait, ces structures forment dans la réalité de terrain un dégradé continu – un continuum – au « grain » plus ou moins fin. Elles évoluent perpétuellement en fonction du grossissement annuel des arbres et des passages à la futaie. Il s'agit de structures en équilibre dynamique qui échappent à toute définition stricte.

22) Coupe progressive avec libre conduite des coupes ; coupe progressive helvétique (Leibundgut, 1949). La libre conduite des coupes permet l'intégration, à petite échelle, de coupes de lisière et de coupes d'abri.

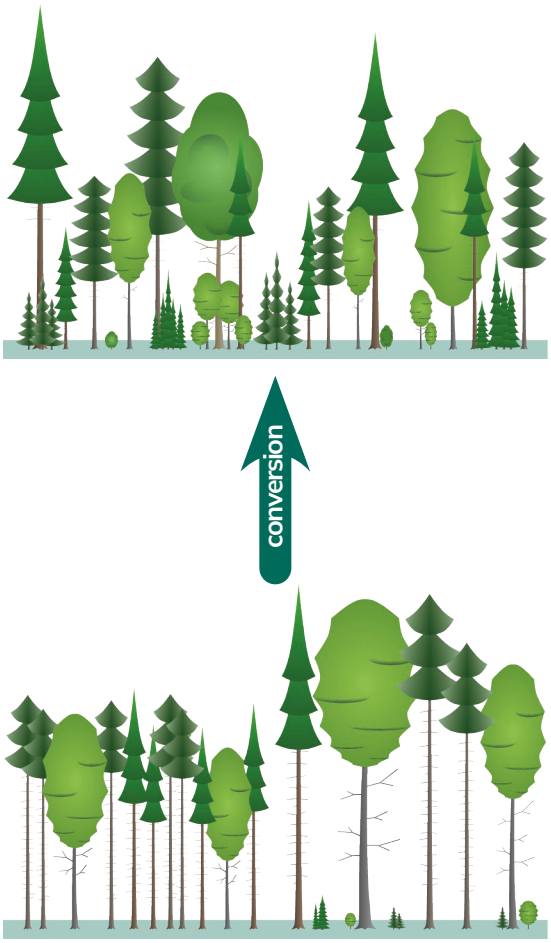
Futaie irrégulière (ou étagée)

Désigne un massif dont les arbres appartiennent à *différents stades de développement* et dont *les houppiers sont distribués dans tout l'espace vertical*. L'irrégularité se conçoit en essences, en dimensions ainsi qu'au niveau spatial. La futaie irrégulière n'est pas un *unicum*, elle se décline en plusieurs variantes : *la forêt jardinée pied par pied, la forêt jardinée par groupes, la forêt pérenne* et *la forêt irrégulière en mosaïque* (figure 12 et tableau 4).

Synonymes : *futaie composée ; futaie d'âge mêlé.*

La majorité des futaies irrégulières ne doivent leur structure qu'aux interventions ciblées et répétées de l'homme. Sans intervention et sur stations plus ou moins homogènes, elles évolueraient vers des futaies régulières. Ainsi, les structures étagées permanentes sont le fruit d'une alliance de nature et de culture. En montagne, les structures irrégulières peuvent être naturelles et durables en raison de la mosaïque stationnelle.

En futaie irrégulière, les notions d'âge, de révolution et de diamètre cible ne sont pas pertinentes. L'âge physiologique d'un arbre ne correspond souvent pas à l'âge absolu en raison de périodes de compression parfois longues. Les gros arbres sont récoltés lorsqu'ils sont en « *perte de vitesse* » et non à cause de leur diamètre.



Futaie régulière (ou uniforme)

Désigne un peuplement dont les arbres dominants ont approximativement tous le même diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la même hauteur et le même âge. Leurs houppiers forment une *strate* plus ou moins continue. Un peuplement régulier apparaît après des coupes étendues (liquidation rapide du vieux peuplement), après perturbations surfaciques ainsi qu'après l'abandon de coupe dans des futaies anciennement irrégulières. Synonymes : *futaie simple ; futaie par classes d'âge ; futaie d'âge gradué.*

En futaie régulière, on distingue parfois deux strates : une strate supérieure (peuplement principal) et un sous-bois facultatif (peuplement auxiliaire). Nous parlons dans ce cas de peuplements « *stratifiés* » ; à ne pas confondre avec les peuplements « *étagés* » de la futaie irrégulière.

Conversion

Traitement transitoire qui consiste à passer, graduellement, **d'un régime forestier à un autre**, notamment du régime du taillis simple ou du taillis-sous-futaie au régime de la futaie.

Le terme conversion désigne également le passage volontaire, dans un massif donné, **d'un type de structure à un autre** (tableau 4). Cette fiche technique, par exemple, aborde uniquement la *conversion de futaies régulières en futaies irrégulières* (sans modification du régime forestier). Les décisions de conversion, prises dans le cadre de la planification forestière, sont stratégiques et de longue portée temporelle.

Il convient de distinguer la **conversion** [*Überführung*] de la **transformation** [23] [*Umwandlung*]. Cette dernière vise à substituer, plus ou moins brusquement, l'essence principale d'un massif par une ou plusieurs essences n'existant pas dans le massif initial.

23) Dictionnaire/glossaire IFN https://www.lfi.ch/fr/glossaire?frmWordList=244_Gloss

Élément stabilisateur

Arbre – ou petits collectifs à l'étage subalpin (haut-montagnard) – présentant une *stabilité individuelle* élevée. « *Arbre apte à fournir une longue carrière* » comme l'a joliment imagé H. Biolley, 1897. Synonyme : *arbre d'ossature*.

Élément structurant

Élément qui contribue à rendre le couvert et le parterre forestiers hétérogènes et complexes. Par exemple : souche levée, arbre rescapé d'une perturbation, bois mort sur pied et au sol, essence pionnière, espèce minoritaire, arbre rustre, réserve sur coupe, arbre-habitat, buisson, roncier ponctuel…

Arbre intermédiaire

À ne pas confondre avec l'étage intermédiaire d'un peuplement. Arbre qui entrave à la fois plus grand et plus petit que lui et qui ne peut se développer à l'aise lui-même. Arbre dont les avantages de l'élimination pour l'entourage excèdent l'avantage de croissance. Cette notion a été proposée par Adolphe Gurnaud (1884) pour caractériser les arbres peu vivaces ou de qualité insuffisante qu'il convient de prélever lors de *l'éclaircie jardinatoire*, pour permettre le développement et l'ascension d'éléments meilleurs (figure 10). Dans une lettre du 9.2.1927, accompagnée d'un croquis manuscrit (figure 11), Henry Biolley explique au professeur Walter Schädelin (EPFZ) l'importance de l'arbre intermédiaire dans la pratique de *l'éclaircie jardinatoire*.

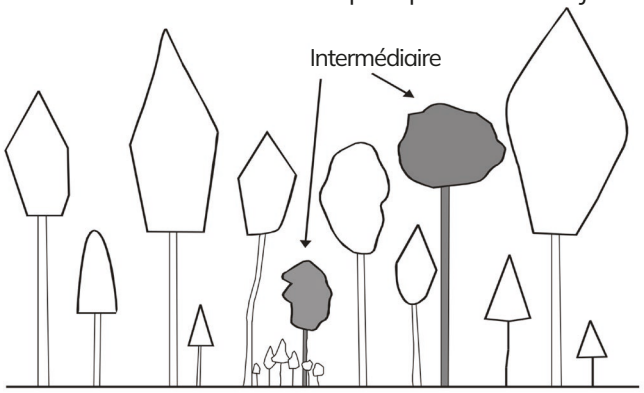


Figure 10 : Arbre intermédiaire selon Gurnaud (1884), illustration tirée de Schütz, 2002.

« *…l'arbre intermédiaire gène l'arbre dominant et l'arbre qui lui est immédiatement inférieur, il souffre lui-même de cette double concurrence, et il est évident que, par son enlèvement, la végétation du massif prendra un nouvel essor.* », Gurnaud, 1884.



Figure 11 : Arbre intermédiaire selon Biolley (1927), illustration tirée de Schütz, 1999, 2008.

« *… la notion d'arbre intermédiaire est relative… Si p.ex.* ***A*** *étant de qualité, est encore capable de croissance, ce sera* ***D*** *l'intermédiaire à supprimer pour dégager* ***E*** *et* ***F****; mais si* ***A*** *porte les signes de maturité, alors c'est* ***A*** *qu'on récolte et* ***D****, s'il est qualifié, passe de la situation d'intermédiaire à la situation de dominant…* », Biolley, 1927.

Prétendant [Nachrücker]

Perche vigoureuse et de qualité de l'étage inférieur (DHP 15-30 cm), susceptible d'accéder à l'étage intermédiaire puis, plus tard, au niveau supérieur de la canopée.

Martelage

Opération lors de laquelle les arbres destinés à être coupés sont désignés. Le martelage est le geste central de toute sylviculture écosystémique-intégrative : « *Le martelage est une opération et un temps privilégié pour faire circuler les connaissances et les expériences. C'est la dernière opération où des économies de coûts doivent être recherchées. Une rationalisation sévère passe par un martelage extrêmement soigneux.* » (de Turckheim, Brucia-macchie, 2005).

Unité de gestion

Surface élémentaire sur laquelle tout s'appuie en futaie irrégulière (martelages selon les **principes du jardinage**, prélèvements ligneux périodiques, inventaires, calcul d'accroissement…). Synonymes : *division ; unité d'exploitation*.

Principes du jardinage

L'irrégularité des structures n'est pas un objectif en soi, mais une conséquence – visible avec le temps – de traitements qui appliquent avec détermination les *principes du jardinage* [24], soit :

- *Traitement individuel de chaque arbre*, ou de chaque groupe d'arbres, en privilégiant les **vigoureux, stables**.
- Décisions conformes aux caractéristiques de la station. *Utilisation de toutes les forces gratuites de la nature* (rajeunissement spontané, différenciation, qualification, climat forestier, ombrage proche du sol…).
- *Interventions périodiquement répétées* qui regroupent en un seul et même passage les aspects de récolte, sélection, éducation, mélange, sanitaire, structure et rajeunissement.
- **Martelages soigneux**, différenciés, suivis de **coupes réalisées par un personnel bien formé**, respectueux de l'écosystème.

S'il est vrai que le jardinage classique se limite aux forêts à dominance de résineux (Schütz, 2002), les *principes du jardinage* quant à eux sont *universels*.

Mode de traitement

Manière d'intervenir en forêt (façon de conduire les *martelages* et les soins sylviculturaux) à l'échelle de *l'unité de gestion*. Le mode de traitement est fonction de la structure souhaitée à long terme (tableau 4). Synonymes : *procédé de régénération ; forme de régénération ; mode d'intervention*.

En *futaie régulière*, il s'agit du mode d'intervention *pour engager la régénération*. On distingue la régénération par *coupe progressive* (plus ou moins fine et schématique), par *coupe de lisière*, par *coupe d'abri*, par *coupe « rase »* et les formes combinées.

Jardinage

Opération sylvicole en futaie jardinée, réunissant en une seule et même intervention les aspects de récolte ; sélection ; éducation ; promotion du mélange ; sanitaire ; perfectionnement de la structure ; régénération.

Forêt jardinée par groupes

Forme de traitement lors duquel, à la différence du jardinage classique, on prélève des groupes d'arbres ou des collectifs pouvant atteindre une surface de 10 ares. Synonyme : *forêt jardinée de montagne*.

Coupe jardinatoire

Coupe *légère et fréquente* – « *mässig aber regelmässig* » en allemand – qui se fonde sur l'analyse de chaque arbre, et qui combine la récolte de gros bois et la promotion des *prétendants*. Selon les essences, les prélèvements se font à l'échelle de la tige individuelle ou du petit groupe d'arbres. Il s'agit de l'intervention sylvicole principale en futaie irrégulière riche en feuillus, fondée sur les **principes du jardinage**.

Coupe en mosaïque

Traitement intercalé entre le jardinage et la coupe progressive. Il n'y a pas de révolution fixée, ni de période de régénération. La régénération commence avec la création de centres de rajeunissement. Ceux-ci sont déterminés situativement, d'après les conditions locales et les besoins des essences, toujours sur de petites surfaces (< 50 ares).

24) Fondation Pro Silva Helvetica, définition du jardinage. http://www.pro-silva-helvetica.ch/jardi.php

Éclaircie jardinatoire

Mode de traitement à caractère temporaire appliqué à la **conversion** de peuplements réguliers, mettant l'accent sur la différenciation de la structure (uniforme >> étagée). L'éclaircie jardinatoire se pratique dans les forêts en cours de conversion, c'est-à-dire n'ayant pas encore atteint l'état d'équilibre. Synonymes : *coupe de conversion ; éclaircie de différenciation*.

Rotation

Durée séparant deux coupes successives dans la même unité de gestion. Synonymes : *périodicité ; fréquence des interventions*. Le plan de gestion indique l'année de passage en coupe prévue pour chaque division (figure 4).

Forêt jardinée pied par pied

Sur la même surface cohabitent, en permanence, des arbres de toutes dimensions. La régénération est continue dans l'espace et le temps. L'aspect général de la forêt reste immuable, même à petite échelle.

Forêt pérenne

En *forêt pérenne* (*sensu stricto*), une couverture permanente du sol est garantie par des arbres de toutes les catégories de diamètres. Il ne s'y fait pas de coupe surfacique (seuls les chablis provoquent parfois de larges ouvertures). Le rajeunissement y est naturel, avec des essences (d'ombre) adaptées à la station. Les arbres sont récoltés individuellement ou par petits groupes. Cela conduit à une structure irrégulière.

Fréquemment, *forêt pérenne* (*sensu lato*) est utilisé pour désigner l'ensemble des modes de traitement à couvert permanent (Continuous cover forestry). Möller (1922), considère par exemple sous cet angle élargi la forêt jardinée comme une forme idéale de forêt pérenne et Schütz (2009) estime, qu'au sens large, *forêt pérenne* mériterait d'être retenu comme *terme générique de toutes les formes de sylviculture de vécu harmonieux avec la nature*. Synonymes : *forêt permanente ; forêt à couvert continu*.

Forêt irrégulière en mosaïque

Dans la forêt irrégulière en mosaïque, sur une même unité de gestion, il est possible de reconnaître des peuplements de dimension modeste (< 5'000 m²), disposés généralement de façon non contiguë. Au sein de ces entités se succèdent, au cours d'une vie d'arbre, un rajeunissement, un fourré, un perchis puis une futaie. L'aspect général de la forêt est dynamique dans le temps. Il n'y a pas d'élargissement progressif systématique des plages de jeune forêt (Canton de Neuchâtel, 2016).

Avec la présence aléatoirement dispersée de petits peuplements, la structure en mosaïque se situe à la jointure entre futaie régulière et irrégulière. L'ambiance forestière qui s'en dégage peut s'avérer proche de celle qui résulte d'une gestion en coupe progressive fine (figures 12 et 13).

Forêt de type régulier

Dans la forêt gérée par *coupe progressive*, l'*ordre spatial* dicte la conduite des opérations. Les peuplements à fermeture horizontale sont en général juxtaposés les uns aux autres selon leur âge. La régénération débute sur *les limites de transport*. Les décisions sylvicoles se prennent davantage à l'échelle du peuplement ou de l'unité de rajeunissement qu'à celle de l'arbre-individu. De nos jours, l'arbre individuel (arbre de place) joue un rôle de plus en plus important. L'aspect général de la forêt est particulièrement dynamique dans le temps. Synonymes : *forêt avec alternance claire des générations ; forêt traitée en coupe progressive*.

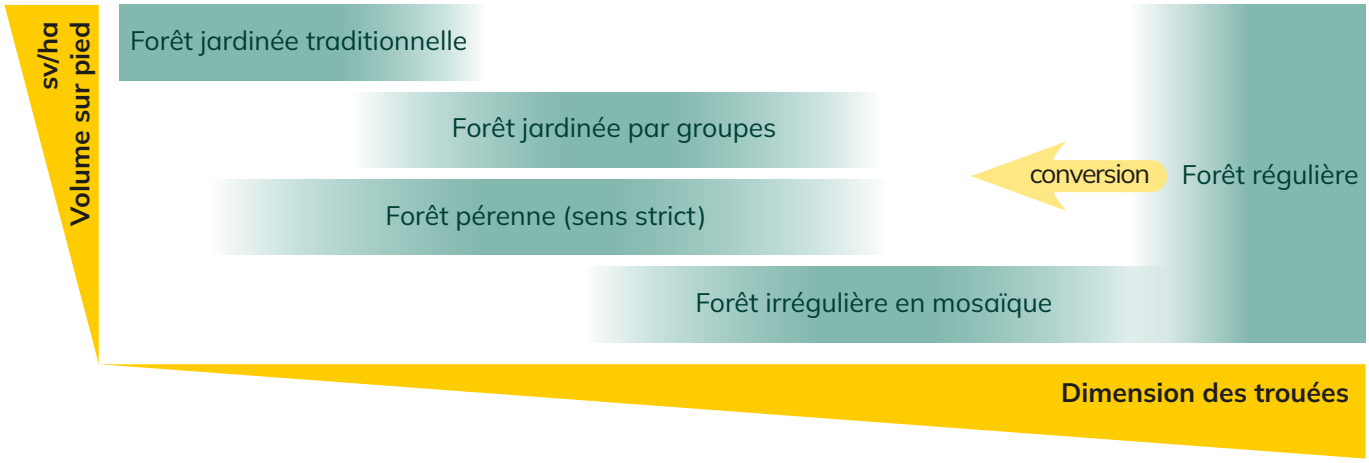


Figure 12 : Principaux types de futaies irrégulières (forêts pérennes, sens large), en fonction de la dimension des trouées et des volumes sur pied. En forêt jardinée par groupes (= forêt jardinée de montagne), les peuplements dominés par les résineux, constitués par place de petits collectifs denses, comportent généralement une surface terrière cible plus élevée qu'en forêt pérenne (sens strict) souvent dominée par les feuillus à larges couronnes.



Figure 13 : Forêt irrégulière en mosaïque, avec chênes, hêtres, alisier torminal, épicéas et sapins Bevaix (NE).

2 Exemple d'itinéraire A2 : marteloscope de Cortaillod, division 4

Peuplement en conversion vers la futaie irrégulière en mosaïque, depuis environ 70 ans.

Données de la station

Altitude moyenne	545 mètres (520 - 570 m)
Exposition, pente	Sud-Est ; pente : 15%
Précipitations annuelles	De l'ordre de 980 mm
Température moy. annuelle	Environ 10.2°C
Période de végétation	Environ 210 jours
Type de station actuelle	**Chênaie à charme, Hêtraie à Aspérule, Hêtraie à luzules** (35 + 7a + 1)
Station future supposée [25]	**Chênaie à charme, Hêtraie à Aspérule, Hêtraie à luzules** (35c + 7ac + 1c)
Sol	Sol brun acide sur moraine alpine

« On mettra surtout en bonne situation les arbres aptes à fournir une longue carrière. »

Henry Biolley, 1897

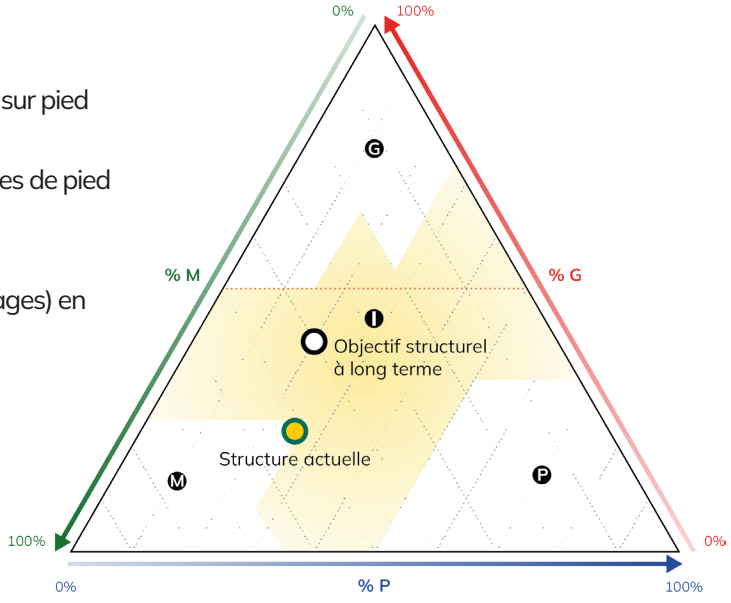


Caractéristiques du peuplement

Origine	Naturelle, partie Est + plantations, partie Ouest 1960-61 ER, ME, PS
Mélange (16 espèces)	**ME** (15%), **EP** (12%), **SA** (8%), **PS** (6%), **CH** (21%), **HE** (15%), **ER** (6%), **TI** (6%)
Volume sur pied (mai 2016)	**290 sv/ha** (seuil d'inventaire : 17.5 cm)
Bois mort sur pied en plus	37 sv/ha
Surface terrière	**25.9 m²/ha**
Proportion Résineux/Feuillus	R : 41% vol. / F : 59% vol.
Répartition P/M/G	**P : 26%**, **M : 50%**, **G : 24%**
Accroissement (1991-2010)	**9.1 sv/ha/an** (2016-2021 : **6.7 sv/ha/an !**)
Remarque	Zone de protection des eaux (S1) + S2

Objectifs sylvicoles

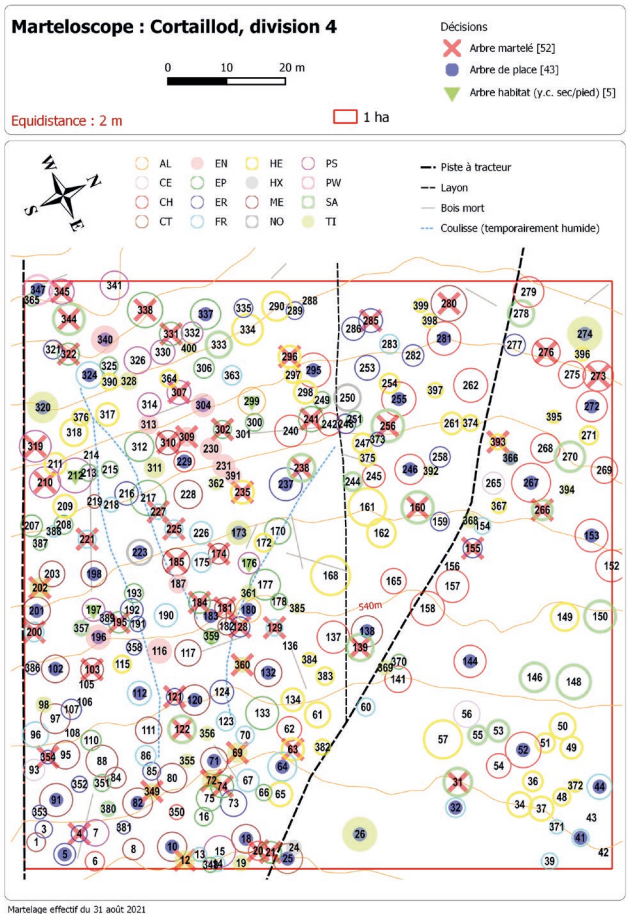
- Prélever l'accroissement, afin de maintenir un volume sur pied d'environ 300 sv/ha.
- Assurer un bon avenir à la production efficiente de billes de pied de qualité.
- Favoriser la (bio)diversité.
- Maintenir un couvert permanent (protection des captages) en poursuivant la conversion.



25) Selon Tree App (www.tree-app.ch)

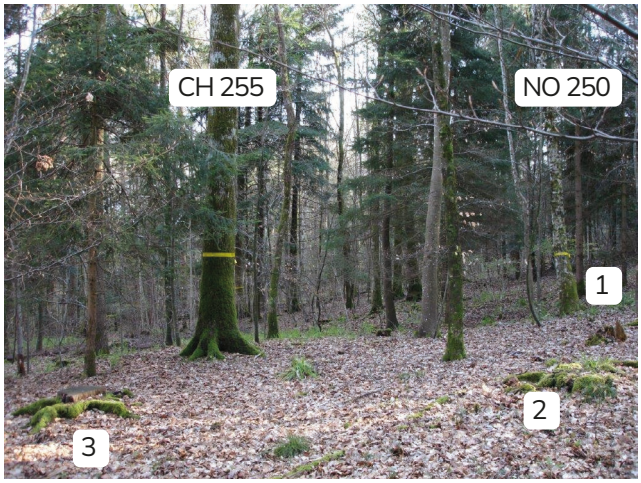
Recommandations

Dominé par les feuillus (59%), le marteloscope COD04 comporte 16 espèces sur 1 hectare. La **diversité** est un facteur dynamique qui confère résistance et résilience, saveur et parfum, couleur et beauté, vigueur et vitalité à nos forêts. Le dispositif COD04 est un bel exemple de peuplement mélangé, irrégulier de grande valeur. Il n'est pas destiné à la production de masse, mais à une **valeur ajoutée sur un petit nombre de tiges** (de billes de pied) de très haute qualité. Les deux dernières coupes réalisées dans ce marteloscope (2011 et 2021) on fait l'objet d'une documentation détaillée. La carte ci-contre illustre *l'éclaircie jardinatoire* martelée le 31 août 2021.



En conversion de longue date, les recommandations sont aujourd'hui les suivantes en vue de maintenir/perfectionner la complexité de l'ensemble :

- Raisonner **'arbre'** ou 'groupe d'arbres' plutôt que 'peuplement'.
- Favoriser les **arbres vigoureux de valeur**.
- Éviter les sacrifices d'exploitation (récolte prématurée).
- Promouvoir les **espèces minoritaires**.
- Agir de façon situative et créative, ne pas faire partout la même chose.
- Réfléchir aux directions d'abattage des gros bois lors des martelages.
- Combiner l'action des bûcherons et des machines. Engagement des machines respectueux du « *système forêt* » dans toute sa globalité (sol, peuplements, microstructures).
- Libre conduite des coupes, éviter de s'emprisonner dans des dogmes.



Patiente prise de valeur d'un arbre de qualité :

Chêne n° 255			
DHP 2021 [cm] :	**51**		
Volume 2021 [m³] :	**2.30**		
Qualité 2021 :	B 40%	C 30%	Énergie 30%
Valeur marchande 2021 [CHF] :			**211.-**
Valeur estimée en 2031 [CHF] : *(Taux de fonctionnement = 9%)*			**393.-**
Valeur théorique à la récolte [CHF] : *(DHP minimum : 100 cm sous écorce)*			*3'033.-*

Le chêne (N°255) a fait l'objet d'un coup de pouce sylvicole en : **1980** (souche N° 1), **1993** (souche N° 2), et **2001** (souche N° 3). En 2011, c'est l'érable situé entre le chêne (N°255) et le noyer (N°250) qui a été prélevé. Tant qu'ils sont vigoureux, les gros chênes de qualité prennent exponentiellement de la valeur (Junod, 2020).

3 Exemple d'itinéraire A3 : marteloscope, div. 7 – et ensemble de la forêt – du Derbaly

Stratégie de conversion mise en œuvre depuis 1995 >> structuration en bonne voie vers la futaie jardinée.

Données de la station

Altitude moyenne	1000 mètres
Exposition, pente	Sud ; pente : 13%
Précipitations annuelles	De l'ordre de 1200 mm
Température moy. annuelle	Environ 9°C
Période de végétation	Environ 220 jours
Type de station	**Hêtraie à sapin** (18s + 19ps)
Station future supposée [26]	**Hêtraie à Aspérule** (7a + 7*)
Sol	Sol brun à tendance hydromorphe

*« Il est d'une grande importance de marteler en disant non pas que vais-je enlever, mais **que vais-je dégager** ? »*

William Borel, 1929

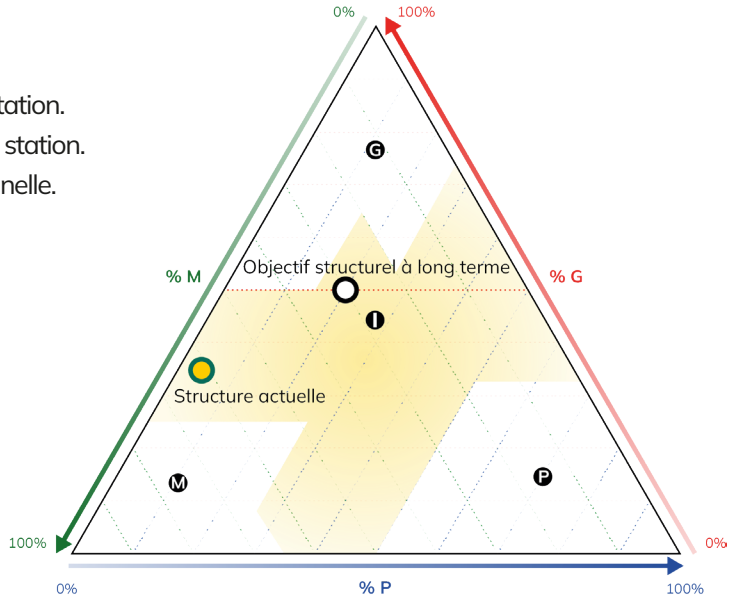


Caractéristiques du peuplement

Origine	Plantations EP (env. 1900 + 1910)
Mélange (5 espèces)	**EP** (49%), **SA** (48%), **HE** (1%), **FR** (1%), **ER** (1%)
Volume sur pied (mai 2016)	**480 sv/ha** (seuil d'inventaire : 12 cm)
Bois mort sur pied en plus	3.1 sv/ha
Surface terrière	**37.8 m²/ha**
Proportion Résineux/Feuillus	R : 97% vol. / F : 3% vol.
Répartition P/M/G	**P : 3%, M : 61%, G : 36%**
Accroissement	**12 sv/ha/an**
Remarque	Terrain drainé

Objectifs sylvicoles

- Promouvoir à long terme un mélange conforme à la station.
- Valoriser durablement la capacité de production de la station.
- Préparer pour l'avenir une forêt jardinée, multifonctionnelle.
- Poursuivre la conversion (selon itinéraire A3).



26) Selon Tree App (www.tree-app.ch)

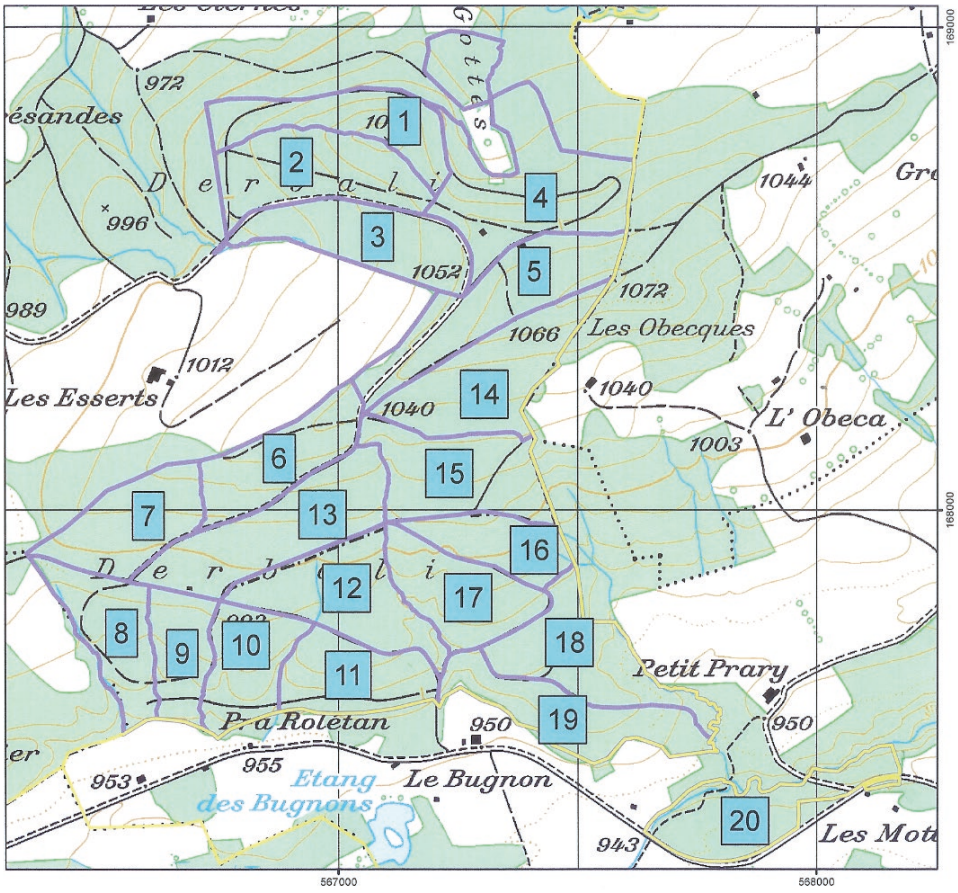
Recommandations

Suite à la décision prise en 1995 par le propriétaire, l'Etat de Fribourg, de convertir l'ensemble de la forêt régulière du Derbaly (109 ha) en forêt structurée, étagée, jardinée à terme, diverses mesures ont été prises : compléments de desserte fine ; inventaire tous les 10 ans (par échantillonnage) ; engagement d'une équipe professionnelle ; martelage par division et non plus par peuplement ; participation des bûcherons aux martelages ; promotion des espèces feuillues (Schaller, 2015).

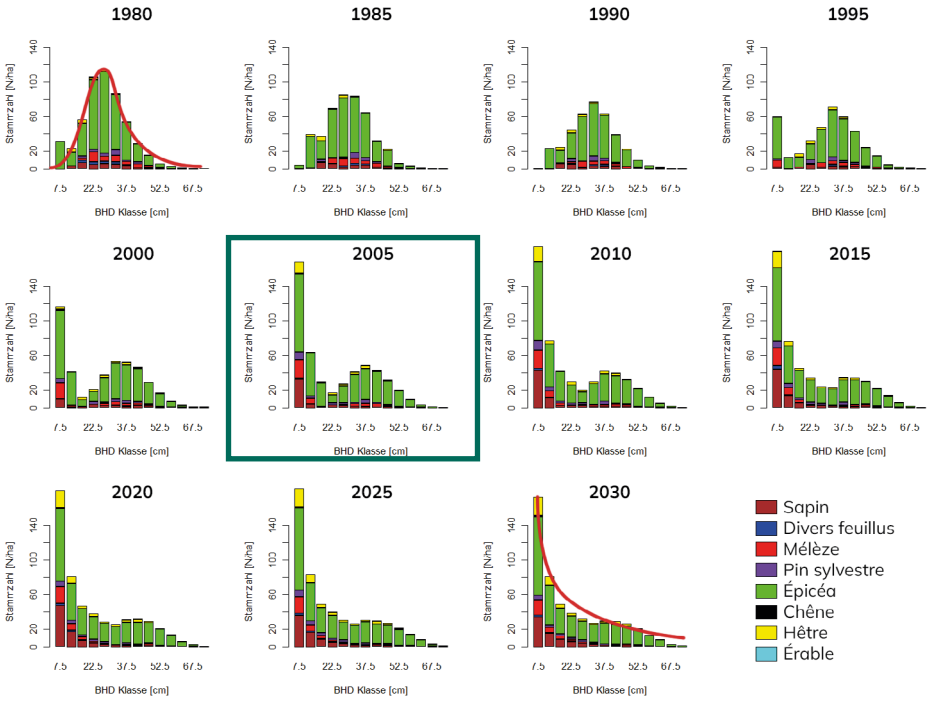
Un tel projet ne peut aboutir que si tous les intervenants tirent à la même corde : « *Dès le départ, les bûcherons sont intégrés au projet. C'est avec plaisir qu'ils ont adhéré à ce travail qui demande beaucoup de finesse. Ce qui met en valeur ce beau mais dur métier de bûcheron. Ils sont les artisans de la réussite.* » M. Roch, 2020.

Les consignes adoptées aujourd'hui en vue de poursuivre le processus de conversion sont les suivantes :

- Maintien des « *arbres d'ossature* » (SA+HE).
- Dégagement des sapins qui, avec leur enracinement énergique et pivotant, garantissent une utilisation optimale de l'espace racinaire, favorisant ainsi la capacité de rétention d'eau dans le sol.
- Promotion des perches (DHP 12 à 30 cm).
- Coup de pouce aux espèces minoritaires (érables, houx p.ex.). Si nécessaire, enrichissement ponctuel par plantation, semis ou utilisation locale de sauvageons avec des essences adaptées au climat futur : chênes (bords de chemins ou autres endroits lumineux), tilleuls, charme, châtaignier, if, douglas.
- Augmentation de la proportion de bois mort.



Parcellaire de la forêt domaniale du Derbaly, avec ses 20 divisions.



Simulation de la répartition du nombre de tiges et des essences par catégories de diamètre durant 50 ans de conversion (selon Hasenauer, 2016).

Au Derbaly, après 25 ans de conversion, la distribution des tiges correspond presque parfaitement à la situation encadrée.

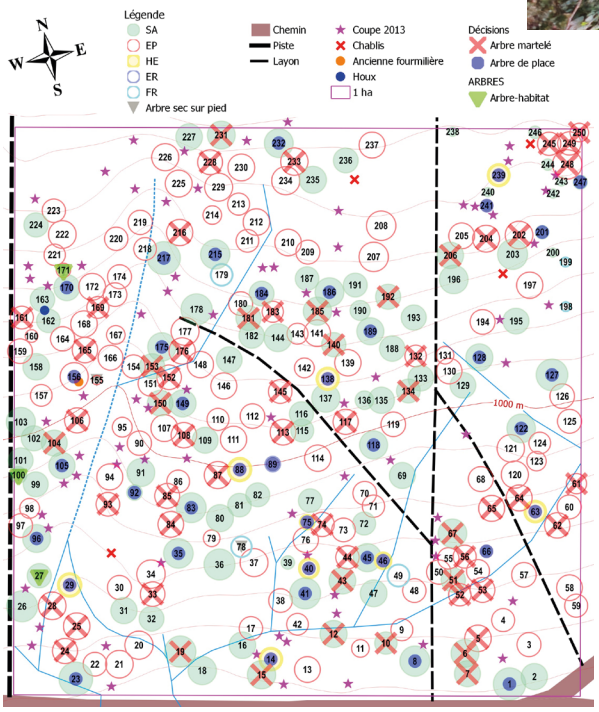
25 ans d'expériences positives qui confirment que l'engagement pris sur le long terme est en bonne voie.

Derbaly, division 1 : véritable pépinière sous un hêtre.

« Ici, les feuillus sont à la forêt ce que l'huile est à un moteur. Certes, ils contribuent peu à l'accroissement, mais ils sont essentiels au fonctionnement et à la durée de vie du 'moteur' ; Les feuillus sont indispensables pour assurer une performance optimale du système de production, lui permettant de 'tourner rond', longtemps, avec un minimum de risques ».

Exprimé par Jacques Doutaz, en 2016





Martelage du mois de mai 2021, effectué sur l'ensemble de la division 7. L'extrait du marteloscope installé dans cette division, illustre l'attention particulière portée aux jeunes tiges, ainsi qu'aux feuillus.

« La production maximale et soutenue exige l'occupation aussi complète et constante que possible de toute la surface du sol et de toute la hauteur accessible de l'atmosphère. »

Henry Biolley, 1901

4 Exemple d'itinéraire B2 : marteloscope de Rüschegg

Peuplement suffisamment stable et proche de la nature >> conversion avec la génération actuelle.

Données de la station

Altitude moyenne	1000 mètres
Exposition, pente	Nord-ouest ; pente : 40%
Précipitations annuelles	de l'ordre de 1250 mm
Température moy. annuelle	Environ 6.9°C
Période de végétation	Environ 160 jours
Type de station	**Hêtraie à sapin avec Luzule des forêts** (19)
Station future supposée [27]	**Hêtraie à Aspérule avec Luzule des forêts** (6)
Sol	Sol brun acide

« À vouloir brûler les étapes, on risque de tout compromettre. Dans cette phase d'amorçage de la régénération, il faut beaucoup de patience et éviter de brusquer le développement, c'est à-dire de trop rapidement ouvrir le peuplement. »

Jean-Philippe Schütz, 1997

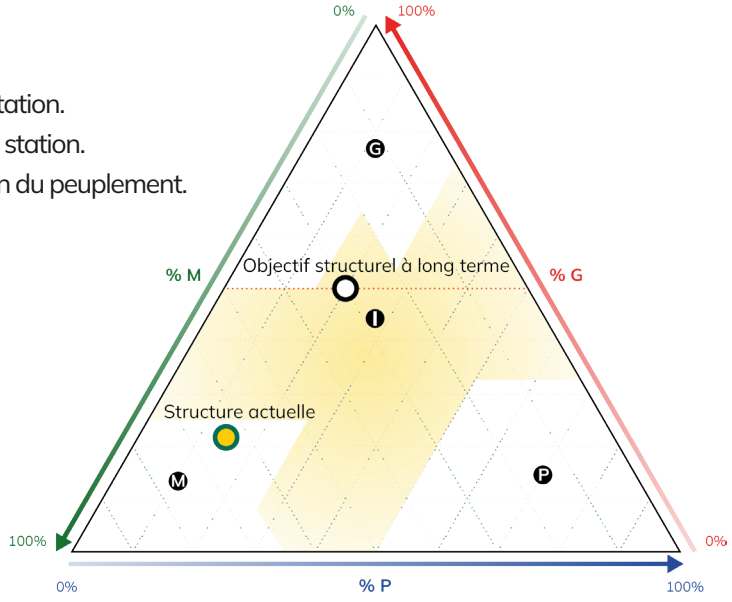


Caractéristiques du peuplement

Origine	Naturelle, après coupe (env. 1915)
Mélange (3 espèces)	**SA** (54%), **EP** (37%), **HE** (9%)
Volume sur pied (oct. 2013)	**967 sv/ha** (seuil d'inventaire : 12 cm)
Bois mort sur pied en plus	29 sv/ha (3% vol.)
Surface terrière	**71 m²/ha**
Proportion Résineux/Feuillus	R : 91% vol. / F : 9% vol.
Répartition P/M/G	**P : 15%, M : 63%, G : 22%**
Accroissement	**10 sv/ha/an**
Remarque	Absence totale de sous-bois

Objectifs sylvicoles

- Promouvoir à long terme un mélange conforme à la station.
- Valoriser durablement la capacité de production de la station.
- Limiter les prises de risque en termes de déstabilisation du peuplement.
- Convertir en futaie jardinée (selon itinéraire **B2**).



27) Selon Tree App (www.tree-app.ch)

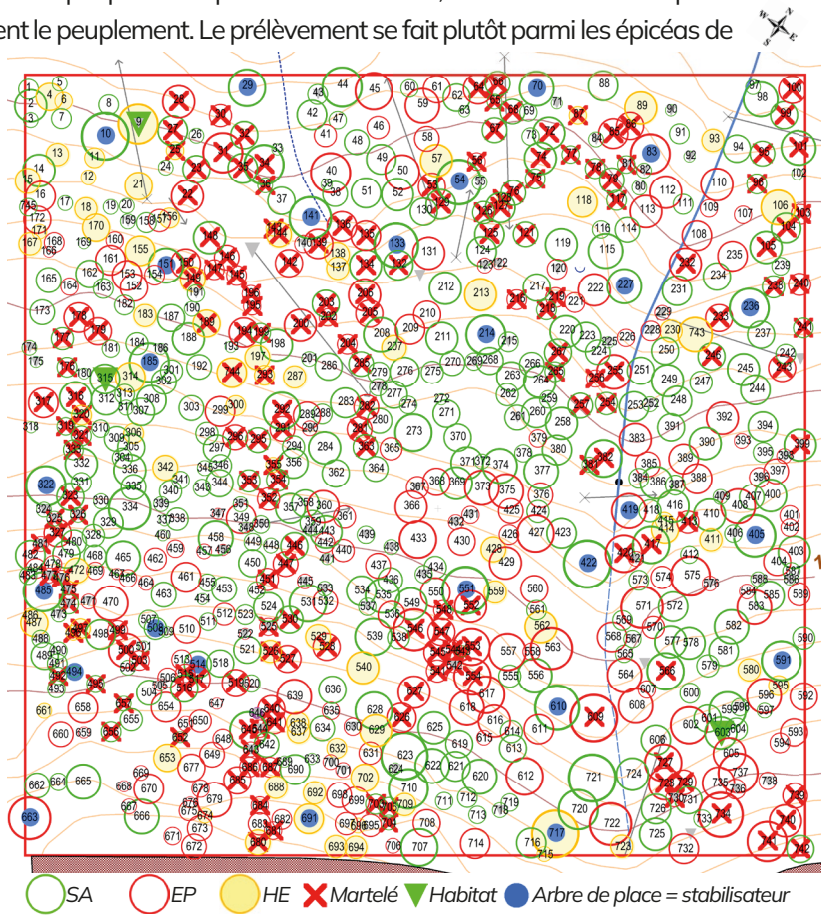
Recommandations

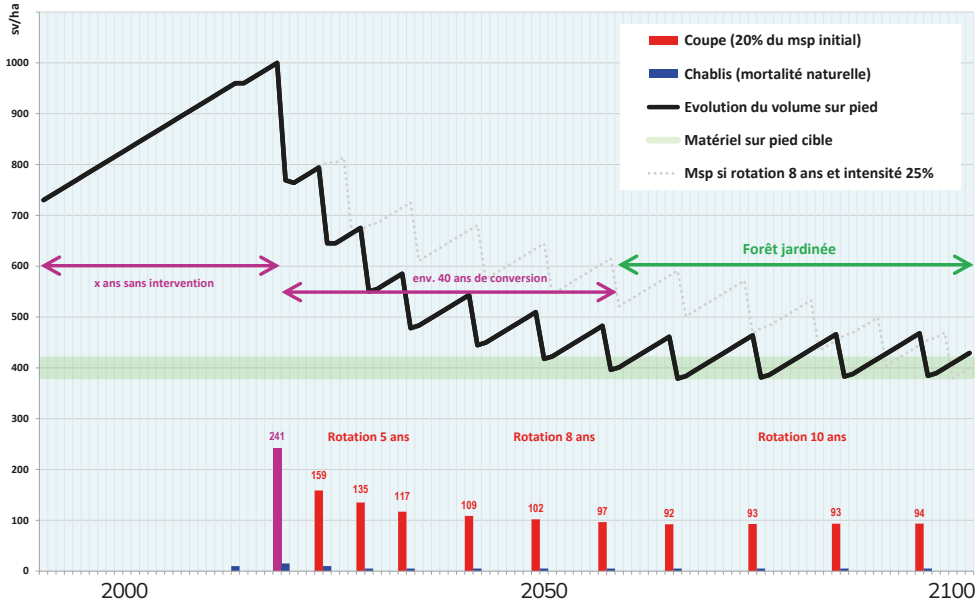
À la différence du marteloscope du Gibloux (annexe 5), celui de Rüschegg est dominé par le **sapin** (54%), le **hêtre** y est aussi nettement mieux représenté, avec 9% du volume. La structure est uniforme et le volume sur pied considérable (967 sv/ha). Néanmoins, il s'y trouve suffisamment d'éléments stabilisateurs pour oser débuter une conversion vers la futaie jardinée avec le peuplement en place. Un martelage dans ce sens est proposé ci-dessous (prélèvement de 241 sv, soit le 24% du volume sur pied). Le sapin blanc, doté d'une énergie d'enracinement très élevée, agit comme stabilisateur + producteur ; le hêtre quant à lui est un anti-ronce de premier choix et un facilitateur de germination.

Les consignes suivantes valent pour la conversion de peuplements proches de la nature, riches en volume sur pied :

- Maintenir les « *piliers* » (SA+HE) qui stabilisent le peuplement. Le prélèvement se fait plutôt parmi les épicéas de taille moyenne que dans les gros sapins. Pas de récolte au DHP-cible !
- Oser situativement quelques ouvertures, en préservant la stabilité collective. Eviter les éclaircies diffuses et apports de lumière tamisée.
- Les ouvertures sont reliées à la desserte de base (au sud-est, trame brune) par d'étroits couloirs rectilignes, afin de permettre une sortie rationnelle des bois par treuillage au sol, en minimisant les dégâts au peuplement restant.
- Décapitaliser par le biais de rotations courtes (max. 5 ans), pour amener, en plusieurs passages, le volume sur pied à env. 400 sv/ha.
- Ne pas se soucier du rajeunissement, il va répondre à la diminution spatialement concentrée du matériel sur pied.

Carte ci-contre, martelage effectué en mai 2018, visant à amorcer la conversion.





Evolution simulée du marteloscope de Rüschegg jusqu'à l'obtention d'une structure jardinée fonctionnelle, durable (volume sur pied d'environ 400 sv/ha). La patience est de mise mais elle en vaut la chandelle.

Raccourcir les rotations au début de la conversion est une stratégie efficiente (préférable à des interventions trop fortes), permettant d'atteindre l'objectif nettement plus rapidement qu'avec des rotations fixes de 8 ou 10 ans.

5 Exemple d'itinéraire C : marteloscope du Gibloux

Peuplement à haut risque >> conversion avec la prochaine génération d'arbres.

Données de la station

Altitude moyenne	1020 mètres
Exposition, pente	Est, nord-est ; pente : 10%
Précipitations annuelles	De l'ordre de 1150 mm
Température moy. annuelle	Environ 7.1°C
Période de végétation	Environ 170 jours
Type de station	**Hêtraie à sapin** (18a + 18s)
Station future supposée [28]	**Hêtraie à Aspérule typique** (7a)
Sol	Sol brun pseudogleyifié en sous-sol

« On sait que la première génération de résineux croissant sur un sol neuf est une splendide réussite financière, supérieure à celle du peuplement feuillu d'origine. Mais la deuxième génération ne suit la première que de loin, et la troisième prépare la catastrophe. »

Jämes Péter-Contesse, 1953

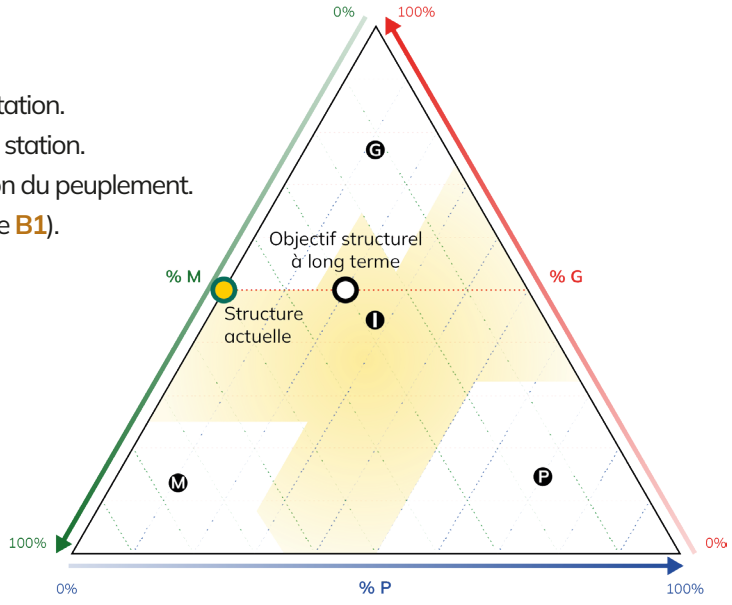


Caractéristiques du peuplement

Origine	Plantation (env. 1930)
Mélange (3 espèces)	**EP** (98%), **SA** (1.6%), **HE** (0.4%)
Volume sur pied (sept. 2013)	**744 sv/ha** (seuil d'inventaire : 12 cm)
Bois mort sur pied en plus	3.5 sv/ha
Surface terrière	**57.9 m²/ha**
Proportion Résineux/Feuillus	R : 99.6% vol. / F : 0.4% vol.
Répartition P/M/G	**P : 0.2%, M : 49.4%, G : 50.4%**
Accroissement	**11.5 sv/ha/an**
Remarque	Sous-bois de chèvrefeuille à balais

Objectifs sylvicoles

- Promouvoir à long terme un mélange conforme à la station.
- Valoriser durablement la capacité de production de la station.
- Limiter les prises de risque en termes de déstabilisation du peuplement.
- Convertir avec la prochaine génération (selon itinéraire **B1**).



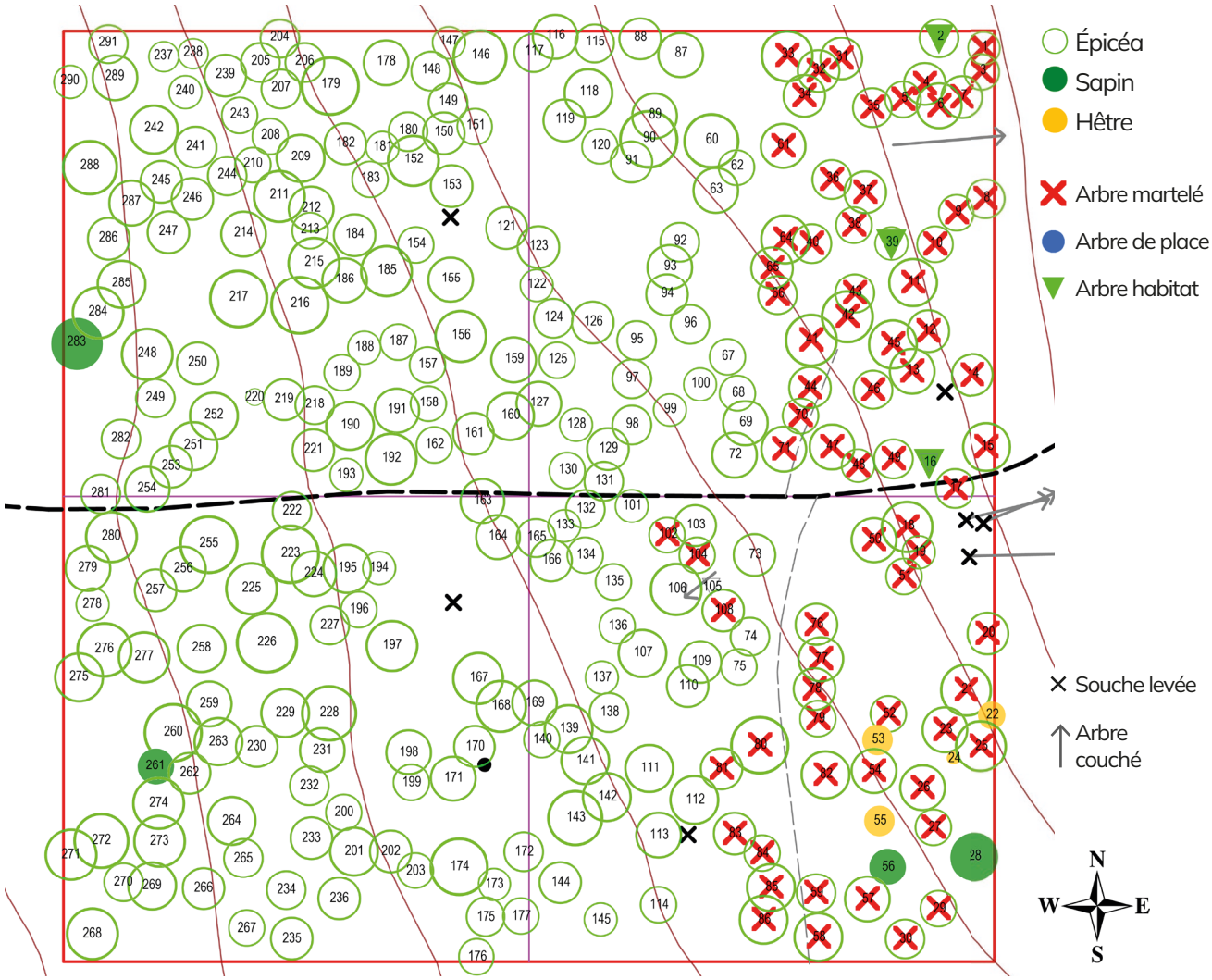
28) Selon Tree App (www.tree-app.ch)

Recommandations

Le marteloscope du Gibloux est une futaie uniforme d'épicéa (98%) sur station de hêtraie à sapin. Du fait de son âge avancé, de sa précarité sanitaire (nombreux pieds pourris) et du manque d'élément stabilisateur, une tentative de conversion par l'itinéraire **B3** serait liée à de trop grands risques. A la question de savoir s'il convient (1) de ***régénérer***, (2) ***d'éclaircir*** ou (3) de ***convertir***, la réponse la plus pertinente avec le peuplement actuel est clairement la régénération et non la conversion, ni l'éclaircie diffuse qui serait le pire scénario.

Concrètement, la recommandation est ici la suivante :

- Amener – dans toute la mesure du possible naturellement – un maximum d'essences en station, en pratiquant **trois « coupes de lisière »** successives, espacées de 6-8 ans.
- Progresser contre le vent dominant (vent d'ouest), en privilégiant un front de coupe sinueux.
- Maintenir les très rares HE et SA, ainsi que les quelques petits SA, HE et ER actuellement présents sous forme de recrûs (à ménager lors des travaux de récolte) ; maintien aussi de tous les éléments structurant (souches levées, bois mort).
- Éventuellement **compléter ponctuellement le mélange** en plantant du HE (sauvageons p. ex.), des érables sycomore et plane, voir même quelques chênes, tilleuls, if et douglas.
- Abandonner quelques bois morts au sol.
- Pratiquer des soins différenciés, basés sur les principes de la rationalisation biologique.



Martelage préconisé : **« coupe de lisière »**, avec respect des SA, HE et éléments structurants.

6 Autres exemples de conversion

La Joux-Pélichet (NE)
Volonté de conversion dès la plantation (en damier) ; état des lieux après 120 ans.
www.pro-silva-helvetica.ch/pdf/Portrait03_f.pdf
www.ne.ch/autorites/DDTE/SFFN/forets/Documents/2016_Principes%20sylviculturaux%20NE.pdf

En forêt de montagne et de protection
Les méthodes présentées dans le « *Guide pratique pour les soins aux jeunes peuplements en forêt de montagne et de protection* » (Glanzmann et al., 2019), sont à comprendre comme des interventions initiales, permettant la conversion de jeunes peuplements surfaciques en forêt jardinée par groupes. Les soins aux collectifs sont utilisés à l'étage subalpin (haut-montagnard) pour convertir de jeunes forêts surfaciques et dominées par l'épicéa en structures irrégulières de collectifs.
www.gebirgswald.ch/tl_files/gebirgswald/de/05_Wald_u_Holz/Jungwaldpflege/Praxishilfe-franz_web.pdf
www.gebirgswald.ch/tl_files/gebirgswald/de/05_Wald_u_Holz/Jungwaldpflege/ibW_Check-Karte_Waldbau-F_web.pdf

Réserve Lothar, forêt domaniale Habsburg (AG)
Cette surface d'environ 10 ha, anéantie par Lothar (26.12.1999) présente, 22 ans après la tempête, une nouvelle structure remarquable. La surface sinistrée n'a pas été nettoyée, aucune intervention n'y a été pratiquée (donc aucune homogénéisation !). Quelques survivants (généralement des hêtres) sont aujourd'hui les plus gros arbres, remplissant souvent le rôle d'arbre biotope. Mais des essences pionnières comme le bouleau, le tremble et le saule atteignent déjà des diamètres maximaux de 40 cm. Ils assurent également une différenciation verticale, tout comme les trouées de ronces et de fougères aigles. Cette conversion naturelle « *brutale* » avec la génération suivante a été non seulement extrêmement rapide, mais aussi très réussi en termes de mélange : de nombreuses essences d'avenir sont présentes, comme par exemple le chêne, le charme, le cerisier, le tilleul, le douglas, les pionniers – tout cela sans plantation et sans intervention humaine. Un exemple instructif de conversion par les forces de la nature.
www.waldbau-sylviculture.ch/publica/2022_Fallbeispiel_Anpassung_Klimawandel_Habsburg.pdf

Forêt de Basadingen (TG)
La forêt pérenne de Basadingen-Schlattingen (308 ha) est un haut lieu de *sylvicultur proche de la nature* et de *gestion forestière sobre et durable*. Certaines parties présentent un état de conversion très avancé vers la futaie irrégulière (figure 6 et page de couverture, image du haut).
www.pro-silva-helvetica.ch/pdf/Portrait17_f.pdf

CONVERSION EN FUTAIE IRRÉGULIÈRE, EN BREF

1

Avant toute action dans une ***unité de gestion en conversion***, il est judicieux de connaître :

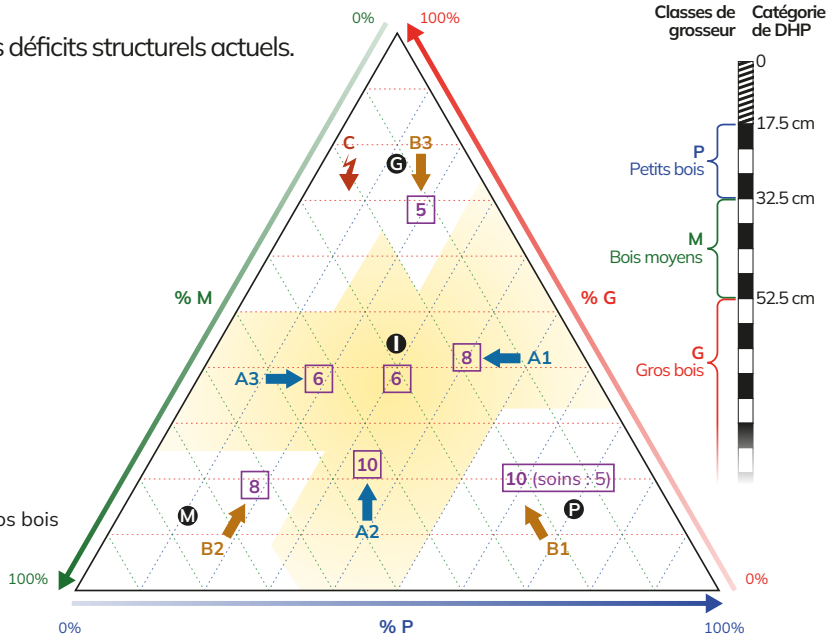
- Ce que la nature ferait toute seule, autrement dit le **type de station** (actuel et son évolution prévisible future), indiquant quelles seraient les **essences naturellement les plus compétitives**.
- Le **concept de desserte et de vidange des bois** (chemins à camions, pistes à tracteurs, layons, lignes de câble, places de dépôt).
- Le **volume sur pied** (ou la surface terrière) actuel, ainsi que le volume objectif.
- La composition existante et souhaitée du **mélange**, de même que les possibilités de complément ponctuel avec des espèces adaptées au climat futur (*www.tree-app.ch*).
- La **structure** actuelle (répartition des petits, moyens et gros bois), qui détermine l'***itinéraire de conversion***, ainsi que la structure souhaitée à long terme.
- La **situation concernant la jeunesse** et le recrutement (nombre, vitalité, influence du gibier).
- L'**accroissement** duquel dépendra la *rotation* ainsi que la *possibilité* du prélèvement.

2

Définir un ***itinéraire de conversion***. But : combler les déficits structurels actuels.

A1 Ménager les bois moyens
A2 Ménager les gros bois
A3 Ménager les petits bois
B1 Capitaliser en maintenant les éléments structurants
B2 Structurer avec créativité
B3 Décapitaliser sans déstabiliser
C Éviter de convertir avec le peuplement en place
Chiffre violet Rotation indicative

Types de structure (P, M, G, en % du volume)
Ⓘ : peuplement irrégulier (secteur jaune)
Ⓟ : peuplement régularisé dans les petits bois
Ⓜ : peuplement régularisé dans les bois moyens
Ⓖ : peuplement régularisé dans les gros voire très gros bois



3

Itinéraires de conversion ***concrétisés par*** :

- Les **martelages** soigneux des *éclaircies jardinatoires*, sur l'entier de l'unité de gestion, en portant une attention particulière aux *éléments stabilisateurs* et aux « *arbres aptes à mener une longue carrière* ».
- Les **coupes**, légères et fréquentes, respectueuses du sol et du peuplement restant.
- Les **soins à la jeune forêt**, ciblés et ponctuels. En laissant à la dynamique naturelle le soin de révéler les vigoureux (ceux capables d'émerger au-dessus de la mêlée) et en se contentant de promouvoir un petit nombre de billes de pied de qualité, sans excès de zèle, après que la vigueur se soit clairement exprimée.
- Les **contrôles** *à postériori* avec éventuels réajustements lors de la prochaine coupe.

Futaie irrégulière :

- Pour permettre à la nature d'exprimer sa créativité et ses potentialités
- Pour renforcer la résilience de l'écosystème forestier
- Pour composer un cadre de vie stable et agréable
- Pour produire de gros arbres de haute qualité
- Pour disposer de revenus réguliers, même sur une petite surface
- Pour offrir une large palette de produits et prestations
- Pour s'affranchir du fardeau financier lié à la création de peuplements

L'irrégularité ne se décrète pas, elle se constate. La structure idéale est un équilibre dynamique, en évolution constante, jamais vraiment atteinte… **La coupe est le moteur de la futaie irrégulière.** Il s'agit d'une démarche continuelle requérant patience, persévérance et humilité…