



Fachstelle für Gebirgswaldpflege (GWP)
Centre de sylviculture de montagne (CSM)
Centro per la selvicoltura di montagna (CSM)

Bund, Kantone und Fürstentum Liechtenstein



BILDUNGSZENTRUM WALD
CENTRO FORMAZIONE BOSCO
CENTER FURMAZIUN GAUD
CH-7304 MAIENFELD

Sylviculture de montagne et soins en forêt de protection

Aide pour l'enseignement et la pratique

Version 2, Mai 2020

Raphael Schwitter, Lukas Glanzmann, Christian Rüschi, Samuel Zürcher



1	INTRODUCTION	4
1.1	But et domaine de validité de l'aide pratique.....	4
1.2	Origine et développement	5
1.3	Structure de l'aide pratique	5
2	SYLVICULTURE DE MONTAGNE.....	6
2.1	Sylviculture de montagne et soins aux forêts de protection	6
2.2	Agir dans l'incertitude	6
3	BASES – DONNÉES GÉNÉRALES.....	7
3.1	Particularités de la forêt de montagne	7
3.2	Types de stations.....	9
3.3	Écorégions et étages de végétation	9
3.4	Caractéristiques des arbres et des peuplements	10
3.5	Dynamique de la forêt.....	12
3.6	Histoire du peuplement	13
4	FONCTIONS DE LA FORÊT	14
4.1	Généralités	14
4.2	Biodiversité forestière	14
4.3	Protection contre les dangers naturels	15
4.4	Production de bois	18
4.5	Fonction de détente et élément du paysage	18
4.6	Autres prestations de la forêt	18
4.7	Extension de la surface forestière	19
5	PRISE DE DÉCISION SYLVICOLE	20
5.1	Déroulement général	20
5.2	But sylvicole à long terme	20
5.3	État de la forêt et prévision de l'évolution.....	22
5.4	Analyse de la nécessité d'intervenir.....	23
5.5	Définition des mesures.....	24
6	MESURES.....	25
6.1	Soins à la jeune forêt.....	25
6.2	Réguler le mélange des essences.....	27
6.3	Différencier la structure du peuplement	28
6.4	Améliorer la stabilité	29
6.5	Enclencher et favoriser le rajeunissement.....	31
6.5.1	Rajeunissement des pessières de l'étage haut-montagnard.....	32
6.5.2	Rajeunissement des pessières-sapinières de l'étage haut-montagnard	34
6.5.3	Rajeunissement des pessières subalpines	35
7	MISE EN ŒUVRE DES MESURES SYLVICOLES	37
7.1	Réflexions générales.....	37
7.2	Coordonner la sylviculture et la récolte de bois.....	37
7.3	Déterminer l'intensité des interventions	38

8	PLANIFICATION ET CONTROLLING	41
8.1	Planification sylvicole	41
8.2	Contrôle des résultats sylvicoles	43
8.2.1	Analyse des effets sur les placettes témoins	44
9	GLOSSAIRE	46
10	BIBLIOGRAPHIE	47

1 Introduction

1.1 But et domaine de validité de l'aide pratique

Public cible	Cette aide pratique sert en premier lieu de référence aux étudiants de la filière de garde forestier aux centres forestiers de formation de Lyss et Maienfeld. Elle s'adresse également aux professionnels forestiers intéressés par la sylviculture en forêt de montagne et de protection.
Domaine de validité	Ce document est conçu pour les forêts de montagne, de l'étage montagnard supérieur à l'étage subalpin supérieur. En raison de leur grande importance, l'accent est mis sur les soins aux forêts de protection. Dans ce contexte, le document concerne aussi des forêts à plus basse altitude. Les forêts de montagne et de protection constituent selon l'IFN quelque 70 pour cent de la surface forestière de la Suisse.
But	L'aide pratique vise les objectifs suivants: <ul style="list-style-type: none">• offrir un fil rouge reliant les savoirs accumulés depuis des décennies en lien avec les soins aux forêts de montagne;• permettre d'accéder rapidement aux connaissances disponibles sur les soins aux forêts de montagne;• faire comprendre la sylviculture en tant que discipline de synthèse pour la mise en œuvre de l'exploitation forestière proprement dite;• expliquer de façon claire les relations entre les décisions sylvicoles et les caractéristiques de la station, de la production, de l'économie et des techniques de récoltes;• contribuer à la cohérence entre les soins et les bases sylvicoles, notamment celles proposées par NaiS dans les forêts de protection;• illustrer autant que possible les recommandations par des exemples pratiques.
Aspect pratique prioritaire	Cette aide pratique n'est pas un traité scientifique. Il s'agit bien davantage de faciliter la compréhension des bases livrées par la recherche. Et ce document ne prétend pas à l'exhaustivité. Contrairement à un manuel imprimé, cette version numérique doit permettre d'adapter et d'améliorer continuellement le contenu.
La concision avant le détail	La tentative de présenter un résumé des soins aux forêts de montagne comporte cependant le risque inévitable de mener à des généralisations erronées et à des conclusions trop peu différenciées. Il est donc recommandé aux lecteurs de consulter régulièrement les sources bibliographiques proposées.

1.2 Origine et développement

L'auteur principal de ce guide est Raphael Schwitter, anciennement responsable de centre de sylviculture de montagne (depuis 1997) et enseignant spécialisé au CEFOR de Maienfeld (depuis les années 1980). Il a élaboré ce document en 2012 dans le but de partager ses connaissances et expériences sous une forme concise et bien compréhensible. Pour ce faire, il a bénéficié du soutien spécialisé de Monika Frehner et de Nora Zürcher-Gasser, que nous remercions ici chaleureusement.

Version 1: 2012

En 2020, le texte a été complété et révisé par Lukas Glanzmann, Christian Rüschi et Samuel Zürcher (collaborateurs du CSM et du CEFOR Maienfeld).

Version 2: 2020



Fig. 1-1: Jeunes épicéas à la limite supérieure de la forêt

1.3 Structure de l'aide pratique

L'aide pratique est composée de deux niveaux d'information. Le niveau 1 est constitué du présent texte, qui représente une première approche. Des mots-clés ou des expressions résumées sont placés à droite du texte pour faciliter l'orientation. La table des matières est en lien activé avec les textes et facilite la navigation.

Les **passages marqués en vert** proposent des liens vers d'autres parties du texte.

Le niveau 2 contient des informations complémentaires accessibles en cliquant sur des liens. Il s'agit de diverses publications, d'extraits de la bibliographie, de liens avec d'autres sites Internet ainsi que d'exemples pratiques.

Les **liens marqués en rouge** contiennent des informations et des textes complémentaires importants et qui font partie des lectures obligatoires des gardes forestiers en formation.

Les **liens marqués en bleu** mènent à des documents de référence, à des illustrations ou à des exemples tirés de la pratique. Il s'agit en général de documents disponibles sur **www.foret-de-montagne.ch** ou **www.suisson.ch**.

La dernière version actualisée de cette aide pratique est téléchargeable en tout temps sur **www.foret-de-montagne.ch**.

2 Sylviculture de montagne

2.1 Sylviculture de montagne et soins aux forêts de protection

À basse altitude, les forêts exploitées peuvent, dans une large mesure, être conformées en fonction de nos souhaits. Ainsi, des techniques sylvicoles traditionnelles comme l'éclaircie avec prélèvement individuel ou le rajeunissement sous abri sont applicables dans presque toutes les hêtraies de la zone préalpine. Cela ne vaut pas pour les forêts de conifères en montagne. Les conditions de vie particulières en altitude, qui se reflètent surtout dans la structure des peuplements et dans la façon de rajeunir la forêt, ne peuvent pas être ignorées sans risquer des conséquences négatives. Il est indispensable de se familiariser avec les particularités des forêts de montagne si nous voulons les traiter et les conserver de la meilleure façon possible.» (OTT, E., ET AL.: 1997)

La sylviculture de montagne a donc des spécificités et des objectifs qui demandent une attention particulière. La protection contre les dangers naturels prend de plus en plus d'importance dans notre pays densément peuplé. Les techniques de récolte des bois, elles aussi, doivent s'adapter à des conditions plus exigeantes qu'en plaine. Il est cependant difficile de définir précisément la notion de forêt de montagne et partant celle de sylviculture de montagne.

La sylviculture de montagne n'est pas non plus une discipline isolée, ses liens avec d'autres spécialités sont très nombreux. Les expressions «soins à la forêt de montagne» et «sylviculture de montagne» sont considérés comme synonymes. Même si les pages suivantes concernent en premier lieu les forêts de conifères des étages haut-montagnard et subalpin, d'autres zones sont aussi concernées. Car les dangers naturels agissent aussi aux étages inférieurs et les principes des soins aux forêts de protection y sont également valables.

2.2 Agir dans l'incertitude

La forêt de montagne est un écosystème complexe possédant une forte dynamique propre. En raison de la longue durée de vie des arbres, un forestier ne peut participer durant sa vie professionnelle qu'à une petite portion du développement de la forêt. Malgré la somme considérable de savoirs accumulés au cours du temps, notre compréhension de cet écosystème reste modeste – trop modeste pour pouvoir l'aborder avec notre volontarisme habituel. Si nous souhaitons cependant que la forêt de montagne réponde à nos attentes, la main régulatrice du forestier est souvent indispensable. Il est donc nécessaire d'agir, même si nos connaissances sont lacunaires et notre compréhension du système encore plus imparfaite. Et nous ne devons pas agir sans examiner soigneusement les conséquences de nos interventions.



Fig. 2-1: Nous ne pouvons pas attendre «éternellement» avant de décider d'agir.

L'action en situation d'incertitude peut être comparée à la démarche d'un joueur d'échec. Il doit déplacer une pièce parmi de nombreuses figures interdépendantes. Il ne peut pas bouger une de ses pièces sans changer les rapports de forces entre les autres figures. En outre, il ne sait pas comment les figures de son adversaire vont se mouvoir et il développe parfois des hypothèses erronées.

En montagne, les forestiers doivent apprendre à agir malgré les incertitudes

Le changement climatique, annoncé depuis des décennies par les chercheurs, est devenu une réalité observable dans les forêts suisses. Il s'agit d'une nouvelle dimension de l'incertitude. Jusqu'ici, les expériences réalisées sur un type de station donnée pouvaient être considérées comme une base d'expérience solide pour prendre des décisions. Or maintenant, le changement climatique a entrepris de modifier les facteurs de la station, ce qui renforce nettement l'incertitude et la complexité.

Changement climatique: dimension supplémentaire d'incertitude

En l'absence de connaissances fiables, nul ne peut prétendre à l'infaillibilité. L'incertitude implique la capacité à réagir constructivement à la critique. Nous devons observer la forêt et tenter d'en découvrir les secrets. Nous devons apprendre à poser des questions à la forêt, comme nos prédécesseurs sylviculteurs nous l'ont enseigné depuis des décennies:

Qui es-tu?	L'analyse de la situation concrète donne une base à notre action. La récolte d'informations et la planification sont des aides, mais non des buts en soi.
D'où viens-tu?	Les forêts de montagne ont subi une évolution au cours des décennies et des siècles (histoire du peuplement).
Où vas-tu?	Il s'agit aussi d'estimer les tendances évolutives . En tenant compte de la dynamique propre aux forêts de montagne, nous pouvons profiter de l'action des forces naturelles.
Où te conduire?	En définissant les buts , nous décrivons l'état de la forêt qui répond le mieux à nos besoins à long terme.
Comment t'y conduire?	Nous pilotons l'écosystème forestier vers nos objectifs grâce à des mesures adéquates .

Il s'agit de définir soigneusement le meilleur processus possible pour chaque cas et d'éviter les conclusions trop hâtives. Mais nous ne pouvons pas hésiter «éternellement» avant d'opter pour une mesure à prendre – tout en sachant que s'abstenir d'agir fait aussi partie des options de mesures possibles.

Le **contrôle des résultats** sylvicoles nous permet d'accumuler des expériences concrètes. Ce contrôle est une sorte de boucle de rétroaction qui nous oblige à observer notre action de façon critique. C'est là une condition pour parvenir à définir des corrections ciblées. Le contrôle est indispensable en vue de l'assurance qualité et du développement constant de la sylviculture de montagne.

Contrôle des résultats: apprendre par l'expérience

La sylviculture de montagne est un travail d'équipe entre gardes et ingénieurs forestiers, soutenus le cas échéant par des spécialistes et visant la satisfaction des attentes de la société et du propriétaire.

3 Bases – données générales

3.1 Particularités de la forêt de montagne

Les conditions de vie changent avec l'altitude. L'éventail de conditions changeantes font de la forêt de montagne un milieu de vie très particulier:

- Chaleur**
 - Le manque de chaleur devient le facteur critique de survie des arbres à l'étage subalpin et explique l'existence d'une limite supérieure de la forêt.
- Rayonnement solaire**
 - Le rayonnement solaire intense le jour et le refroidissement la nuit sont des extrêmes défavorables au développement des plantules.
- Topographie, exposition**
 - En montagne, la topographie et l'exposition exercent une forte influence sur le microclimat et donc sur les conditions de croissance. En outre, les mouvements de masse gênent ou empêchent la croissance sur les pentes raides.
- Neige**
 - La hauteur de la couche neigeuse, les mouvements de la neige et la longue durée de l'enneigement soumettent les arbres à d'importantes contraintes.



Fig. 3-1: Jeune épicéa courbé par le poids de la neige. Étage haut-montagnard, Alpes intermédiaires du Nord

- Tempêtes**
 - La vitesse des vents est plus élevée en montagne qu'en plaine. Les forts vents peuvent renverser ou casser les arbres. Depuis la tempête «Vivian», nous connaissons bien l'ampleur de ce type de dégâts.
- Insectes**
 - Le bostryche typographe est capable de dévaster de grandes surfaces d'épicéas jusqu'à la limite des forêts. Comme l'épicéa est souvent la principale espèce naturelle en haute altitude, les dommages peuvent être lourds de conséquences.
- Champignons**
 - Le développement de certains champignons potentiellement mortels pour les arbres est notamment favorisé par la durée de l'enneigement.
- Sol**
 - L'activité biologique réduite en montagne entraîne souvent la formation de couches de moder ou d'humus brut. Dans les régions fraîches à fortes précipitations, les horizons supérieurs du sol sont souvent lessivés et leurs substances nutritives entraînées vers des horizons plus profonds – c'est alors qu'apparaissent les podzols. La croissance des jeunes arbres est très difficile dans ces conditions.
- Végétation**
 - Les arbustes nains, les prairies à calamagrostides et les hautes herbes représentent souvent une concurrence implacable pour le rajeunissement naturel. La densité du réseau de racines et le microclimat défavorable au niveau du sol entravent la germination et la croissance des arbres.
- Influence du gibier**
 - L'influence des ongulés sauvages sur la forêt de montagne est particulièrement forte en de nombreux endroits. Les jeunes arbres y croissent lentement et mettent beaucoup de temps à atteindre la hauteur critique, hors de portée des ongulés.

Des informations complémentaires sur les particularités des forêts de conifères subalpines sont donnée dans OTT, E., ET AL., 1996, S. 13SS.

3.2 Types de stations

Les influences décrites ci-dessus confèrent un visage caractéristique à chaque station. La grande diversité des conditions stationnelles permet quand même de regrouper les stations sur la base de caractéristiques communes. On obtient alors des types de stations, qui incluent aussi certaines représentations liées à la forêt naturelle et qui livrent des repères pour fixer les objectifs et les mesures sylvicoles.

Plus les conditions sont extrêmes, plus le découpage entre stations favorables et défavorables est fin – une mosaïque de stations apparaît. Cette mosaïque influence la structure de la forêt et doit être connue pour parvenir à traiter le peuplement de façon adéquate. De nombreux cantons ont cartographié les types de stations sur toute la surface forestière et proposent des clés de détermination. Lorsque de telles bases ne sont pas disponibles, il est possible d'utiliser **l'Aide à la détermination** tirée de NaiS.

Le changement climatique modifie les caractéristiques des stations en l'espace de quelques décennies, parfois fortement. Pour maîtriser ce sujet, le concept des écorégimes adaptés est prometteur. Ils s'appuient sur les écorégimes connus de NaiS ainsi que sur les changements modélisés des **écorégions** et des étages de végétation. Cette méthode donne la possibilité de déterminer non seulement le type de station future, mais recommande aussi un choix d'essences. Une bonne description de cette méthode se trouve dans le **Rapport WSL n° 69 (2018)**.

Station: ensemble des influences qui agissent sur les arbres d'un peuplement

Changement climatique = modification de la station

3.3 Écorégions et étages de végétation

Il est possible de délimiter des **écorégions** sur la base des facteurs climatiques et des aires de répartition des principales essences. Cette base permet de structurer approximativement la diversité des stations. Les **étages de végétation** sont définis par rapport au comportement écologique des essences et aux caractéristiques de la structure du peuplement. Cela signifie qu'en pratique, il est particulièrement important d'observer ces différences.

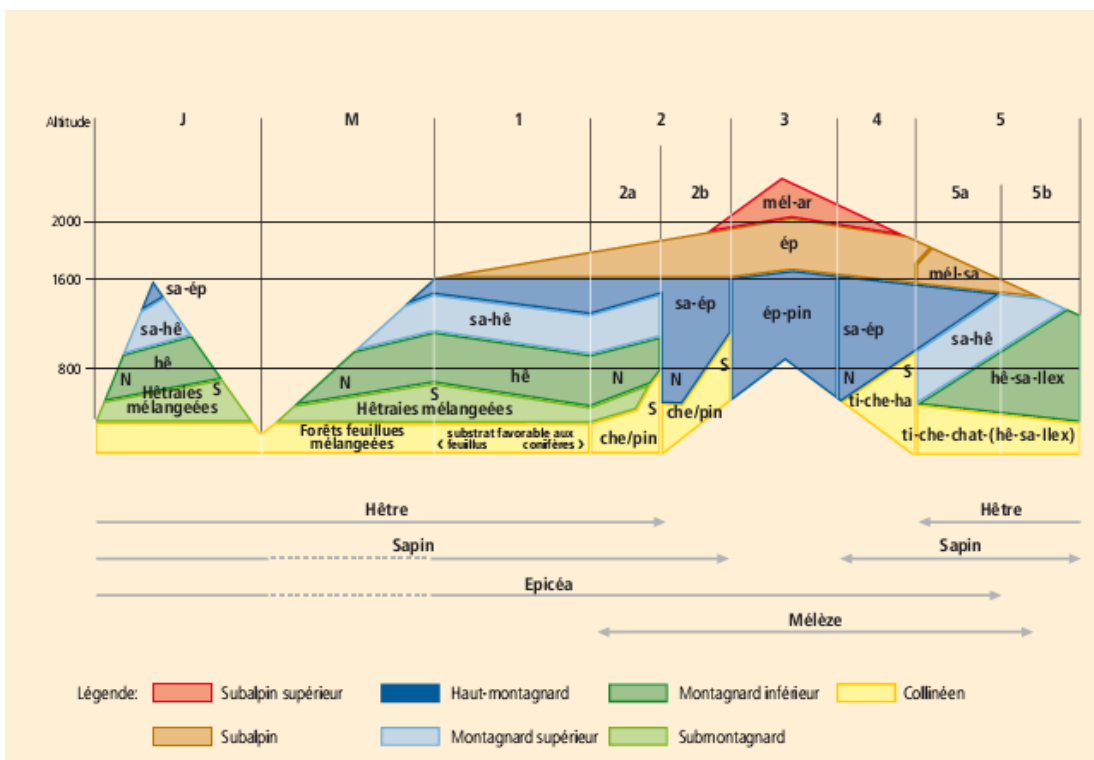


Fig. 3-2: Étages de végétation dans les écorégions d'après NaiS

Le changement climatique va entraîner un déplacement parfois marqué des étages de végétation vers le haut en l'espace de quelques décennies. En l'état actuel des connaissances, une élévation pouvant atteindre 600 mètres est attendue d'ici la fin du XXI^e siècle. L'évolution dépend des scénarios choisis et notamment de la rapidité des réductions des gaz à effets de serres. Les déplacements des étages de végétation ont été modélisés pour deux futurs climatiques différents (voir www.map.geo.admin.ch (mot-clé «étage de végétation»).

3.4 Caractéristiques des arbres et des peuplements

Espèces d'arbres

En montagne, les conditions écologiques réduisent fortement la diversité des espèces d'arbres; seul un petit nombre d'espèces parvient à survivre grâce à des adaptations spécifiques aux conditions extrêmes de l'environnement. Informations complémentaires sur les essences:

Notices pratiques sur le sapin blanc

Résumé sur le rajeunissement du mélèze

Portraits des essences forestières (EPFZ)

Croissance

La croissance des arbres ralentit avec l'altitude. À l'étage subalpin, un épicéa arrivé à hauteur de poitrine a souvent 50 ans ou davantage. C'est seulement lorsque le système racinaire s'est bien développé qu'il peut former des pousses vigoureuses et grandir rapidement.

Age

L'espérance de vie des arbres est plus élevée en montagne qu'en plaine. Mais le déroulement de leur croissance dépend fortement de la microstation. La taille des arbres ne permet plus de déduire leur âge. Une pessière subalpine peut paraître uniforme et pourtant comporter des arbres d'âges très divers. Si l'on excepte les peuplements issus d'une plantation, l'âge n'est guère un critère utile pour décrire des peuplements.



Fig. 3-3: Malgré l'uniformité apparente, l'âge des arbres peut varier fortement. Forêt vierge subalpine d'épicéas de Scatlé à Brigels (GR)



Fig. 3-4: La variabilité des dimensions n'est pas seulement due à l'âge mais dépend aussi de la microstation. Forêt vierge subalpine d'épicéas de Scatlé à Brigels (GR)

Structure du peuplement

Avec l'altitude, l'arbre individuel est peu à peu remplacé par des structures de groupes. La superposition de divers étages se transforme en un voisinage des divers stades de développement. On parle de «structure verticale» ou de «structure du peuplement». Comme la durée de vie des arbres est très longue, et même avec les différences de tailles au départ la plupart des arbres vont soit dépérir, soit atteindre peu à peu l'étage dominant et former des peuplements uniformes, malgré leurs âges souvent très différents.

Plus la mosaïque des stations est fragmentée, plus la répartition des arbres est irrégulière. Les arbres se regroupent en collectifs qui, grâce à leur densité, produisent une stabilité collective. Les conditions de croissance très diverses au sol se reflètent au niveau des couronnes par l'apparition de «lisières intérieures». À l'étage subalpin, la forêt ressemble de plus en plus à un assemblage de collectifs. On parle alors de «structure horizontale» ou de texture d'un peuplement.

Stabilité collective

Un arbre dont le tronc indique une certaine conicité ou les collectifs d'arbres dotés de longues couronnes sont plus stables face aux contraintes externes que les arbres élancés dotés de couronnes courtes. Les arbres seuls ou les petits collectifs servant d'«éléments stabilisateurs», possèdent une stabilité individuelle élevée et peuvent former la «charpente» du peuplement, notamment en montagne. Le coefficient d'élancement et la longueur de la couronne dépendent de la lumière dont dispose chaque arbre.

Éléments stabilisateurs

Stabilité individuelle



Fig. 3-5: Ce jeune épicéa grandit maintenant rapidement en hauteur et, sous la protection des collectifs voisins, peut se développer en un élément stable. Pessière subalpine, Pfäfers (SG).

Pour que le rajeunissement soit possible, il faut un substrat de germination et de la chaleur. En montagne, à partir d'une certaine altitude, la lumière diffuse ne suffit plus et le rayonnement solaire direct est nécessaire pour fournir la chaleur indispensable à la germination. Mais un rayonnement direct trop intense, à des endroits exposés, peut assécher le sol. Le rajeunissement peut être empêché si la végétation au sol est trop abondante; souvent, le rajeunissement n'est possible que sur des microstations particulières ou sur du bois mort. Les **années à graines** sont rares.

Rajeunissement

Substrat de germination

Autrement dit, le rajeunissement en forêt de montagne est limité dans le temps et l'espace. Ce n'est pas le cas dans les forêts de basse altitude, où une éclaircie suffit en général pour permettre au rajeunissement de se développer dans le peuplement.

Lorsque la germination a réussi, les jeunes arbres demeurent encore longtemps dans le domaine d'influence des herbes (recrû non établi). Le taux de dépérissement est élevé. Les maladies fongiques favorisées par une longue durée d'enneigement sont particulièrement dangereuses (p. ex. **l'hypotrachie noire**).

Rajeunissement préétabli (10 à 40 cm de haut)

Au cours de leur développement, le besoin en lumière des jeunes arbres tend en général à s'accroître. Sous abri, le rajeunissement pousse très lentement et peut sécher le cas échéant. Même lorsque le recrû est établi, il est menacé par les effets du mouvement de la neige et par les ongulés sauvages.

Rajeunissement établi (dès 40 cm de haut et jusqu'à 12 cm de diamètre)

3.6 Histoire du peuplement

Les forêts que nous connaissons aujourd’hui sont le résultat d’une évolution influencée pendant des décennies et des siècles par les forces de la nature et par les activités humaines. Une brève rétrospective nous permet de mieux comprendre cette évolution. Les forêts ont été défrichées à grande échelle pour gagner des terres à cultiver et des pâturages. En montagne, le bois jouait un rôle de premier plan en tant que matériau de construction, source d’énergie et produit d’exportation. Les difficultés économiques ont conduit jusqu’au siècle dernier à des destructions étendues de forêts et par la suite à une plus grande fréquence des catastrophes naturelles. Grâce à l’invention du chemin de fer, qui a permis de transporter le charbon dans des régions éloignées, la pression sur l’exploitation du bois a diminué et il a été possible d’adopter, en 1876, la première loi forestière fédérale destinée à protéger et à restaurer les forêts de montagne.

Les efforts déployés durant les décennies suivantes ont permis d’augmenter la surface forestière et d’améliorer l’état des peuplements de façon réjouissante. Mais comme les bases de décisions adéquates manquaient, des développements que nous considérons aujourd’hui comme moins heureux ont aussi été engagés. Parmi nos peuplements riches en épicéas, beaucoup sont issus des plantations à grande échelle des XIX^e et XX^e siècles. Les conifères ont par exemple été favorisés à l’époque en raison du flottage plus facile qu’avec le bois lourd des hêtres. Et autrefois, on a pratiqué les éclaircies en montagne selon les mêmes principes que dans les forêts de plaine. Il en est souvent résulté des peuplements uniformes et des futaies difficiles à rajeunir. Les forestiers d’aujourd’hui doivent donc aussi composer avec cet héritage de leurs prédécesseurs.

D’où viens-tu?



Fig. 3-6: Une plantation équienne et uniforme du XIX^e siècle a été fortement endommagée par la tempête et les bostryches. La conversion en une forêt mieux structurée est coûteuse et dure au moins pendant une génération d’arbre. Pessière-sapinière de l’étage haut-montagnard (Oberland SG).

4 Fonctions de la forêt

4.1 Généralités

Prestations de la forêt	Nous pratiquons la sylviculture en raison des exigences posées par la société (collectivité, propriétaires de forêts ou divers groupes sociaux) à la forêt et à ses effets sur l'environnement de l'homme. La forêt couvre donc divers besoins humains. On parle alors de prestations ou de fonctions de la forêt.
Fonctions de la forêt	
Produits	Du point de vue de l'économie d'entreprise, il s'agit de produits, à savoir des marchandises (p. ex. du bois) ou des services (p. ex. de la protection), issus d'un processus de production et représentant une valeur pour le destinataire. Alors que le bois récolté est le produit primaire issu de la production de bois, c'est le contraire pour presque toutes les autres fonctions de la forêt: ici, le véritable produit est l'état de la forêt, ou en d'autres termes le «bois qui reste».
Multifonctionnalité	La forêt livre toujours plusieurs prestations simultanément, elle est multifonctionnelle. Certaines demandes d'intérêt public requièrent cependant une attention particulière, par exemple la biodiversité ou, en forêt de montagne, l'effet protecteur. Une fonction donnée peut être déclarée fonction prioritaire. La délimitation et la priorisation des fonctions de la forêt s'élabore dans le cadre du plan directeur avec la participation de la population.
Fonction prioritaire	
Plan directeur forestier PDF	Les besoins de la population changent parfois plus vite que l'état de la forêt. Mais la gestion des forêts de montagne exige des stratégies à long terme. Quelle que soit la fonction de ces forêts, une stabilité durable et un rajeunissement suffisant sont toujours les objectifs prioritaires. Les diverses fonctions de la forêt sont brièvement commentées ci-dessous. Les faits et chiffres sur le sujet sont bien résumés dans le Rapport forestier 2015 et, de façon détaillée et actualisée, dans l'annuaire La forêt et le bois 2019 de l'OFEV.

4.2 Biodiversité forestière

Réserves forestières totales et spéciales	La nécessité de protéger la forêt en tant que milieu de vie proche de la nature est mentionnée dans l'article d'introduction de la loi fédérale sur les forêts. L'une des démarches allant dans ce sens est de laisser libre cours au développement naturel de la forêt (p. ex. réserves forestières totales) ou aussi de prendre des mesures spécifiques en faveur d'une espèce (p. ex. réserves forestières spéciales en faveur d'une essence ou d'une espèce animale rare comme le grand tétras). Selon les cas, une collaboration avec des spécialistes ou des organisations de protection de la nature est importante. L'accès à certaines zones forestières peut être restreint en vue de protéger des plantes ou des animaux sauvages.
Milieu de vie proche de la nature	Les forêts de montagne offrent des milieux de vie étendus, proche de la nature et relativement peu dérangés, favorables à de nombreuses espèces d'animaux, de champignons et de plantes. À l'image de la diversité de la montagne, il existe un grand éventail de milieux de vie, p. ex.: <ul style="list-style-type: none"> • Le développement de la végétation dans les couloirs d'avalanches est régulièrement remis à zéro. Il apparaît alors des paysages ouverts et des espèces pionnières incapables de survivre ailleurs en raison de la concurrence des essences dominantes. • Des forêts sur gros blocs se développent sur les zones de dépôts dues aux éboulements et offrent une grande diversité de microstations. • La topographie des zones montagneuses produit un grand nombre de microstations différentes sur un espace réduit. • Le grand âge atteint par de nombreux arbres et peuplements permet à des organismes à croissance lente de s'établir (p. ex. les lichens).
Ongulés sauvages	Les espèces d'ongulés sauvages ont failli autrefois disparaître de l'espace alpin. Heureusement, les populations de chevreuils, cerfs, chamois et bouquetins se sont si bien rétablies qu'elles ne

sont plus en danger. La forte croissance de ces populations cause même dans maintes régions une surcharge de l'écosystème forestier.

Les grands prédateurs avaient quant à eux été exterminés. Grâce à des mesures rigoureuses de protection et à des projets coûteux de réintroduction, le lynx a pu s'établir à nouveau.

Grands prédateurs

Le loup a recolonisé la Suisse lui-même, à partir des pays voisins, et même quelques ours apparaissent de temps à autres dans nos forêts. Il est important que ces prédateurs puissent encore plus largement jouer leur rôle dans l'écosystème forestier.

Il ne se trouve plus en Suisse que quelques îlots où la forêt peut continuer de se développer à long terme sans influence humaine. Les derniers tout petits vestiges de forêts vierges se trouvent à l'écart en montagne (Derborence VS et Scatlé GR). Mais la pression économique a conduit les entreprises forestières à abandonner ou à réduire fortement l'exploitation du bois dans les forêts peu accessibles, si bien que les processus naturels s'y installent à nouveau.

Pour promouvoir la biodiversité en forêt, il est très important de penser à des mesures souvent faciles à réaliser sur toute la surface, en plus des mesures spécifiques ou de l'absence d'intervention (surfaces prioritaires pour la biodiversité). Ces mesures sont généralement réalisables aussi en forêt de protection.

Exemples: laisser des arbres-habitats sur pied, conserver des essences pionnières, laisser le bois mort au sol et sur pied, etc. Ces mesures sont souvent utiles non seulement à la nature, mais aussi pour atteindre les buts sylvicoles (p. ex. rajeunissement sur du bois en décomposition, habitats pour antagonistes des ravageurs forestiers). En outre, ces «mesures» ne sont souvent que des renoncements à intervenir. Elles sont donc avantageuses sur le plan économique et n'ont généralement aucun impact négatif sur les autres fonctions de la forêt.

Biodiversité dans toute la forêt

4.3 Protection contre les dangers naturels

En montagne, la fonction de protection revêt une importance essentielle sur environ la moitié de sa surface et demande de fixer des objectifs particuliers. Mais environ un tiers des forêts à basse altitude sont aussi des forêts de protection. Or les effets protecteurs correspondent à une valeur matérielle qu'il est difficile de chiffrer en francs. La loi fédérale sur les forêts oblige les cantons à garantir des soins minimaux lorsque la fonction protectrice le demande. Les soins aux forêts de protection bénéficient du soutien financier de la collectivité.

La délimitation de forêts à fonction protectrice se fonde sur l'examen des critères suivants:

Délimitation des forêts de protection

- Potentiel de danger: type et intensité des dangers naturels menaçants;
- Potentiel de dégâts: ampleur des dégâts qui pourraient être entraînés par les aléas naturels;
- Efficacité de l'effet protecteur de la forêt: capacité de la forêt à s'opposer aux dangers existants.

Dans le cadre du projet **SilvaProtect-CH**, dans les années 2010, les cantons ont délimité les forêts de protection sur la base de critères homogènes et de modélisations.

Les soins à la forêt de montagne constituent une partie importante de la **gestion intégrée des risques**.



Fig. 4-1: La forêt protège le chemin de fer (potentiel de dégâts) contre les chutes de pierres (potentiel de dangers).
Pessière de l'étage haut-montagnard (Susch, GR)

Les chutes de pierres, les glissements de terrain ou les avalanches sont des processus naturels qu'il n'est en principe pas possible d'empêcher. Mais grâce à la présence de peuplements adéquats, l'ampleur de ces processus peut être réduite.

Chutes de pierres

Les arbres peuvent freiner ou stopper les pierres qui dévalent la pente. L'effet des arbres dépend fortement de l'énergie de ces pierres. Un rôle déterminant revient donc non seulement aux dimensions des ouvertures dans la ligne de pente, mais aussi à la surface terrière. Les arbres au sol disposés en travers peuvent également réduire efficacement l'énergie des pierres. Dans la zone de déclenchement des chutes de pierres, l'activité des racines et les chutes d'arbres peuvent aussi disloquer des pierres.

Avalanches

Les arbres influencent la **structure du manteau neigeux** et peuvent empêcher le déclenchement d'avalanches. Les facteurs déterminants sont la proportion de conifères (couronnes sempervirentes), la dimension des trouées dans le peuplement et le degré de recouvrement. Les souches hautes et les arbres au sol réduisent également les mouvements de la neige. Mais lorsqu'une avalanche est en mouvement, la forêt n'a plus d'effet déterminant. Lorsque la zone de déclenchement se situe au-dessus de la limite supérieure de la forêt, l'avalanche menace la forêt de protection elle-même et celle-ci n'assure plus sa fonction de façon fiable.

Érosion, glissements

Les racines des arbres fixent le sol et réduisent la fréquence et l'ampleur des glissements de terrain ainsi que des pertes de sol par érosion. Cet effet s'exerce surtout pour des glissements superficiels (jusqu'à 2 mètres de profondeur environ). L'armature mécanique que constitue le système racinaire dans le sol devient presque négligeable lorsque la surface de glissement est profonde. Dans ce cas, l'effet positif de la forêt se limite à son influence sur le régime hydrique. Les facteurs essentiels sont à ce propos le mélange des essences, qui permet une pénétration efficace des racines dans les divers horizons, ainsi que la dimension des trouées et le degré de recouvrement, qui indiquent quelle proportion de la surface le réseau racinaire occupe durablement.



Fig. 4-2: Des fortes précipitations ont déclenché une lave torrentielle. Grâce aux racines des arbres, la quantité de sol emportée a pu être limitée. Chummerbach, Davos (GR)

En cas de fortes précipitations, la forêt exerce un meilleur effet sur l'écoulement des eaux que d'autres formes de végétation et elle diminue le danger de crues et de laves torrentielles. Le pourcentage de boisement du bassin versant joue bien sûr un rôle déterminant. Quant à l'influence de l'état de la forêt sur l'écoulement des eaux, il dépend de nombreux facteurs et est difficile à quantifier. L'influence la plus forte exercée par la forêt a lieu sur les sols profonds dont la perméabilité est réduite.

Crues

Les arbres situés dans la zone d'influence de ruisseaux et de rivières ont un effet positif en termes de glissement de terrain et d'érosion. Mais par ailleurs, les arbres peuvent être arrachés lors des crues et former des occlusions.

Forêt à proximité des cours d'eau

NaiS – Gestion durable des forêts de protection

Le guide des soins sylvicoles NaiS (FREHNER, M.; WASSER, B.; SCHWITTER, R., 2005.) est un instrument au service des praticiens. Il doit permettre d'obtenir des forêts de protection durablement efficaces à un coût minimal. NaiS est une référence obligatoire en Suisse pour toutes les mesures prises en forêt de protection et bénéficiant du soutien financier de la Confédération. Il s'agit d'une nouvelle version élargie des instructions «Soins minimaux pour les forêts à fonction protectrice» (1996). Les cantons peuvent ordonner des soins aux forêts de protection dans l'intérêt général. Lorsqu'elles sont obligatoires, de telles mesures sont indemnisées dans le cadre des dispositions légales. Les contributions de la collectivité sont cependant à utiliser de façon aussi efficiente et efficace que possible. Les mesures de soins ordonnées et indemnisées par des financements publics doivent en conséquence respecter les sept principes suivants:

1. **Soins orientés vers l'objectif de protection:** les soins effectués dans les forêts de protection ont pour seul objectif de réduire l'ampleur des dangers naturels.
2. **Effectués au bon endroit:** les soins sont effectués là où la forêt est en mesure d'empêcher ou de réduire les effets des dangers naturels sur l'homme ou sur les biens matériels.
3. **Effectués au bon moment:** les soins doivent être apportés au moment où ils développent un effet optimal à un coût minimal.
4. **Basés sur les processus naturels:** les soins doivent être adaptés aux conditions de station. Cela permet d'utiliser les forces de l'évolution naturelle des forêts.
5. **Liés à un objet concret et basés sur une démarche transparente, compréhensible et contrôlable:** les soins à réaliser sont déterminés sur place par des professionnels, ce qui permet de respecter les conditions de stations, variables à petite échelle. Le processus de décision se déroule toujours de la même façon. Comme la démarche est documentée, elle reste transparente, compréhensible et contrôlable.
6. **Efficaces:** la probabilité que les soins permettent d'atteindre les objectifs est très élevée.
7. **Objectifs atteignables à des coûts raisonnables:** Le rapport coût-avantage des soins est raisonnable.

Les 7 principes des soins aux forêts de protection

Profils d'exigences	Partant du principe que l'état de la forêt joue un rôle central pour ses effets de protection contre les dangers naturels, nous définissons des états de la forêt en tant qu'objectifs à atteindre obligatoirement. Ces objectifs varient en fonction de la station et du type de danger naturels et sont appelés profils d'exigences.
Nécessité d'intervenir	La méthode permettant de définir les besoins d'intervention se fonde sur une comparaison entre l'état ACTUEL et l'état SOUHAITÉ effectuée sur place par les responsables. NaiS prescrit donc des objectifs clairs et un processus général, mais pas de mesures. Celles-ci sont à définir par le gestionnaire sur place en fonction des conditions locales.
Contrôle des résultats	Le contrôle des résultats comprend d'une part l'analyse des effets sur des placettes témoins, afin d'appréhender les effets des interventions sylvicoles, et d'autre part une analyse des objectifs. Celle-ci garantit que les connaissances actuelles acquises par les chercheurs et les praticiens sont bien prises en compte dans les exigences posées à la forêt de protection. Les instructions pratiques NaiS sont structurées par thèmes et téléchargeables (PDF).

4.4 Production de bois

L'importance économique et écologique du bois en tant que matière première est très appréciée et les recettes de la vente du bois restent une source de financement importante, également en montagne. Mais à la différence du passé, les conditions cadres actuelles déterminant les recettes et les coûts de la récolte du bois en terrain non praticable ne permettent plus de couvrir les dépenses.

Le bois en tant que sous-produit

Aujourd'hui, la récolte de bois est souvent inféodée à d'autres objectifs, notamment liés aux soins à la forêt de protection. La matière première bois, pourtant précieuse, devient ainsi un sous-produit. Le défi posé sur les grandes surfaces forestières consiste ainsi, grâce à une planification et une mise en œuvre efficaces, à utiliser au mieux des synergies avec d'autres fonctions de la forêt afin de permettre la récolte de matière première. En outre, lorsque la forêt n'a pas d'autres fonctions prioritaires, il s'agit lorsque cela est possible de récolter le potentiel en bois de façon durable et en couvrant les coûts.

4.5 Fonction de détente et élément du paysage

Les forêts de montagne sont mises à contribution de façon croissante et sans indemnisation directe par la population locale comme par les touristes. Il s'agit d'activités qui se déroulent en forêt même ainsi que du rôle des paysages forestiers, qui offrent une coulisse de choix. Cette situation peut générer des conflits d'objectifs, donc d'intérêts. Sous l'effet du changement climatique, les séjours dans le climat forestier agréablement frais pourraient renforcer encore l'attrait du tourisme d'été.

4.6 Autres prestations de la forêt

Les forêts de montagne remplissent encore de nombreuses autres fonctions, que nous énonçons ici brièvement, notamment:

- la protection de l'eau potable;
- les produits non-bois: champignons, petits fruits, gibier et autres produits alimentaires ou phytothérapeutiques;
- stockage de carbone;
- pâturages: uniquement dans un cadre particulier et bien réglementé, p. ex. la conservation de formes traditionnelles d'exploitation tels que les pâturages boisés.

4.7 Extension de la surface forestière

La surface des forêts de montagne en Suisse augmente depuis des décennies et continuera de le faire. Les surfaces que la forêt recolonise évoluent vers leur type de végétation originel. La raison principale de ce processus est la réduction de l'intensité de l'exploitation agricole sur les surfaces qui, malgré les diverses mesures d'indemnisation et de promotion, ne restent plus «rentables» car trop exigeantes en main d'œuvre. Ce changement peut entraîner des effets positifs en matière de défense contre les dangers naturels ou de production de bois, mais en même temps causer des conséquences négatives pour la biodiversité et le paysage.

En revanche, le passage de la forêt vers des surfaces non boisées est soumis à l'interdiction générale de défricher par la loi sur les forêts, loi appliquée de façon très stricte.

5 Prise de décision sylvicole

5.1 Déroulement général

Le processus de décision sylvicole se déroule toujours de la même façon, indépendamment des conditions cadres et des objectifs sylvicoles. Il intègre également les effets prévus du changement climatique pour toutes les appréciations et décisions.

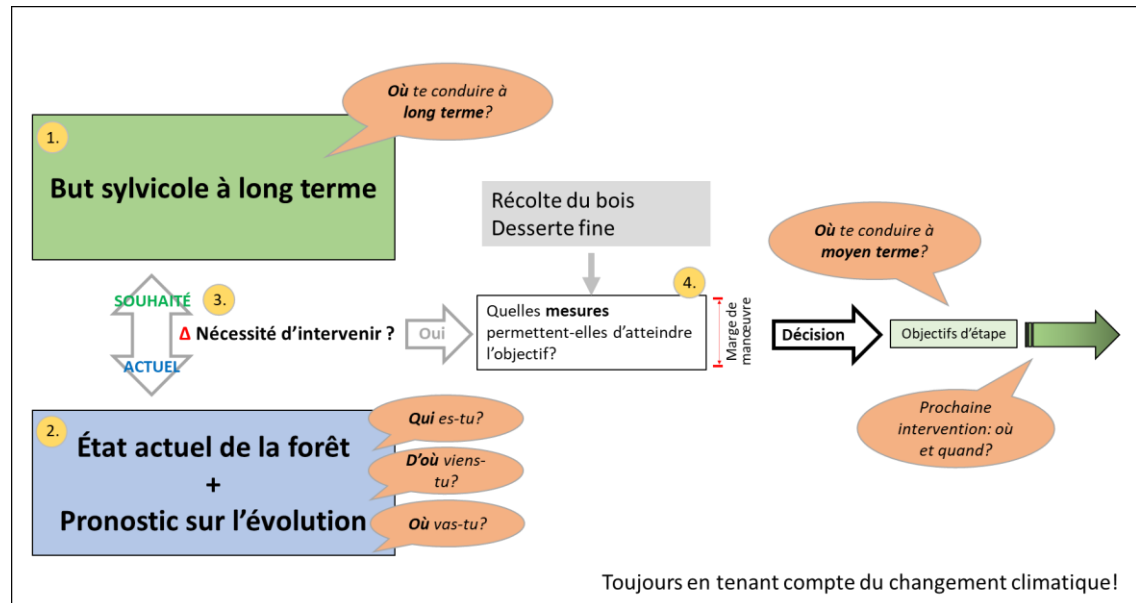


Fig. 5-1: Déroulement général des prises de décisions sylvicoles

La première étape consiste à formuler clairement le but sylvicole à long terme, synonyme du profil d'exigences en forêt de protection. L'étape suivante consiste à apprécier l'état actuel de la forêt, en incluant l'histoire du peuplement et l'évolution future du peuplement en l'absence d'intervention. Il est maintenant possible de comparer les objectifs (état SOUHAITÉ) avec le peuplement réel (état ACTUEL) afin d'en déduire les mesures nécessaires. Lorsque la nécessité d'intervenir est connue, il est alors possible de définir les mesures pertinentes, adaptées aux conditions cadres telles que les méthodes de récoltes. Puis la mesure la plus adéquate est choisie, en tenant compte d'un processus pertinent à moyen terme (prochaines mesures). Les objectifs d'étape décrivent le prochain état à atteindre (p. ex. dans 10 ans) sur le chemin menant au but sylvicole à long terme.

5.2 But sylvicole à long terme

La formulation claire du but sylvicole à long terme est la condition d'une intervention sylvicole bien ciblée. Toutes les mesures (et renoncements à des mesures) découlent strictement de cette formulation. Les buts sylvicoles doivent aussi être formulés clairement si l'on veut plus tard procéder au contrôle des résultats.

Les buts formulés à l'échelle régionale par le plan directeur forestier (PDF), par exemple «protection contre les chutes de pierres» ou «promotion du grand tétras», sont concrétisés par le but sylvicole à long terme. Outre les fonctions de la forêt à remplir, le but sylvicole s'oriente aussi par rapport à la station forestière et aux conditions de desserte.

Objectifs concrétisés

En forêt protectrice, le but sylvicole à long terme correspond généralement au profil d'exigences idéal (état souhaité selon NaiS), c'est-à-dire l'état de la forêt susceptible de garantir durablement un effet protecteur élevé en rapport avec les principaux dangers naturels constatés. En fonction de l'état actuel de la forêt, de la gestion passée et de la desserte actuelle, on précise si une forêt de protection doit être structurée par des arbres considérés individuellement (jardinage classique) ou par groupes (jardinage par groupes).

Par **jardinage par groupe** on entend une forme de gestion où l'on prélève aussi des groupes d'arbres ou des collectifs jusqu'à une surface de 10 ares. Il s'agit d'un objectif fréquent dans les forêts de montagne et de protection.

Jardinage par groupe

Le but sylvicole à long terme est aussi indispensable en matière de production de bois, car il permet de choisir des concepts de traitement pertinents. Dans les forêts de production étagées (jardinage par groupes, jardinage individuel, forêt pérenne), ce sont des structures particulières et des états d'équilibre qui servent de référence. En revanche, dans les futaies régulières, le but sylvicole à long terme correspond au but de composition du peuplement (pourcentage des essence).

Objectifs de composition du peuplement en forêt régulière

En montagne, l'objectif d'obtenir des peuplements structurés par groupes vaut aussi hors zones de protection. Dans les forêts résineuses d'altitude à l'étage subalpin (et partiellement haut-montagnard), les principes suivants sont appliqués:

Jardinage de montagne en altitude

- Le rajeunissement a besoin de suffisamment de chaleur et donc d'ensoleillement direct introduit par des ouvertures (fentes de rajeunissement).
- Plus l'altitude augmente, plus les arbres poussent en collectifs; les arbres formant un collectif sont dépendants les uns des autres, ils ne sont stables que collectivement.
- Le jardinage par groupe est aussi appelé jardinage de montagne.

Le jardinage par groupes convient également aux altitudes moyennes et plus basses pour les raisons suivantes:

Jardinage par groupe aussi à basse altitude

- Il répond le mieux aux diverses exigences posées à la forêt (multifonctionnalité).
- La stabilité des peuplements étagés est très élevée et les risques sont donc plus faibles.
- Les peuplements bien structurés (diversité des âges) avec rajeunissement préalable se rétablissent rapidement après les perturbations (haute résilience).
- Il est possible d'éviter des conséquences négatives dues aux mesures sylvicoles, notamment envers le rajeunissement (concurrence des hautes herbes, mouvements de la neige, etc.) en renonçant à des coupes de réalisation étendues.
- Il permet de rajeunir et de favoriser des essences dont les besoins en lumière et en chaleur sont différents, grâce aux variations de la taille des ouvertures.
- Il est compatible avec le débardage par câble.



Fig. 5-1: La structuration des peuplements par groupes convient en tant que but sylvicole dans la plupart des forêts de montagne.

Dans le cadre du jardinage par groupes, une importante marge de manœuvre est prévue concernant la taille des ouvertures, afin de pouvoir l'adapter aux conditions de stations et aux objectifs. Il faut éviter de réaliser des ouvertures si elles ont des conséquences négatives ou entraînent des risques importants pour le peuplement.

Selon les situations, d'autres buts à long terme que le jardinage par groupes peuvent se révéler pertinents. Il peut par exemple s'agir du taillis dans une forêt de protection contre les chutes de pierres, lorsque celles-ci sont de petite taille, ou d'une forêt de production bien desservie, pour laquelle on définit des objectifs de composition du peuplement dans le cadre des coupes progressives.

Les forêts traitées par groupes peuvent également être considérées comme forêts pérennes au sens large.

5.3 État de la forêt et prévision de l'évolution

Condition préalable:
observer avec exactitude

L'observation et la description exactes de l'état actuel de la forêt est une condition préalable à la pertinence des décisions sylvicoles. Une autre action déterminante est la prévision de l'évolution future du peuplement. Il s'agit d'une part de profiter de la tendance naturelle (en direction du but) et de n'intervenir que si nécessaire. D'autre part, les mesures éventuelles elles aussi ne déploient leurs effets que dans le futur. Habituellement, l'évolution future est estimée sans tenir compte de possibles aléas importants (comme la tempête Lothar en 1999). Pourtant, les décisions sylvicoles doivent tenir compte des perturbations possibles (risques).

Important: coup d'œil
dans le rétroviseur

Il est souvent utile de connaître l'histoire du peuplement, afin de bien situer son état actuel et de pouvoir prévoir l'évolution future. Les caractéristiques et critères décisifs, et donc à prendre en compte, varient en fonction du but et de l'état actuel du peuplement.

Les caractéristiques importantes en forêt de protection sont définies dans les profils d'exigences de NaiS. Elles sont prises en compte lors de l'appréciation systématique de la **nécessité d'intervenir** à l'aide du formulaire 2 de NaiS.

Pronostics plus difficiles
en raison du
changement climatique

Le changement climatique va modifier les conditions stationnelles actuelles et donc aussi les rapports de concurrence entre essences. Cela rend l'appréciation de l'évolution future des peuplements encore plus exigeante. En outre, les processus à l'origine des perturbations se

transforment eux aussi et complexifient encore davantage la projection dans le futur, ces perturbations devenant plus fréquentes et plus sévères (p. ex. sécheresse, typographe).

5.4 Analyse de la nécessité d'intervenir

L'analyse de la nécessité d'intervenir a pour but de clarifier s'il est indispensable de guider l'évolution du peuplement pour atteindre les objectifs sylvicoles. Il s'agit d'une comparaison entre l'état ACTUEL et l'état SOUHAITÉ, sur la base de l'évolution future du peuplement et en l'absence de mesures. Il est essentiel de préciser clairement quelles **caractéristiques du peuplement** (p. ex. absence de rajeunissement) entraînent un besoin d'intervenir et lesquelles non.

Dans les soins à la forêt de protection, le procédé d'**analyse du besoin d'intervenir** a été standardisé et focalisé sur les caractéristiques du peuplement pertinentes pour la protection.

La comparaison «état ACTUEL – état SOUHAITÉ» indique la différence entre la situation de départ (état actuel) et le but (état souhaité ou profil d'exigences). La prévision d'évolution est une tentative d'estimer le dynamique propre du peuplement, autrement dit l'action des forces naturelles. L'évaluation générale permet de décider de la nécessité et de l'urgence des interventions. L'urgence est généralement d'autant plus élevée que les conséquences négatives attendues sont proches.

Comparaison état ACTUEL – état SOUHAITÉ

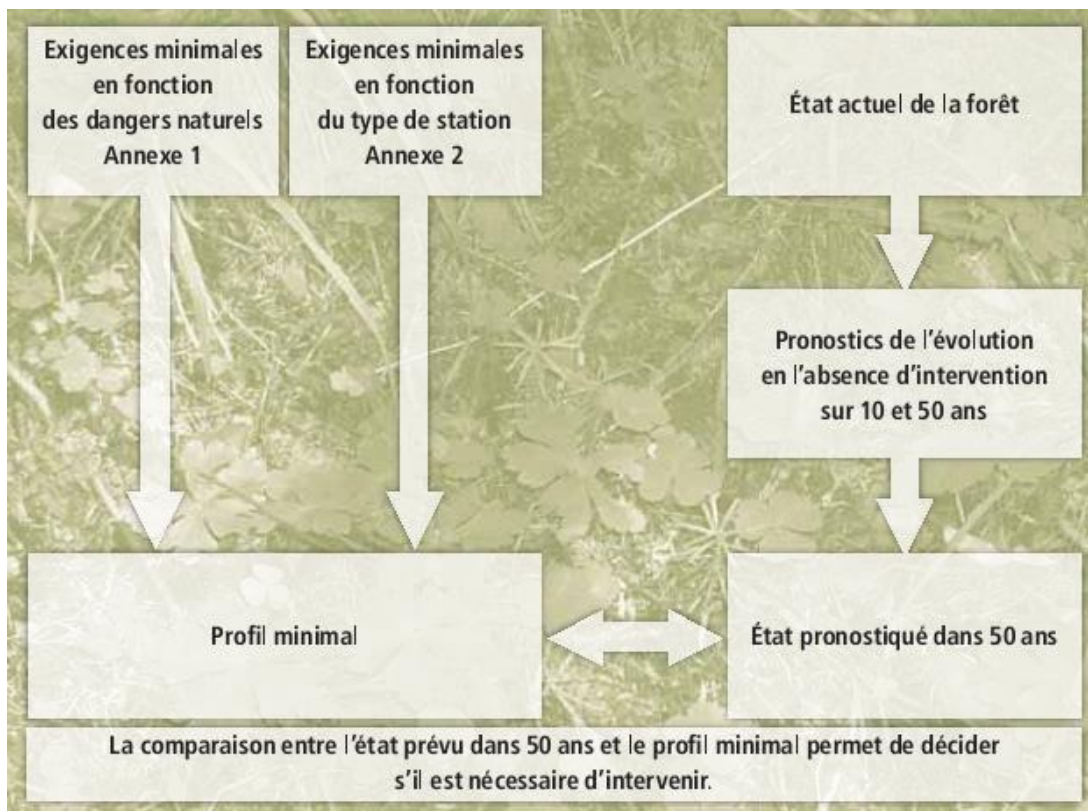


Fig.5-1: Schéma d'analyse de la nécessité d'intervenir en forêt de protection selon NaiS

Ce processus est toujours recommandé, car il «oblige» le gestionnaire à prendre en compte l'évolution de l'ensemble du peuplement et pas seulement la prochaine intervention ou la prochaine exploitation.

5.5 Définition des mesures

Coordination sylviculture-récolte du bois

Si la nécessité d'intervenir est avérée, il s'agit de savoir quelles seront les mesures les plus efficaces en vue d'influencer l'évolution de la forêt au mieux dans la direction souhaitée. Les buts sylvicoles doivent tenir compte des conditions cadres, comme la desserte et les **méthodes de récolte envisageables**, avant de conclure sur les mesures les plus pertinentes parmi les mesures possibles. La coordination temporelle et spatiale avec les mesures prises dans **l'unité de desserte fine** est également essentielle.

Le principe valable dans les soins en forêt de protection est que les mesures doivent être efficaces, réalisables et proportionnelles.

Marge de manœuvre

Une marge de manœuvre existe presque toujours. Elle est plus ou moins grande en fonction du but et de la situation de départ. En forêt de protection, cette marge se situe entre des mesures minimales nécessaires pour garantir l'effet protecteur à long terme et des mesures maximales qui ne mettent pas l'effet protecteur en danger. Il est donc possible d'optimiser les interventions dans cette fourchette, également dans une optique économique ou en visant d'autres fonctions de la forêt.

Objectifs d'étape

La définition d'objectifs d'étape concrets oblige à poser des jalons intermédiaires réalistes sur le chemin du but sylvicole à long terme et d'en déduire les mesures qui conviennent. Les objectifs d'étape permettent en outre de procéder à l'analyse des effets, partie importante du **contrôle des résultats**.

6 Mesures

L'action sylvicole requiert de s'orienter à des **objectifs** clairs.

Condition : formuler des objectifs

Le gestionnaire se fonde sur une **nécessité d'intervenir** pour appliquer ses mesures sylvicoles telles que l'introduction du rajeunissement, l'amélioration de la stabilité, la structuration du peuplement, etc. Telle ou telle mesure est-elle efficace – ou déjà trop tardive? Peut-on encore agir sur le peuplement ou vaut-il mieux déjà rajeunir? Le but sylvicole à long terme ne peut en principe pas être atteint en une seule fois. Cela signifie que la prochaine mesure à prendre devra être bien harmonisée avec la mesure qui lui succédera et que les objectifs intermédiaires devront être réalistes.

Harmoniser les mesures entre elles

Les forêts de montagne sont un système stable et doté d'une forte inertie, en fonction de la structure et la texture des peuplements. Les mesures prises à temps, si elles sont efficaces, débouchent sur l'exercice durable des fonctions de la forêt souhaitées. Dans le cas du jardinage par groupes, le processus consiste à se rapprocher de la structure de forêt souhaitée. Si le peuplement est déjà étagé, toutes les mesures telles que régulation du mélange, soins stabilisateurs ou introduction du rajeunissement sont appliqués lors de la même intervention sur une surface relativement petite. Mais si le peuplement est encore éloigné de l'état souhaité (p. ex. rajeunissement surfacique après une tempête), il est souvent nécessaire de se concentrer d'abord sur certains aspects, tels que la régulation du mélange ou la structuration. On parle alors d'une conversion. En fait, une intervention touche toujours plusieurs aspects simultanément, à savoir le mélange, la stabilité et le rajeunissement, avec des accents sur certains d'entre eux en fonction de la nécessité d'intervenir.

Diverses mesures en une seule intervention

Conversion

La notion de «rationalisation biologique» est souvent utilisée dans la pratique, mais seulement en rapport avec les soins à la jeune forêt. En fait, la rationalisation biologique est un concept général qui recouvre toute la sylviculture proche de la nature, qui concerne l'ensemble de la gestion forestière et qui prend en compte l'automatisme naturelle et le principe de concentration. Il s'agit de mettre à profit l'**automatisme naturelle**, à savoir tous les processus qui se déroulent naturellement (automatiquement) dans le sens souhaité par le gestionnaire. Le gestionnaire renonce à toute intervention aussi longtemps que l'évolution va dans le sens qu'il souhaite. Le principe de concentration demande de limiter l'activité sylvicole aux mesures indispensables pour atteindre le but. Aucun travail inutile n'est réalisé.

Rationalisation biologique

**Automatisme naturelle
Principe de concentration**

Lorsque ce n'est pas la production de bois qui est prioritaire, mais d'autres fonctions (p. ex. la protection ou la biodiversité), il est possible de renoncer à la récolte de bois après les interventions (laisser le bois au sol, couper la couronne, anneler, etc.)

Mesures particulières

Les diverses mesures sont expliquées dans les chapitres suivants. Les soins à la jeune forêt sont traités dans un chapitre séparé, même s'ils comprennent évidemment tous les aspects des mesures ci-dessous (à l'exception de l'introduction du rajeunissement).

6.1 Soins à la jeune forêt

D'un point de vue sylvicole global, les méthodes pratiquées lors des soins à la jeune forêt de montagne et de protection sont à mettre en relation notamment avec le jardinage par groupes en tant que but sylvicole à long terme. Dans les peuplements déjà plus ou moins étagés, les soins sylvicoles se limitent souvent à des interventions ponctuelles en faveur d'arbres ou de (petits) collectifs.

Soins à la jeune forêt: une partie du tout

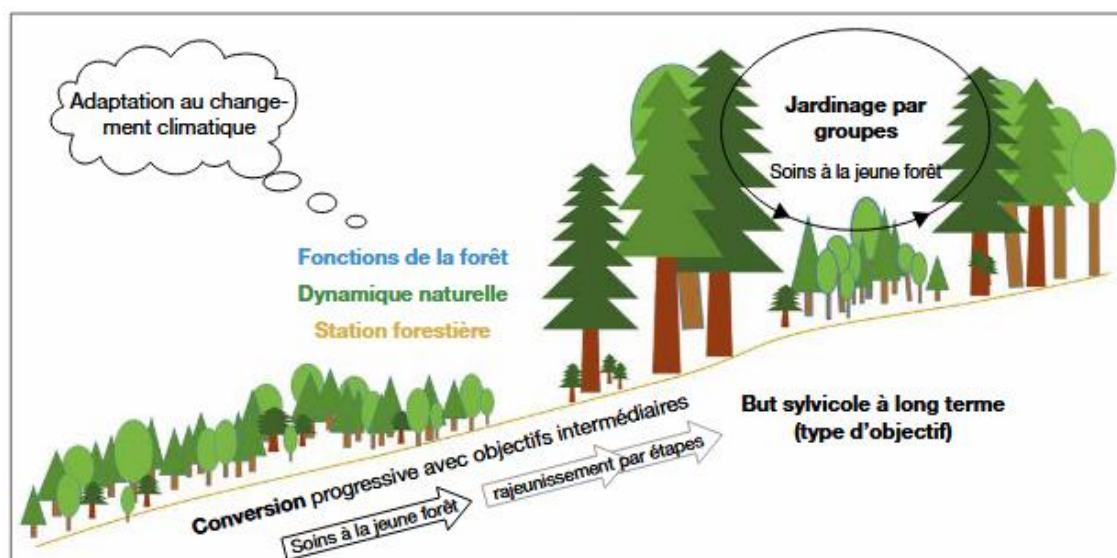


Fig. 6-1: Les soins à la jeune forêt font partie d'une gestion forestière globale

En forêt de montagne aussi, il n'est pas rare de rencontrer des jeunes forêts surfaciques, par exemple sur une surface de chablis, des coupes de réalisation étendues ou des reboisements relativement récents. Sur de telles surfaces, les méthodes de soins indiquées sur la figure 6-2 sont conçues en tant que premières mesures de conversion vers des peuplements étagés. Ils créent les conditions permettant plus tard de procéder à un rajeunissement par étapes vers des structures étagées.

Trois méthodes de soins

On distingue trois méthodes de soins à la jeune forêt qui sont fonction de l'altitude et du peuplement initial:

- les soins aux collectifs;
- la compartimentation;
- les soins aux arbres de place.

Ces trois méthodes sont expliquées dans **l'Aide pratique pour les soins aux jeunes peuplements en forêt de montagne et de protection** et dans le **document de base** (en allemand). La **carte aide-mémoire** sur le sujet est destinée à accompagner la mise en pratique sur le terrain.

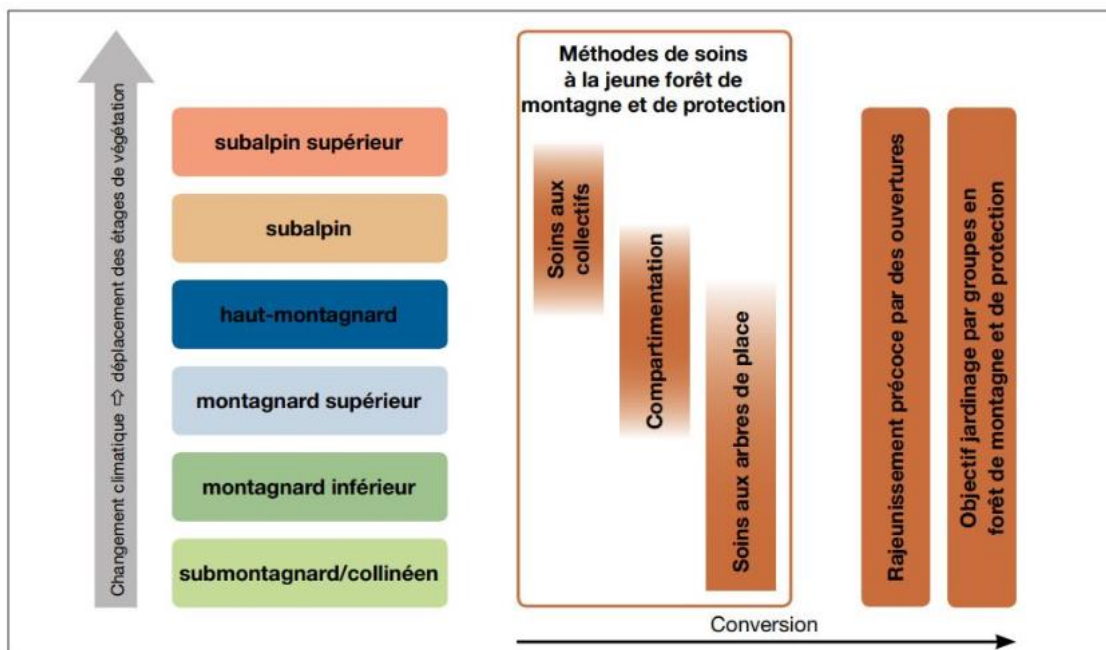


Fig. 6-2: Méthodes de soins à la jeune forêt aux divers étages de végétation avec pour but à long terme des forêts jardinées par groupes

Dans les futaies régulières avec un objectif classique de composition des essences, les concepts de soins de P. Ammann sont pertinents ([Carte aide-mémoire «Soins à la jeune forêt / rationalisation biologique»](#)). Sa série de quatre articles (en allemand, cf. Bibliographie) donne davantage de détails sur **les bases économiques, la rationalisation biologique avec l'épicéa, le frêne, l'érable sycomore et le hêtre, ainsi que sur le mélange des essences**. Le document **«Le rôle primordial des rationalisations biologiques»** (J.-Ph. Schütz, *La Forêt*, 2006) résume une bonne partie des sujets cités.

L'application pratique des soins est décrite dans la version révisée de la **Donnée d'ordre pour les soins sylvicoles** et couvre toutes les méthodes de soins mentionnées. L'ordre sylvicole est disponible en format [Word](#).

Donnée d'ordre pour soins sylvicoles

6.2 Réguler le mélange des essences

En altitude, la diversité des espèces d'arbres est limitée pour des raisons naturelles, ce qui vaut aussi pour les possibilités de réguler le mélange. Il est donc d'autant plus important que les rares essences pouvant subsister en montagne soient aussi présentes sur le terrain.

Régulation du mélange

Le **changement climatique** modifie l'éventail des espèces d'arbres. Même si les informations disponibles s'améliorent sans cesse, nous ne savons pas exactement quelles essences s'imposeront sur quelles stations. Et pour de nombreuses essences qui seront compatibles avec le climat dans 100 ans, les conditions climatiques actuelles sont encore inadéquates. Malgré tout, nous pouvons aujourd'hui déjà prendre de nombreuses mesures utiles en vue du climat futur afin d'obtenir le meilleur mélange possible. Ainsi, nous pouvons d'ores et déjà promouvoir de façon ciblée les essences de la jeune forêt qui sont adaptées au climat futur, même si elles sont aujourd'hui encore «limite» en matière de concurrence. En effet, nous appliquons ainsi le principe suivant: plus le nombre d'essences est élevé sur un type de station donnée, meilleure est la répartition des risques.

Mélange des essences lié au changement climatique

Les conditions qui règnent pendant le rajeunissement sont déterminantes pour le mélange. Outre les conditions de lumière, le mélange est fonction de la présence d'arbres semenciers et de l'impact du gibier. Lorsque les porte-graines manquent, il est possible d'envisager des plantations. En forêt protectrice, il est adéquat de créer au moins des plantations ponctuelles pour

Plantation
Protection individuelle – exemple tiré de la pratique

assurer la venue d'un réseau d'arbres semenciers. De telles plantations sont très appréciées par le gibier et nécessitent en général des protections coûteuses.

Dans les forêts de montagne âgées, il n'est plus possible de modifier sensiblement le mélange. Mais il est quand même utile d'aider les essences (semenciers) souhaitées ou de les épargner lors des exploitations. Cela s'applique particulièrement au sapin blanc, dont les jeunes individus sont soumis à l'impact des ongulés sauvages en maints endroits. Les feuillus, même surcimés au départ, fructifient souvent s'ils peuvent se développer après une éclaircie.

6.3 Différencier la structure du peuplement

L'expérience montre qu'après une intervention, le risque de dégâts consécutifs dus aux bostryches, à la pression de la neige ou au vent est beaucoup moins élevé dans les peuplements fortement structurés que dans les peuplements uniformes. Leur résistance contre diverses perturbations tels que les forts vents, les précipitations extrêmes ou les périodes de sécheresse est nettement supérieure. En outre, les dégâts subis par de tels peuplements en raison de surfaces de régénération déjà présentes sont souvent moins graves. En effet, ces peuplements retrouvent plus rapidement leur état initial (= résilience). Dans une forêt de protection, par exemple, ils sont plus rapides à retrouver leur fonction protectrice. À long terme, il est donc judicieux d'intervenir pour maintenir ou améliorer la structure des peuplements. Cela demande beaucoup d'attention lors du martelage et une certaine retenue dans l'intensité de l'intervention. Il s'agit également d'enclencher la structuration le plus tôt possible (conversion).

Résistance,
résilience



Fig. 6-31: Hêtraie à sapins bien structurée, Luan (VD)

Idéalement, une intervention permet d'agir à la fois sur la structure et sur le développement du rajeunissement – en accord avec les principes du jardinage (voir aussi OTT, ET AL., 1997, p. 32s.).

Forêt jardinée de
montagne

Tenir compte des li-
sières intérieures

Les praticiens font cependant remarquer que la réalité ne correspond que rarement à l'idéal. Les forêts des étages haut-montagnard et subalpin donnent souvent une impression d'homogénéité – du moins extérieurement. On oublie parfois que les peuplements, même s'ils sont uniformes, ne sont pas équiennes et qu'en y regardant de plus près, on y découvre encore des bords de couronnes vertes, donc des traces d'une différenciation en train de s'estomper, mais qui pourrait réapparaître par des soins appropriés. Lorsqu'on crée des trouées, il faudrait si possible qu'il reste des lisières intérieures vertes. Le martelage dans de telles situations est très exigeant et demande beaucoup de temps. Il est utile de se concentrer davantage sur les arbres et les collectifs destinés à rester dans le peuplement, que sur ceux qui vont être exploités. Cette

optique est la mieux à même de garantir le meilleur état possible du peuplement restant, avec des lisières ou des arbres limitrophes les plus stables possible.



Fig. 6-32: Transition entre les étages montagnard supérieur et haut-montagnard: une trouée a été créée dans un peuplement uniforme (plantation). Le bord du peuplement restant n'est pas idéal, mais le meilleur possible dans cette partie du peuplement. Bad Ragaz (SG)

Les coupes de grande étendue entreprises en invoquant la structure déficiente et la stabilité insuffisante devraient être évitées, car elles créent de **nouveaux problèmes**. En forêt protectrice, il faut au moins tenter de procéder par étapes, même si le risque existe que des arbres soient renversés ou attaqués par les bostryches après la coupe. Une intervention sylvicole ne devrait pas entraîner la nécessité d'installer des ouvrages de protection.

Éviter les coupes surfaciques

Lorsque des peuplements étendus sont encore jeunes, il existe encore suffisamment de possibilités de façonner leur structure pour l'avenir. Mais ces interventions sont coûteuses et ne génèrent pas de bois d'œuvre commercialisable. Précisons ici qu'un changement de méthode s'est établi: contrairement à autrefois, il ne se fait plus de plantations systématiques sur toute la surface, reconnues aujourd'hui comme inadéquates, mais seulement par groupes ou par collectifs.

Plantation

Les peuplements feuillus sur des pentes raides posent des problèmes particuliers. Ils présentent souvent des couronnes asymétriques penchées vers l'aval et perdent ainsi leur stabilité. Dans ces cas, une proportion d'au moins 10% d'essences résineuses améliore nettement la stabilité.

Peuplements feuillus sur pentes raides

Les principaux enseignements à tirer des mauvaises expériences faites avec des peuplements uniformes en forêt de montagne sont:

- Les interventions sylvicoles ne doivent pas générer des rajeunissements surfaciques.
- Dans les peuplements qui tendent à s'uniformiser, il s'agit de commencer le plus tôt possible de conserver, favoriser ou créer une structure.

6.4 Améliorer la stabilité

Le mélange des essences et la qualité de la structure sont d'une grande importance pour la stabilité du peuplement. Plus le peuplement est structuré, plus les individus stables, appelés éléments stabilisateurs, garantissent ensemble la stabilité générale du peuplement.

Précisons ici que la notion de stabilité recouvre **autant la résistance que la résilience**. La stabilité d'un peuplement résulte de la **stabilité individuelle et collective**.

Les éléments stabilisateurs, porteurs d'une stabilité individuelle, forme la charpente du peuplement et permettent de pratiquer les futures ouvertures de rajeunissement (lisières stables). Lors des interventions sylvicoles, il est important de prendre en compte que la stabilité

Éléments stabilisateurs

collective se réduit forcément. Il faut donc veiller à ce que cette réduction de stabilité du peuplement ne soit que passagère, aussi légère que possible et ne touche pas une grande surface. Les structures irrégulières réunissant toutes les essences en station sont l'idéal. Elles apportent le plus haut niveau possible de stabilité et de répartition des risques. Elles offrent une résistance accrue aux perturbations grâce à leurs nombreux éléments stabilisateurs. Et à la suite d'un aléa, les structures irrégulières adéquates sont nettement mieux à même de retrouver un équilibre stable (résilience).

Malheureusement, la réalité se distingue en général plus ou moins nettement de l'idéal et les soucis concernant la stabilité des forêts de montagne sont omniprésents. Que peut-on faire? La démarche décrite ci-dessus, consistant à structurer les peuplements, répond également à l'objectif d'améliorer leur stabilité.

La conformation de lisières intérieures vertes est donc aussi une mesure de stabilisation. La question est de savoir s'il faut aussi intervenir ou non à l'intérieur des peuplements et comment le faire – il s'agit de la question des éclaircies. Celles-ci sont la règle dans les peuplements fertiles et bien desservis aux altitudes inférieures. Menées à temps, les éclaircies font émerger un réseau d'arbres stables, ce qui relativise quelque peu l'importance de la structure du peuplement en rapport avec la stabilité.

Éclaircie à but stabilisateur

L'expérience a cependant montré que dans les forêts de montagne moins bien desservies (surtout dans les zones d'utilisation du câble-grue), il est difficile de réaliser des éclaircies adéquates. En outre, ces dernières décennies, les éclaircies réalisées aux étages haut-montagnard et subalpin ont eu pour effet d'homogénéiser de nombreuses forêts. Il en résulte des peuplements éclaircis d'une façon diffuse et comportant une strate herbacée continue. Celle-ci rend le rajeunissement très difficile. Même si les arbres favorisés sont stables, la stabilité à long terme de l'ensemble du peuplement reste incertaine en raison du rajeunissement manquant ou insuffisant.



Fig. 6-4: Peuplement de sapins et d'épicéas «éclaircis à mort» – entièrement couvert de hautes herbes et sans rajeunissement. À la suite de la tempête Vivian, cette surface a dû être reboisée. Pfäfers (SG).

Les éclaircies aux étages haut-montagnard et subalpin doivent soit se faire très tôt, au plus tard dans la jeune futaie, et se concentrer sur le développement des éléments stabilisateurs et la conservation ou la promotion de lisières internes vertes. En cas de doute et dans l'optique du développement à long terme du peuplement, il vaut mieux renoncer à l'éclaircie et engager le rajeunissement. En effet, la tentative de promouvoir à la fois les éclaircies et la stabilité mène souvent à une déstabilisation trop poussée.

Annelage de concurrents

Si l'on veut favoriser certains individus, par exemple des semenciers, il est aussi possible d'anneler le tronc des concurrents. **L'annelage** fait dépérir l'arbre en éliminant une bande d'écorce sur le pourtour du tronc jusqu'au cambium, ce qui interrompt le flux de sève. Cette méthode permet d'éliminer des concurrents sans infliger de dégâts d'abattage aux arbres favorisés.

Grâce aux objets évalués plusieurs fois au cours du temps, on observe cependant que la stabilité de la forêt de montagne est parfois sous-estimée. Alors que les forestiers froncent les sourcils et se font du souci en observant le peuplement, les vieux épicéas et sapins sont toujours là.

6.5 Enclencher et favoriser le rajeunissement

Aux altitudes inférieures, le rajeunissement est souvent décrit comme produit accessoire de la récolte de bois qui s'installe en quelque sorte automatiquement dans chaque trouée. Mais ceci ne vaut plus aux étages haut-montagnard et subalpin. On pourrait même inverser la phrase: la récolte de bois est le résultat des efforts produits pour rajeunir la forêt par petites surfaces.

Dans l'idéal, la récolte de bois permet de conformer la structure et de créer des conditions favorables au rajeunissement. Les conditions stationnelles sont déterminantes pour le rajeunissement et doivent être prises en compte. Le **jardinage par groupe** est bien en mesure de prendre en compte ces différences.

En forêt de montagne, le rajeunissement dépend fortement du microclimat. Les interventions jardinatoires font apparaître des conditions de lumière et de chaleur très variées à petite échelle. Une autre condition pour la réussite de la germination et de l'installation du rajeunissement est la présence d'un lit de germination adéquat. Inversement, une épaisse couche d'humus brut ou une strate herbacée dense sont un obstacle de taille. En général, le rajeunissement s'installe sur des microstations ou sur du bois en décomposition. L'exposition joue également un rôle crucial: alors qu'il n'est souvent pas possible de concentrer suffisamment de chaleur sur les versants nord, le rayonnement solaire intense sur les versants exposés au sud peut conduire à l'assèchement.

La microstation en tant que lit de germination



Fig. 6-51: Rajeunissement d'épicéas sur du bois en décomposition au milieu des hautes herbes, Wartau (SG).

Le rajeunissement établi est souvent endommagé par les effets des mouvements de la neige. On différencie à ce sujet le tassement et le glissement de la neige. Les pentes herbeuses, les forêts feuillues pures ou à haute proportion de feuillus exposées au sud ou à l'ouest sont particulièrement menacées. Les souches hautes et les troncs posés en travers de la pente sont des mesures efficaces contre la reptation et le glissement de la neige. Si cela ne suffit pas, des moyens techniques sont à prévoir pour augmenter la rugosité au sol, par exemple des trépieds, des pieux ou des terrasses.

Protection contre le glissement de la neige



Fig. 6-52: Un «arbre-hérisson» destiné à réduire les mouvements de la neige sur une pente herbeuse. Les incisions dans l'écorce servent à empêcher la pullulation des bostryches. Praticqué par Fredy Zuberbühler à Ritzingen (VS).

La problématique forêt - gibier

L'impact du gibier est souvent devenu le facteur qui détermine la réussite du rajeunissement. Les fortes populations de gibier sont problématiques, car le rajeunissement est par nature une «denrée rare» en altitude. En outre, la réussite sylvicole, surtout en forêt de protection, dépend de l'installation du rajeunissement dans de petites trouées réparties sur toute la surface. Cette problématique est encore plus accentuée lorsqu'on a besoin d'essence feuillues, sujettes à l'abroustissement, pour assurer les fonctions de la forêt. Le changement climatique provoque en outre un fort élargissement des zones concernées. Aujourd'hui, l'influence des ongulés sauvages a nettement trop d'impact dans une grande partie des forêts de montagne et de protection – cela signifie qu'à ces endroits, les cantons ne satisfont pas suffisamment à leur obligation légale de réguler le gibier. Du côté de la sylviculture, les possibilités de participer à la solution sont limitées, mais aussi réelles: il s'agit des mesures d'amélioration du milieu de vie et de facilitation de la chasse ([exemple d'un layon de tir vue d'un mirador](#)).

En principe, il est possible d'appliquer de telles mesures aptes à améliorer la structure des peuplements. En montagne, les coûts des protections individuelles ou des enclos sont souvent disproportionnés et de telles mesures ne résolvent pas les problèmes à moyen ou long terme sur de grandes surfaces.

L'**Aide à l'exécution Forêt et gibier** (OFEV, 2010) définit le processus à suivre en cas de problèmes dus au gibier. Pour trouver des solutions pertinentes, il faut disposer de données objectives. Il existe diverses méthodes d'inventaire et d'évaluation de l'influence du gibier sur le rajeunissement. Nous ne les traitons pas en détail dans ce guide.

Les connaissances et expériences en matière de rajeunissement des forêts de montagne résineuses ont été compilées dans l'ouvrage d'Ott (OTT ET AL., 1997, p.27 et suivantes, en allemand):

Critères pour le rajeunissement

- **Étage montagnard - Phase d'ensemencement et d'installation du rajeunissement pré-établi;**
- **Étage montagnard - Phase d'installation du rajeunissement établi;**
- **Étage subalpin, exposition Nord (pentes ombragées) - Étage montagnard - Phase d'ensemencement et d'installation du rajeunissement préétabli;**
- **Étage subalpin, exposition Sud (pentes ensoleillées) - Phase d'ensemencement et d'installation du rajeunissement préétabli;**
- **Étage subalpin – Phase d'installation du rajeunissement établi.**

6.5.1 Rajeunissement des pessières de l'étage haut-montagnard

L'aire de répartition principale de ces forêts se trouve dans les Hautes Alpes continentales et dans les Alpes intermédiaires. L'ensemencement de l'épicéa peut réussir en présence de

lumière diffuse ou dans de petites trouées. Plus la structure du peuplement est favorable, plus on trouve d'endroits avec du rajeunissement préétabli ou établi. Dans ces conditions, il est relativement facile de favoriser le rajeunissement en agrandissant les trouées. Le rajeunissement établi est moins menacé par des dessèchements périodiques que le rajeunissement préétabli (semis).



Fig. 6-5-1: Dans cette pessière de l'étage haut-montagnard, l'ensemencement a réussi, mais le rajeunissement établi souffre nettement du manque de lumière. Susch (GR).

La dimension des ouvertures dépend, d'une part, des exigences à respecter lors des soins à la forêt de protection et, d'autre part, des cellules de régénération ainsi que des bords du peuplement restant. La stabilité des bords est très importante car l'intervalle entre deux interventions est en général de 20 à 40 ans.

Ouvertures

Dans les peuplements fermés sans rajeunissement, un processus en deux temps est souvent le plus approprié. Dans une première étape, il s'agit de créer les conditions permettant la venue du rajeunissement préétabli (ensemencement). À cet effet, on réalise des éclaircies et de petites ouvertures. Selon la station, il faut veiller à ce que les précipitations puissent atteindre le sol, mais aussi éviter un ensoleillement trop fort aux endroits favorables au rajeunissement.

Processus
en deux temps

Sont favorables au rajeunissement, les endroits comportant de la terre minérale, du bois en décomposition ou une strate herbacée légère – l'observation des conditions de stations est indispensable. Dès que le rajeunissement préétabli est présent, il est possible de passer à la seconde étape et de pratiquer des ouvertures comme nous l'avons décrit plus haut. Il sera dans ce cas plus difficile d'intégrer des bords de peuplements stables.

Mais en pratique, pour des raisons économiques et liées aux techniques de récolte, on a souvent tendance à créer dès le départ des ouvertures assez grandes pour suffire aussi au rajeunissement établi. En recherchant des lisières stables, ou en raison des dégâts consécutifs (souvent prévisibles), les ouvertures finissent parfois par être très grandes. Si tout se passe bien, il sera malgré cela possible d'obtenir un rajeunissement dans les délais et de le structurer par des soins ultérieurs. Mais dans une variante défavorable, le rajeunissement sera longtemps retardé par le dessèchement du sol, la concurrence de la végétation ou les mouvements de la neige. Il s'ensuit des pertes de croissance et en forêt de protection, des lacunes en matière de protection.

Des études récentes ([Brang et al 2017](#)) indiquent que dans plus de 50% des cas, sur 30 grandes ouvertures de rajeunissement à l'étage haut-montagnard et sur des stations productives de l'étage subalpin, le rajeunissement était encore insuffisant 8 à 24 ans après l'intervention. La régénération de ces surfaces a réussi lorsqu'un rajeunissement suffisant s'était établi au préalable (voir aussi le [chapitre 7.3](#)).

En cas de doute lors du martelage, surtout en forêt de protection, il faut garder une «réserve pour dégâts consécutifs» afin que les ouvertures ne deviennent pas trop grandes.

6.5.2 Rajeunissement des pessières-sapinières de l'étage haut-montagnard

L'aire de répartition principale de ces forêts se trouve dans les Préalpes et dans les Alpes intermédiaires, caractérisées par un climat plutôt océanique et favorable au développement de la strate herbacée. Le sapin et occasionnellement le sorbier des oiseleurs et l'érable sycomore peuvent déjà se régénérer sous abri et supporter l'ombre très longtemps avant que la strate herbacée ne se développe. L'épicéa demande une quantité de lumière supérieure, qui permet aussi un fort développement de la strate herbacée.

Lorsque l'ensemencement a eu lieu, il est possible de créer des ouvertures plus grandes. L'avance de croissance des plantules sur les herbes concurrentes suffit alors pour atteindre le stade du rajeunissement établi.



Fig. 6-5-21: Jeune sapin de plusieurs années sous un vieil arbre. Cette essence est capable de supporter l'ombre très longtemps, puis de se mettre à croître lorsque les conditions sont devenues favorables. Cette réserve de rajeunissement est comme une assurance en cas d'aléas climatiques. Pessières-sapinières, Pfäfers (SG).

Importance du sapin

Le rajeunissement devient très difficile à mener lorsque le sapin manque ou lorsqu'il ne peut se développer en raison de l'abrutissement trop intense des ongulés sauvages. Plus la station est fertile, plus la végétation basse devient luxuriante et menaçante pour le rajeunissement. Les hautes herbes occupent alors les ouvertures faites dans le peuplement, qui reste sans rajeunissement, si ce n'est le cas échéant quelques érables. La situation est souvent similaire dans les hêtraies à sapins de l'étage montagnard supérieur. En l'absence de rajeunissement, plus d'un sylviculteur tire une conclusion erronée, à savoir que l'ouverture pratiquée est trop petite.

Ce dérangement du processus de rajeunissement entraîne un blocage du développement de la forêt et réduit massivement la marge de manœuvre pour l'exploitation. L'effet protecteur de la forêt est réduit. Les effets économiques à long terme ne sont pas aisés à quantifier et sont encore trop peu pris en compte dans la discussion «forêt-gibier».

En vue de quantifier les effets économiques, il est possible d'estimer les coûts dans les situations suivantes:

- Coûts des mesures de prévention des dégâts du gibier, s'agissant de conserver les effets protecteurs de la forêt;
- Rajeunissement naturel retardé ou empêché, avec les conséquences qui s'ensuivent (augmentation des risques, mesures techniques de protection);
- Investissements supplémentaires dans les ouvrages de protection temporaires lorsqu'ils ne satisfont plus aux objectifs en raison des dégâts du gibier;
- Coûts générés par l'introduction du rajeunissement lorsque les objectifs ne peuvent plus être atteints à cause des dégâts du gibier.

Cette façon de faire a permis, dans plusieurs études de cas et diverses forêts de protection en Suisse, d'établir les effets économiques à long terme dus à un abrouissement trop élevé par les ongulés sauvages (ZÜRCHER N., FREHNER M., 2016).



Fig. 6-5-22: Exemple de rajeunissement réussi de sapins dans une région parcourue par le cerf et le loup, Vérossaz (VS).

6.5.3 Rajeunissement des pessières subalpines

À la différence de l'étage montagnard, le sapin manque à l'étage subalpin et l'épicéa a besoin du rayonnement direct du soleil pour que la chaleur suffise au développement des semis et du rajeunissement établi. Le processus de rajeunissement ressemble ici à une course-poursuite avec le développement de la végétation. Cette concurrence est plus forte dans les Alpes externes et sur les versants nord que dans les Hautes Alpes continentales et sur les versants sud.

Pour gagner cette course poursuite, le rajeunissement doit avant tout disposer de microstations favorables. Sur la plupart des stations subalpines, le mieux est de disposer d'une réserve suffisante de bois en décomposition. La terre minérale, de petites élévations ou des groupes de sorbiers des oiseleurs constituent également des endroits appropriés. Les ouvertures créées dans le peuplement doivent permettre aux endroits favorables au rajeunissement de recevoir en juin au moins deux heures d'ensoleillement direct par jour (mesurées à l'aide du compas solaire). Idéalement, il est possible de supprimer des collectifs entiers. Des ouvertures longues (1 – 2 longueurs d'arbres) et étroites (env. ½ longueur d'arbre dans le sens de la pente) sont préférables à des trouées rondes, où le danger d'accumulation de neige est plus grand. L'important est que les bordures de peuplement restantes soient stables. De bons résultats ont également été obtenus par la promotion des cellules de pré-régénération, en allongeant la durée d'ensoleillement selon les critères indiqués plus haut. Le compas solaire est ici aussi un outil adéquat pour examiner et gérer les conditions de lumière dans les fentes de rajeunissement.

Concurrence végétale

Microstations favorables au rajeunissement

Ouverture de régénération en fente



Fig. 6-5-3: Rajeunissement dans une pessière subalpine, Wangs (SG).

Bois en décomposition

La tâche est rendue plus difficile par le fait que les années à graines se raréfient avec l'altitude (tous les 5 à 15 ans). L'idéal serait une combinaison des divers facteurs de succès: microstations favorables, moment de l'intervention, production de graines et météo favorable. Comme cette combinaison ne peut guère être planifiée, le danger existe que la végétation concurrente au sol s'étende. Il est d'autant plus important de tenir compte des microstations qui restent, si possible pendant plusieurs années, favorables au rajeunissement. Il s'agit notamment du bois en décomposition. Lors des interventions régulières ainsi qu'en cas d'exploitation forcée (p. ex. dégâts du bostryche, poids de la neige, tempêtes), il est recommandé de laisser systématiquement une partie du bois au sol, en l'écorçant si nécessaire. Ainsi se forme à long terme la réserve de bois en décomposition si nécessaire pour le rajeunissement.

Dessèchement

Sur les versants sud, notamment dans les régions les plus sèches des Hautes Alpes continentales et des Alpes intermédiaires, il se peut que le rayonnement solaire direct soit trop intense et provoque un dessèchement. Il faut veiller à ce que les emplacements favorables au rajeunissement soient à la fois sans couvert direct (précipitations) mais aussi protégés contre un ensoleillement trop fort. Lorsque le rajeunissement établi est en place, le rayonnement direct est favorable.

7 Mise en œuvre des mesures sylvicoles

7.1 Réflexions générales

Les mesures sylvicoles sont toujours aussi liées à des questions techniques et économiques. La sylviculture est une discipline intégrative et ne doit pas devenir un but en soi. La priorité est d'atteindre les buts essentiels à long terme et de façon la plus économique possible.

Les interventions prévues doivent toujours être examinées à l'aide des **sept principes**, afin de s'assurer si elles sont adéquates: sont-elles vraiment nécessaires, réalisables, efficaces et proportionnées?

La récolte de bois en forêt de montagne est en général plus coûteuse qu'en plaine et sur une pente raide, il n'est pas possible de couvrir les frais. Il ne faut cependant en aucun cas faire passer des intérêts économiques à court terme au désavantage des buts sylvicoles à long terme. Même sur le plan économique, une telle démarche ne serait pas sensée à long terme. En forêt de protection, les exigences sylvicoles ont la priorité lors du choix de la méthode de récolte du bois. Le renoncement à la récolte du bois est également à envisager.

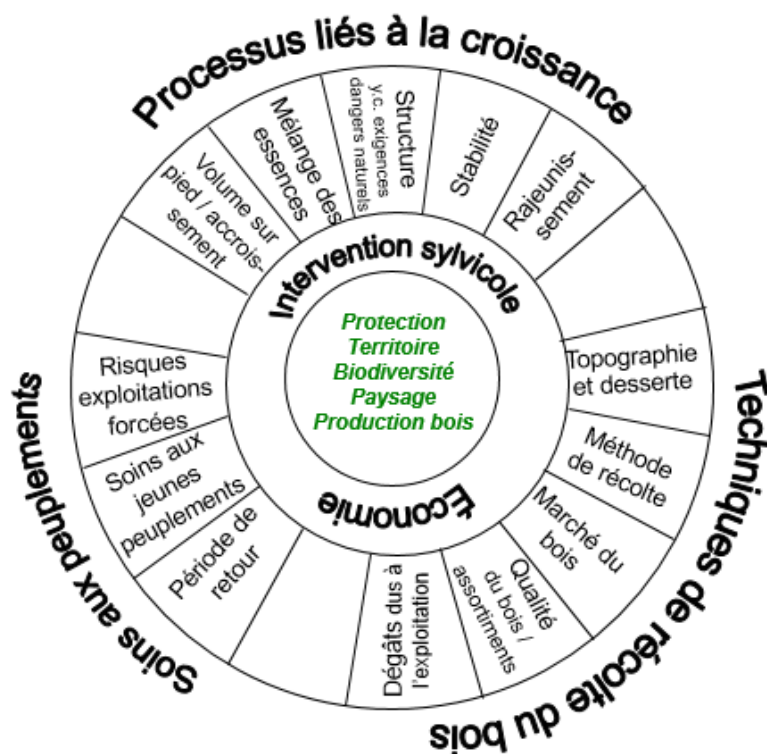


Fig. 7-6: La pensée systémique améliore les résultats de l'entreprise.

L'intervention sylvicole choisie est celle qui est la plus économe possible – sur le long terme – et qui permet d'atteindre les buts fixés (p ex. protection contre les dangers naturels).

Le schéma est incomplet: seuls quelques-uns des nombreux facteurs d'influence sont indiqués.

7.2 Coordonner la sylviculture et la récolte de bois

En forêt de montagne comme ailleurs, la sylviculture ne peut se penser indépendamment des méthodes de récolte des bois, que ce soit au sol, par câble-grue ou par les airs. Inversement, il n'est pas adéquat d'utiliser une méthode de récolte du bois sans tenir compte du but sylvicole.

L'une des tâches les plus importantes du garde forestier est d'assurer le lien entre sylviculture et récolte du bois. Il est très exigeant de bien harmoniser à long terme le but sylvicole et la desserte générale et fine, tout en prenant en compte les méthodes modernes de récolte adaptées aux conditions changeantes du terrain. Cette tâche est l'une des compétences clés du garde forestier qui est en outre le principal maillon entre les exigences posées au niveau régional par le service forestier cantonal et la mise en œuvre concrète sur le terrain avec ses propres équipes ou avec des entrepreneurs forestiers.



Fig. 7-6-2: La technique moderne du câble-grue permet de débarder avec soin, parfois sur de longues distances.

Le martelage s'effectue en connaissant la méthode de récolte et exige beaucoup d'attention. Pessière de l'étage haut-montagnard, forêt d'études de Spegnas (GR).

Marge de manœuvre sylvicole

Exemple Forêt d'étude de Spegnas

Avant de marteler, il faut définir la **marge de manœuvre sylvicole**, en tenant compte des objectifs sylvicoles ainsi que de la méthode de récolte du bois proposée. Si la récolte se fait par câble, la ligne de câblage doit être piquetée. En cas de récolte au sol, les layons de débardage et les pistes pour engins forestiers doivent être établies. De cette façon, l'organisation du martelage permet une mise en œuvre raisonnable sur le plan technique et économique, et permet aussi de réduire au mieux les dégâts au peuplement restant.

7.3 Déterminer l'intensité des interventions

«Le bois s'ajoute au bois.» Le principal produit dont dispose traditionnellement l'économie forestière est l'accroissement en bois commercialisable. Mais cette fonction est elle aussi depuis longtemps couplée à différents degrés aux autres fonctions de la forêt. En forêt de protection, le principal produit visé reste cependant un effet protecteur aussi efficace et durable que possible contre les dangers naturels. Dans ces forêts, le bois est «seulement» un **sous-produit**.

Le bois est à la fois un produit et un moyen de production

Lorsqu'un arbre est récolté, c'est aussi le moyen de production qui est éliminé. Cette particularité de l'économie forestière, qui marque une différence fondamentale avec les autres secteurs de production, n'est pas toujours assez prise en compte. Notamment dans les terrains où l'utilisation du câble-grue est indispensable et où les frais d'installation sont relativement élevés, la tentation est parfois forte de récolter autant d'arbres utilisables que possible, même si le moment optimal du point de vue de la production forestière n'est pas encore arrivé ou même si ces arbres pourraient encore jouer un rôle utile dans l'évolution du peuplement ou pour l'effet de protection.



Fig. 7-6-1: Contrairement à la récolte des fruits, la récolte du bois élimine aussi le moyen de production.

En matière d'intensité des interventions, il est possible d'affirmer ce qui suit, en résumant les résultats de diverses journées de travail sur ce sujet (notamment dans les Grisons en 2009) et d'un projet de recherches du WSL avec la participation du CSM (Brang et al 2017):

- **Pertinence des grandes surfaces de rajeunissement:** La création de trouées surfaciques de rajeunissement aux étages haut-montagnard et subalpin conduit souvent (dans plus de 50% des cas selon l'étude du WSL de 2017) à un résultat insuffisant. Le risque est alors très important d'être confronté à un rajeunissement insuffisant pendant des décennies (voir aussi le [chap. 6.5.1.](#)). Cependant les données utilisées pour cette étude ne permettent pas aux chercheurs de conclure avec certitude que la régénération réussit mieux avec des ouvertures plus réduites. Mais l'expérience des interventions plus fines permettent souvent de mieux réussir le rajeunissement.
- **«Le bois s'ajoute au bois»:** Du point de vue de la production forestière, il est souvent pertinent de laisser des arbres ou groupes d'arbres sur pied afin qu'ils puissent poursuivre leur croissance, plutôt que de les éliminer sur une grande surface. Dans l'idéal, l'ancien peuplement peut encore produire un important volume de bois tout en permettant le développement du rajeunissement, en coexistence par petites surfaces. Il a ainsi été démontré que les arbres situés en bordure des trouées peuvent augmenter nettement leur accroissement. Cela est un argument pour de longues bordures de peuplement et donc pour des ouvertures de faible dimension.
- **L'influence de l'intensité des interventions sur le coût de la récolte du bois est limitée:** le coût dépend en effet de l'intensité des interventions combiné aux «frais fixes» (installation de la ligne de câblage, etc.). Il est usuel de voir les coûts par m³ fortement diminuer avec l'intensité de l'intervention jusqu'à une récolte d'environ 100 m³/ha (= env. 0.6 m³/m de câblage). Mais cet effet diminue fortement au-dessus, avec des volumes plus élevés, et il est souvent surestimé. En outre, lors des soins aux forêts de protection, les coûts par ha sont nettement plus décisifs que les coûts par m³ de bois exploité.
- **Il est possible de réduire les coûts des soins à la jeune forêt:** grâce à des concepts sylvicoles astucieux, on peut maintenir ces coûts à un bas niveau, de même que le

risque de voir un peuplement devenir problématique en raison de soins erronés ou insuffisants.

- **Les risques de dégâts consécutifs augmentent:** l'expérience permet de supposer que les interventions fortes provoquent tendanciellement davantage de dégâts que les interventions fines.
- **Les interventions fortes tendent à favoriser l'homogénéité des futurs peuplements:** cela contredit généralement le but sylvicole en forêt de montagne, notamment en forêt de protection. Cette tendance est difficilement corrigeable, même avec des soins à la jeune forêt ciblés.

8 Planification et controlling

Malgré le fait que l'attention du sylviculteur s'exerce typiquement à l'échelle du peuplement, il ne doit pas se contenter de ce niveau pour prendre ses décisions. En effet, l'analyse des mesures à prendre exige une vue élargie à l'ensemble des peuplements voisins, afin de comprendre le contexte (p. ex. intégrer tout l'espace influençant le processus de danger dans une forêt de protection contre les chutes de pierres). En outre, il s'agit de coordonner les mesures touchant la même unité de desserte fine dans le temps et l'espace (planification pluriannuelle). À cela s'ajoute le fait qu'il ne suffit pas simplement d'appliquer une mesure, mais qu'il faut aussi assurer le controlling si l'on veut guider le développement des forêts sur de longues périodes.

Sylviculture: pas seulement au niveau d'un peuplement

8.1 Planification sylvicole

Les buts à moyen et long terme, précisés lors de la planification au niveau de l'entreprise, constituent la base de la planification sylvicole pluriannuelle. Ce faisant, la planification combine les buts de l'entreprise et les buts interentreprises. Ils présentent, en plus des buts qualitatifs, des données chiffrées sur les volumes récoltés ou sur les surfaces à traiter. Les activités sylvicoles prévues sont esquissées et priorisées, souvent sur une période d'environ 12 ans. Le [Rapport de projet «Betriebliche Planung im Gebirgswald»](#) ainsi qu'un article [WaPlaMa](#) (en allemand) sur ce projet contiennent des informations complémentaires sur la planification au niveau de l'entreprise en forêt de montagne et sur la planification pluriannuelle (voir ci-dessous).

La planification pluriannuelle permet à l'entreprise de concrétiser ses propres buts tout en les harmonisant au niveau régional avec d'autres entreprises. Elle permet une coordination spatiale et temporelle des mesures sylvicoles dans le cadre de plus grands ensembles (unités de dessertes fines) sur une longue durée. Les fondements de la planification pluriannuelle sont issus de l'analyse de la nécessité d'intervenir et des urgences dans le périmètre de planification (dessertes fines), de même que par des concepts de cette desserte.

Planification pluriannuelle: coordination des mesures dans le temps et l'espace

Unité de desserte fine

Ainsi, une planification pluriannuelle bien conçue ne peut guère s'établir simultanément sur l'ensemble de l'entreprise, mais demande à s'effectuer par étapes, la priorité étant donnée aux unités de dessertes fines les plus urgentes. L'important est ici de toujours considérer l'ensemble de l'unité de desserte. Grâce aux [instruments de planification](#) adéquats, il est alors possible de passer à une planification roulante des mesures, en réalisant les travaux en continu tout en planifiant les nouvelles interventions à des degrés de précision variables.

La planification sylvicole pluriannuelle fait partie des compétences clés des gardes forestiers. Elle suppose des compétences en planification comme en sylviculture. Avec le martelage, il s'agit de l'étape la plus importante, qui déterminera si les buts fixés seront atteints.

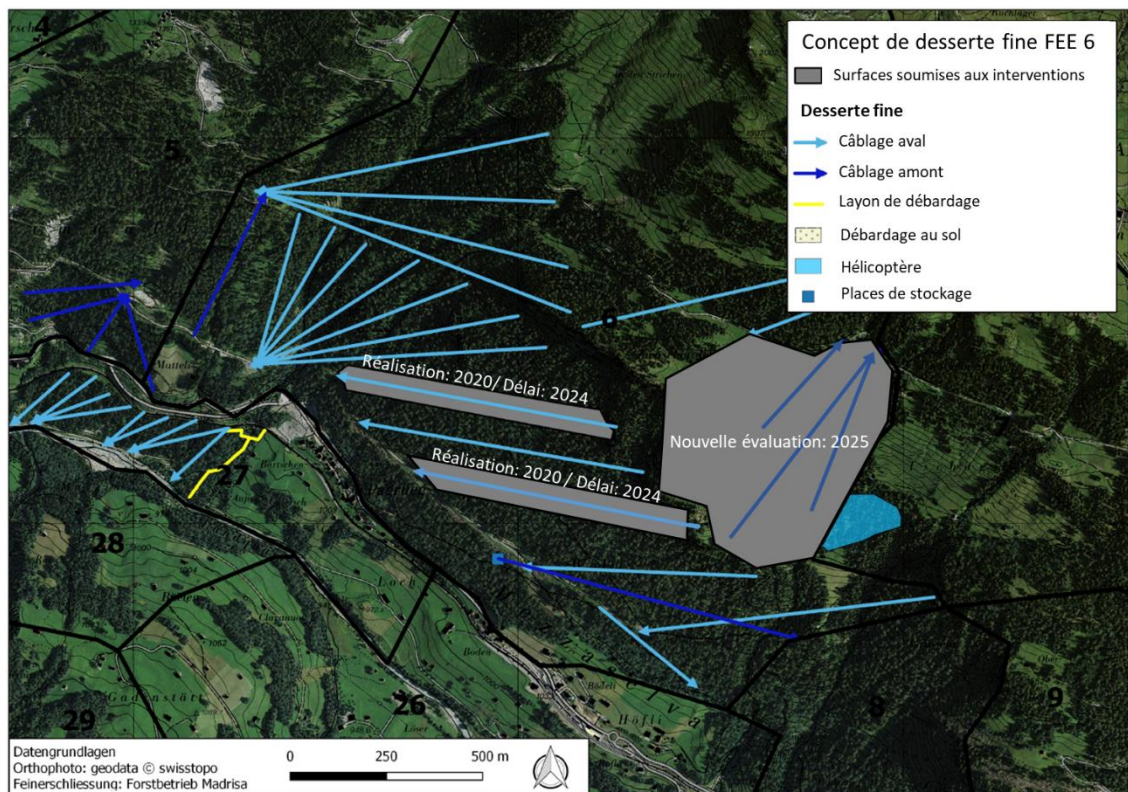


Fig. 8-1: Les concepts de dessertes fines en lien avec les buts sylvicoles sont une condition préalable importante à l'élaboration de la planification pluriannuelle

Priorisation

La planification des mesures sylvicoles comporte aussi toujours une **priorisation**. Il s'agit d'investir les fonds (en partie publics) avec toute l'efficacité possible. Pour cela, il faut d'une part indiquer l'ordre de priorité des surfaces à traiter, au niveau du canton dans le cadre de la planification régionale (p. ex. dans le PDF). L'importance de la forêt concernée par les mesures joue ici un rôle, par exemple lorsque le renoncement à des mesures, dû au manque de moyens, entraînerait des conséquences négatives. Divers cantons exigent une priorisation pour les forêts de protection. D'autre part, il s'agit aussi de prioriser les mesures, en principe une tâche de la planification au niveau de l'entreprise. L'urgence des mesures joue aussi un rôle, à savoir le moment à partir duquel des effets sont attendus grâce aux mesures prévues. Le rapport du projet Priorisation en forêt de protection (Kühne, K. et Thormann, J.-J., 2019) offre une vue d'ensemble de cette thématique pour la Suisse.

8.2 Contrôle des résultats sylvicoles

La forêt de montagne est un système dynamique et pas toujours prévisible, dont l'évolution est inévitablement et brusquement modifiée par des aléas tels que les tempêtes ou les attaques de ravageurs. En outre, nous sommes confrontés à de nouvelles situations, par exemple le changement climatique, pour lesquelles nous ne disposons pas d'expériences du passé. Les soins aux forêts de montagne et aux forêts de protection exigent de la patience et de la confiance envers les forces de la nature, ainsi qu'une démarche prudente intégrant la dynamique naturelle.

Pour comprendre les évolutions des peuplements et les guider, nous devons disposer d'un controlling adéquat (contrôle dans le sens d'une évaluation), adapté aux longues durées des processus en forêt de montagne. La planification régionale ou au niveau de l'entreprise donne une base à ce controlling à travers les buts sylvicoles et le choix des instruments de controlling.

Le contrôle des résultats décrit dans NaiS permet surtout de faire progresser les connaissances sylvicoles et les interventions en forêt. Mais il s'agit aussi de rendre compte des résultats obtenus avec l'aide des finances publiques accordées à la forêt. Le contrôle des résultats sylvicoles selon NaiS comprend quatre niveaux et cherche à donner des réponses aux questions suivantes:

- Contrôle de l'exécution: les mesures prévues ont-elles été réalisées au bon endroit et dans les règles de l'art? Le gestionnaire a la tâche de collecter ces informations sous une forme adéquate.
- Analyse des effets: les mesures appliquées ou le renoncement à de telles mesures ont-ils produit les effets attendus sur l'état de la forêt? L'analyse des effets sert en premier lieu à promouvoir les compétences techniques du gestionnaire.
- Contrôle de l'atteinte des objectifs: dans quelle mesure l'état de la forêt correspond-il aux profils d'exigences? L'état de la forêt de protection s'améliore-t-il au niveau régional ou national? Le contrôle de l'atteinte des objectifs constitue un lien important avec les niveaux supérieurs de planification et de contrôle.
- Analyse des objectifs: les profils d'exigences établis restent-ils appropriés? Cette tâche revient au mandant officiel, donc à la Confédération. L'analyse des objectifs s'appuie sur les résultats de la recherche et les expériences de la pratique.

La forêt, un système dynamique

Guider le développement de la forêt

Contrôle des résultats en forêt de protection

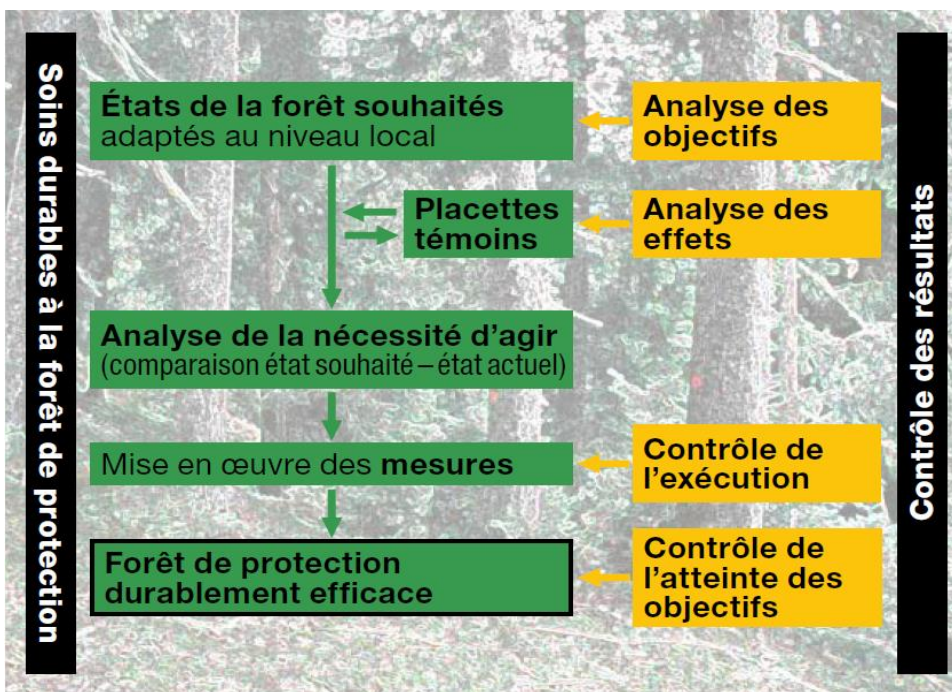


Fig. 8-2: Les quatre éléments du contrôle des résultats dans NaiS: l'analyse des effets sur les placettes témoins joue un rôle central

8.2.1 Analyse des effets sur les placettes témoins

L'analyse des effets sur les placettes témoins représentent la partie centrale du guide NaiS et l'un des quatre indicateurs de qualité des soins à la forêt de protection dans le cadre des conventions-programmes établies entre la Confédération et les cantons. L'analyse des effets développe les compétences professionnelles des gestionnaires et permet ainsi de réaliser des soins hautement efficaces, car basés sur la situation locale et les expériences les plus récentes. Comme l'analyse des effets est si importante, les gestionnaires doivent être bien formés.

Comprendre les changements observés, c'est enrichir son expérience – et celle-ci est essentielle en matière de soins à la forêt protectrice. Ce qui reste difficile, c'est de gérer l'ensemble des expériences. Il peut s'écouler plus d'une génération de forestier jusqu'à ce que les changements deviennent visibles. La mémoire humaine et souvent aussi l'«œil sylvicole magique de l'expert» restent sélectifs. Et la comparaison directe de variantes d'interventions est souvent impossible.

L'**analyse des effets** est au cœur du controlling sylvicole en forêt de protection. Cette analyse suppose une observation exacte de l'évolution des peuplements. Pour pouvoir mener de façon ciblée, compréhensible à long terme et à un coût raisonnable, elle doit se concentrer sur des échantillons appelés placettes témoins. Il s'agit de portions représentatives de peuplements d'environ 1 hectare sur lesquels les sylviculteurs cherchent des réponses à des questions particulières. Les placettes témoins permettent de mener des observations sylvicoles de manière intensive. Les questions à traiter et les mesures prises sont documentées au cours du temps.

Les placettes témoins ainsi que l'analyse des effets sont ainsi des instruments multifonctionnels en vue de la collecte et de la sauvegarde de l'expérience sylvicole, des savoirs du gestionnaire de la placette et du contrôle des résultats sylvicoles. Ces démarches sont d'autant plus importantes que l'on assiste souvent à des pertes de savoirs sylvicoles lors des changements de poste et des départs à la retraite.

L'analyse des effets sur les placettes témoins est une tâche importante et exigeante des gardes forestiers, en lien avec les ingénieurs forestiers régionaux et le cas échéant avec d'autres spécialistes. Selon l'altitude et le type d'association végétale, la première analyse des effets est menée 5 à 15 ans après l'installation des placettes et l'exécution des mesures. Ces travaux peuvent permettre de précieuses expériences et se révéler utiles aussi pour d'autres praticiens forestiers, ce qui demande d'échanger, d'examiner et de transmettre ces expériences.

Les conditions pour mener une analyse des effets efficiente sont:

- documentation de l'état initial, avant l'intervention;
- formulation exacte du but et des questions sylvicoles;
- documentation sur les mesures réalisées;
- observation et documentation des changements;
- nouvelle évaluation de l'état à la fin de la période d'observation;
- ouverture d'esprit quant aux résultats, volonté de dialogue et de réflexion de tous les participants.

Nouvelles connaissances grâce aux placettes témoins

Rôle central du garde forestier lors de l'analyse des effets



Fig. 8-2: Évolution (1997 – 2004) d'un semis d'épicéa qui a germé dans un trou de capricorne. Pfäfers (SG).

SuisseNaiS

Au terme de chaque analyse des effets se pose la question de savoir quels résultats peuvent être transposés sur d'autres sites forestiers ou transférés d'une façon ou d'une autre en raison de leur importance. Le centre de sylviculture de montagne, avec le soutien de l'OFEV, met une plate-forme des placettes témoins à disposition de la pratique: www.suisssenais.ch. L'accès est libre et gratuit, les données sont livrées et actualisées directement par les cantons.

La base de données des placettes témoins a pour but d'offrir une vue d'ensemble des placettes avec les expériences qui en sont issues, ainsi que de mettre ces informations à disposition d'un cercle plus large d'intéressés.

Le Soutien à la Recherche Forêt et Bois en Suisse (FOBO-CH) a soutenu le projet *Analyse des effets sur les placettes témoins* (SCHWITTER R., WASSER B., ZÜRCHER S., 2018) DE 2016 À 2018. Le **rapport final** et le **rapport de synthèse** ont été publiés en mai 2018. Le résultat le plus important de ce projet est qu'il confirme l'efficacité de la méthode de l'analyse des effets. Les principales conclusions en sont les suivantes:

- Les placettes témoins offrent un grand potentiel pour les années à venir.
- Jusqu'ici, de nombreux cantons ont surtout assuré l'installation et la documentation des placettes témoins. Mais l'analyse des effets est généralement encore en attente.
- En complément des travaux au niveau cantonal, un fort potentiel existe pour la mise en valeur des expériences au niveau national.

Afin d'utiliser le potentiel de ces instruments que sont les placettes témoins et l'analyse des effets, le Centre de sylviculture de montagne poursuivra son action de développement et de soutien dans le cadre du projet de l'OFEV *Mise en valeur de l'expérience sylvicole sur les placettes témoins NaiS*.

9 Glossaire

Le glossaire correspond à l'[Annexe 9 de NaiS](#) et contient les termes utilisés en lien avec les soins aux forêts de protection.

10 Bibliographie

- BISCHOFF, N. 1987: Création et traitement des forêts de montagne. Office fédéral des forêts et de la protection du paysage, OCFIM, Berne, 379 p.
- BRANG P., NIKOLOVA P., GORDON R., ZÜRCHER S., 2017: Auswirkungen grosser Verjüngungslücken im Gebirgswald auf Verjüngung und Holzzuwachs. Schlussbericht des Projektes «Eingriffsstärke und Holzzuwachs im Gebirgswald».
- DÖRNER, 1992: Strategisches Denken in komplexen Situationen, Verlag Rowohlt.
- FREHNER M.; BRANG P.; KAUFMANN G.; KÜCHLI C., 2018: Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Ber. 66: 43 S.
- FREHNER, M.; WASSER, B.; SCHWITTER, R., 2005: Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats. Instructions pratiques. Office fédéral de l'environnement, Berne. L'environnement pratique, 564 p.
- GLANZMANN L., SCHWITTER R., ZÜRCHER S., 2019: Praxishilfe für die Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- MAYER, H., OTT, E., 1991: Gebirgswaldbau – Schutzwaldpflege. G. Fischer Verlag, Stuttgart/New York, 2. Auflage, 587 S.
- OTT, E., FREHNER, M., FREY, H.-U., LÜSCHER, P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Bern, 287 S.
- SCHWITTER R., GLANZMANN L., ZÜRCHER S., 2019: Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- SCHWITTER R., WASSER B., ZÜRCHER S., 2018: Waldbauliche Wirkungsanalyse auf Weiserflächen. Schlussbericht Teil 2 – Synthese und Empfehlungen für die Praxis. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- ZELLER, E., 1996: Résoudre des problèmes en forêt de montagne, Reboiser, Stabiliser, Rajeunir, Assainir: projet Sylviculture en montagne II, Rapport 5A, École forestière intercant. de Maienfeld.
- ZÜRCHER N., FREHNER M., AB 2016: Mehrere Fallstudien zur Monetären Bewertung von wildhuftierbedingten Verjüngungsproblemen im Schutzwald
- ZÜRCHER S., GLANZMANN L., SCHICKMÜLLER R., 2018: Betriebliche Planung im Gebirgswald. Projektbericht. ibW Bildungszentrum Wald Maienfeld.

LISTE DER WEITERFÜHRENDEN LITERATUR

- ALLGAIER LEUCH B.; STREIT K.; BRANG P., 2017: Der Schweizer Wald im Klimawandel: Welche Entwicklungen kommen auf uns zu? Merkblatt für die Praxis 59. 12 S.
- ALLGAIER LEUCH B.; STREIT K.; BRANG P., 2017: Naturnaher Waldbau im Klimawandel. Merkblatt für die Praxis 59.1. 8 S.
- AMMANN P., 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 1: Einleitung und ökonomische Grundlagen. Wald und Holz, 1/05.
- AMMANN P., 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 2: Biologische Rationalisierung bei Fichte. Wald und Holz, 2/05.
- AMMANN P., 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 3: Biologische Rationalisierung bei Esche, Bergahorn und Buche. Wald und Holz, 3/05.
- AMMANN P., 2005: Biologische Rationalisierung. Teil 4: Baumartenmischung und Anwendungsbereich. Wald und Holz, 4/05.
- AMMANN P., BRÖNNIMANN W., 2017: Biologische Rationalisierung bei Weissstanne. Wald und Holz, 5/17.
- AMMANN P., GLANZMANN L., HÜRLIMANN M., JUNOD P., ZÜRCHER S., 2019: Waldbaulicher Auftrag Jungwaldpflege/Nachwuchspflege.

- AMMANN P., GLANZMANN L., JUNOD P., ZÜRCHER S., 2019: Der waldbauliche Pflegeauftrag in überarbeiteter Version. *Wald und Holz*, 5/19.
- AMMANN P.: Checkkarte Jungwaldpflege/Biologische Rationalisierung. Fachstelle Waldbau, BZW Lyss.
- BAFU (HRSG.) 2019: Jahrbuch Wald und Holz 2019. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1914: 106 S.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU (HRSG.) 2010: Vollzugshilfe Wald und Wild. Das integrale Management von Reh, Gämse, Rothirsch und ihrem Lebensraum. Umwelt-Vollzug Nr. 1012. 24 S.
- FACHSTELLE FÜR GEBIRGSWALDPFLEGE GWP (HRSG.) 2009: Schutzwald – wichtiger Bestandteil des integralen Risikomanagements. Newsletter Schutzwald Schweiz 03.
- FACHSTELLE FÜR GEBIRGSWALDPFLEGE GWP (HRSG.), 2000: Faktenblätter zur Weisstanne (*Abies alba*). Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- GLANZMANN L., SCHWITTER R., ZÜRCHER S., 2019: Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald – Checkkarte zu den Pflegemethoden. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- HÖHENSTUFEN-MODELLIERUNGEN KLIMAWANDEL (KARTEN): www.map.geo.admin.ch (19.05.2020)
- KÜHNE K., THORMANN J.-J., 2019: Priorisierung im Schutzwald. Auslegeordnung zur Priorisierung in den Kantonen und weiterführende Überlegungen möglicher Priorisierungssysteme. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen. Schlussbericht, 40 S.
- PLUESS A.R.; AUGUSTIN S.; BRANG P. (RED.), 2016. Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 447 S.
- PROFESSUR FÜR WALDBAU UND PROFESSUR FÜR FORSTSCHUTZ & DENDROLOGIE DER ETH ZÜRICH. Mitteleuropäische Waldbaumarten Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz. ETH, Zürich.
- RIGLING, A., SCHAFFER, H.P. (EDS.) 2015: Rapport forestier 2015. État et utilisation de la forêt suisse Office féd. de l'environnement, Berne, Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf. 144 p.
- ROTH B., BUCHER H-U., SCHÜTZ J-PH., AMMANN P., 2001: Ringeln – Alte Methode neu angewendet. *Wald und Holz*, 4/01.
- SCHÜTZ, J.-PH., 2006. Le rôle primordial des rationalisations biologiques». *La Forêt*.
- SCHWITTER R., 1999: Zur Verjüngung der Lärche in den Waldgesellschaften der kontinentalen Hochalpen – eine Zusammenfassung aus der Literatur. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld.
- SCHWITTER R., 2005: Prioritäten im Schutzwald. Jahresthema '05. Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, 4 S.
- SILVAPROTECT-CH: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/naturgefahrensituation-und-raumnutzung/gefahregrundlagen/silvaprotect-ch.html> (19.05.2020)
- WASEM U., ENGESSER R. Der schwarze Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*). WSL Birmensdorf.
- ZÜRCHER S., GLANZMANN L., 2018: Resultate aus dem Projekt «Betriebliche Planung im Gebirgswald». *WAPLAMA-Infoblatt* 18/1, S. 19-24.