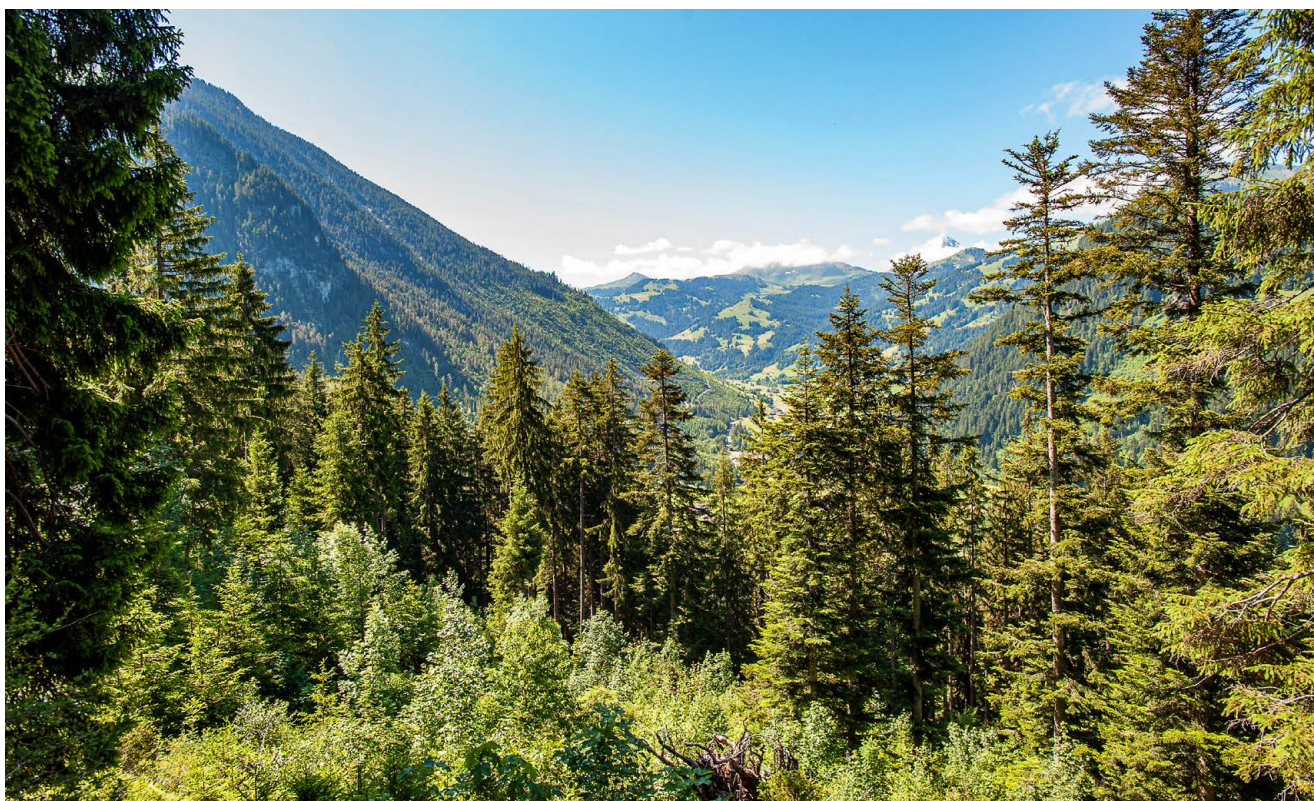


Soins aux forêts de protection à l'heure du changement climatique

Lukas Glanzmann, Samuel Zürcher, Christian Rüsch



En quelques décennies, le changement climatique dû aux activités humaines a massivement modifié les conditions de station dans les forêts suisses. Des changements ont d'ores et déjà eu lieu, alors que le climat se réchauffera encore nettement et deviendra en partie plus sec. Cela entraînera aussi des perturbations plus fréquentes et plus prononcées. C'est pourquoi, entre autres, la composition en essences et la structure des forêts va changer parfois profondément. En outre, d'autres facteurs de changement globaux influencent les forêts, tels les pathogènes introduits ou les dépôts azotés excessifs à grande échelle.

Les changements importants qui s'annoncent et les incertitudes qui leurs sont liées représentent de grands

défis pour les soins aux forêts de protection. L'adaptation de ces forêts au climat doit autant que possible se faire sans interrompre les effets protecteurs.

Cette aide pratique s'adresse aux sylviculteurs dans leurs activités de soins aux forêts protectrices. Elle a pour but de les guider, grâce à un processus structuré de questions et d'indications, vers des solutions orientées sur le futur et adaptées aux conditions locales. La démarche menant aux prises de décisions s'appuie fortement sur l'aide à l'exécution «Gestion durable des forêts de protection NaiS» actualisée en 2024 [8] et sur le guide pour le formulaire NaiS [9]. Une grande partie de cette aide peut aussi se révéler utile dans les forêts de montagne sans statut explicite de forêt de protection.

Prise de décision sylvicole

Les réflexions suivantes sont fondamentales pour l'ensemble des décisions sylvicoles:

- Comment peut-on réduire les risques? (*résistances aux perturbations / résilience après perturbation*)
- Comment peut-on améliorer la *capacité d'adaptation* au changement climatique
- Que doit-on planifier et coordonner à long terme pour l'ensemble des peuplements?

→ page 2

1. Profil d'exigences et but sylvicole à long terme

- ☐ Définir le profil d'exigences en tenant compte des changements à venir.
 - Comment le type de station va-t-il changer? (→ TreeApp)
 - Faut-il s'attendre à des changements en matière de dangers(s) naturel(s) significatifs?
- ☐ Choisir les essences adaptées à la station.
 - Quelles sont sur le plan sylvicole les essences les mieux adaptées au climat actuel et futur? (→ TreeApp)
- ☐ Concrétiser le but sylvicole et l'ajuster aux autres fonctions de la forêt, aux techniques de récolte et à d'autres conditions cadres.
 - Quelle est l'influence du changement climatique sur le but sylvicole?

→ page 4

2. État actuel de la forêt

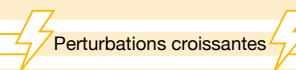
- ☐ Décrire l'état actuel de la forêt (mélange, structure/texture, éléments stabilisateurs, régénération).
 - Quelles caractéristiques de l'état initial sont d'une importance particulière en lien avec le changement climatique?

→ page 7

3. Perturbations / événements extrêmes

- ☐ Identifier les perturbations attendues et leurs répercussions sur le peuplement.
 - Quelle est l'influence du changement climatique sur les perturbation biotiques / abiotiques attendues?

→ page 10

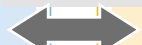


4. Évolution en l'absence de mesures

- ☐ Déterminer l'évolution la plus probable du peuplement en tenant compte des changements de la station auxquels il faut s'attendre.
 - Quels sont les effets des changements futurs de la station, des événements extrêmes et des perturbations sur le peuplement

→ page 10

Comparaison
BUT-ÉTAT ACTUEL



5. Nécessité d'agir et mesures efficaces

- ☐ Déterminer les mesures indispensables pour permettre aux caractéristiques du peuplement (p. ex. mélange, rajeunissement en place) de respecter le profil d'exigences.
 - Quelles mesures permettent-elles d'améliorer la résistance aux perturbations, la résilience et l'adaptabilité du peuplement au changement climatique?

- a) Déclenchement de la régénération
- b) Promotion de la régénération
- c) Soins aux jeunes forêts
- d) Éclaircie de stabilisation
- e) Mesures d'appui

Dans les peuplements irréguliers, diverses mesures sont souvent prises simultanément.

→ page 11

6. Décision de mise en œuvre

- ☐ Planifier et coordonner les mesures pour un ensemble de peuplements et à long terme (priorisation, protection des forêts, régénération artificielle, néophytes, etc.).
 - Quelle est l'influence du changement climatique sur la priorisation et sur l'appréciation de la proportionnalité, de l'urgence et du moment de l'intervention?

- ☐ Choisir les mesures efficaces et proportionnées à mettre en œuvre (rapport coût-avantage, chances de réussite, risques, etc.).
- ☐ Préciser quand et où les mesures seront mises en œuvre (urgence, méthodes, etc.).

→ page 15

7. Contrôle

- ☐ Formuler des objectifs clairs et prévoir une documentation simple des mesures, en vue du contrôle des résultats à divers niveaux.

- Quelles sont les questions encore ouvertes à traiter en lien avec le changement climatique?

→ page 19

1. Profil d'exigences et but sylvicole à long terme

La formulation d'un but sylvicole aussi concret que possible est essentielle pour la fourniture ciblée de prestations forestières. Dans les forêts de protection, les objectifs sont largement prédéfinis par les profils d'exigences NaiS. Le but sylvicole à long terme est concrétisé au cas par cas sur cette base, en tenant compte d'autres prestations forestières, des techniques de récolte du bois et des conditions économiques. Le but sylvicole à long terme doit être ajusté au changement climatique attendu. En effet, les conditions de station et l'éventail des perturbations changent. De même, les exigences envers la forêt évoluent. Il peut aussi apparaître que certaines prestations de la forêt ne pourront plus être fournies dans le futur. Par exemple, en raison des diamètres réduits des troncs, on ne pourra plus garantir de la même manière l'effet protecteur des futures forêts de chênes pubescents contre des énergies de chute élevées comme celles des grosses pierres.

Le but sylvicole à long terme peut être défini sur un laps de temps plus ou moins long. Il doit en outre rester dynamique et adaptable aux nouveaux acquis et contextes. Dans certains cas, le but sylvicole à long terme peut être atteint avec le peuplement initial (p. ex. une jeune forêt riche en essences). Mais souvent, une démarche par étapes sur le long terme est nécessaire, par exemple lorsque le climat actuel est encore trop défavorable pour certaines essences principales de l'avenir (p. ex. les chênes en altitude). Parfois, le but sylvicole à long terme issu du profil d'exigences NaiS est très éloigné de l'état actuel du peuplement et ne pourra probablement pas être atteint avant longtemps. Dans de tels cas, il peut être pertinent de définir un objectif à moyen terme atteignable sur une base réaliste, par exemple dans 50 ans (cf. fig. 11).



Fig. 1: Trouée de régénération comportant une palette d'essences adaptées au climat futur dans une hêtraie à sapin bien structurée à l'étage montagnard supérieur

Formulaire NaiS: selon l'aide à l'exécution révisée NaiS, il faut tenir compte du changement climatique lors du choix des mesures à prendre, car ce dernier fait évoluer les exigences de NaiS par l'intermédiaire de la station. Les changements attendus en termes de stations peuvent se définir grâce à l'application Tree App (cf. encadré pages 8/9). Les dangers naturels à prendre en compte peuvent également changer. Autant les exigences liées au climat actuel que celles du climat futur sont considérées pour déterminer le besoin d'agir et les mesures à prendre. La sylviculture doit en principe se positionner par rapport au climat futur – sans oublier évidemment que c'est le climat actuel qui est déterminant pour les forêts d'aujourd'hui.

Donc, les exigences changent, d'une part parce que la station change sur un site donné (et le cas échéant aussi le danger naturel) et d'autre part, en raison de la révision des profils d'exigences, dans le cadre de l'actualisation de NaiS. Les modifications les plus importantes concernent le mélange des essences. Un renforcement de la diversité est demandé, même pour le profil minimal, où la présence d'une seule essence principale n'est plus jugée suffisante (p. ex. 100 % de hêtres sur une station de hêtraie). Par ailleurs, les gestionnaires sont priés de concrétiser eux-mêmes le mélange en partant d'une palette d'essences (comme celle de Tree App). Lorsque l'état actuel de la forêt est très éloigné du profil d'exigences fixé pour l'avenir, et que ce profil ne semble pas atteignable même sur une très longue période, il est alors pertinent de définir un objectif à moyen terme (par exemple 50 ans). Il est possible de noter ses réflexions et arguments concernant les objectifs au verso du formulaire NaiS.

► Comment la station va-t-elle évoluer?

- La connaissance de la station est devenue encore plus importante sous le signe du changement climatique. Les propriétés du sol notamment jouent un rôle décisif. C'est ainsi que jusqu'ici, la mortalité des hêtres due à la sécheresse est survenue principalement sur les sols à faible capacité de stockage de l'eau. [16].
- Selon l'état actuel des connaissances, des deux scénarios climatiques envisagés, le plus probable est le scénario le plus fort (cf. encadré page 5). C'est pourquoi, lors de l'appréciation sylvicole et dans le sens du principe de précaution, il s'agit de donner la priorité au scénario RCP 8.5.
- Le type de station future peut être déduit par la démarche d'adaptation des écogrammes. En outre, au niveau des stations, il faut aussi s'attendre à un déplacement sur l'axe de l'humidité. Ceci n'est pour l'heure pas intégré dans la Tree App et doit s'évaluer par expertise.
- Les décalages attendus des stations entraîneront des changements dans la composition des essences. Ces modifications seront en principe décalées par rapport au changement du climat. Le mélange des essences changera (conditions de concurrence modifiées, émigration et

immigration, etc.) et ces changements pourront se révéler progressifs ou au contraire abrupts après des perturbations. Dans les pessières de l'étage haut-montagnard des zones continentales, on s'attend plutôt à des changements rapides, mais dans les forêts d'aroles, plutôt à des transitions lentes.

► **Des modifications importantes sont-elles attendues en matière de dangers naturels?**

- D'une façon générale, les forêts protectrices limitées en altitude par le froid, l'effet protecteur va plutôt s'améliorer (extension de l'aire forestière, meilleure croissance et densité plus élevée des structures forestières sur des surfaces jusqu'ici ouvertes à l'étage subalpin). C'est plutôt sur des stations actuellement sèches que l'effet protecteur diminuera le plus fréquemment (augmentation de la mortalité, diminution du rythme de croissance et de la densité du peuplement). En outre, on observe une diminution de l'effet protecteur dans une part croissante

de surfaces forestières en raison de perturbations très étendues [3].

- À l'avenir, les processus liés aux cours d'eau, les laves torrentielles et les glissements de terrain provoqueront des dégâts plus fréquemment, car les fortes précipitations vont augmenter et cela plus souvent sous forme de pluie. Selon les situations, les changements d'essences modifieront l'interception par les couronnes et les effets des racines [3].
- À moyen et long terme, l'effet protecteur contre les avalanches perdra de son importance jusqu'à l'étage haut-montagnard actuel. De fortes hauteurs de neige restent possible à moyenne altitude, mais seront toujours plus rares. Il s'agit d'examiner cas par cas si ces forêts de protection perdent de leur importance ou si les soins sylvicoles doivent être adaptés à d'autres dangers naturels. Lorsque l'effet protecteur contre les avalanches reste pertinent, il est recommandé de conserver une part de conifères sempervirents de 30 à 60 pour cent,

Effets du changement climatique sur la forêt

L'évolution possible du climat est actuellement décrite par les scénarios climatiques pour la Suisse. Ils dépendent principalement des émissions pronostiquées de gaz à effet de serre (scénarios d'émissions). Des graphiques interactifs détaillés et des informations approfondies sont disponibles auprès du [National Centre for Climate Services NCCS](#).

D'une façon générale, il fera plus chaud et les canicules seront plus fréquentes. En été, la quantité moyenne de précipitations diminuera. La chaleur accrue entraînera une augmentation de l'évaporation. En été, le nombre de jours sans précipitations augmentera et les périodes de sécheresse s'allongeront. Dans le même temps, les épisodes de fortes pluies deviendront plus fréquents. En hiver, on s'attend à davantage de précipitations, mais moins sous forme de neige.

Pour des aides en forêt comme l'application Tree App, on utilise la plupart du temps les deux scénarios climatiques suivants pour la période 20702100 (comparativement à la période 19812010, qui contient déjà une augmentation de température de plus de 1 degré):

«*Changement climatique moyen*» (RCP 4.5): en moyenne suisse, la température augmente de 3,1 °C entre avril et septembre et les précipitations diminuent de 2 %.

«*Changement climatique élevé*» (RCP 8.5): en moyenne suisse, la température augmente de 4,3 °C entre avril et septembre et les précipitations diminuent de 19 %.

Le changement climatique modifie les conditions de croissance des forêts suisses (voir aussi [1]). Jusqu'à la fin de



Fig. 2: Avec un réchauffement climatique de 4 °C, les étages de végétation montent de 600 m.

ce siècle, même avec un scénario climatique modéré, les étages de végétation se déplaceront de quelque 600 m vers le haut. Diverses essences feuillues en basse altitude trouveront alors des conditions climatiques adéquates et enrichiront la palette des espèces d'arbres. Avec des températures plus élevées et une période de végétation allongée, le rythme de croissance augmentera en altitude, dans la mesure où les sols resteront bien approvisionnés en eau. La limite supérieure des forêts s'élèvera en conséquence: des cartes des étages de végétation modélisées sont proposées autant dans [Tree App](#) que sur <https://map.geo.admin.ch/>. L'accentuation régionale de la sécheresse influencera aussi la composition des essences. De plus, outre les perturbations d'origine abiotique comme les incendies de forêts, des dégâts dus à des organismes tels que les scolytes augmenteront aussi. Au total, il faut s'attendre à une augmentation des situations de stress pour diverses essences

même si les stations évoluent vers l'étage submontagnard ou collinéens. Il convient aussi de considérer que selon l'altitude, on prévoit moins d'avalanches de neige poudreuse et davantage d'avalanches de neige humide, ce qui exercera une influence sur l'effet protecteur de la forêt [3]. Des solutions seront proposées dans le cadre de la révision des exigences NaiS qui débutera en 2025.

- Concernant les chutes de pierres, aucune tendance due au climat n'est observée au-dessous de la limite supérieure des forêts. Dans les zones de départ alpines de ces processus, la réduction du permafrost accentue les risques [7].

► **Quelles sont les essences les mieux adaptées en sylviculture sous le climat actuel et/ou sous le climat futur?**

- La Tree App permet de générer des recommandations en matière de choix d'essences (cf. pages 8/9). La mention d'une essence signifie uniquement que sur la base des connaissances actuelles, cette essence trouvera des conditions climatiques adéquates dans le futur. Cela ne signifie pas qu'elle sera présente, ni qu'il s'agit d'une essence cible.
- Les essences cibles pour le futur sont évidemment celles qui sont déjà présentes aujourd'hui et qui semblent en plus adaptées au climat futur.
- Plus le nombre d'essences adaptées au climat futur est élevé dans le peuplement et moins il sera nécessaire d'intégrer de nouvelles essences ou d'augmenter leur proportion dans le but sylvicole.
- Il convient de favoriser les essences d'avenir dont l'apparition dans la régénération naturelle est vraisemblable durant les prochaines décennies (ce qui dépend entre autres de l'éloignement des semenciers, du potentiel de dissémination par le vent, les oiseaux, etc.).
- La régénération artificielle d'essences souhaitées peut se révéler pertinente en l'absence de régénération naturelle (p. ex. en raison de l'absence de graines). La priorité va aux essences indigènes adaptées au climat futur. En cas d'introduction d'une essence hors de son aire actuelle de répartition, on parle de migration assistée (assisted migration) [12]. Celle-ci peut se réaliser aussi verticalement, vers des étages de végétation supérieurs (exemple: le sapin vers l'étage subalpin actuel). Plus le site choisi est éloigné de l'aire actuelle, plus les risques augmentent et la probabilité du succès diminue (p. ex. du fait de l'absence de mycorhizes ou de la présence de nouveaux pathogènes. La régénération en montagne est encore plus coûteuse qu'ailleurs et devrait s'intégrer dans une stratégie régionale ou cantonale (exception: projets expérimentaux; cf. pp. 16/17).
- Outre les changements de stations et de fonctions forestières, il s'agit aussi d'intégrer les perturbations et les événements extrêmes dans le choix des essences. Celles qui sont prédisposées aux perturbations ne devraient au mieux être introduites qu'en faibles proportions dans le but sylvicole – à moins que de bonnes raisons parlent

en faveur de leur maintien en proportions plus élevées et aussi longtemps que possible dans le peuplement (notamment l'épicéa et le sapin en tant que conifères sempervirents dans les forêts de protection contre les avalanches).

- Dans le choix des essences, il faut tenir compte des facteurs écologiques, du besoin en lumière et des conditions de concurrence. Les essences souhaitées doivent convenir à la sylviculture – et la sylviculture aux essences souhaitées.
- D'une façon générale, les essences concurrentielles et tolérante à l'ombre ont l'avantage en forêt de protection, car elles peuvent se régénérer sans grands risques (dangers naturels, concurrence de la végétation, dessèchement) à l'intérieur des trouées de petite et moyenne taille et elles n'exigent que peu de soins. Ainsi, le hêtre et le sapin resteront souvent des essences très importantes apportant de nombreux avantages.
- Des essences de lumière telles que le chêne et le merisier prennent de l'importance en matière de répartition des risques. Leur importance s'accroît encore à l'étage collinéen et sur des stations sèches. Si la station ne l'impose pas (p.ex. des stations moyennes de hêtraie), la proportion de ces deux essences ne devrait pas devenir trop élevée, pour éviter des coûts croissants ainsi qu'une réduction du nombre de tiges et de la surface terrière. Ceci serait problématique notamment en forêt de protection contre les chutes de pierres. Des alternatives sont offertes par des essences tolérant l'ombrage et relativement résistantes à la sécheresse comme les tilleuls.
- Face à la fréquence croissante des perturbations, des essences pionnières tels que le bouleau, le tremble ou les saules prennent de l'importance grâce à leur capacité de se disséminer rapidement, à leur résistance élevée aux stress, à leur croissance rapide, etc. Elles jouent un rôle particulier de pont entre les essences actuelles non adaptées au climat futur et celles qui sont adaptées, mais qui ne peuvent pas encore être introduites aujourd'hui. Il en est ainsi dans les pessières de l'étage haut-montagnard qui passeront à l'étage collinéen d'ici la fin du siècle ou dans les surfaces de régénération d'essences pionnières très étendues.
- Lors de la conversion en peuplements riches en feuillus et adaptés au climat futur, une certaine proportion d'essences résineuses peut se révéler utile sur des pentes raides (surtout les versants sud) dans le but de conformer les tiges de feuillus en éléments stabilisateurs aussi verticaux que possibles.

► **Quelle est l'influence du changement climatique sur le but sylvicole?**

- Outre l'influence sur le choix des essences cibles, le changement climatique peut influencer d'autres conditions cadre. Il s'agit par exemple de certaines méthodes de récolte, par exemple en lien avec les sols moins souvent gelés en hiver.

- Les modifications stationnelles influencent aussi la croissance des arbres, si bien que dans certains cas, les objectifs de production d'une essence donnée doivent être révisés (p. ex. qualité, dimensions).

2. État actuel de la forêt

Le relevé de l'état actuel de la forêt constitue la base de toutes les décisions sylvicoles. L'observation attentive de l'état de la forêt sur de nombreuses années peut livrer des

informations importantes dans le contexte du changement climatique, qui dure depuis quelques décennies. Il s'agit d'une part de la formulation de buts sylvicoles pertinents, d'autre part de l'estimation de l'évolution future du peuplement et de la nécessité d'intervenir. Vu les changements stationnels, il n'est plus possible cependant de s'appuyer sur les expériences du passé pour estimer directement l'évolution future. En outre, en plus du peuplement lui-même, il est important d'inclure son voisinage.

Principes d'adaptation

Le changement climatique élève les risques et l'insécurité en ce qui concerne les prestations de la forêt comme la protection contre les dangers naturels. Comme l'ont formulé Brang (Brang et al. 2016), il s'agit de poursuivre les stratégies décrites ci-dessous en vue de réduire les risques climatiques.

- Augmentation de la résistance contre les perturbations: la capacité de résistance de la forêt contre les effets du changement climatique est renforcée.
- Augmentation de la résilience: à la suite de perturbations, les peuplements rétablissent rapidement leur effet protecteur.
- Amélioration de l'adaptabilité: l'état de la forêt s'adapte continuellement aux conditions climatiques changeantes, autant que possible sans perte d'effet protecteur.

Des options d'intervention générales et largement admises sont résumées dans cinq principes d'adaptation. La mise en œuvre sylvicole de ces principes est abordée aux pages 12 et 13. En forêt de protection, la diversité des essences prend encore plus d'importance que par le passé. Les peuplements purs sont par conséquent à éviter. Une attention renforcée est portée à la diversité génétique propre à chaque essence, par exemple en lien avec des provenances adaptées au climat futur. Une grande diversité structurelle et une résistance élevée des arbres aux perturbations (élé-

ments stabilisateurs) restent essentielles. La réduction des diamètres cibles (ou des durées de rotation) peut se révéler judicieuse selon les cas, mais crée aussi souvent des inconvénients ou des risques. Une description détaillée des principes d'adaptation est disponible (publications [2] et [5].

La capacité d'adaptation mentionnée plus haut se réfère à la forêt dans son ensemble, en lien avec les prestations souhaitées dans un environnement changeant. Concernant l'adaptabilité des essences elles-mêmes, il est nécessaire de différencier [12]. 1) Même sans adaptation génétique, chaque arbre possède une plasticité relativement élevée dans son comportement. Un arbre peut par exemple réagir de façon différente à des épisodes de sécheresse. Cette faculté diminue avec l'âge. 2) Le comportement d'un individu, par exemple sa réaction à la sécheresse, est aussi conditionné par la transmission d'information environnementale par les parents à leurs descendants (réaction épigénétique). Le WSL a ainsi pu démontrer que des pins nés pendant une période sèche étaient plus résistants à la sécheresse que les autres [4]. 3) Contrairement à ces deux premiers exemples, l'adaptation génétique est un processus à long terme basé sur la sélection entre individus et qui se déroule sur plusieurs générations d'arbres. Mais en raison de ce processus, on ne peut pas déduire que des mortalités faisant suite à une sécheresse indiqueraient que l'essence concernée n'est pas adaptée au climat futur sur la station concernée.

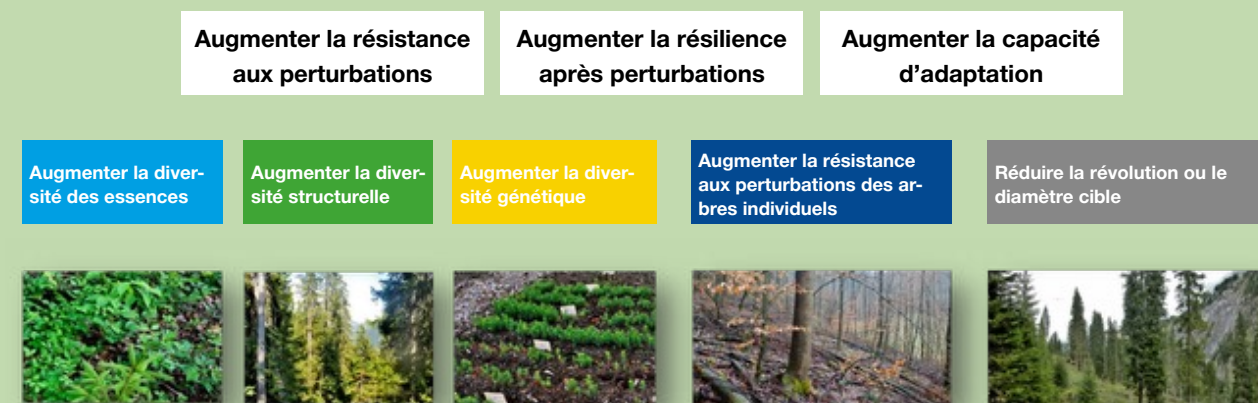


Fig. 3: Principes d'intervention sylvicoles en vue de réduire les risques (selon Brang et al., modifié)

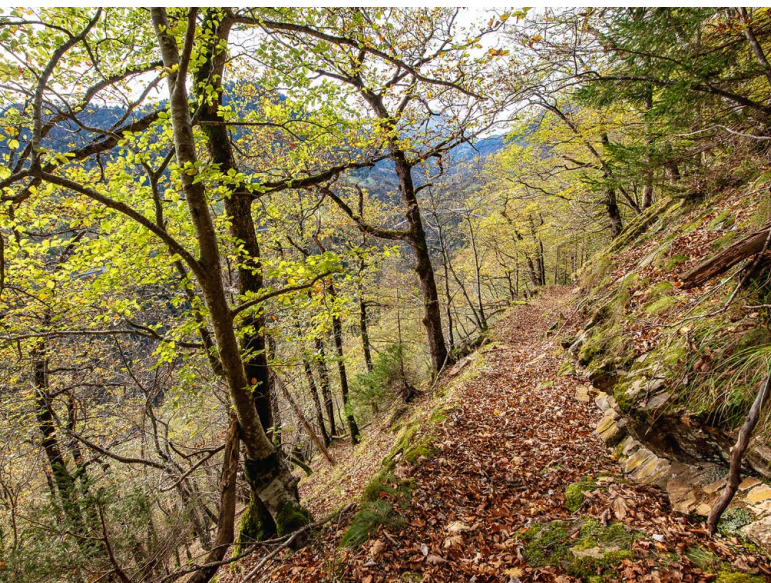


Fig. 4: Sur des sols superficiels et séchards comme celui-ci, il faut s'attendre à des difficultés croissantes pour le hêtre en cas de sécheresse et à des avantages concurrentiels pour les essences plus résistantes à la sécheresse comme le chêne sessile.

Formulaire NaiS: la description de l'état actuel de la forêt – combinée à l'évolution attendue du peuplement – est la base permettant d'analyser le besoin d'intervention. La comparaison avec les profils d'exigences est facilitée lorsque l'état de la forêt est décrit aussi concrètement que possible sous une forme inspirée des exigences et en apportant toutes les informations pertinentes.

► **Quelles caractéristiques du peuplement sont-elles particulièrement importantes en lien avec le changement climatique?**

- Il est d'ores et déjà possible d'observer des conséquences du changement climatique récent. La découverte d'essences adaptées au climat futur dans la régénération – non observées jusqu'ici – a toute son importance. Il en va de même des modifications de la vitalité de certains arbres, qui donne des indications – dépendantes de l'essence, de l'âge, de la position sociale – sur leur façon de réagir au changement, par exemple aux étés secs.
- Il importe de rester conscient du fait que l'état actuel du peuplement reflète la gestion passée ainsi qu'une part du changement climatique qui a d'ores et déjà eu lieu – et donc que les conclusions touchant l'avenir doivent tenir compte d'un climat bien différent, ce qui incite à la prudence. Le changement climatique observé jusqu'ici n'est en effet que le début de ce qui se passera ces prochaines décennies. Il est par exemple possible qu'une nouvelle génération traversant des phases stressantes de sécheresse se révèle nettement plus résistante dans le futur que la même essence ou provenance aujourd'hui en difficulté au stade de la futaie. Cela peut être dû par exemple à un investissement accru au niveau des racines ou à la réduction de sa taille. Ce faisant, les limites

Tree App

L'application Tree App (www.tree-app.ch) est un support gratuit qui aide à choisir des essences en situation de changement climatique. Les recommandations de l'application se fondent sur le concept de l'adaptation des écogrammes, dans le cadre du système actuel d'étude de la station (région – étage altitudinal – écogramme – type de station). Tree App complète ce système par un déplacement modélisé des étages altitudinaux. En partant des types de stations actuels, on peut ainsi partout «traverser» les écogrammes pour obtenir le type de station attendu dans le futur (cf. Fig. 5 ainsi que d'autres informations [10]). Il faut notamment s'attendre à de nouvelles stations à l'étage collinéen, encore inexistantes actuellement en Suisse. Mais les essences et les autres végétaux croissant sur des types de stations actuels pourront former de nouveaux mélanges. Le concept utilisé a le grand avantage d'offrir une vision très concrète des conditions stationnelles futures et cela à moindres coûts.

Tree App élabore des recommandations concrètes en termes de choix des essences pour une position donnée sur la carte. L'application opère en comparant les types de stations actuels et futurs et prend les deux scénarios climatiques en compte. Les recommandations sont différenciées en «↑ Essences recommandées», «√ « Essences recommandées avec mesure» et «↓ Essences menacées», ainsi que des essences non souhaitées telles que l'ailante. Cette démarche se réfère à l'existence d'un équilibre hypothétique de la végétation sous le climat futur. L'état actuel de la forêt n'est pas pris en compte. L'application ne s'exprime pas sur la rapidité ni sur le déroulement des changements à venir en forêt. Tree App n'offre donc que des aides à la décision. Il revient aux spécialistes forestiers locaux de formuler concrètement les buts sylvicoles et la marche à suivre au niveau du peuplement.

À quel niveau de sécheresse faut-il s'attendre?

Même lorsque les précipitations restent stables, la hausse des températures renforce la transpiration et ainsi la sécheresse. Les scénarios climatiques prévoient une diminution des précipitations estivales moyennes et un allongement des périodes de sécheresse (cf. p. 5). Une augmentation de l'assèchement du sol en période de végétation – avec des précipitations hivernales relativement stables – aura pour effet de réduire la profondeur des stocks d'eau du sol reconstitués au printemps. Les réserves d'eau s'épuiseront ainsi plus vite en été. C'est une des raisons pour lesquelles les hêtres pourraient davantage souffrir du manque d'eau à l'avenir, voire disparaître, même sur des sols relativement favorables [17].

L'application Tree App anticipe déjà une certaine augmentation de la sécheresse lors des décalages vers un étage plus chaud. Par exemple, une station est en principe plus

sèche à l'étage montagnard inférieur qu'à l'étage montagnard supérieur, cela pour le même emplacement sur l'écogramme. Si l'étage de végétation ne se décale pas, Tree App considère que la station est inchangée. Les réflexions ci-dessus mènent cependant à admettre que dans certains cas, le décalage se produit aussi sur l'axe de l'humidité de l'écogramme vers des stations plus sèches. Un tel changement est difficile à prévoir, car il dépend du régime des précipitations, des propriétés du sol et des réserves en eau. Il s'agit pour le moins de prendre en compte une telle possibilité de décalage, notamment sur les stations aujourd'hui sujette à l'assèchement et lorsque Tree App ne mentionne

pas de changement d'étage de végétation. Il peut s'ensuivre que l'accent sylvicole soit mis sur des essences plus résistantes à la sécheresse (p. ex. le tilleul à la place du hêtre), sans pour autant apporter des modifications sous «station future». Une autre possibilité consiste à procéder par estimation pour choisir la station un peu plus sèche sur l'organigramme cible en tant que type de station futur (p. ex. le type de station 14 plutôt que 10a). Ou encore, on estime que le décalage se produit vers l'étage de végétation inférieur (p. ex. vers l'étage collinéen à partir de l'étage submontagnard).

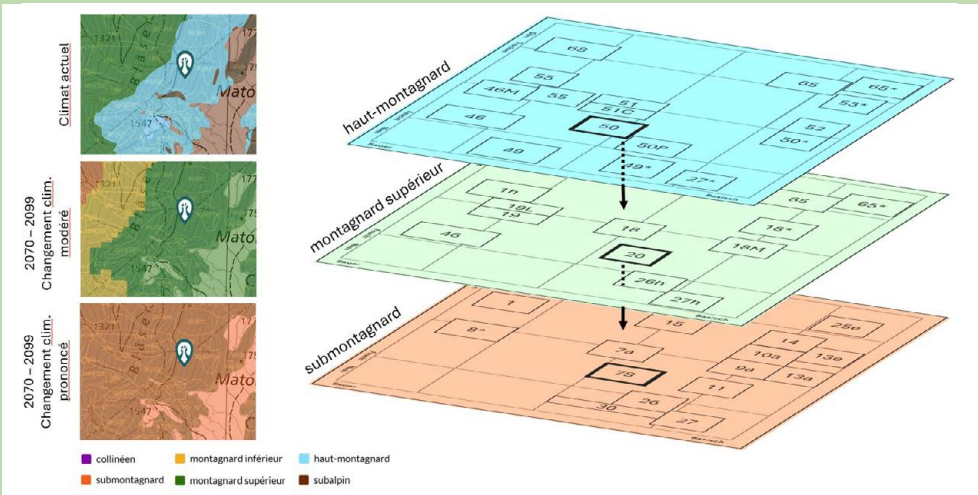


Fig. 5: Le concept d'adaptation des écogrammes, basé sur les décalages modélisés des étages de végétation, permet de connaître les futurs types de stations. Selon Frehner et al, 2018, modifié

Fig. 6: Recommandations de choix d'essences par Tree App dans une Pessière-Sapinière à Adénostyle typique (station actuelle). Du point de vue climatique, à la fin du siècle, cette station devrait se trouver dans des conditions correspondant à une hêtraie. [† = essence menacée par des maladies; * = essence pionnière; ° = essence allochtone]

Recommandations

50 haut-montagnard
Climat actuel

20 montagnard supérieur
Chang. clim. modéré

75 submontagnard
Chang. clim. prononcé

↑

Érable sycomore

Frêne†

Sapin

Épicéa

Hêtre

Aulne blanc°

Bouleau°

Tremble°

Saule marsault°

Alisier blanc

Sorbier des oiseaux

✓

Cerisier

Tilleul à larges feuilles

Orme de montagne†

Érable champêtre

Érable plane

Aulne glutineux°

Charme

Châtaignier†

Houx

Noyer

Pin sylvestre

Merisier à grappes

Chêne sessile

Chêne pédonculé

If

Tilleul à petites feuilles

Douglas°

Chêne rouge°

Robinier°

↓

Mélèze

⚠

Ailante°

☒ Afficher les essences qui, ultérieurement, seront également adaptées
 ☐ Afficher les noms d'espèces en latin

physiologiques ne peuvent pas être dépassées (cf. encadré p. 7).

- La détection de semenciers (essence, nombre, distance) en dehors du peuplement et adaptés au climat futur joue un rôle important, de même que l'estimation de leur potentiel de dissémination.
- Des éléments individuels du peuplement jusqu'ici peu pris en compte mais adaptés au climat futur, par exemple les bouleaux, peuvent jouer un rôle important pour l'adaptation.
- Il importe de repérer les situations clés potentiellement utiles (p. ex. de jeunes peuplements riches en espèces), mais aussi les peuplements à risques (p.ex. peuplements purs d'une essence peu adaptée aux conditions futures).
- L'estimation de l'influence du gibier est importante pour chaque espèce, car de nombreuses essences adaptées au climat futur se font abrutir.

3. Perturbations / événements extrêmes

Non seulement les modifications de la station, mais aussi les perturbations et les événements extrêmes peuvent agir de façon décisive et souvent en très peu de temps sur l'évolution des peuplements. Il faut s'attendre à un renforcement de ces phénomènes avec le changement climatique, notamment celui des événements complexes, qui réunissent plusieurs processus en cascade (p. ex. risque accru de lave torrentielle ou de chutes de pierres après un incendie de forêt) [7].



Fig. 7: Le risque de perturbations à grande échelle impactant drastiquement la fonction protectrice augmente notamment dans les forêts dominées naturellement par l'épicéa dans les vallées alpines continentales. Sur la photo, dégâts étendus du bostryche succédant à la tempête Vaia et aux bris de tiges consécutifs dans le Gadertal (Tyrol du Sud).

Formulaire NaiS: les perturbations ainsi que les événements extrêmes sont pris en compte dans le formulaire NaiS. Certaines distinctions sont importantes à faire: 1) Perturbations auxquelles on peut s'attendre dans le peuplement (p. ex. dégâts du bostryche dans un peuplement pur d'épicéa); 2) Événements extrêmes non localisables à l'avance tels que les tempêtes (p. ex. Vivian, Lothar) ou les incendies de forêt. Le premier type de perturbations est pris en compte pour estimer l'évolution en l'absence de mesures (flèches), mais pas les autres événements (cf. chapitre suivant).

► Quels sont les effets attendus du changement climatique sur les perturbations biotiques et abiotiques?

- L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des perturbations varie localement et régionalement (p. ex. impact du bostryche dans les vallées intérieures des Alpes dominées par l'épicéa ou sur le Plateau).
- Une progression des sécheresses est attendue en principe partout, mais leur ampleur et leurs conséquences dépendent beaucoup de la station (surtout de la capacité de rétention en eau des sols) et du peuplement.
- Il faut également s'attendre à davantage de dégâts causés par des organismes allogènes (maladies fongiques, ravageurs, néophytes, etc.).
- L'analyse de scénarios comportant des événements rares et violents ou des événements extrêmes imprévisibles est précieuse, même si de telles situations ne sont pas prises en compte dans le formulaire NaiS pour l'évolution du peuplement sans interventions.
- Les «perturbations» à petite échelle (pertes isolées ou petits nids de bostryches) peuvent aussi se révéler positives en ce sens qu'elles soutiennent l'adaptation naturelle.

4. Évolution sans interventions

L'estimation de l'évolution du peuplement est la condition préalable pour définir les mesures à prendre. Aussi longtemps que l'évolution est orientée vers le but souhaité, aucune mesure n'est nécessaire. Avec le changement climatique, l'évolution de la forêt est différente de ce que l'on connaît aujourd'hui, car les stations se modifient et les perturbations comme les événements extrêmes s'intensifient. Il est ainsi devenu plus difficile d'estimer l'évolution du peuplement et par là de juger de son effet protecteur dans le futur.

Formulaire NaiS: l'évolution attendue du peuplement est représentée par des flèches portant sur les 10, respectivement 50 prochaines années. La référence pour le positionnement de l'état actuel et de l'état dans 10 ans, entre profil d'exigences minimal et idéal, est la station actuelle. La référence pour le positionnement dans 50 ans est le profil d'exigences de la station future. Les perturbations auxquelles on peut s'attendre pour un peuplement donné sont prises en compte, mais pas les événements extrêmes non localisables tels qu'une tempête (cf. chap. 3). Pour représenter l'évolution du peuplement sous un autre scénario de perturbations, il est aussi possible d'utiliser une seconde flèche. Le verso du formulaire offre suffisamment de place pour y noter les réflexions et les hypothèses touchant les perturbations. C'est aussi l'endroit prévu pour thématiser les événements extrêmes non pris en compte avec les flèches.



Fig. 8: A la limite supérieure actuelle du hêtre, les gels tardifs freinent le rythme d'adaptation de l'essence. Sous l'effet du changement climatique, le débourrement devient plus précoce, ce qui pourrait renforcer la problématique de l'adaptation.

► **Comment les futures modifications stationnelles, de même que les événements extrêmes et les perturbations se répercuteront-ils sur le peuplement?**

- La vision vallée (observation des stations situées plus bas) permet d'estimer l'évolution future. En outre, dans certains cas et en fonction des propriétés du sol, il faut s'attendre à des décalages vers des conditions plus sèches (vision montagne, vers le haut).
- Les peuplements peuvent d'une part s'adapter au rythme lent de la modification des stations, mais aussi, d'autre part, réagir de façon abrupte à la suite d'événements extrêmes, de perturbations ou lorsque des points de bascule sont atteints.
- Ce qui importe, c'est de savoir comment les espèces présentes se comporteront dans les conditions futures. Qui profite, qui perd? En faveur ou au détriment de quelles espèces évolueront les conditions de concurrence?
- Les essences sur lesquelles on pourra compter dans la future régénération naturelle dépendent de facteurs tels que le nombre et l'éloignement des arbres semenciers, le potentiel de dissémination des graines, le substrat de germination ou encore la pression du gibier.
- L'exposition d'un peuplement aux perturbations dépend également, outre de sa structure et sa stabilité, des prédispositions propres aux essences qui le compose.
- On observe aujourd'hui déjà certains signes d'une prédisposition accrue aux perturbations à certains stades

de développement. Ainsi, les jeunes hêtres sont beaucoup moins touchés par la sécheresse estivale que les individus âgés.

- Les nouvelles formes de perturbations mises à part, il faut aussi s'attendre à des événements connus tels que les dégâts de neige lourde à moyenne altitude ou les gels tardifs.

5. Nécessité d'intervenir et mesures efficaces

Si le but sylvicole ne peut pas être atteint sans intervention et que des mesures efficaces sont possibles, il y a alors nécessité d'intervenir. Il est souvent plus efficace de conserver activement un état de la forêt satisfaisant que d'attendre qu'il se soit fortement dégradé. Inversement, il est possible que dans des forêts où aucune intervention n'a eu lieu depuis des décennies, aucune nécessité d'intervenir ne se manifeste.

Dans le contexte du changement climatique, il est souvent possible d'améliorer l'état de la forêt à peu de frais, par exemple en promouvant des essences adaptées au climat futur. Plus la nécessité d'intervenir est analysée et justifiée avec précision et plus il sera possible de définir des mesures efficaces. L'efficacité des mesures est parfois incertaine et plus difficile à estimer que par le passé, car on ne peut guère s'appuyer sur l'expérience, qui ne peut être projetée dans le futur ou seulement à certaines conditions.

Formulaire Nais: la nécessité d'intervenir est confirmée lorsque le profil minimal futur ne peut pas se réaliser sans interventions et que l'on dispose de mesures efficaces à un coût raisonnable. La décision à prendre s'appuie sur la comparaison entre l'évolution du peuplement attendue sur les 50 prochaines années avec le profil minimal.

► **Quelles sont les mesures permettant de renforcer la résistance aux perturbations, la résilience après perturbations et l'adaptabilité du peuplement dans le cadre du changement climatique?**

En forêt de protection, on recherche toujours des structures plus ou moins irrégulières à petite échelle. Dans de telles forêts, les mesures prises sont en principe combinées et réalisées simultanément. La tâche des sylviculteurs est de prendre des mesures pertinentes au bon endroit et au bon moment.

La double page suivante est un soutien à la mise en œuvre des orientations stratégiques mentionnées plus haut dans les domaines suivants: introduction du rajeunissement, promotion du rajeunissement, soins aux jeunes peuplement et éclaircies stabilisatrices. Les remarques et recommandations portant sur chaque domaine d'intervention sont attribuées aux cinq principes d'adaptation à l'aide couleurs (cf. encadré p. 7).

Mise en œuvre sylvicole des cinq principes d'adaptation:

Augmenter la diversité des essences | Augmenter la diversité structurelle | Augmenter la diversité génétique

Davantage de diversité des essences par la régénération naturelle

Les avantages de la régénération naturelle restent nombreux

- La régénération naturelle implique un nombre suffisant de semenciers adaptés au climat futur et dans le rayon de dissémination des graines.
- Il est essentiel de tenir compte des exigences écologiques des essences en phase de régénération (p. ex. besoin en lumière).
- Le dosage différencié de la lumière (dimensions des ouvertures, développement de la régénération) augmente la diversité des essences.
- Certaines essences d'avenir (p. ex. le pin sylvestre) posent des exigences particulières au substrat de germination (p. ex. sol minéral → scarification)

Conflits d'objectifs possibles (essences de lumière)

- Rajeunir les essences de lumière là où la marge de manœuvre par rapport aux dangers naturels est la meilleure (p.ex. zones peu pentues).
- Estimer soigneusement le rapport entre les avantages et les risques (concurrence de la végétation, dessèchement, etc.).
- Une démarche en plusieurs étapes lors de l'agrandissement des ouvertures peut favoriser une diminution des risques.

Régénération artificielle en tant que complément

- La régénération artificielle peut se révéler pertinente lorsque l'on manque d'essences d'avenir ou si l'on doute du succès d'un processus naturel dans le temps imparti.
- L'introduction précoce et ponctuelle d'essences d'avenir pressenties comme porte-graines offre un potentiel pour la régénération naturelle future.

La régénération en tant que fondement de la diversité génétique

- La condition de la diversité génétique est la présence d'un nombre suffisant de porte-graines.
- L'adaptabilité génétique est favorisée par des activités de rajeunissement diversement imbriquées dans l'espace et échelonnées dans le temps
- En complément de la régénération naturelle l'utilisation de provenances adaptées à des conditions plus sèches peut se révéler pertinente

Les interventions concentrées conservent les structures

- Selon les risques et l'adaptabilité du peuplement, une régénération précoce au stade de la jeune futaie peut être pertinente.
- Des interventions ciblées en faveur des arbres de place sans éclaircies surfaciques permettent de conserver diverses conditions favorables à la régénération future d'essences de lumière (p. ex. zones sombres sans régénération préalable d'essences d'ombre).

Assez de place pour les éléments stabilisateurs

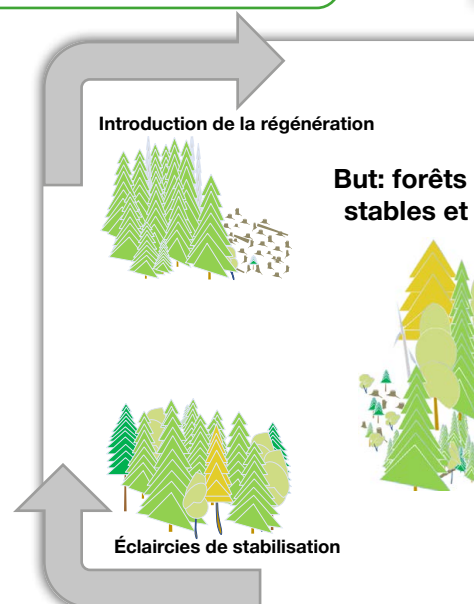
- Au stade du perchis déjà, il est essentiel d'assurer un bon développement du tronc et de la couronne des éléments stabilisateurs (tiges individuelles /petits collectifs).
- Des espacements conséquents entre arbres de place ainsi que leur promotion systématique augmentent la stabilité individuelle.

Réduction du diamètre cible par la régénération précoce

- Plus le but sylvicole diffère de l'état actuel du peuplement et plus le processus d'adaptation doit être rapide.
- Une régénération précoce est d'autant plus importante que le peuplement est proche de sa maturité ou soumis à des risques importants de dépérissement (prédisposition aux perturbations).
- Il reste important de conserver une part d'arbres âgés. (diversité génétique, structure, biodiversité, etc.).

Le processus de régénération détermine la diversité structurelle

- La conversion en structures étagées implique de procéder à une régénération par étapes au stade de la futaie
- Des interventions variées pour la régénération sont favorables à la diversité des structures.
- Des éléments structurels tels que les réserves sur coupe améliorent la structure.



Garantir la diversité des essences jusqu'à la futaie

- Pour le bon développement des essences d'avenir, des interventions sont indispensables.
- Les interventions entre les soins aux jeunes peuplements et la récolte d'arbres parvenus à maturité sont souvent essentielles pour conserver des essences d'avenir.
- On trouve souvent des arbres encore capables de se développer parmi les essences de mélange peut concurrentielles, mais importantes, et qui peuvent pour le moins servir de semenciers.

Réduction de la période de rotation par l'intensification des éclaircies

- Il peut se révéler pertinent d'intensifier les éclaircies dans le but d'accélérer la croissance en diamètre et de renforcer la fonction de protection (efficacité de la protection, stabilité).

Conserver les essences d'avenir

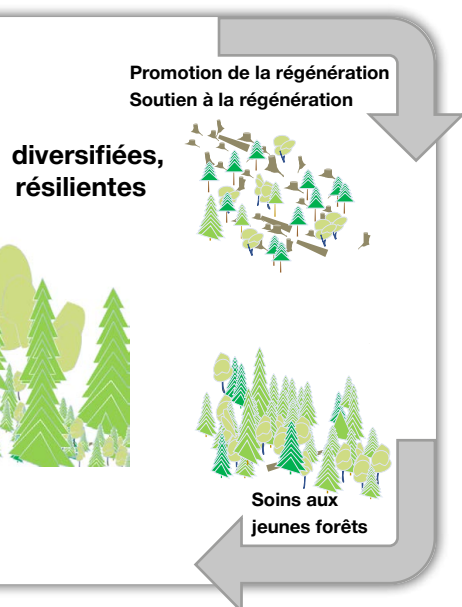
- La conservation d'essences d'avenir peu représentées dans la régénération est souvent très importante.
- Les essences pionnières sont souvent des essences d'avenir et il s'agit de les favoriser au besoin.
- Les essences qui ne seront vraiment «à l'aise» que sous le climat futur sont à favoriser en tant que futurs semenciers (si capables de survivre).
- De nombreuses essences pionnières sont des essences de (semi-)lumière et demandent une luminosité croissante en se développant.
- De nombreuses essences pionnières sont menacées par les dégâts du gibier et, le cas échéant, doivent être protégées.
- Si des facteurs limitants mettent la régénération en danger, il se peut que des mesures de soutien deviennent nécessaires (p. ex. une protection contre le glissement de la neige).

Les surfaces de régénération font partie de la diversité structurale

- Il convient de favoriser les cellules de régénération préétablies à temps pour éviter leur disparition ou celle des essences de lumière (p.ex. agrandissement des ouvertures).

Conserver la diversité génétique

- Les surfaces de régénération comptant un nombre élevé de tiges sont à conserver, car elles offrent une large base à la sélection naturelle (et donc pour l'adaptabilité).



Conserver la diversité des essences dans les jeunes forêts

- Les jeunes forêts, notamment les plus étendues, sont souvent riches en espèces. Il vaut la peine de déceler les essences d'avenir. (essences pionnières comprises)
- La promotion des arbres de place des essences cibles (individus les plus vigoureux / petits collectifs) doit se faire de manière concentrée et spécifique à chaque essence (période de l'année, intensité des interventions).
- Certaines essences d'avenir sont (encore) peu concurrentielles et demandent à être soutenue.
- Les mesures de protection contre le gibier doivent être maintenues si nécessaire.
- Les essences d'avenir encore très peu concurrentielles aujourd'hui doivent croître sur des sites favorables (p. ex. en lisière) pour devenir des semenciers.

Conserver et structurer les jeunes forêts

- Les éléments tels que les baliveaux, les prédominants, les peuplements pionniers (bouleaux, sorbiers des oiseaux, etc.), les arbustes et les espaces vides sont des éléments structurants – il s'agit de les conserver ou de les promouvoir.
- Des mesures homogénéisantes telles que des soins surfaciques sont à éviter.
- Une certaine distance entre les arbres de place favorise la structuration.
- La compartimentation ou les soins aux collectifs dans les peuplements à dominante résineuse créent des structures supplémentaires et permettent à la régénération future de passer à une structuration verticale moyennant peu de risques.

Les jeunes forêts sont génétiquement diversifiées

- Les jeunes forêts sont génétiquement diversifiées
- Pour certaines essences et mélanges, de longues périodes d'autodifférenciation et de forte sélection sont recommandées.
- Dans les parties denses (p. ex. peuplement de remplissage entre des arbres de place), un important réservoir génétique d'essences aujourd'hui concurrentielles reste conservé pendant longtemps: une raison pour ne pas éclaircir.
- Les jeunes arbres issus d'une plantation ou de semis possèdent des gènes rares pour l'endroit et sont donc à promouvoir.

Les éléments stabilisateurs visibles dans les jeunes peuplements

- Les individus et petits collectifs à longue espérance de vie et résistant aux perturbations sont très importants pour la stabilité du peuplement.
- Un certain espacement entre les arbres de place (60 arbres/ha au max.) renforce la stabilité individuelle et la conservation des arbres d'appui situés en aval.
- En raison du changement climatique, il peut être pertinent d'élargir certains couloirs lors des soins aux collectifs (meilleure croissance si l'alimentation en eau est bonne).



Fig. 9: Cette régénération vigoureuse de chêne dans une forêt à caractère continental introduit la conversion de la pessière haut-montagnarde dans une forêt feuillue de l'étage collinéen.

Malgré les incertitudes croissantes, il importe de prendre des décisions claires et de les mettre en œuvre systématiquement. Il s'agit par exemple, en ce qui concerne le choix d'arbres de place en nombre limité, de déterminer une palette d'essences et de favoriser clairement les arbres sélectionnés. Si l'on choisissait un nombre aussi élevé que

possible d'arbres de place, voire des remplaçants pour les pertes potentielles, on risquerait alors de n'obtenir finalement des éléments stabilisateurs ou des semenciers peu vigoureux. Le même principe vaut dans les plantations, où il convient de se concentrer sur une ou peu d'essences. L'expérience a montré qu'avec de nombreuses essences sur une petite surface, on n'atteint souvent pas les objectifs. La régénération artificielle est abordée aux pages 16 et 17.

Le rajeunissement d'essences de lumière exige davantage de luminosité (dimensions des ouvertures, progression des coupes) et généralement aussi des soins ciblés aux jeunes peuplements. L'objectif de protection contre les dangers naturels ne doit pas passer au second plan. Plus les ouvertures sont importantes et plus les risques de concurrence de la végétation (p. ex. par la clématite) ou des néophytes augmentent et, selon la station, les risques dus à la sécheresse. Le problème s'aggrave lorsqu'après la coupe de régénération, la croissance des jeunes arbres est ralentie par l'influence du gibier. L'agrandissement échelonné des ouvertures peut diminuer les risques. Afin d'amenuiser le plus possible le conflit d'objectifs avec les effets de protection, les ouvertures seront à disposer parallèlement ou obliquement par rapport à la pente. Les surfaces les plus importantes seront par ailleurs établies en des endroits moins exposés en matière de dangers naturels (p. ex. sur des terrains plus plats).

En tant que principe d'adaptation, la réduction des diamètres cibles ou des périodes de rotation peut se révéler judicieuse. Ce peut être le cas par exemple pour des peuplements dominés par les essences principales d'aujourd'hui telles que l'épicéa ou le hêtre et qui sont soumises à des risques croissants. Il s'agit toutefois d'appliquer ce principe de façon différenciée.

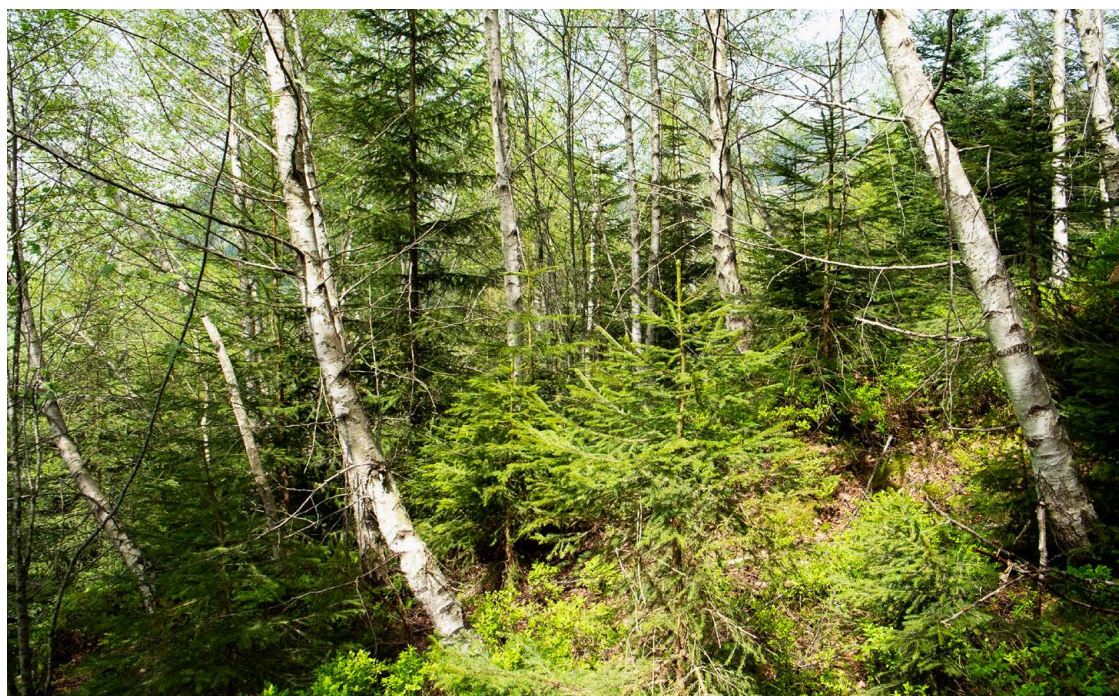


Fig. 10: Dans le contexte du changement climatique, des essences telles que le bouleau joueront un rôle bien plus important qu'actuellement

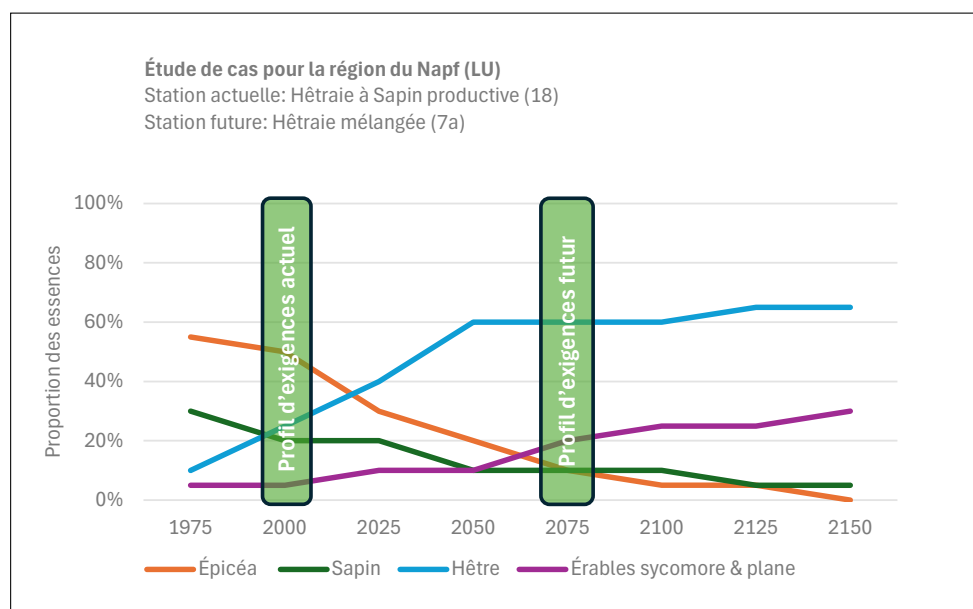
Les gros arbres, en guise d'exemple, jouent aussi un rôle important pour les effets protecteurs, la diversité génétique et structurelle ou la biodiversité. Il faut donc en conserver une certaine proportion (baliveaux, arbres-habitats, etc.). L'accélération de l'adaptation et la prévention des perturbations ne doit cependant pas faire oublier les exigences posées par la fonction de protection. Même attaqués par le bostryche, les arbres et groupes d'arbres laissés intentionnellement sur pied jouent souvent un rôle important pour la protection et la régénération. En outre, l'intensification des soins aux forêts protectrices dans les forêts où la gestion est déficitaire a souvent pour effet d'augmenter les coûts à charge de la collectivité, ce qui peut avoir pour effet que des massifs forestiers encore plus mal desservis sont négligés.

6. Décision de mise en œuvre

Pour décider des mesures à prendre, il convient de tenir compte d'éléments qui dépassent le cadre du peuplement tels que les stratégies cantonales ou régionales, les priorisations ou les concepts de desserte fine (cf. encadré p. 18).

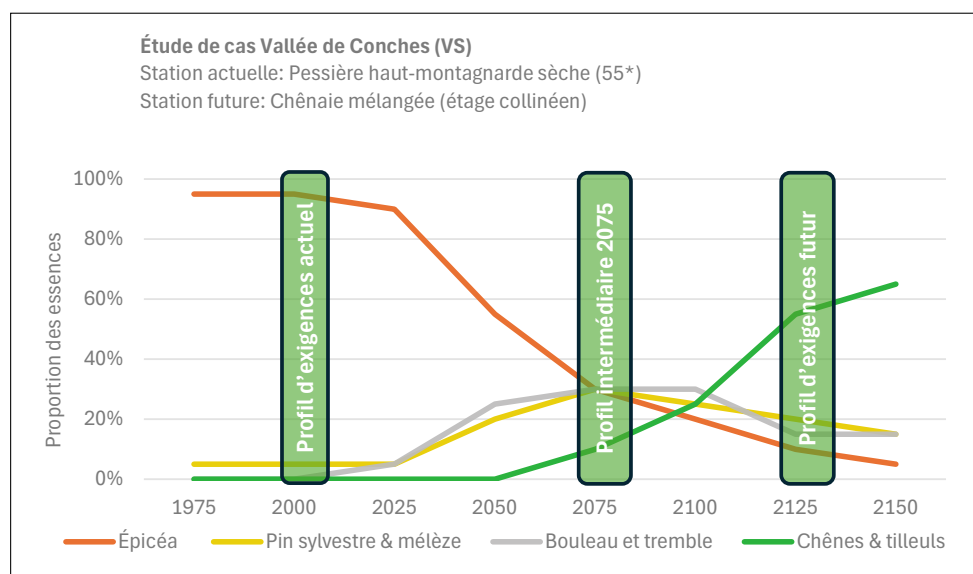
► Comment le changement climatique influence-t-il la priorisation ainsi que l'estimation de la proportionnalité, de l'urgence et du moment adéquat de l'exécution des mesures?

La priorisation des forêts de protection en fonction de leur importance (potentiel de dégâts, potentiel de danger, effets de la forêt) est une référence précieuse pour les prises de décision sylvicole. Avec le changement climatique, il faut s'attendre à une augmentation du coût des soins en forêt protectrice et à ce que la fixation de priorités prenne de l'importance en lien avec la survenue d'événements extrêmes.



Exemple de la région du Napf (LU):

L'augmentation de la part et de la diversité des feuillus est possible en quelques décennies et avec peu de risques; le profil d'exigences futur du formulaire NaiS est atteignable en 50 ans.



Exemple de la vallée de Conches (VS):

Le passage de la pessière à une chênaie mixte sans réduire l'effet protecteur n'est possible qu'à très long terme et avec des risques élevés: la sensibilité de l'épicéa aux perturbations augmente fortement et des essences comme le chêne ne sont aujourd'hui pas encore vraiment en mesure de survivre pour le remplacer. Dans ce cas, il est recommandé de définir un but intermédiaire réaliste (p. ex. sur 50 ans). Il s'agit ici d'une pessière mixte en mélange avec des essences pionnières et complétée par des chênes et tilleuls porte-graines.

Fig. 11: L'adaptation indispensable du mélange des essences est plus ou moins prononcée et plus ou moins rapide selon la situation. Il est parfois pertinent de définir un but sylvicole à moyen terme, étape de l'évolution vers un profil d'exigences que l'on ne pourra atteindre qu'à long terme.

La régénération artificielle en tant qu'instrument complémentaire

► Davantage de régénération artificielle à l'avenir?

- Comparativement aux 20 dernières années, la part de régénération artificielle devrait augmenter dans le futur en raison du changement climatique – notamment en l'absence de porte-graines des essences cibles.
- La régénération naturelle reste souhaitable et restera le «cas normal», car elle offre en règle générale des avantages conséquents. Par ailleurs, le financement d'une régénération artificielle à grande échelle en montagne n'est guère réaliste.
- Il vaut la peine d'examiner la possibilité de régénérer artificiellement en complément de la régénération naturelle, lorsque les mesures sylvicoles ne suffisent pas. Les avantages potentiels doivent alors être soigneusement mis en regard des chances de succès et des coûts, souvent très élevés en forêt de montagne (protection contre le gibier, longue durée des soins)

► Dans quelles situations la régénération artificielle est-elle pertinente?

- Lorsque des essences cibles ne pourront pas ou trop peu se reproduire naturellement (absence de porte-graines). Cette situation deviendra plus fréquente avec le changement climatique, car les essences adaptées au climat futur sont parfois éloignées (p. ex. les tilleuls ou l'érable plane dans les vallées alpines dominées jusqu'ici par l'épicéa). Plus l'aire de répartition actuelle est éloignée et plus les risques liés à la régénération artificielle tendent à augmenter. Par ailleurs, ces risques sont nettement plus élevés avec des essences allochtones qu'avec des essences autochtones.
- Accélération de la dynamique de régénération: par exemple, sur une grande surface de chablis peu favorable à la régénération, la plantation peut permettre de gagner plusieurs années.
- Solution de secours en cas de pression excessive du gibier: il n'est pas rare que les essences cibles présentes dans la régénération naturelle ne puissent croître sans mesures de protection contre le gibier. Dans ce cas, un complément de régénération artificielle peut faire sens, sachant aussi que le coût supplémentaire reste faible et que les clôtures de protection ont une durée de vie adéquate.
- Élargissement de la diversité génétique d'essences déjà présentes, par exemple en ajoutant des provenances de stations plus chaudes et plus sèches. Sur cette question, de nombreuses incertitudes demeurent et il n'est pas possible de formuler des recommandations précises.

Une alternative à la **plantation** est le **semis direct**.

Plantation

Nombre, agencement et mélange

- Du point de vue génétique, pour obtenir un bon approvisionnement en graines, il faut compter localement au moins 15 arbres semenciers, en réseau avec d'autres arbres semenciers de la même espèce. Pour une population saine à long terme, au moins 500 individus fertiles, en réseau par la pollinisation, sont nécessaires [13]. Il n'est pas nécessaire de disposer à court terme d'un tel potentiel. En outre, l'essence concernée est souvent déjà présente dans la région. ➡ Il est crucial de prévoir une coordination des plantations au-delà d'un seul peuplement.
- Il n'est pas pertinent de prévoir un mélange pied par pied d'essences différentes. Il faut au contraire opter pour des plantations en touffes d'une seule essence ou de plusieurs essences bien choisies (p. ex. des essences d'accompagnement) ➡ Il convient de penser aux futurs besoins en espace et en lumière, de même qu'aux conditions de concurrence.
- Essences hôtes: uniquement en mélange et sur de petites surfaces.

Choix des provenances

- Le mélange de provenances diverses réduit les risques et augmente la diversité génétique. Il semble pertinent d'opter plutôt pour des provenances de stations plus chaudes et plus sèches. Mais beaucoup de questions sont encore en discussion sur ce sujet.



Fig. 12: Ce jeune hêtre a été planté en 2017 à Rona (GR), à 1550 m d'altitude (étage haut-montagnard), hors de l'aire actuelle de cette essence. Bon développement jusqu'ici.

Types de plants

- Les plantes en pots (entre autres les «QuickPot») permettent d'élargir la période de plantation, offrent un meilleur taux de reprise (surtout sur les stations difficiles) et peuvent être facilement entreposés.
- Les plantes à racines nues sont plus légères (transport) et moins coûteuses. Après la reprise, elles sont souvent plus vigoureuses, car elles s'adaptent plus rapidement au sol forestier. La plantation demande davantage de savoir-faire et d'attention.

Réalisation

- La prise en compte des microstations (alimentation en eau, mouvements de la neige, végétation concurrente, etc.) est essentielle, tout comme la qualité professionnelle des travaux (conservation de l'humidité, période et technique de plantation, taille des racines, personnel motivé et bien formé).

Mesures de protection contre le gibier

- La réussite d'une plantation dépend malheureusement des mesures de protection contre le gibier. Les contrôles doivent être fréquents et précis, les réparations rapidement exécutées. En montagne, les coûts de protection se montent souvent à un multiple des coûts de plantation proprement dite.



Fig. 13 Les investissements consacrés aux plantations peuvent rapidement se voir réduits à néant par les dégâts du gibier. Les risques sont particulièrement élevés en montagne, où la croissance est lente et les conditions environnementales difficiles (déclivité, neige, etc.)

Soins cultureux / fauche

- Les soins cultureux et la fauche sont souvent indispensables durant les premières années suivant la plantation. L'exécution doit se faire avec soin, faute de quoi les pertes peuvent être importantes.

Planification et long terme

- Les coûts des plantations (comprenant les mesures indispensables de protection) sont souvent très élevés et il n'est pas rare que le pourcentage de réussite soit faible. Cela vaut particulièrement pour les essences et provenances aujourd'hui encore à la limite climatique de leur aire.
- Comme la régénération artificielle ne peut compléter qu'une faible partie de l'aire forestière, il est d'autant plus important d'accorder une attention particulière à la planification et à la priorisation ➔ élaborer un concept de régénération dans un cadre plus large que le peuplement en incluant non seulement la plantation (essences, provenances, nombre, agencement, etc.) mais aussi les soins à long terme (contrôle et documentation, protection contre le gibier, fauchage, etc.). Il est souvent opportun d'agir à l'échelle régionale ou cantonale. Les solutions SIG au niveau de l'entreprise sont très utiles, notamment pour les travaux de soins (p. ex. pour s'informer de l'état des clôtures de protection).
- La documentation, même minimale, est aussi essentielle. Elle assure la continuité en cas de changement de responsable. En outre, elle permet d'apprendre sur la base de l'expérience, démarche très importante dans ce domaine. L'instrument [DocuTool Essences futures](#) offre ici un soutien efficace pour observer et documenter les travaux de plantation.

Semis direct

Les remarques et recommandations ci-dessus sont aussi valables pour le semis direct.

► Quand le semis direct est-il recommandé?

- Avantages: peu coûteux, sélection proche de la nature par la concurrence, sans choc de plantation ni déformation des racines.
- Inconvénients: grandes quantités de graines (difficiles à trouver pour certaines essences), fortes pertes durant les premiers mois, réussite très dépendante de la météo.
- Un conditionnement professionnel des graines, spécifique à l'essence, est décisif pour la réussite (récolte des semences, maturation, stockage, stratification), de même que la technique de semis (date, travail du sol).
- Il est souvent pertinent de combiner semis direct et écroûtage du sol (entre autres pour le mélèze, le bouleau et le pin).

Ce texte est un concentré d'une publication détaillée de Francesco Bonavia (Pépinières forestières GR) et du Centre CSM. Ce document est consacré à la régénération artificielle et doit paraître en 2026.



Fig. 14: Les couloirs consécutifs à la compartimentation font apparaître des lisières internes et donnent de l'espace aux feuillus adaptés au climat futur.

L'urgence des mesures est définie en premier lieu par les déficits de l'état du peuplement, par la rapidité des évolutions problématiques ainsi que par le moment adéquat des interventions (efficacité et efficience). Les risques encourus par le peuplement ainsi que la rapidité et l'ampleur des modifications stationnelles jouent un rôle majeur dans les ré-

flexions. Même si l'urgence s'analyse en principe au niveau du peuplement, la planification des mesures doit se faire pour un espace plus large et coordonné (compartimentation, cadre

spatial des processus, unités de gestion). Ceci peut se faire dans le cadre de la planification au niveau de l'entreprise par la délimitation de zones prioritaires et par une planification sylvicole pluriannuelle.

L'appréciation de la proportionnalité des mesures est modifiée. Des mesures sont maintenant considérées comme proportionnelles alors que cela n'aurait pas été le cas autrefois en raison de leur coût et du résultat trop incertain (p. ex. plantations dans des forêts de protection importantes, mais où la régénération naturelle des essences adaptées au climat futur serait insuffisante).

Il convient de choisir soigneusement le moment des mesures. Pour les essences d'avenir, il convient en outre de se demander à partir de quand les conditions climatiques seront favorables à leur régénération. Or ce ne sont pas seulement les valeurs moyennes qui comptent, mais aussi des événements tels que les gelées précoces et tardives ou la neige lourde. Outre le climat, les conditions de concurrence se modifient aussi et jouent un rôle certain. Elles peuvent bien sûr être influencées par la méthode de régénération (dosage de la lumière) et par les soins, mais elles continuent de déterminer largement les coûts et les chances de réussite des essences peu concurrentielles. Par exemple, le hêtre est aujourd'hui généralement encore très concurrentiel sur les stations moyennes. On se demande donc souvent s'il faut encore attendre pour mieux utiliser la dynamique naturelle ou si le temps presse et qu'il convient d'agir proactivement, à un coût plus élevé. C'est pourquoi il est souvent pertinent

Importance de coordonner au-delà de la surface traitée

En matière de soins en forêt de protection, l'attention est souvent concentrée sur l'analyse des mesures à prendre lorsqu'il s'agit de marteler ou d'engager des travaux de soins aux jeunes peuplements.

Il est tout aussi important de prendre les décisions à une échelle plus large que le peuplement concerné et de coordonner les mesures prises sur l'ensemble des surfaces traitées:

- lors de la planification forestière en général (plans directeurs forestiers, plans de gestion, etc.)
- en déterminant les forêts de protection prioritaires (risques de dommages, sensibilité au changement climatique, risques de perturbations, conséquences d'effondrements (importance)
- en déterminant les mesures prioritaires: choix optimal des surfaces à traiter, moment de l'intervention (urgence)

et mesures susceptibles de fournir les meilleurs effets possibles sur une grande surface, sachant que les ressources sont limitées

- en coordonnant sylviculture et récolte du bois / desserte fine
- avec la coordination indispensable à large échelle pour la lutte contre le bostryche, la gestion des néophytes envahissantes et pour d'autres sujets de protection de la forêt
- en appliquant les mesures de régénération artificielle et de protection contre le gibier sur de petites surfaces et là où leur utilité est la plus grande, car il s'agit de mesures très coûteuses nécessitant un entretien sur de longues années
- la génétique joue un rôle important en lien avec l'introduction coordonnée d'essences et de provenances
- en prévoyant des travaux préparatoires en vue de fortes perturbations (priorités en cas d'évacuation du bois, logistique, etc.).



Fig. 15: Coupe de bois consécutive à des dégâts importants du bostryche. Il s'agit de conserver le plus grand nombre possible de plantes vivantes; le bois mort est utilisé majoritairement pour améliorer provisoirement l'effet protecteur.

de favoriser ou planter ponctuellement très tôt les futurs porte-graines des essences d'avenir sur des microstations particulièrement favorables – et cela même si le risque de pertes et les coûts sont très élevés. De cette façon, les bases de la régénération naturelle seront disponibles dans quelques décennies sous un climat plus chaud.

Le changement climatique peut également influencer les méthodes de récolte du bois, par exemple en réduisant le nombre de jours où le sol est gelé ou en remettant le transport par hélicoptère en question (décarbonation). D'autres aspects tels que la rentabilité et l'évolution du marché du bois restent évidemment essentiels.

7. Contrôle

Le changement climatique donne encore plus d'importance au contrôle, également dans le cadre de NaiS. En effet, il est nécessaire d'adapter continuellement les processus aux nouvelles conditions (environnementales). Par ailleurs, la fréquence des imprévus augmente (p. ex. celle des perturbations) et, d'une façon générale, l'incertitude gagne du terrain. Une question se posera de plus en plus: la forêt protège-t-elle encore assez, en est-elle encore capable, convient-il de prévoir d'autres mesures (constructions, organisation)? Ces questions touchent l'analyse des objectifs (examen et adaptation des profils d'exigences) et le contrôle de l'atteinte des objectifs (protection effective par la forêt), de même que l'analyse des effets (ceux des mesures prises ou du renoncement à des mesures). Pour ce faire, la formulation claire des objectifs est une condition indispensable. Il s'agit souvent d'approcher le but sylvicole à long terme par étapes et donc de fixer des objectifs intermédiaires. Il convient aussi de tenir une documentation minimale au service d'un processus d'apprentissage en continu (p. ex.: comment expliquer que la régénération de telle ou telle essence d'avenir n'a pas fonctionné?). Un tel processus a aussi toute son importance hors des placettes témoins.

Dans le cadre du changement climatique, la prudence reste de mise dans ce que nous pouvons apprendre du passé. Ainsi pour penser le peuplement futur, il convient aussi de prendre en compte les changements stationnels, donc l'évolution vers un avenir plus chaud et plus sec. Outre la sylviculture adaptative passive déjà largement pratiquée jusqu'ici, («apprendre sur la base de l'expérience»), il est indiqué de pratiquer davantage une gestion adaptative active («démarche comparative de diverses variantes d'intervention») [5]. Cela permet de comparer des démarches sylvicoles différentes et des procédés novateurs qu'elles contiennent. Dans ce contexte, l'analyse des effets sur les placettes témoins joue un rôle de premier plan. [La Plateforme SuisseNaiS des placettes témoins](#) ou l'instrument [DocuTool Essences futures](#) jouent ici un rôle important dans le sens de la mémoire collective, à l'instar des échanges d'expérience [14] [18].



Fig. 16: Les ouvertures ne mènent pas forcément à la régénération d'essences adaptées au climat futur. La photo montre comment la clématite, empêche la croissance des jeunes arbres à basse altitude et sur roche calcaire.

Bibliographie

[1] Allgaier Leuch B., Streit K., Brang, P., 2017: La forêt suisse face aux changements climatiques: quelles évolutions attendre? Not. prat. 59: 12 p. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL.

[2] Allgaier Leuch B., Streit K., Brang, P., 2017: Sylviculture proche de la nature sous le signe des changements climatiques. Not. prat. 59.1: 8 p. Birmensdorf: Institut fédéral de recherches WSL.

[3] Bebi, P., Bugmann, H., Lüscher, P., Lange, B., Brang, P., 2016: Impacts des changements climatiques sur les prestations des forêts protectrices. Dans: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Réd.), 2016. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 273-289.

[4] Bose AK, Moser B., Rigling A, et al., 2020: Memory of environmental conditions across generations affects the acclimation potential of scots pine. Plant Cell Environ. 2020; 43: 1288–1299.

[5] Brang, P., Küchli, C., Schwitter, R., Bugmann, H., Ammann, P., 2016: Stratégies sylvicoles et changements climatiques. Dans: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Réd.), 2016. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 345-369.

[6] Braun, S., Frehner, M., Rihm, B., Augustin, S., 2023: Feuchteachse von Ökogrammen: Quantifizierung und Abschätzung zukünftiger Veränderungen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 174 (1): 2431.

[7] Brunner, M., Jacquemart, M., Weber, S., 2024: Wie verändern sich Risiken im Alpenraum in Bezug auf hydrologische und gravitative Naturgefahren? In M. Bründl & J. Kleinn (Eds.), WSL Berichte: Vol. 157. Herausforderungen und Lösungsansätze im Umgang mit Risiken (pp. 2124).

[8] Office fédéral de l'environnement OFEV (éditeur), 2024: Gestion durable des forêts de protection (NaiS). Aide à l'exécution pour les soins sylvicoles et le contrôle des résultats. 1ère édition actualisée 2024. OFEV, Berne. L'environnement pratique. Gestion durable des forêts de protection NaiS

[9] Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2025: Anleitung zum NaiSFormular. Herleitung des Handlungsbedarfs und der wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen.

[10] Frehner, M.; Brang, P.; Kaufmann, G.; Küchli, C., 2018: Standortkundliche Grundlagen für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel. WSL Ber. 66: 43 S.

[11] Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R., 2005: Gestion durable des forêts de protection. Guide des soins sylvicoles et du contrôle des résultats dans les forêts à fonction protectrice, L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 564 p.

[12] Muheim, L., Rudow, A., 2024: Generhaltungsgebiete für Waldbaumarten – Bedeutung, Projektstand und Handlungsfelder. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 175 (6): 314318.

[13] Rudow, A., 2023: Genetik der Waldbäume. Relevante Aspekte für aktuelle Fragen der Waldbewirtschaftung. Fortbildung Wald und Landschaft. Fachseminar Kurs Nr. 344, 7.6.2023.

[14] Schwitter, R., 2023: Wirkungsanalyse auf Weiserflächen. Grundlagen – was ist das und wozu dient sie? Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP.

[15] Sperisen, C., Pluess, A. R., Arend, M., Brang, P.; Gugerli, F., Heiri, C., 2016: Conservation des ressources génétiques dans la forêt suisse – situation actuelle et nécessité d'agir face aux changements climatiques. Dans: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Réd.), 2016. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 371-388.

[16] Walthert, L., 2024: Auswirkungen der Trockenheit auf Waldbäume. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Referat vom 19.4.2024 am ibW Bildungszentrum Wald Maienfeld.

[17] Walthert, L., Meusburger, K., 2025: Sind die Waldböden in der Schweiz nach dem Winterhalbjahr vollständig befeuchtet? Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 176 (2): 106109.

[18] ZürcherGasser, N., Kühne, K., Thormann, J.J., Küffer, Chr., Schwitter, R., Zürcher, S., Frehner, M., 2016: Échange de connaissances et controlling: les facteurs clés d'une gestion forestière adaptative. Dans: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Réd.), 2016. Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne; Institut fédéral de recherches WSL, Birmensdorf; Haupt, Berne, Stuttgart, Vienne. 413-424.

Impressum

Titre: Soins aux forêts de protection à l'heure du changement climatique
Éditeur: Centre de sylviculture de montagne CSM, 2025
Auteurs: L. Glanzmann, S. Zürcher, C. Rüsch
Graphiques: CSM sauf indication contraire
Photos: Christian Rüsch (Fig. 7, 9, 12), Raphael Schwitter (couverture, fig. 1, 2 à 4, 8, 10, 13, 14, 15, 16)
Adresse de contact: Centre de sylviculture de montagne CSM, ibW Centre forestier de formation, Försterschule 2, 7304 Maienfeld, 081 403 33 61
info@foret-de-montagne.ch
www.foret-de-montagne.ch

V1.1 / 19.3.2026

Nous remercions toutes les personnes issues de la pratique et de la recherche qui ont contribué à cette publication par leur expertise et leur expérience de terrain. Nous adressons un merci particulier à Kathrin Kühne (OFEV), Monika Frehner et Martin Brüllhardt (Centre de compétences en sylviculture CCS), ainsi qu'aux membres du Groupe suisse de sylviculture de montagne GSM pour leurs apports constructifs.

Formulaire NaiS Changement climatique

www.nais-form2-klima.ch



Tree App

www.tree-app.ch



Outils documentaires

Essences d'avenir

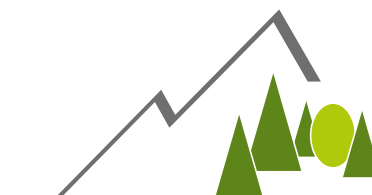
www.essencesfutures.ch



Plateforme des placettes

témoins SuisseNaiS

www.suissenais.ch



Fachstelle Gebirgswaldpflege
Centre de sylviculture de montagne
Centro per la selvicoltura di montagna
Center per la selvicoltura da muntogna