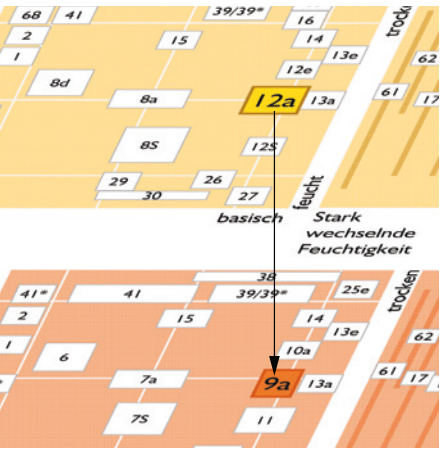










Heft 69, 2018

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique

Monika Frehner
Peter Brang
Geri Kaufmann
Christian Küchli

Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, CH-8903 Birmensdorf

Heft 69, 2018
WSL Berichte
ISSN 2296-3456

Bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique

Monika Frehner
Peter Brang
Geri Kaufmann
Christian Küchli

Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL
CH-8903 Birmensdorf

Impressum

Responsable de l'édition WSL Berichte
Prof. Konrad Steffen, directeur du WSL

Responsable du présent rapport
Peter Brang, directeur du programme de recherche «Forêts et changements climatiques», WSL

Responsable des publications
Sandra Gurzeler, cheffe de groupe Publications, WSL

Financement
Ce rapport a été financé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) dans le cadre du programme de recherches Forêt et changements climatiques de l'OFEV et du WSL. Il fait la synthèse des résultats des projets Écogrammes adaptés et Tests forestiers.

Référence bibliographique
Frehner, M.; Brang, P.; Kaufmann, G.; Küchli, C., 2018: Bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique. WSL. Ber. 69*:* 44 p.

Mise en page*:* Sandra Gurzeler, WSL

ISSN 2296-3448 (Print)
ISSN 2296-3456 (Online)

Téléchargement*:* www.wsl.ch/berichte

Une recherche au service de l'homme et de l'environnement: L'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL assure le suivi et l'étude de la forêt, du paysage, de la biodiversité, des dangers naturels, de la neige et de la glace. Cet organisme de recherche de la Confédération appartient au Domaine des EPF. L'Institut WSL pour l'étude de la neige et des avalanches SLF fait partie du WSL depuis 1989.

© Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL
Birmensdorf, 2018

Table des matières

1	Résumé	4
2	Évolution du climat et effets sur la forêt	6
	Évolution du climat d'ici à la fin du XXI^{e} siècle	6
	Effets du changement climatique sur la forêt	7
3	Mesures d'adaptation basées sur le choix d'essences adaptées à la station	9
	Réflexions générales concernant l'approche par écogrammes	9
	L'approche des types de stations analogues	12
	Elaboration de recommandations pour le choix d'essences adaptées la station	14
	Bilan, estimation des limites et autre potentiel de la démarche	16
4	Tests forestiers destinés à consolider les recommandations d'essences	17
	But et déroulement des tests forestiers	17
	Résultats méthodologiques livrés par les tests forestiers	18
	Thématiques particulières	19
5	Mise en œuvre, contrôle et monitoring	21
	Mise en œuvre sylvicole de mesures d'adaptation	21
	Situations sylvicoles clés et portée des mesures d'adaptation	21
	Exemple pratique de mesures d'adaptation	23
	Contrôle des résultats et échange de connaissances*:* éléments de la gestion adaptative	24
6	Développement futur des bases stationnelles face au changement climatique	26
	Instruments de mise en œuvre aux plans cantonal et régional	26
	Perspectives de développement des bases actuelles	27
7	Fiches des types de station adaptées	28
8	Bibliographie	34
9	Participants aux tests forestiers	36

L'annexe avec les fiches des bases stationnelles adaptées (Frehner *et al.* 2018) peut être consultée en ligne sous*:* www.wsl.ch/berichte

1 Résumé

Déplacement de 500 à 700 m des étages de végétation

Le programme de recherches Forêts et changements climatiques lancé en 2009 par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) s'est achevé en 2018. Le but était d'élaborer les bases d'information indispensables concernant les effets des changements climatiques sur la forêt et ses prestations, ainsi que sur les stratégies efficaces d'adaptation. Dès le départ, un des principaux objectifs du programme a été de préparer des aides à la décision destinées à soutenir les sylviculteurs dans la mise en œuvre des résultats de la recherche. Résultats qui arrivent notamment à la conclusion que les étages de végétation se déplaceront de quelque 500 à 700 m vers le haut d'ici la fin du XXI^{e} siècle. Ce déplacement aura des répercussions notables sur les essences aujourd'hui encore en station ainsi que sur les prestations de la forêt, mais dans une mesure qui variera en fonction des conditions stationnelles.

Comment les stations forestières se modifient-elles avec le changement climatique?

Un ensemble de projets de recherches (notamment le projet Adaptierte Ökogramme = écogrammes adaptés) se sont donc penchés sur la question de savoir comment les stations forestières, définies concrètement en tant que types de station (associations forestières), se modifieront avec le changement climatique et quelles essences il est alors possible de recommander pour l'avenir. L'idée directrice des projets a été d'intégrer la dimension du changement climatique dans le système actuel des types de station et de l'approche par les écogrammes de façon que les bases stationnelles actuellement utilisées en Suisse restent valables dans le futur. À cet effet, les étages de végétation ont été modélisés en fonction du climat actuel et du climat futur, ce qui a permis de faire apparaître l'effet de déplacement induit par le climat jusqu'à la fin du XXI^{e} siècle. Ainsi, il est en principe possible de connaître les modifications des conditions stationnelles en chaque endroit de la forêt suisse. Pour prendre en compte les incertitudes de l'évolution du climat, deux futurs climatiques ont été utilisés, l'un caractérisé par un changement climatique modéré (modèle climatique RegCM3, scénario A1B) et l'autre par un changement plus prononcé (modèle climatique CLM, scénario A1B). Les résultats sont présentés par des cartes des étages de végétation modélisés pour les deux futurs climatiques.

Essences d'arbres préconisées pour divers futurs climatiques

La dérivation du type de station sous un climat modifié permet par déduction de déterminer les essences d'avenir. Cette analyse s'est appuyée sur des bases actuelles*:* les clés cantonales de *détermination* des stations forestières et les recommandations actuelles pour le choix des essences. Les essences préconisées aujourd'hui sur un type de station donné ont été comparées à celles recommandées dans les deux futurs climatiques. Cette approche permet de formuler des recommandations pour le choix des essences et pour la sylviculture en tenant compte du changement climatique. Les recommandations se réfèrent aux types de station selon NaiS (Gestion durable des forêts de protection, Frehner *et al.* 2005/2009).

Test de la méthodologie en processus participatif

En vue de développer et de consolider cette méthode, six tests forestiers ont été organisés selon un large processus participatif. Ils constituent avec les travaux préparatoires et de suivi une source essentielle du présent rapport. Les rencontres liées à ces tests ont réuni 242 professionnels des services fédéraux et cantonaux des forêts, de la chasse et de la protection de la nature, des associations de propriétaires de forêts et de l'économie du bois, des associations environnementales, ainsi que des responsables d'entreprises forestières. Les tests forestiers ont créé un espace largement ouvert aux prises de position et aux réactions. Une des conclusions majeures de ces tests est que la méthodologie développée est saluée par l'ensemble des professionnels impliqués et peut être considérée comme consolidée. Ce rapport contient des résultats concrets des tests forestiers ainsi que de la journée de terrain du groupe de sylviculture de montagne consacrée au changement climatique. Des thèmes particuliers qualifiés de sensibles dans la synthèse scientifique du programme

de recherches Forêts et changements climatiques (Pluess *et al.* 2016) ont ainsi pu être débattus sur le terrain dans près de 30 peuplements forestiers ou types de stations.

Chacun de ces objets est documenté par une fiche en annexe numérique qui contient une description du type de station actuel ainsi que des changements liés aux deux futurs climatiques. Comme le déplacement des étages de végétation est variable dans l'espace, les fiches n'ont pas de validité générale. Elles sont valables dans toutes les forêts sises actuellement sur le même type de station et appartenant au même étage de végétation modélisé dans les deux futurs climatiques.

Les mesures d'adaptation facilitent le déplacement des habitats et de leurs espèces

Les mesures sylvicoles propices à l'adaptation des forêts ont également fait l'objet de discussions approfondies lors des tests forestiers. Lorsque des différences importantes apparaissent entre les essences actuelles et celles qui sont recommandées pour le futur, il faut favoriser dès maintenant les espèces qui seront adaptées à la station. L'approche stationnelle adoptée permet aussi d'identifier les futurs écosystèmes proches de l'état naturel en chaque endroit de la forêt et de favoriser la mise en place des structures propices aux biocénoses qui leur sont liées grâce à la promotion des essences adéquates. Cela facilitera également le déplacement des habitats actuels et de leurs espèces vers les futures aires de répartition.

Les tests forestiers ont révélé que l'ampleur et la rapidité des modifications stationnelles ainsi que le besoin d'adaptation varient fortement en fonction de la station et du peuplement en place. Il s'agit là d'un constat important pour la planification et la priorisation des mesures sylvicoles.

Continuer à utiliser les instruments déjà bien rodés

Du point de vue sylvicole, la méthode stationnelle développée ici offre un précieux instrument qui servira au choix des essences face au nouveau facteur qu'est le changement climatique. L'approche mise au point permet de continuer à utiliser des instruments de planification bien rodés et acceptés par les praticiens – instruments qui occupent aussi une place centrale pour les cantons et la Confédération s'agissant des conventions-programmes RPT Forêts protectrices, Biodiversité en forêt et Soins aux jeunes peuplements. Au niveau de l'entreprise, la cartographie des stations à l'échelle habituelle de 1:5000 ou 1:10 000 permet de conserver la planification traditionnellement fine de la sylviculture suisse. D'un point de vue pratique, cela donne par exemple la possibilité de délimiter des stations favorables à des essences sensibles à la sécheresse comme l'épicéa, où elles trouvent des conditions qui leur conviennent toujours ou qui pourraient même leur permettre de croître à basse altitude.

Limites de la méthodologie, lacunes dans les connaissances

Les présentes bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique comportent des imprécisions liées à la méthode. Par ailleurs, certaines essences d'avenir et donc recommandées ne sont, pour des raisons climatiques, pas présentes à l'heure actuelle dans toute l'aire de répartition du type de station. En outre, les régions les plus basses sont caractérisées par des lacunes très importantes dans les connaissances, car il n'existe pas en Suisse de stations encore plus chaudes ou plus sèches qui permettraient de s'orienter. Enfin, l'incertitude est due aux futurs climatiques de référence, car l'évolution réelle du climat pourrait très bien être moins extrême que prévu – voire plus extrême.

Bases destinées aux cantons

Le présent rapport s'adresse avant tout aux cantons, dans l'idée qu'il leur serve de référence pour intégrer le changement climatique dans leurs instruments sylvicoles. Il peut leur servir de base méthodologique en vue de vérifier, de modifier ou de renouveler les recommandations cantonales en matière d'essences forestières face au changement climatique. Pour que les recommandations puissent s'appliquer à l'ensemble du pays, des travaux complémentaires sont encore nécessaires. La Confédération recherche actuellement des possibilités de rendre les résultats utilisables sur le terrain.

2 Évolution du climat et effets sur la forêt

Évolution du climat d'ici à la fin du XXIe siècle

Réchauffement supérieur à la moyenne en Suisse

La température moyenne annuelle en Suisse entre 1864 – début des mesures climatiques – et 2000 a augmenté de 1,8 °C (Begert *et al.* 2005). Ce réchauffement est le double de celui enregistré en moyenne globale de 1880 à 2012, qui est de 0,85 °C (IPCC 2014). Depuis les années 1980, l'augmentation de la température de l'air est particulièrement sensible, en comparaison de la période 1865 à 1980; en guise d'exemple, la figure 1 illustre l'évolution de la température estivale.

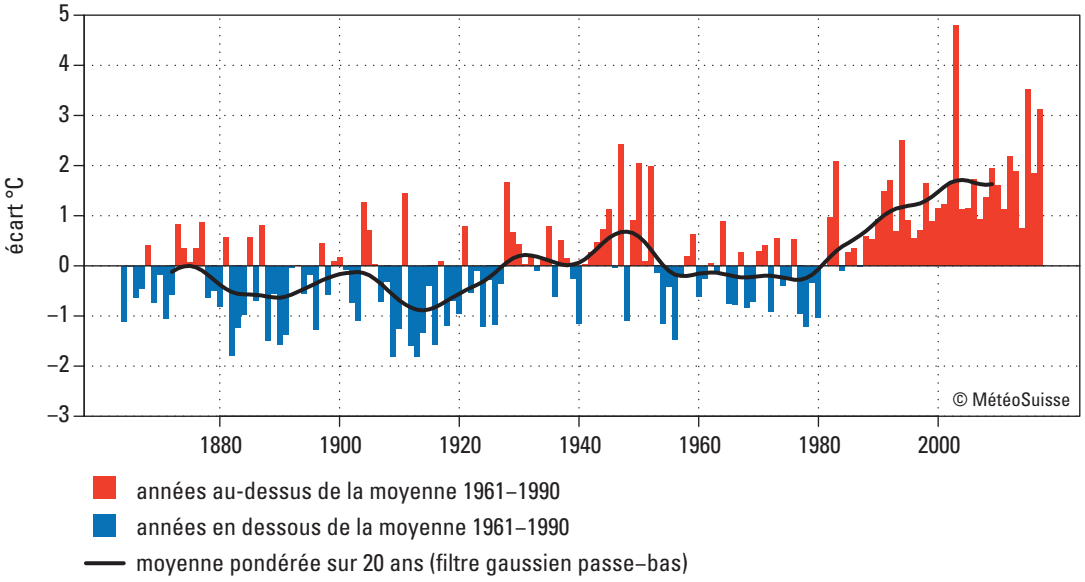


Figure 1. Écart des températures estivales (juin, juillet, août) 1864 à 2017 par rapport à la moyenne de la période de référence 1961 à 1990. Source: MétéoSuisse (2017)[1].

L'ampleur du changement climatique dépendra des émissions globales de gaz à effet de serre (GIEC 2014). La Convention sur le climat[2], adoptée en 1992 à Rio de Janeiro, a pour objectif d'éviter une «perturbation dangereuse du système climatique par l'homme». Les parties à la Conférence sur le climat de Paris en 2015 sont convenues de contenir le réchauffement de la planète nettement en dessous de 2 °C.

La température devrait s'élever de 3 à 4 °C en Suisse même si l'objectif des 2 °C est tenu

Si l'on parvient à limiter la hausse de la température à 2 °C au plus à l'échelle mondiale, la Suisse doit s'attendre à un réchauffement supplémentaire de 1 à 2 °C (CH 2011, 2011). Les températures à la fin du XXIe siècle dépasseraient ainsi de 3 à 4 °C celles de l'ère préindustrielle. Même en tenant l'objectif des 2 °C, il faut donc s'attendre à des conséquences considérables pour les forêts suisses. Par ailleurs, les objectifs de l'accord de Paris apparaissent ambitieux à la lumière de l'évolution actuelle des émissions: celles-ci ont augmenté globalement de 2 % en 2017, ce qui signifie un nouveau record. Pour tenir l'objectif des 2 °C, il faudrait que, d'ici à 2050, les émissions mondiales de gaz à effet de serre soient réduites de 50 % par rapport à 1990, et même de 80 à 95 % dans les pays industrialisés (CH2011 2011, Manser *et al.* 2015).

[1] https://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/changement-climatique-suisse/evolution-de-la-temperature-et-des-precipitations.html (5.7.2018)

[2] https://www.OFEV.admin.ch/OFEV/fr/home/themes/climat.html (30.9.2015)

L'évolution reste incertaine, le réchauffement peut se révéler plus ou moins élevé que les estimations actuelles

Jusqu'au 4e Rapport d'évaluation du GIEC (Meehl *et al.* 2007), les déclarations sur l'évolution du climat se référaient à des scénarios d'émissions issus de modèles climatiques complexes. Il en a été tiré des estimations de l'évolution de la température et des précipitations à l'échelle globale et régionale. Ces estimations ne sont pas des prévisions, mais des trajectoires d'évolution correspondant aux scénarios d'émission. L'évolution effective n'est pas connue avec certitude. Dans le cadre du programme de recherches Forêts et changements climatiques, comme dans toutes les activités de la Confédération en rapport avec l'adaptation au changement climatique, le scénario d'émission choisi ces dernières années est un scénario moyen A1B selon Meehl *et al.* (2007). Il intègre la poursuite de l'augmentation des émissions globales jusqu'à la moitié du siècle, suivie d'une diminution. Pour réduire les modèles climatiques globaux à l'échelle de la Suisse dans l'hypothèse du scénario A1B, deux modèles climatiques régionaux ont été sélectionnés. Les résultats qu'ils produisent sont très différents et débouchent sur deux futurs climatiques.

La largeur de bande des changements à attendre est représentée par deux «futurs climatiques»

L'expression «futur climatique» a été choisie parce qu'il ne s'agit pas de scénarios climatiques globaux, mais de deux modèles du scénario d'émissions A1B (Meehl *et al.* 2007). Le bord inférieur de la bande, moins sec, correspond au modèle appelé RegCM3. Ce modèle admet une diminution de 2 % des précipitations et un réchauffement de 3,1 °C jusqu'à la fin du siècle (période de 2070 à 2099 par rapport à la période de 1981 à 2010), en moyenne estivale suisse (avril à septembre). Le futur climatique «moins sec» part de l'hypothèse que, en dépit de précipitations plus ou moins inchangées, mais avec des températures plus élevées, l'alimentation hydrique des plantes continuera de se détériorer. Le bord supérieur de la bande, plus sec, quant à lui, correspond au modèle CLM, qui admet une diminution des précipitations en été de quelque 20 % et une augmentation de la température de 4,3 °C (Remund *et al.* 2016), avec des effets nettement plus prononcés sur les forêts.

Probablement pas de climat stable non plus après 2100

Rien ne permet de savoir précisément lequel des deux futurs climatiques se rapprochera le plus de l'évolution effective. La réalité peut se situer entre les deux, mais aussi dépasser les bords de la bande. Le fait que la hausse actuelle de la température mesurée est plus élevée que la trajectoire du modèle (SCNAT 2016, Remund et Augustin 2015) indique un dépassement possible vers des conditions plus sèches et chaudes. Il n'est pas non plus possible de supposer que le climat sera stable après 2100 (Collins *et al.* 2013); il est plus probable qu'il continuera de se réchauffer, à moins que les objectifs de l'accord de Paris ne soient tenus.

Futur climatique «moins sec» (RegCM3) et futur climatique «plus sec» (CLM)

Les effets correspondant aux bords supérieur et inférieur de la bande climatique choisie ont été examinés autant dans les projets consacrés à l'adaptation des bases stationnelles pour la gestion forestière que dans les tests forestiers. Dans la plupart des cas, mais pas tous, il a été formulé des recommandations différentes pour le choix d'essences forestières. Pour distinguer facilement les deux modèles climatiques dans le présent rapport, le modèle RegCM3 (changement climatique «modéré») sera qualifié de «moins sec» et le modèle CLM (changement climatique «marqué») de «plus sec». Du point de vue sylvicole, les deux futurs climatiques peuvent être considérés comme le reflet de la propension au risque dans les prises de décision: choisir le futur climatique moins sec (RegCM3) signifie aussi accepter des risques sylvicoles plus élevés.

Effets du changement climatique sur la forêt

Effets sur la forêt sensibles dans tous les cas

Les précisions sur l'évolution du climat indiquent que les effets sur la forêt seront sensibles dans tous les cas. Que ce soit dans le futur climatique «moins sec» ou, a fortiori, dans le futur climatique «plus sec», la quantité d'eau à disposition des arbres pendant la pé-

riode de végétation diminuera d'ici à la fin du siècle, soit moins de la moitié d'une durée de rotation habituelle pour de nombreuses essences forestières. Ce phénomène sera dû notamment à l'évaporation accrue par la hausse des températures.

Normalement, lorsque la température augmente, les arbres croissent plus vite, à condition de disposer d'eau en suffisance. En plaine, il faut donc s'attendre à des baisses progressives de la croissance dues à la diminution de l'alimentation hydrique. Cela conduira à long terme à un recul de l'accroissement et du volume sur pied. Par contre, en altitude, la croissance des arbres pourrait progresser, sachant que l'eau disponible devrait rester suffisante pour une même hausse des températures (Bircher *et al.* 2016).

Mortalité en augmentation chez le châtaignier et le pin sylvestre

La sécheresse peut représenter un important facteur de mortalité des arbres. Pour l'instant, une augmentation de la mortalité sous l'influence probable d'un stress hydrique n'a été observée que sur les châtaigniers au Tessin et les pins sylvestres en Valais et dans les Grisons (Etzold *et al.* 2016). Si des périodes de sécheresse devaient se succéder à intervalles rapprochés, il faudrait cependant s'attendre à des dépassements de valeurs seuils et par conséquent à une probable augmentation de la mortalité, comme on l'a observée en Amérique du Nord (Millar et Stephenson 2015). Une augmentation de mortalité peut générer un changement d'essences forestières dominantes et des associations végétales qui leur sont liées (Etzold *et al.* 2016).

3 à 4 °C correspondent à un déplacement de 500 à 700 m des étages de végétation

Les modèles de répartition des espèces prévoient que le changement climatique aura pour effet de réduire l'habitat d'espèces liées principalement aux étages montagnard (p. ex. hêtre et sapin) et subalpin (p. ex. épicéa) (Zimmermann *et al.* 2016). À basse altitude, la croissance des peuplements d'épicéas et de hêtres est déjà en train de diminuer (Bircher *et al.* 2016). En outre, ces espèces souffrent de difficultés de rajeunissement (Wohlgemuth *et al.* 2016). Cela peut ouvrir la voie à des espèces de l'étage collinéen, moins sensibles à la sécheresse, comme les espèces de chênes, qui pourraient étendre leur présence (Zimmermann *et al.* 2016). Il est aujourd'hui déjà possible d'observer la percée d'espèces thermophiles, comme les chênes et les merisiers, vers des altitudes plus élevées (Allgaier *et al.* 2016). En termes d'altitude, cela signifie que le réchauffement attendu de 3,1 à 4,3 °C entraînera un déplacement des étages de végétation de 500 à 700 mètres. Bien des essences aujourd'hui encore adaptées à leur station pourraient déjà atteindre leur limite écologique en à peine quelques décennies.

Garantir les prestations de la forêt grâce à des mesures d'adaptation prises à temps

Les changements effectifs en forêt seront toutefois décalés par rapport à l'évolution du climat. Les arbres peuvent survivre encore longtemps même lorsque les conditions deviennent défavorables. La mise en danger croissante d'arbres et de peuplements a néanmoins des incidences sur les prestations de la forêt. Le programme de recherche «Forêts et changements climatiques» a étudié les effets globalement considérables sur la forêt de protection, la biodiversité et la rentabilité de la production du bois (Pluess *et al.* 2016). Les prestations forestières sont d'autant plus compromises que des aléas tels que des tempêtes, sécheresses, incendies de forêt ou calamités biotiques provoquent des rétroactions négatives. Pour prévenir au maximum les interruptions de prestations de services de la forêt, il faut favoriser en temps utile l'adaptation des peuplements au moyen de mesures sylvicoles appropriées.

3 Mesures d'adaptation basées sur le choix d'essences adaptées à la station

Réflexions générales concernant l'approche par écogrammes

Le rajeunissement est le moment clé pour l'adaptation

En sylviculture, le moment clé pour façonner la future composition des essences forestières et le développement des peuplements est la phase de rajeunissement et celle de la jeune forêt (Brang *et al.* 2016). Comme les arbres aujourd'hui jeunes grandiront dans un climat fortement modifié dès le milieu de leur vie, il faut tenir compte maintenant du changement de climat. Cela implique de se représenter clairement, dans un peuplement forestier donné, de quelle façon les conditions de croissance se modifieront et quelles espèces d'arbres seront suffisamment en mesure de s'adapter aux nouvelles conditions climatiques.

Les écogrammes décrivent les associations forestières

L'écogramme est un instrument largement utilisé pour évaluer les stations forestières (Fig. 2.). Il permet de décrire les types de stations (associations forestières) en fonction de leur alimentation hydrique (axe «humidité») et de leur nutrition (axe «basique – acide»). La température est prise en compte en élaborant un écogramme propre à chaque étage de végétation, du collinéen au subalpin (Fig. 3). Les écogrammes sont également différents d'une écorégion à l'autre (Fig. 4).

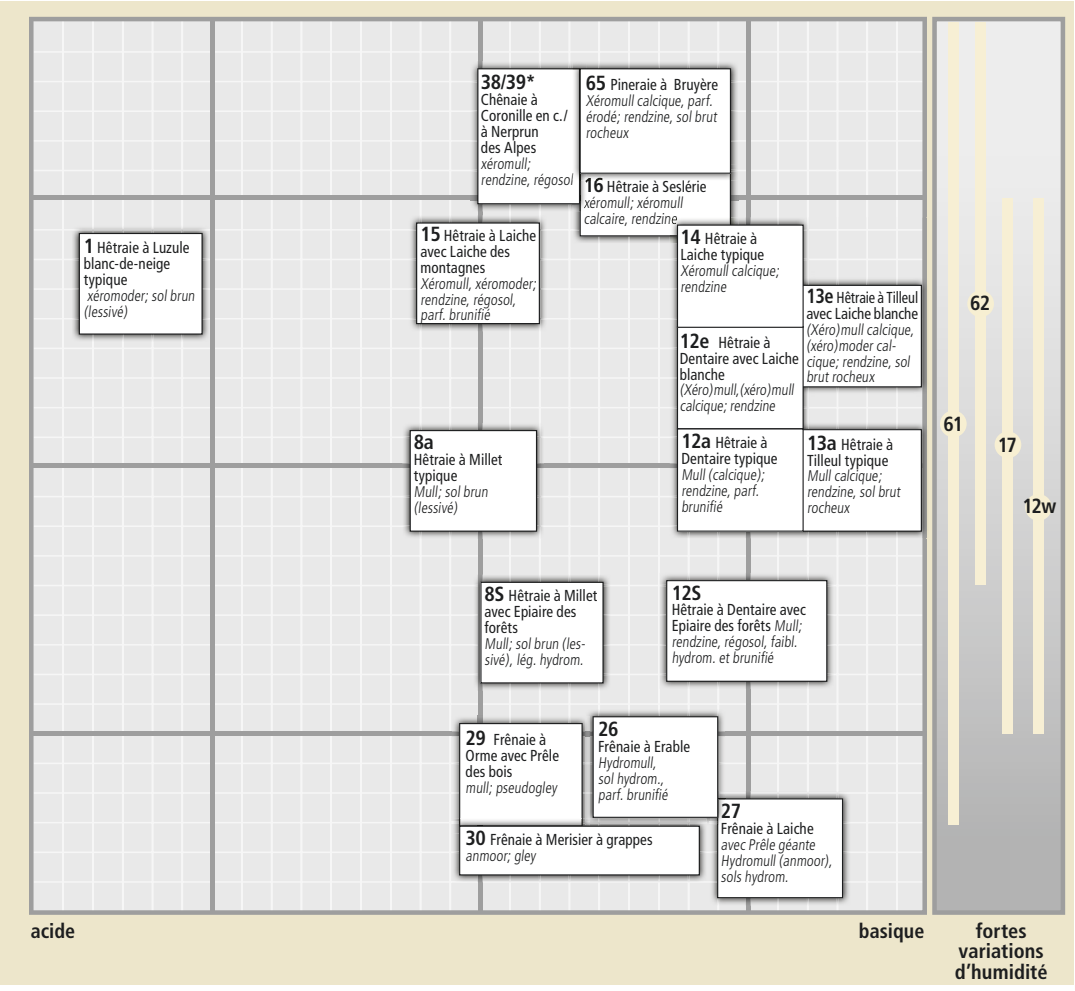


Figure 2. Écogramme avec types de stations pour l'étage montagnard inférieur de la région Jura selon NaiS (source: Frehner *et al.* 2005/09)

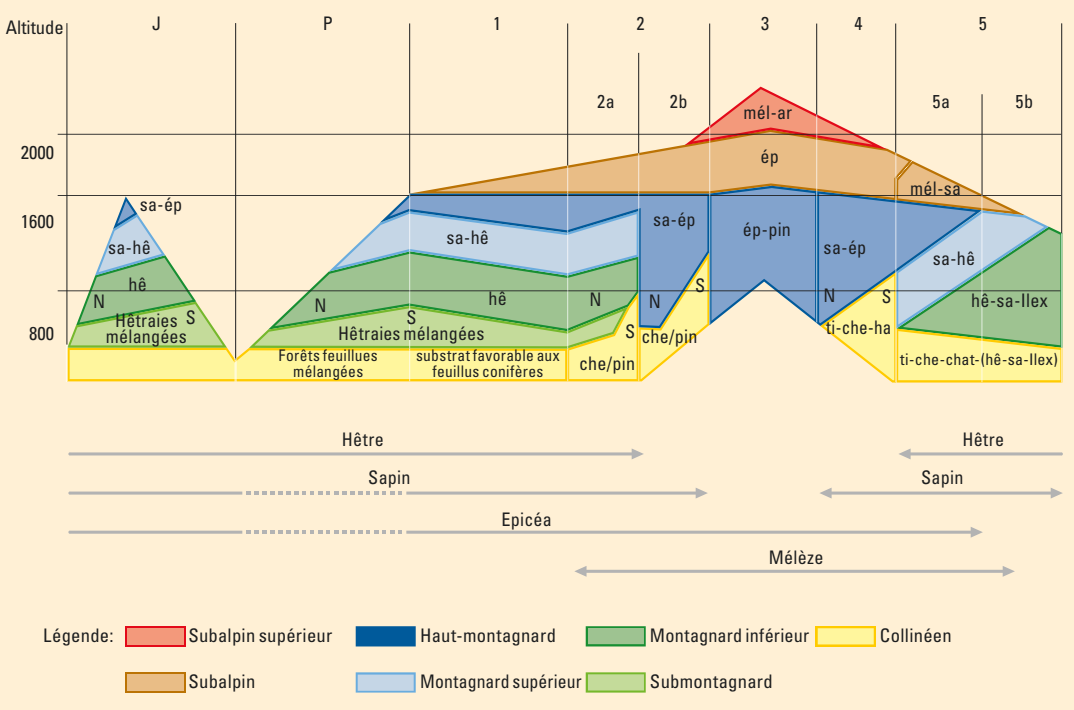


Figure 3. Étages de végétation dans les écorégions selon NaiS (source: Frehner *et al.* 2005/09). Légende: J = Jura, P = Plateau, 1 = Alpes externes du Nord, 2a = Alpes intermédiaires du Nord avec hêtre, 2b = Alpes intermédiaires du Nord sans hêtre, 3 = Hautes Alpes continentales, 4 = Alpes intermédiaires du Sud, 5a = Alpes externes du Sud avec épicéa/avant-postes de l'épicéa, 5b = Alpes externes du Sud sans épicéa. Remarque: pas de présence du hêtre dans les régions 2b, 3 et 4.

Relevés de végétation et de sol pour délimiter les types de stations

La représentation de types de stations sur des écogrammes a une longue tradition. Ellenberg et Klötzli (1972) sont les premiers à avoir dressé une vue d'ensemble des types de stations en Suisse et à les avoir positionnés dans des écogrammes. Durant les décennies qui ont suivi, de nombreux cantons ont décrit leurs types de stations sur la base de clés de végétation locales en y ajoutant des caractéristiques du sol, ce qui a permis de compléter et de différencier la représentation des multiples stations forestières. Presque tous les types de stations décrits dans les clés cantonales ont été attribués aux stations équivalentes décrites par NaiS, dans le cadre des Instructions pratiques NaiS – Gestion durable des forêts de protection (NaiS, Frehner *et al.* 2005/2009). Le projet NaiS-IFN: Classement des placettes IFN conforme aux *associations forestières*, qui doit s'achever fin 2019, permettra de compléter l'éventail des types de stations, afin qu'à chaque placette IFN corresponde un type de station. Ces compléments concernent surtout le Sud des Alpes et le Valais.

Types de stations cantonaux en concordance avec la typologie NaiS

Ainsi, aujourd'hui ou dans un futur proche, les types de stations NaiS couvriront pratiquement tous les types de végétation forestière de Suisse. Des tableaux permettent à la plupart des cantons de faire concorder leurs types de stations cantonaux avec la typologie NaiS. Tous les projets résumés dans ce rapport s'appuient également sur les types de stations NaiS (appelés ci-après «types de stations»).

Grâce à la cartographie complète des types de stations combinées aux recommandations pour le choix des essences et les mesures sylvicoles, de nombreux cantons disposent aujourd'hui d'un éventail complet d'instruments de planification et de mise en œuvre pour la pratique. Nombreux sont les cantons qui durant les dernières décennies ont élaboré des recommandations sylvicoles pour chaque type de station (essences adéquates, proportion minimale de feuillus ou maximale de résineux, restrictions d'exploitation, particularités naturelles, etc.).

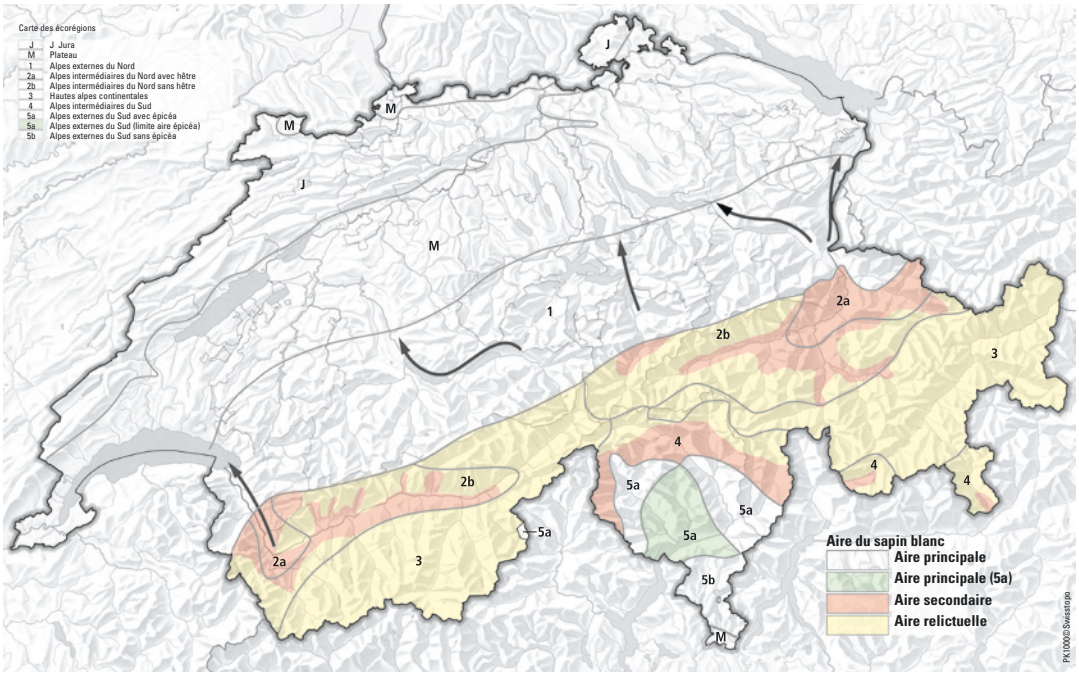


Figure 4. Carte des écorégions selon les instructions pratiques NaiS. Légende: voir figure 3 (source: FREHNER *et al.* 2005/09).

Types de stations importants pour les conventions-programmes RPT

L'approche par écogrammes joue un rôle central pour assurer la mise en œuvre et le contrôle qualité des conventions-programmes RPT entre la Confédération et les cantons. Les profils d'exigences des soins sylvicoles dans les forêts de protection, qui représentent la moitié de la surface forestière suisse, sont fondés sur les types de stations NaiS. Dans le programme Soins aux jeunes peuplements, les types de stations interviennent dans la définition du caractère proche de la nature. Dans le programme Biodiversité en forêt, la connaissance des types de stations permet de repérer les associations forestières rares ou de définir la représentativité des stations dans le réseau des réserves forestières. Les cartes des stations permettent aussi d'identifier la position des forêts de chênes pubescents ou des hêtraies à orchidées, pour lesquelles s'imposent des mesures en vue de conserver les structures de forêt claire et la biodiversité correspondante.

Pérenniser l'approche par écogrammes

L'utilisation des écogrammes est une approche établie dans la pratique et acceptée par les spécialistes forestiers. La plupart des cantons disposent de clés des stations et ont maintenant cartographié quelque 50 % de l'aire forestière suisse de façon compatible avec la méthodologie NaiS. L'élaboration de ces bases de planification a demandé des investissements considérables des cantons et de la Confédération. C'est pourquoi, dans le cadre du programme de recherche Forêts et changements climatiques, il a très vite été question de savoir comment continuer à utiliser ces importants documents alors que les conditions climatiques changent. Les praticiens constituant le groupe d'accompagnement du programme de recherche ont eux aussi soutenu la démarche visant à s'appuyer sur les données existantes.

Modélisation des futurs étages de végétation

Depuis 2012, de nombreux projets se sont intéressés aux possibilités d'adapter l'approche par écogrammes au changement climatique et d'y intégrer cette nouvelle dimension. Il a effectivement été possible d'estimer le déplacement des étages de végétation et des écorégions et donc des essences forestières (GUBELMANN *et al.* 2018; FREHNER et HUBER 2018). Pour ce faire, les zones concernées ont été modélisées sous le climat actuel et sous le climat futur. Cela a permis de saisir les changements des conditions stationnelles en un endroit donné en forêt, aussi bien pour le «futur climatique moins sec» (RegCM3) que pour le «futur climatique plus sec» (CLM).

Recommandations de choix des essences forestières en fonction du lieu

Si l'on connaît le type de station actuel et l'étage de végétation futur, il est possible de déduire des recommandations pour le choix des essences et la sylviculture, qui servent alors de base pour la gestion forestière face au changement climatique. Dans le cadre des tests forestiers, 30 fiches ont été élaborées sur les sites ou stations examinés (annexe numérique, Frehner *et al.* 2018). Comme l'ampleur du déplacement des étages de végétation varie d'un endroit à l'autre, ces fiches ne sont pas généralisables (Fig. 5). Elles sont valables dans toutes les forêts correspondant aujourd'hui au même type de station et au même étage de végétation modélisé, et dans les deux futurs climatiques. La Confédération examine actuellement la possibilité de donner aux recommandations pour le choix des essences forestières une forme utilisable sur le terrain et de la mettre à disposition des cantons et d'autres intéressés (voir chapitre 6).

L'approche des types de stations analogues

Estimer à petite échelle les effets du changement climatique et les mesures possibles

L'un des objectifs du programme de recherches Forêts et changements climatiques a été d'élaborer les bases permettant d'intégrer ces changements dans la prise de décision sylvicole au niveau du peuplement. Il s'agit donc d'évaluer sur de petites surfaces de moins d'un hectare les effets du changement climatique et les possibilités sylvicoles de les contrer. À cet égard, les facteurs stationnels, c'est-à-dire l'ensemble des influences agissant sur un écosystème forestier, revêtent une grande importance. Ces influences comprennent, en plus du climat, les propriétés du sol, la topographie, les dangers biotiques et les processus gravitationnels tels que les avalanches, les chutes de pierres, etc. Comme le type stationnel synthétise les principaux facteurs environnementaux, il est aussi utilisé pour intégrer le changement climatique dans les décisions sylvicoles.

Élaboration de cartes climatiques en haute résolution

Pour intégrer le changement climatique, on a établi des modèles statistiques des paramètres stationnels, qui dépendent fortement du climat. On a ensuite évalué leur modification dans le cas des futurs climatiques «moins sec» et «plus sec» pour la période de 2070 à 2099. Pour cela, on a utilisé les limites des étages de végétation ainsi que celles des aires de répartition du sapin et du hêtre. On a pu déterminer les limites des étages de végétation sur le terrain à l'aide d'observations stationnelles avec une précision de ±20 m d'altitude. Pour atteindre une telle précision dans la modélisation statistique, on a préparé des cartes climatiques d'une résolution de 25 m × 25 m.

Afin de calibrer les modèles de régression pour décrire les étages de végétation, on a extrait les limites typiques de ces étages de cartes des stations forestières pour les utiliser comme références. En vue de valider cette démarche, on a comparé les étages modélisés sous le climat actuel avec les étages enregistrés sur les placettes IFN dans le cadre du projet NaiS-IFN: *Classement des placettes IFN conforme aux associations forestières*. Pour les aires du sapin et du hêtre, ce sont les limites cartographiques des écorégions selon NaiS qui ont servi de référence. Ces limites ont parfois été précisées à l'aide de données des cartes de peuplements ou de savoirs locaux. Les limites ont été modélisées par un système expert de logique floue (fuzzy logic).

Attribution possible à chaque point de la forêt suisse

On obtient ainsi des cartes des étages de végétation modélisés pour toute la Suisse, y.c. pour les aires du sapin et du hêtre, aussi bien pour le climat actuel que pour les deux futurs climatiques «moins sec» et «plus sec». Il est ainsi possible d'attribuer un étage de végétation à chaque point de la forêt suisse pour ces climats. L'analyse montre que d'ici à la fin du siècle, les étages de végétation seront, dans de nombreuses régions, les mêmes que ceux situés aujourd'hui entre un et deux étages de végétation plus bas. Dans certains cas, l'ensemble de l'étage de végétation actuel est remplacé par un seul nouvel étage sous le climat modélisé. C'est ainsi que d'ici à 2070–2099, les forêts de l'actuel étage montagnard supé-

rieur de toute la Suisse se retrouveront presqu'entièrement à l'étage montagnard inférieur. Par contre, à l'exemple des écorégions des Alpes externes du Nord et intermédiaires du Nord avec hêtre, les forêts de l'étage haut-montagnard croîtront alors aux étages collinéen, submontagnard, montagnard inférieur, montagnard supérieur et haut-montagnard (Fig. 5).

Le type de station future dépend du déplacement de l'étage de végétation

Ces interrelations entraînent des conséquences pratiques de deux sortes: dans un premier cas, plus rare, l'étage de végétation actuel se transforme entièrement en un autre étage – pour les deux futurs climatiques – et chaque type de station actuel trouve sa correspondance avec un seul type de station dans l'écogramme de l'étage futur. Dans le second cas, plusieurs étages entrent en ligne de compte. Ce n'est que lorsqu'on sait quel étage de végétation est probable, que l'on peut déterminer par analogie l'écogramme futur et le type de station qu'il contient.

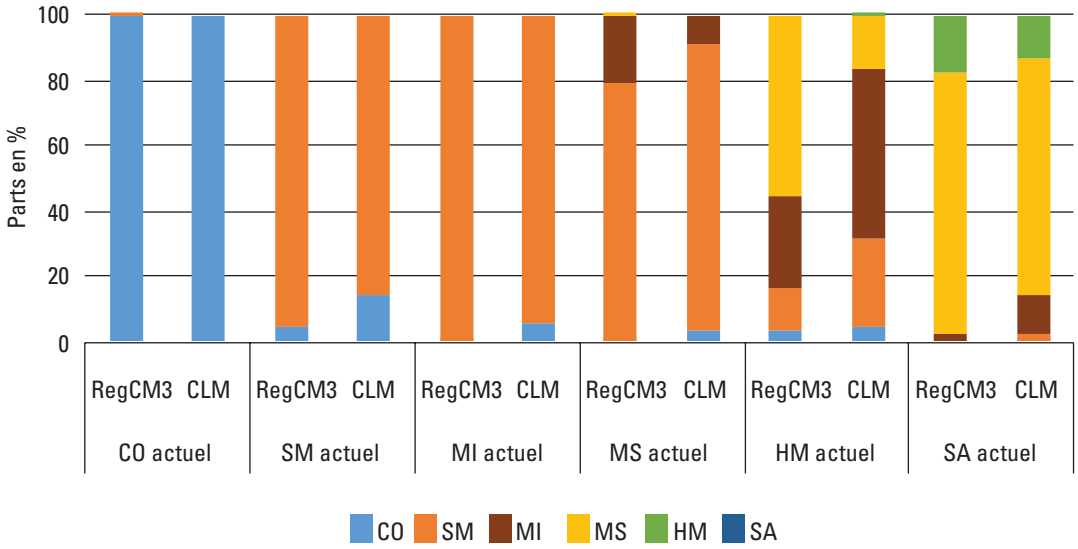


Figure 5. Exemple de déplacement des étages de végétation: écorégion des Alpes externes du Nord et intermédiaires du Nord avec hêtre, comparaison entre la situation actuelle et les futurs climatiques RegCM3 et CLM 2070–2099 (CO = collinéen, SM = submontagnard, MI =montagnard inférieur, MS = montagnard supérieur, HM = haut-montagnard, SA = subalpin). Les étages submontagnard et montagnard inférieur actuels sont des exemples d'étage de végétation dont toute la surface se déplace de la même façon à l'intérieur d'une écorégion; les surfaces de l'étage submontagnard restent en grande partie au même étage et les surfaces du montagnard inférieur passent presque toutes dans l'étage submontagnard. L'étage haut-montagnard actuel est un exemple de zone où l'on attend une grande diversité d'étages pour l'avenir.

Déplacement de faible ampleur sur l'axe de l'humidité

Comme expliqué plus haut, les types de stations sont représentés par étage de végétation et écorégion dans un écogramme à l'aide des axes «acide-basique» et «humide-sec». Si l'étage se déplace, l'écogramme valable en un point donné varie aussi. C'est pourquoi, à l'aide de plus de 1000 échantillons de sol, on a examiné si d'ici à la fin du siècle les types de stations se déplaceraient aussi sur l'axe de l'humidité («humide-sec») de l'écogramme, en plus du changement modélisé de l'étage de végétation. Les analyses ont permis de conclure que le déplacement vers des conditions plus sèches restera généralement faible pour les deux futurs climatiques et donc en principe négligeable (Frehner *et al.* en prép.). Si un type de station analogue manque lors de la projection sur un écogramme futur, les

recommandations de choix d'essences forestières seront définies à partir du type de station plus sec le plus proche.

Élaboration de recommandations pour le choix d'essences adaptées à la station

Détermination de types de stations analogues

Les recommandations pour le choix d'essences adaptées pour une station donnée sont élaborées à partir du déplacement des étages de végétation, comme suit: on détermine d'abord le type de station actuel (p. ex. 12a, Hêtraie à Dentaire typique) ainsi que l'étage de végétation et sa position dans l'écogramme. Puis, sur les coordonnées de ce point, on détermine l'étage de végétation pour la période de 2070 à 2099 pour les deux futurs climatiques «moins sec» et «plus sec». Dans l'écogramme des étages futurs, on recherche le type de station analogue, c'est-à-dire le type de station qui se trouve au même endroit sur l'axe de l'humidité et de la nutrition dans l'écogramme que le type de station actuel NaiS*:* pour la Hêtraie à Pulmonaire typique avec Gesse (9a), ce pourrait en être la variante collinéenne (9ac). Cette transposition est qualifiée de projection d'un type de station dans l'écogramme futur (cf. Fig. 6).

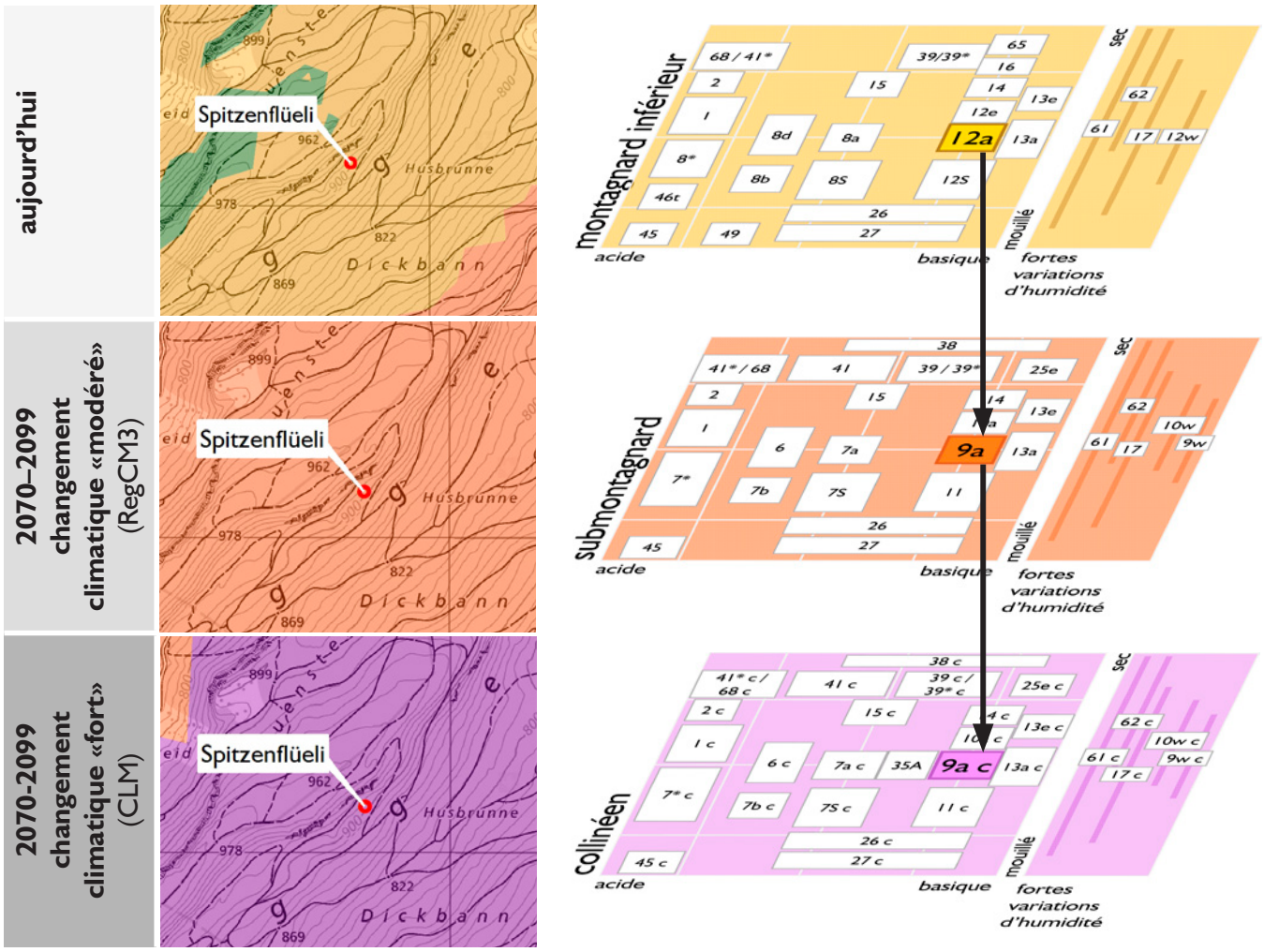


Figure 6: Exemple de détermination de types de stations analogues: Spitzenflüeli (Oberbuchsiten, SO).

Les essences forestières sont choisies à partir de l'ensemble des recommandations cantonales

Les possibilités des essences par type de station s'appuient sur des clés de végétation et sur les recommandations d'essences forestières actuellement utilisées par les cantons. Pour ce faire, toutes les essences ont été reprises. Des informations complémentaires sont issues de l'analyse des espèces ligneuses sur la surface de 2 ares des quelque 3000 placettes de l'IFN, ainsi que de l'attribution d'essences par des experts des questions stationnelles. De plus, les listes d'essences ainsi obtenues ont été vérifiées par des spécialistes en écologie de la station et en sylviculture afin de repérer d'éventuelles erreurs d'attribution.

Dans l'étape suivante, on compare les essences recommandées dans le type de station actuel et dans les types de stations futures (selon le futur climatique). Cela débouche, par futur climatique et en chaque endroit, sur les possibilités d'action suivantes pour l'utilisation des essences:

- Favoriser: essences recommandées aujourd'hui et importantes dans le futur;
- Conserver: essences recommandées aujourd'hui et pouvant apparaître dans le futur en tant qu'essences d'accompagnement en mélange, mais qui sans aide ne pourraient que rarement atteindre l'étage dominant;
- Réduire: essences recommandées aujourd'hui, mais qui, menacées dans le futur, ne sont par conséquent plus recommandées[3];
- Introduire/favoriser: essences qui ne sont recommandées que pour l'avenir (mais qui sont parfois déjà présentes aujourd'hui).

Les nouvelles recommandations reflètent l'adéquation entre essences et stations sous des conditions climatiques modifiées. Comme jusqu'à présent, il revient aux professionnels forestiers d'évaluer au cas par cas si la présence d'une essence donnée est souhaitable et pertinente. Il s'agit de considérer aussi d'autres facteurs sylvicoles d'importance, par exemple des dangers locaux particuliers. Même en cas d'aléas tels qu'une tempête ou un incendie de forêt, la méthodologie proposée livre des indications stationnelles fondées pour choisir des essences qui devraient être adaptées au climat futur.

Mesures d'adaptation possibles lors de chaque intervention sylvicole

Les bases élaborées permettent d'influencer directement la composition des essences par des mesures sylvicoles, autrement dit d'agir de façon ciblée lors de la prochaine intervention. Dans une première phase, l'objectif est d'obtenir suffisamment de porte-graines des essences à favoriser face au changement climatique. Si cet objectif n'est pas atteignable avec le seul rajeunissement, en raison de l'absence de porte-graines ou de l'impact trop fort des ongulés sauvages, il faut envisager des plantations. Dans le deuxième cas, des mesures de protection sont également nécessaires.

Les essences qui ne figurent pas encore dans les recommandations actuelles, mais qui sont recommandées pour l'avenir, doivent être favorisées dès que le climat le permet. Si elles n'apparaissent pas d'elles-mêmes, elles doivent être plantées. En cas de plantation, il faut examiner si les essences prévues ont déjà une chance sous les conditions actuelles. Le choix de provenances adéquates est très important. Dans l'attente de recommandations plus précises, il s'agit de choisir des provenances issues de stations plus chaudes et plus sèches (situées plus bas) et non de stations plus fraîches et plus humides (situées plus haut).

Manque de types de stations analogues à l'étage collinéen

L'étage collinéen représente un défi particulier en termes de choix des essences. Il est peu étendu aujourd'hui dans les écorégions Plateau et Alpes intermédiaires du Nord. C'est pourquoi les écogrammes de l'étage collinéen comportent nettement moins de types de stations que ceux de l'étage submontagnard qui lui succède plus haut. En outre, on ignore

[3] La réduction ne s'applique pas aux essences rares.

si d'autres étages de végétation se trouveraient au-dessous de l'étage collinéen et comment serait l'éventail des espèces. C'est pourquoi des bases d'information ont été élaborées par le projet Écogrammes adaptés: travaux préparatoires en vue des recommandations d'essences forestières sur des sites encore inexistants en Suisse (Huber *et al.* 2017). À cet effet, on a cherché à l'étranger des régions situées plus bas que des stations climatiques comme Chiasso, Genève, Payerne, Sion, Bâle et Scuol, qui affichent un climat similaire à celui qu'on l'attend dans les régions basses de Suisse sur la base des deux modèles de futur climatique à la fin du XXI^{e} siècle. Ce procédé permet d'imaginer quelles seront les essences qui pourront croître dans ces régions à la fin du siècle.

Détermination des essences adéquates pour l'étage collinéen

Les essences forestières recommandées pour l'étage collinéen des écorégions Plateau et Alpes intermédiaires du Nord ont été déterminées comme suit: pour chaque site possédant un type de station analogue dans l'écogramme situé au-dessus, on a examiné avec des experts locaux quelles essences pourraient faire partie d'un étage collinéen futur. À l'aide de cartes d'adéquation stationnelle des essences pour la période de 2051 à 2080 (Zimmermann *et al.* 2015), on a examiné si une essence donnée est indiquée à cet endroit pour cette période. On a en outre étudié des cartes européennes de répartition actuelles des essences pour trouver s'il existe déjà un climat semblable à celui que l'on prévoit dans le futur pour les zones de basse altitude en Suisse et si on y trouve effectivement l'essence en question.

Présence étendue du chêne rouvre dans le futur

Des essences typiquement thermophiles, comme le chêne rouvre, sont attendues sur une grande partie de l'étage collinéen modélisé pour la période de 2070 à 2099, que ce soit pour le futur climatique «plus sec» ou «moins sec». On table que dans la région de Sion l'étage collinéen se transforme en étage méditerranéen, où croissent aujourd'hui par exemple le chêne liège et le chêne vert.

Bilan, estimation des limites et autre potentiel de la démarche

Les objectifs en matière de composition des forêts doivent être dynamiques

Le changement du climat, facteur stationnel central, exige d'aborder les questions de protection et de conservation des ressources forestières dans une perspective dynamique. L'approche stationnelle permet, sur chaque site forestier, d'identifier l'écosystème futur proche de la nature et, en favorisant les essences qui y correspondent, de promouvoir la structure de base qui accueillera les biocénoses appropriées. Cela facilite aussi la migration des espèces liées à certaines associations végétales.

Mieux évaluer le besoin et l'urgence d'intervenir

Le développement des bases nécessaires permet aux cantons d'adapter leurs instruments sylvicoles. Ainsi, il reste possible d'utiliser les instruments de planification bien rodés et acceptés dans la pratique, qui jouent un rôle central pour les cantons et la Confédération dans le domaine des conventions-programmes RPT Forêts de protection, Biodiversité forestière et Soins aux jeunes peuplements. Au niveau de l'entreprise, on peut continuer d'utiliser les cartes des stations (1:5000 ou 1:10000) pour les décisions sylvicoles. Les bases élaborées offrent une information claire et compréhensible aux forestiers pour s'orienter sur le plan sylvicole. Elles leur permettent d'évaluer pour chaque peuplement et type de station le besoin et l'urgence d'agir. Il est ainsi possible de choisir pour certaines essences les stations où elles trouveront les conditions qui leur conviennent. Pour l'épicéa, par exemple, il est possible de chercher les sites de basse altitude où il peut toujours être utilisé avec un risque acceptable (Allgaier Leuch *et al.* 2018).

L'incertitude qui subsiste malgré les nouvelles bases doit être prise en compte

Les professionnels de la forêt devraient savoir que les bases stationnelles développées pour la gestion forestière face au changement climatique sont entachées d'incertitudes qui dépassent les imprécisions de l'analyse stationnelle. Cela est dû d'une part aux inconnues de l'évolution du climat. Les futurs climatiques «moins sec» et «plus sec» ont pour rôle de couvrir une largeur de bande adéquate, mais l'évolution pourrait être moins extrême ou, plus vraisemblablement, plus extrême. D'autre part, l'exactitude des modélisations a aussi ses limites. Pour des raisons climatiques, certaines essences forestières de la liste ne sont aujourd'hui pas présentes dans l'ensemble du type de station. Par exemple, le frêne est absent dans les parties supérieures des hêtraies à Sapin. Les listes d'essences ne tiennent pas non plus compte de maladies actuelles comme le dépérissement des pousses du frêne ou la graphiose de l'orme. Enfin, il y a de grandes lacunes dans les connaissances des parties les plus basses de Suisse, car il n'existe pas de stations analogues qui puissent servir de références pour les essences adaptées à un climat différent.

Méthodologie adaptable

Comme le rapport entre les types de stations et les paramètres climatiques décisifs est désormais quantifié, il est possible, si nécessaire, de faire intervenir d'autres futurs climatiques que ceux traités ici. On peut ainsi décrire les modifications des étages de végétation pour tout futur climatique en tout point de la forêt suisse. Ce qui reste essentiel pour déterminer les essences adaptées aux conditions futures, c'est de situer le site forestier concerné de façon fiable dans l'écogramme. Cette démarche s'appuie généralement sur des méthodes d'analyse stationnelle qui tiennent compte de la végétation et du sol. L'analyse pédologique peut livrer des informations supplémentaires, notamment sur la capacité de rétention en eau. Le chapitre 6 présente des options complémentaires quant au développement et à l'application pratique des bases stationnelles face au changement climatique.

4 Tests forestiers destinés à consolider les recommandations d'essences

But et déroulement des tests forestiers

Tests forestiers destinés à consolider la méthodologie

La méthodologie décrite plus haut et les recommandations d'experts issues des projets de recherche «Écogrammes adaptés» ont été revues et consolidées dans un large processus participatif que nous appelons «tests forestiers». Les rencontres organisées dans ce cadre sont mentionnées au tableau 1. L'accent a été mis sur la praticabilité. Celle-ci fut également l'objectif de l'atelier d'été 2016 du groupe de sylviculture de montagne (GSM), qui s'est tenu aussi sous forme de test forestier. Des représentants des services cantonaux des forêts, de la chasse et de la protection de la nature, des associations de propriétaires forestiers et de l'industrie du bois, ainsi que des associations environnementales nationales et cantonales ont participé aux tests forestiers, tout comme des praticiens du groupe d'accompagnement du programme de recherches. La liste des 242 participants à ces diverses manifestations est présentée au chapitre 9.

Les tests forestiers comprenaient deux parties, une théorique et une pratique. Les principaux résultats du programme de recherches ont été présentés dans le bloc théorique, la phase pratique en forêt a permis quant à elle de discuter les changements de stations attendus ainsi que les conséquences possibles en matière de choix des essences et de décisions sylvicoles. Sur les stations où l'on peut s'attendre à des effets marqués du changement climatique, les participants ont développé des idées sur de possibles processus de conversion des forêts actuelles vers des peuplements adaptés au climat futur.

N°	Date	Manifestation	Lieu
1	27.10.2015	Test forestier préalable	Sargans GR
2	26.02.2016	Atelier international d'experts	Zurich
3	22.03.2016	Atelier des Inspecteurs forestiers cantonaux	Berne
4	29.04.2016	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts	Olten
5	25.05.2016	Test pour forestiers en plaine	Vinelz BE
6	01.06.2016	Test pour forestiers en montagne	Jaun FR
7	16.06.2016	Test forestier 1	Einsiedeln SZ
8	29–31.08.2016	Atelier d'été du groupe de sylviculture de montagne	Savognin GR
9	13.09.2016	Test forestier 2	Niderbuchsiten SO
10	22.09.2016	Atelier d'experts sur les stations non analogues	Berne
11	12.12.2016	Bilan intermédiaire tests forestiers 2016	Olten
12	17.05.2017	Test forestier 3	Homburg TG
13	30–31.05.2017	Test forestier 4	Bellinzona TI
14	14.06.2017	Test forestier 5	Epalinges VD
15	29–30.06.2017	Test forestier 6	Martigny VS
16	18.08.2017	Atelier de synthèse	Olten

Tableau 1. Processus participatif des tests forestiers: rencontres destinées à consolider les bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique.

Résultats méthodologiques livrés par les tests forestiers

La méthodologie est consolidée et bien acceptée par les spécialistes des forêts

Les tests forestiers ont créé un large espace ouvert aux prises de position et aux réactions. La méthodologie développée est saluée par l'ensemble des professionnels impliqués et peut être considérée comme consolidée. Les participants ont aussi bien accueilli le fait que l'approche par les bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique a permis d'adapter un instrument existant et d'en faire un instrument d'orientation compréhensible pour le choix des essences. Les tests forestiers ont parfois donné lieu à des discussions soutenues sur la manière de concevoir le processus de transition. Cela représente un défi dans les peuplements dont la composition en essences devrait subir de fortes modifications avec le changement climatique. L'une des principales conclusions des tests forestiers est que l'ampleur et la rapidité de ces modifications varient beaucoup en fonction de la station et du peuplement en place. C'est là un résultat essentiel pour la planification et la priorisation des mesures sylvicoles. Les tests forestiers ont joué un rôle important de communication. Il a été possible de développer et de transmettre des principes essentiels sur la nécessité, l'ampleur et le moment des actions de prévention et de solutions différenciées. En outre, les tests forestiers ont favorisé des échanges objectifs sur des questions sensibles telles que l'utilisation de l'épicéa et du douglas.

Thématiques particulières

L'importance des quatre thématiques discutées de façon plus détaillée lors des tests forestiers avait déjà été reconnue durant l'élaboration de la synthèse scientifique (Pluess *et al.* 2016). Les sujets des ongulés sauvages et de l'abroutissement, au centre des discussions du groupe de sylviculture de montagne lors de sa rencontre en 2016 à Savognin, a parfois aussi fait l'objet d'échanges approfondis lors des tests forestiers hors forêt de protection. Ces diverses discussions sont résumées ci-après.

Proportion de résineux

Hauts risques de perturbation pour l'épicéa

Les essences résineuses, et surtout l'épicéa, sont une source de revenus conséquente pour les propriétaires forestiers et une matière première importante pour l'industrie du bois. Mais des aléas tels que l'ouragan Lothar et la sécheresse estivale de 2003 ont montré que les résineux, notamment l'épicéa, sont aujourd'hui déjà exposés à des risques accrus de perturbation, qui, de plus, devraient fortement augmenter. Lothar a renversé près de 7,4 millions de m^3 de bois d'épicéa sur le Plateau et dans les Préalpes. Par ailleurs, 6,5 millions de m^3 d'épicéa ont été infestés par les scolytes entre 1995 et 2005 (Forster *et al.* 2008), ce qui est dû essentiellement aux deux événements mentionnés. Sur de nombreuses stations, surtout à basse altitude, le maintien de la proportion actuelle d'épicéa entraînerait des risques inacceptables, ne serait-ce qu'en raison des ravages de scolytes. Une réduction de la part de l'épicéa peut se dérouler sur des décennies, dans le cadre de l'exploitation habituelle du bois. Toutefois, la méthodologie faisant intervenir les conditions stationnelles pour la prise de décision sylvicole permet aussi un examen différencié des effets du climat sur de petites surfaces. D'une façon générale, les stations à sol profond et exposées au nord devraient se prêter plus longtemps que les autres à une proportion plus élevée d'épicéas. Mais pour de telles stations, il est aussi recommandé de réduire les risques en favorisant des peuplements mélangés, en préférant le rajeunissement naturel de l'épicéa plutôt que la plantation. En lieu et place de l'épicéa, on peut envisager, selon la station, le sapin et dans les secteurs plus secs, le pin ou le douglas, espèce introduite.

Essences forestières introduites

Essences introduites: sujet controversé

Le sujet était très controversé. Les représentants des associations environnementales ont émis l'avis que les défis du changement climatique doivent être relevés avec des essences indigènes et que les espèces introduites sont problématiques en raison du manque d'interactions avec la flore et la faune indigènes. En outre, ils ont exprimé des doutes notamment envers le douglas à cause d'un possible potentiel d'envahissement qui pourrait se manifester spontanément sous un climat modifié.

Les tests forestiers au Tessin et en Valais ont démontré que dans les zones les plus sèches et les plus chaudes de Suisse, les essences exotiques, dont l'ailante, espèce envahissante avérée, auront clairement un rôle à jouer. Des travaux préparatoires en cours ont pour objet de développer les concepts sylvicoles utiles pour gérer cette situation.

Douglas: potentiel en mélange pour la production de bois et dans les forêts protectrices

Lors des tests forestiers, le débat sur le douglas a pris une place importante. On a souligné, en matière d'économie forestière, son potentiel pour la production de bois et pour la forêt protectrice, ainsi que ses avantages par rapport à l'épicéa, c'est-à-dire sa meilleure aptitude à supporter la sécheresse, et l'absence de ravageurs dangereux. Les praticiens ont relevé une importance croissante de cette essence pour les forêts de protection en raison de sa solidité en forêt mélangée, de son écorce épaisse et de sa bonne capacité à recouvrir les plaies. Concernant les craintes d'envahissement, il a été précisé que les recherches en cours en Suisse n'ont jusqu'ici décelé aucun indice dans ce sens. Comme le douglas n'émet

ni rejets de souche ni drageons et qu'en plus il ne produit des graines qu'après des décennies, il n'y aurait aucun problème à le maîtriser. Pour ses partisans, la nécessité d'utiliser le douglas en mélange fait consensus.

Les essences introduites sont un sujet qui demande une approche différenciée car elles ont des comportements écologiques très différents, p. ex. la capacité à rejeter et à drageonner ou le pouvoir concurrentiel. Concernant l'éventuelle utilisation du douglas, il est pour le moment recommandé de s'en tenir à l'approche actuelle des cantons en matière de station et de les utiliser sur les types de stations où on les a plantés en priorité dès leur introduction: sur les stations fertiles des étages submontagnard, montagnard inférieur et montagnard supérieur, donc dans les hêtraies à Aspérule, les hêtraies à Millet étalé et dans les hêtraies à Sapin. Cependant, il faut prendre en compte que le déplacement des étages de végétation implique également le déplacement vers le haut des stations convenant aux essences introduites. Sous un climat plus sec et plus chaud, les actuelles hêtraies à Aspérules devraient ainsi passer massivement sous influence collinéenne, alors que les conditions analogues convenant à de telles hêtraies se retrouveront à des altitudes plus élevées.

Pour l'ailante, les fiches sur les types de stations (Annexe numérique, Frehner *et al.* 2018) contiennent des mises en garde concernant les stations particulièrement menacées que cette essence pourrait envahir rapidement.

Ongulés sauvages et abroutissement

Fort abroutissement des essences d'avenir

Une grande partie des essences adaptées au climat futur (essences d'avenir) sont une nourriture de prédilection des ongulés sauvages (chevreuil, cerf, chamois) et, en de nombreux endroits, elles ne peuvent pas croître sans mesures anti-abroutissement. Cela concerne tout spécialement les espèces de chênes et le sapin. Cette thématique a été abordée dans chaque test forestier et considérée comme l'une des clés garantissant la capacité d'adaptation des forêts suisses ainsi que la conservation de la biodiversité et d'espèces indigènes et typiques pour la station. Les mesures discutées ont porté sur la réduction des populations d'ongulés sauvages et l'amélioration de leur habitat. Le dialogue entre les milieux de la forêt et ceux de la chasse est particulièrement indiqué avant d'introduire la régénération, afin de parer au danger de disparition progressive des essences d'avenir. En l'absence de telles mesures, dans les forêts de protection d'importance, il faudrait construire de hautes clôtures et assurer leur financement. Si l'on veut réussir les mesures d'adaptation, il sera décisif de développer des solutions différenciées pour ce problème récurrent depuis des décennies. Cela vaut aussi pour le rajeunissement naturel. La Confédération a mis à disposition une «Aide à l'exécution Forêt et gibier» sous forme de procédure en cas de conflit (Office fédéral de l'environnement 2010).

Abaissement de la durée de rotation et du diamètre cible

Réduire les risques par la conversion de peuplements peu naturels

L'abaissement de la durée de rotation est l'un des principes d'adaptation au climat et peut notamment s'envisager dans des peuplements peu naturels, en vue de réduire les risques en temps utile (Brang *et al.* 2016). Dans des fourrés ou perchis purs de résineux non adaptés à la station, il peut se justifier de réduire les risques futurs de perturbations en opérant des éclaircies menant rapidement à l'âge d'exploitabilité ou en procédant à un rajeunissement anticipé. La conversion de peuplements peu naturels en peuplements proches de la nature est fondamentalement positive pour la biodiversité. Dans les peuplements déjà proches de l'état naturel, il faut cependant veiller à ne pas réduire le volume de vieux bois et de bois mort, ni la part des arbres-habitats, car ce n'est pas souhaitable du point de vue de la protection de la nature.

5 Mise en œuvre, contrôle et monitoring

Mise en œuvre sylvicole de mesures d'adaptation

Le choix des essences est capital pour l'adaptation au changement climatique

Les recommandations du choix des essences sont d'une importance capitale pour l'adaptation des forêts au changement climatique. Les tests forestiers ont montré que l'on peut continuer à utiliser les instruments existants à cet effet: les recommandations révisées en raison du changement climatique peuvent servir de référence à toutes les décisions qui influencent les proportions d'essences dans un peuplement. Les écarts entre la composition actuelle d'un peuplement et la composition visée en raison du changement climatique sont souvent très grands. Nombre des peuplements examinés lors des tests forestiers ont permis d'observer la présence d'essences considérées comme inadaptées pour la fin du siècle. Cela n'est pas fondamentalement problématique, car de nombreux peuplements (ou arbres s'il s'agit d'une forêt pérenne) devraient parvenir à l'âge d'exploitabilité et être rajeunis avant ce délai. Mais à long terme, cela implique un énorme travail et pourrait parfois rendre plus urgent d'adapter la composition des essences.

L'augmentation de la diversité des essences contribue à réduire les risques

Considérant les incertitudes liées à l'évolution du climat, aux perturbations et aux attaques d'organismes nuisibles, l'augmentation de la diversité des essences représente aussi une stratégie importante de diminution des risques, en complément de l'adaptation des essences (Brang *et al.* 2016). La conservation de semenciers d'essences d'avenir, qui pourront se reproduire naturellement lors de la prochaine phase de régénération, sert, elle aussi, à renforcer la diversité des espèces d'arbres du peuplement futur (voir encadré Prévoir des semenciers). Il faut accorder encore beaucoup plus de poids qu'auparavant à ce principe d'action sylvicole.

Promouvoir la diversité génétique peut signifier réduire la diversité des essences

Les autres principes d'action d'une sylviculture adaptée au changement climatique ont été discutés de manière moins approfondie. Il s'agit de l'augmentation de la diversité structurelle, de la diversité génétique et de la résistance aux perturbations, ainsi que du raccourcissement de la durée de rotation, ou de la diminution du diamètre cible (cf. ci-dessus). En forêt pérenne et dans le cadre des variantes fines du régime de la coupe progressive, la diversité structurelle est généralement grande. Le renforcement de la diversité génétique semble particulièrement difficile à mettre en œuvre. Le problème est que la diversité génétique des populations d'arbres ne se «voit» pas et donc que la nécessité d'agir n'est pas perceptible. Plusieurs tests forestiers ont suscité des discussions sur le fait que les longues périodes de rajeunissement sont certes favorables à la diversité génétique mais tendent aussi à réduire la diversité des essences, car ce sont surtout les essences tolérant l'ombre qui s'installent.

Situations sylvicoles clés et portée des mesures d'adaptation

«Situations clés»: occasions à saisir pour l'adaptation

Avec le régime de la coupe progressive, les proportions des essences dans un peuplement ne peuvent être sensiblement modifiées que sur des périodes relativement brèves: il s'agit des phases de rajeunissement et des soins à la jeune forêt. Plus tard, il devient très difficile de modifier la composition des essences, car les arbres de place, avec ou sans interventions, se sont imposés et sont établis. C'est pourquoi il est essentiel de reconnaître et mettre à profit ces situations clés (Fig. 7). L'adaptation ne doit donc pas s'opérer dans la hâte, mais lorsque la phase d'intervention permet d'influer sur la proportion des essences dans le cadre de la sylviculture proche de la nature. Dans le régime de la forêt pérenne, par contre, la composition des essences dans le peuplement peut être modifiée presqu'à chaque intervention (Fig. 7).

Importance des semenciers d'essences adaptées aux conditions futures et des plantations ponctuelles

Sur le terrain, le mode de gestion pratiqué n'a besoin que de peu d'adaptation, notamment parce que les risques dus au climat ne devraient augmenter que lentement. On dispose donc souvent de décennies pour attendre les situations clés permettant d'adapter les peuplements aux conditions futures dans le cadre des interventions sylvicoles usuelles. Lors de ces interventions, il convient d'accorder une plus large place aux réflexions suivantes: les risques envers les essences climato-sensibles comme l'épicéa augmentent, ce qui peut nécessiter d'agir; il faut conserver et favoriser les semenciers des essences d'avenir; lors du rajeunissement et des soins à la jeune forêt, il faut accorder davantage de poids que maintenant à la diversité des essences, en conservant et favorisant aussi les essences particulièrement résistantes à la sécheresse. Il s'agit – contrairement à la tendance de ces dernières décennies – de réaliser des plantations ponctuelles là où les essences d'avenir ne se rajeunissent pas par elles-mêmes. Il sera le plus souvent nécessaire de protéger les jeunes plantes contre l'influence du gibier et de les favoriser lors des soins culturaux.

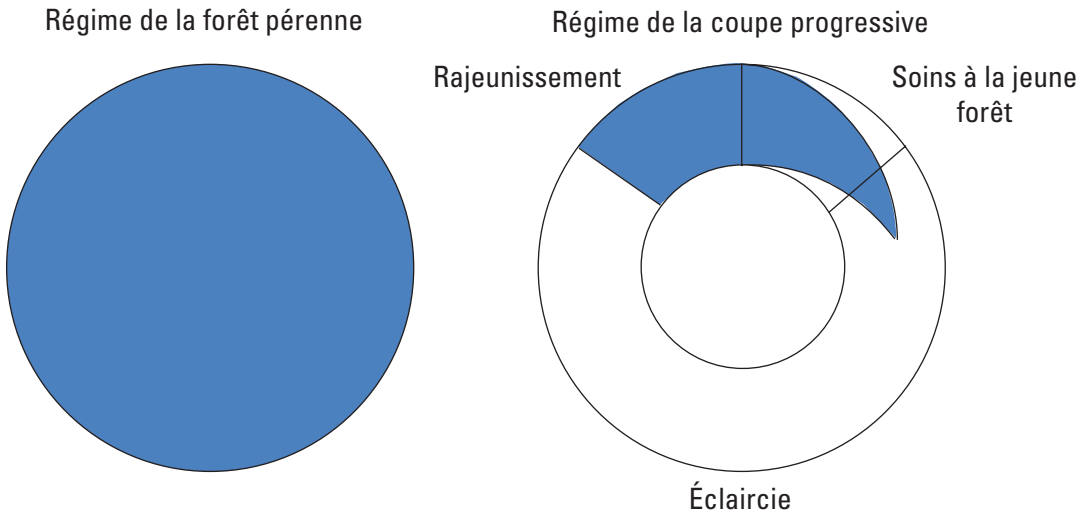


Figure 7. Possibilité d'adapter la composition des essences (zone colorée): dans le régime de la coupe progressive, cette adaptation est possible en fonction des phases d'intervention, le rajeunissement étant la situation clé offrant un meilleur levier; en forêt pérenne, chaque intervention est potentiellement une situation clé. Source: Allgaier Leuch *et al.* (2017).

La nécessité d'agir dépend des prestations forestières

La nécessité d'agir peut se révéler particulièrement pressante dans les forêts qui fournissent d'importantes prestations, par exemple la protection contre les dangers naturels. Dans ces cas, il est très important d'utiliser les situations clés des phases de rajeunissement, de soins à la jeune forêt et le cas échéant du perchis, afin d'adapter la composition des essences si nécessaire. À la phase de la futaie, dont le rajeunissement n'interviendra qu'après plusieurs décennies, les mesures d'adaptation peuvent attendre. L'action est plus urgente dans des forêts protectrices où un rajeunissement insuffisant coïncide avec une stabilité réduite des peuplements. Des problèmes peuvent aussi apparaître lorsque les essences composant le rajeunissement ou une jeune forêt ne sont pas adaptées aux conditions futures; reste à savoir si une correction de la composition des essences est encore appropriée, sachant que les protections contre le gibier coûtent cher et nécessitent beaucoup de soins.

Perturbations: occasion de créer de jeunes forêts adaptées aux conditions futures

Les aléas tels que les tempêtes, les sécheresses ou les incendies de forêt offrent l'occasion de créer de jeunes forêts adaptées aux conditions futures, que ce soit par le rajeunissement naturel, une combinaison de rajeunissement naturel et artificiel ou, dans des cas exceptionnels, essentiellement par plantation. Les surfaces soumises à des perturbations offrent une bonne occasion d'augmenter la part des essences de lumière tolérantes au climat futur.

Exemple pratique de mesures d'adaptation ciblées

Parmi la trentaine de peuplements de référence traités lors des tests forestiers, c'est le peuplement en rajeunissement de Sagliot, près de Tiefencastel (GR) qui est présenté ci-après (Fig. 8, Allgaier Leuch *et al.* 2017b). Les autres peuplements sont décrits dans l'annexe numérique (Frehner *et al.* 2018).



Figure 8. Discussion technique lors de l'atelier d'été 2016 du Groupe de sylviculture de montagne dans le peuplement en rajeunissement de Sagliot, près de Tiefencastel (GR). Photo: Barbara Allgaier Leuch

Il s'agit d'une vieille futaie composée de 80 % d'épicéas et de 20 % de sapins et qui comporte de petites trouées. Sur ce site, les conditions stationnelles devraient subir des modifications très fortes. La modélisation indique qu'à la fin du siècle, l'actuelle pessière-sapinière à Laiche blanche (type de station 52) de l'étage haut-montagnard se retrouvera sous un climat collinéen à type de station chênaie mélangée avec tilleul, pour les deux futurs climatiques. Le danger que représente les scolytes pour les épicéas s'accroît continuellement. Le peuplement est mûr pour le rajeunissement. Mais sur quelles essences faut-il tabler? Pas de chêne rouvre ni de tilleul loin à la ronde, et il n'est pas sûr que les chênes puissent survivre au climat actuel, encore assez rude, et sur un versant nord peu

ensoleillé. La proportion d'épicéas doit être fortement réduite à partir de la prochaine génération. Le peuplement comporte des sapins porte-graines et aussi des pins semenciers à proximité immédiate des buttes séchardes. En outre, de jeunes merisiers et érables planes poussent à l'intérieur d'une clôture anti-gibier. Avec une pression du gibier plus faible, un rajeunissement riche en essences mieux adaptées au changement climatique s'installerait de lui-même. Mais à l'heure actuelle, hors de la clôture protectrice, l'épicéa est presque le seul à se rajeunir sur ce site où il n'a pas d'avenir. Le fort impact des ongulés sauvages bloque donc l'adaptation de la composition des essences au changement climatique.

Prévoir des semenciers

Les semenciers d'espèces d'arbres adaptés au climat futur sont d'une grande valeur. Ils participent à l'adaptation de la forêt aux changements climatiques dans le cadre de la sylviculture proche de la nature. Les semenciers situés dans des peuplements d'âge moyen à mûr représentent aujourd'hui, ou représenteront dans plusieurs décennies, un potentiel de rajeunissement d'essences capables de subsister dans le futur. Il faut donc le plus possible les conserver, favoriser le développement de leur couronne et, le cas échéant, les laisser en place au-delà de la durée de révolution du peuplement (réserve sur coupe).

L'attention portée aux futurs semenciers doit même déjà commencer dans les recrûs et les fourrés. On y trouve souvent des exemplaires épars d'espèces d'avenir. En conservant ces «ilôts d'avenir du changement climatique» lors des soins aux jeunes forêts, il sera possible plus tard de les utiliser en tant que semenciers. Ces arbres doivent avoir un potentiel de développement, mais la qualité de leur tronc est sans importance. Si la diversité du rajeunissement ne suffit pas, il reste possible de planter de futurs semenciers. Inutile de préciser qu'il faudra alors prévoir une protection efficace contre le gibier.

Contrôle des résultats et échange de connaissances: éléments de la gestion adaptative

Documenter les mesures prises à des fins de contrôle

Comme le changement climatique s'étend sur des décennies, les professionnels sont obligés de pratiquer une gestion prévisionnelle. L'observation reste un instrument précieux pour évaluer les effets des interventions et au besoin apporter des correctifs à temps si de nouveaux phénomènes apparaissent (p.ex. organismes nuisibles). En plus, il est indispensable d'anticiper le climat futur et d'y préparer les peuplements. Il est ainsi possible de prendre les mesures en temps utile et en tenant compte des particularités locales. Les activités d'observation méritent une place de premier plan dans le travail quotidien. Elles déploieront toute leur utilité en tant que contrôle des résultats si les traitements sylvicoles et leurs effets ultérieurs sont bien documentés. Cette démarche est appelée «gestion adaptative passive». L'élément adaptatif correspond au fait que la gestion est réadaptée lorsqu'on remarque qu'elle ne mène plus au but. Une telle démarche est décrite dans le cadre de la gestion des forêts protectrices pour l'analyse des effets sur des placettes témoins (Frehner *et al.* 2005/2009) et est aujourd'hui déjà considérée comme meilleure pratique.

L'observation a ses limites

L'approche par l'observation a cependant ses limites. Les observations individuelles sont des études de cas qu'il n'est pas possible de généraliser. En outre, les observations ne sont souvent pas suffisamment documentées et sont difficiles à interpréter rétrospectivement. Les expériences et le savoir pratique restent généralement chez ceux qui les élaborent et les innovations ne se propagent que lentement, lorsqu'elles ne restent pas méconnues.

L'avenir ne peut pas s'observer – mais il peut être projeté à l'aide de modèles

On ne peut observer que ce qui s'est déjà produit. Les conséquences futures du rapide changement climatique ne sont, de par nature, guère observables. Les modèles statistiques aident à tourner le regard vers l'avenir en projetant les modifications des conditions stationnelles. Les modèles de simulation de l'évolution de la forêt (Bircher *et al.* 2016) peuvent également livrer de précieuses indications.

La gestion adaptative fournit de nouvelles expériences en continu

Pour réduire les incertitudes lors de l'adaptation au changement climatique, il faut combiner la gestion adaptive passive et la gestion adaptative active, qui consiste à comparer différentes options d'action liées au changement climatique. Par exemple, l'utilisation de certaines provenances et essences adaptées au climat futur sont examinées par le projet Plantations expérimentales d'essences d'avenir (cf. encadré ci-dessous). D'autres sujets traités dans le cadre d'une gestion adaptative peuvent être la concurrence entre le hêtre et le chêne rouvre, l'effet de fortes éclaircies sur la consommation hydrique ou encore le rajeunissement d'essences de lumière en forêt pérenne.

Des essais simples peuvent parfaitement s'intégrer à la gestion forestière courante. Ils ne nécessitent pas un accompagnement scientifique étroit, mais si leur mise en place et leur documentation respectent certains standards (Rosa *et al.* 2011), leur pertinence en sera renforcée et facilitera l'échange entre praticiens. Il est prévu de développer de tels standards en s'appuyant sur la pratique des soins aux forêts de protection.

Plantations expérimentales d'essences d'avenir

Vu les conditions climatiques attendues vers la fin du XXIe siècle, les essences qui croîtront le mieux seront autres que celles qu'on rencontre aujourd'hui sur de nombreuses stations forestières. La question suivante se pose donc aux praticiens: quelles sont les essences forestières susceptibles d'être adaptées à une station vers la fin du XXIe siècle, qui pourraient déjà y croître aujourd'hui ?

La réponse à cette question est essentielle, car dans quelques décennies, les essences issues de plantations donneront des semenciers qui pourraient garantir le rajeunissement ultérieur. Pour répondre à cette interrogation, il est prévu d'installer un réseau de 30 à 50 plantations expérimentales dont on attend des indications fondées sur le plan scientifique et utiles sur le terrain.

Le projet Plantations expérimentales d'essences d'avenir réunira chercheurs, services forestiers cantonaux, chefs d'exploitation et organisations spécialisées comme pro-Quercus en vue d'installer des plantations capables de livrer des données significatives et d'assurer les observations sur plusieurs décennies. Durant la phase pilote, d'ici à septembre 2018, la conception de cette expérimentation ainsi que les quelque 18 essences à tester seront définies et les sites de plantation évalués. Sept provenances seront testées pour chaque essence. Il est aussi prévu de réaliser un inventaire des tests de plantation existants.

Pour en savoir plus: www.testpflanzungen.ch

6 Développement futur des bases stationnelles face au changement climatique

Instruments de mise en œuvre aux plans cantonal et régional

Les bases actuelles pourront être utilisées pour des développements futurs

Les bases utiles au choix des essences ont été préparées et documentées dans le cadre des tests forestiers pour une trentaine de cas. Ces cas représentent une partie des transitions possibles entre les types de station actuel et futur en Suisse. Le but est de mettre les expériences et résultats décrits dans ce rapport à disposition des cantons pour l'ensemble des forêts suisses. Les travaux ont déjà commencé:

- L'élaboration de recommandations d'essences répondant au changement climatique est fondée sur le déplacement des étages de végétation. Actuellement, des informations concrètes sont disponibles sous forme de géodonnées numériques pour les peuplements examinés dans le cadre des tests forestiers. La méthodologie développée permet de représenter ces déplacements pour chaque point de la forêt suisse. Les données nécessaires couvrant maintenant tout le territoire permettront de déduire des applications pour les cantons que les praticiens pourront utiliser sur le terrain. Des outils numériques seront aussi envisageables.
- On peut envisager un outil qui permette de déterminer le type de station (outil «station») et un autre qui livre les recommandations d'essences (outil «essences»). La figure 9 illustre une démarche qui pourrait livrer ces informations. Les recommandations d'essences sont issues de la démarche, décrite dans ce rapport, consistant à réunir l'ensemble des recommandations cantonales. Lors d'une étape ultérieure, une application multiplateforme encore à concevoir pourrait servir de base à une utilisation cantonale ou régionale prenant en compte les données et les besoins respectifs (p. ex. outil «essences cantonales», fig. 9).
- Les adaptations cantonales et régionales pourraient être programmées ces prochaines années pour divers niveaux d'application, par exemple avec détermination directe du type de station par l'utilisateur au moyen d'une carte de stations ou d'une carte des stations modélisées.
- S'agissant des types de stations qui migreront vers l'étage collinéen, les recommandations d'essences sont plus qu'incertaines. Le projet de plantations expérimentales peut livrer de nouveaux résultats à ce propos (cf. encadré Plantations expérimentales d'essences d'avenir).
- Pour conserver ces résultats au-delà des périodes usuelles en sylviculture, le WSL pourrait développer des outils à l'attention des cantons en vue de soutenir les entreprises forestières dans leurs activités de contrôle des résultats et de documentation des expérimentations simples, en s'inspirant de la pratique actuelle des soins en forêt de protection.

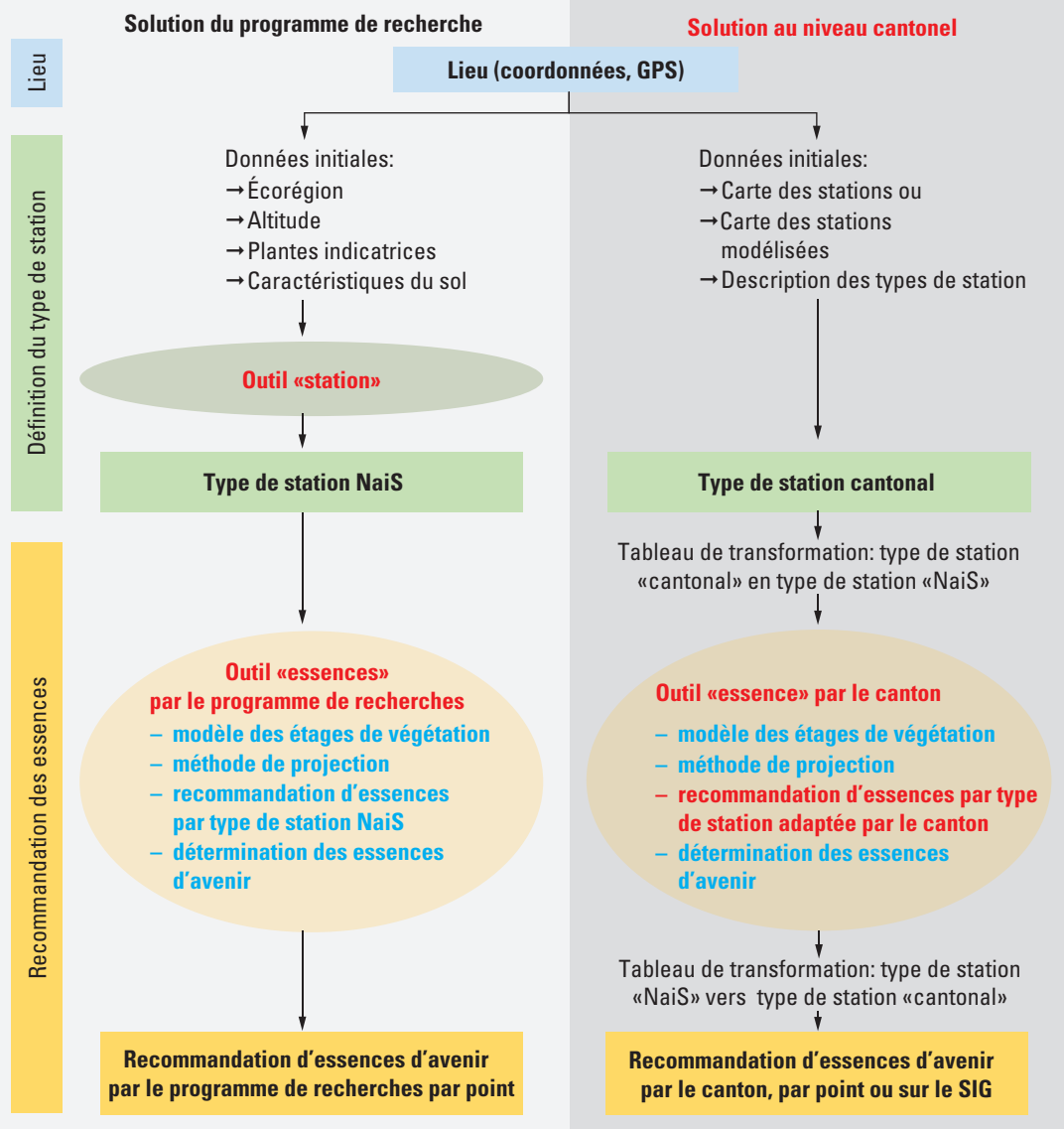


Figure 9. Démarche possible pour déterminer le type de station et les recommandations d'essences, non exhaustif (noir = bases disponibles, bleu = élaboré par le programme de recherches, rouge = à élaborer).

Perspectives de développement des bases actuelles

Les bases stationnelles de la gestion forestière face au changement climatique ainsi que la méthodologie élaborée pour prendre en compte ce changement en sylviculture sont en mesure de jouer un rôle essentiel dans le développement d'autres applications et solutions. Elles offrent en outre de nombreuses possibilités de planification au niveau de l'entreprise. Il s'agit notamment des applications suivantes:

– La méthodologie peut être utilisée dans le cadre des soins aux forêts de protection (méthode NaiS).
– Cette méthodologie et les projections dans de possibles futurs climatiques proposent des bases stationnelles différenciées, utiles à l'élaboration de concepts sylvicoles de contrôle des néophytes.
– Cette méthodologie livre des bases stationnelles en haute définition pour des projets et des outils qui peuvent s'appuyer sur les projections sylvicoles liées au changement climatique.

– Elle est la base du relevé de la diversité génétique et du potentiel d'adaptation de divers génotypes, par exemple dans les placettes d'observation du rajeunissement.
– Elle est la base servant à la valorisation périodique des résultats issus de la recherche et des observations des praticiens. Cela inclut les besoins d'adaptation qui s'imposeraient si le futur climatique devait s'écarter des deux futurs pris en considération.
– Elle permet d'intégrer l'aspect du changement climatique dans la formation initiale et continue en sylviculture, où les critères stationnels occupent déjà une place importante pour la prise de décision sylvicole.
– Cette méthodologie représente un développement de la théorie et de l'application des connaissances stationnelles. Les compétences en matière de stations forestières obtiennent ainsi un statut renouvelé.

Les applications de cette méthodologie sont nombreuses au niveau de l'entreprise:

– Cette méthodologie est la base d'un instrument qui permet de prioriser les mesures d'adaptation.
– Elle sert à développer des procédés basés sur les stations en cas d'aléa (tempête, incendie de forêt).
– La possibilité d'identifier des essences adaptées au climat futur peut servir de base technique pour un dialogue régional ou local entre forêt et chasse. Le but est de conserver le rajeunissement naturel et un large éventail d'essences, parmi elles notamment celles qui sont capables de s'adapter, p. ex. les espèces de chênes et le sapin, qui sont menacées par l'abroutissement.

7 Fiches des types de station adaptées

Des recommandations pour le choix d'essences ont été émises pour les quelque 30 sites examinés en Suisse lors des tests forestiers. Chacun d'eux fait l'objet d'une fiche classée dans l'annexe numérique (Frehner *et al.* 2018) et décrivant la station sous les conditions actuelles, ainsi que la détermination des types de stations analogues pour les deux futurs climatiques retenus avec les recommandations d'essences correspondantes. Une fiche est présentée ci-après pour une hêtraie à Luzule blanc-de-neige, Sopra Paudo, Pianezzo (TI).

Les fiches précisent si les indications sont généralisables à un secteur plus vaste. Cinq fiches supplémentaires décrivent des stations qui se comportent de la même façon dans l'ensemble de leur écorégion.

Les deux premières pages des fiches décrivent en détail le type de station actuel, sa végétation et les caractéristiques du sol. La description générale est suivie d'une liste des espèces d'arbres, d'arbustes et de plantes herbacées présents ainsi que des recommandations et remarques sur l'écologie et la sylviculture. Toutes les indications proviennent des types de station selon NaiS (Frehner 2005/2009). La deuxième page donne une description détaillée du sol. Il est normalement fait état du sol lorsque les plantes indicatrices manquent ou sont trop peu pertinentes. Comme l'évolution des stations devrait souvent dépendre de la capacité de rétention en eau, il est recommandé de dresser davantage de profils pédologiques afin de déterminer cette capacité, dans la mesure où les activités sylvicoles quotidiennes le permettent.

La troisième page des fiches décrit le processus de détermination des types de stations analogues pour les changements climatiques «modéré» (RegCM3) et «marqué» (CLM). À cet effet, les modèles d'étages de végétation des deux futurs climatiques sont représentés aux endroits concernés et la projection des types de stations sur l'écogramme ou les

écogrammes du ou des futurs étages de végétation. Les trois situations suivantes apparaissent dans les exemples:

– L'étage de végétation ne se déplace que dans le cas du changement climatique «marqué» (CLM). Le type de station et la recommandation pour le choix d'essences ne se modifient que dans le cas du changement climatique «marqué» (CLM).
– L'étage de végétation se déplace dans les cas de changement climatique «modéré» (RegCM3) ou «marqué» (CLM) vers le même nouvel étage. Il n'existe qu'un seul type de station analogue et une recommandation pour le choix des essences.
– L'étage de végétation se déplace dans les cas de changement climatique «modéré» (RegCM3) ou «marqué» (CLM) vers des nouveaux étages différents. Il s'ensuit différents types de station analogues et différentes recommandations pour le choix des essences.

Sur la quatrième page des fiches figurent les recommandations pour le choix des essences en lien avec le changement climatique. Les essences naturelles du type de station analogue se trouvent dans la partie supérieure de la page. Elles proviennent des descriptifs et clés des types de stations cantonaux et ont été complétées par des informations de l'IFN sur les essences ligneuses. Pour l'étage collinéen, les essences ont été déterminées avec des experts locaux au moyen de cartes de répartition, puis vérifiées par des spécialistes en sylviculture.

Parmi les «essences naturelles importantes», les «essences dominantes» sont marquées en gras; les «essences de mélange les plus importantes» sont également indiquées. Sous «autres essences», on trouve les espèces croissant en forêt naturelle, mais qui atteignent rarement la strate dominante. Les essences introduites et les espèces envahissantes ne sont mentionnées que si elles apparaissent dans les descriptifs cantonaux. Parfois, les essences mentionnées ne sont pas présentes naturellement sur l'ensemble du type de station. Par exemple, l'érable à feuilles d'obier est absent de Suisse orientale et le frêne dans la partie supérieure de l'étage haut-montagnard. Les listes d'essences ne tiennent pas non plus compte de la présence actuelle de maladies comme le dépérissement des pousses du frêne ou la graphiose de l'orme.

Les recommandations pour l'adaptation de la composition des essences se trouvent en seconde partie de page. Elles proviennent de la comparaison entre les essences du type de station actuel avec celles du type de station futur. Les essences représentées en bleu sont celles que l'on peut conserver ou favoriser aussi bien pour la variante de changement climatique «modéré» (RegCM3) que pour la variante du changement «marqué» (CLM).

Les recommandations pour le choix des essences s'appuient sur les bases disponibles en septembre 2017. Comme ces bases étaient encore en cours d'élaboration durant les tests forestiers, elles indiquent parfois des différences par rapport aux documents utilisés pour les tests forestiers. En outre, la présentation de l'exemple de la fiche sur les pages 30 à 33 a évolué et ne correspond donc pas exactement à celle de la version allemande de ce rapport, qui a été publiée antérieurement.

Hêtraie à Luzule blanc-de-neige typique (Hêtraie à Sapin avec Luzule des forêts et Calamagrostide des forêts)

Fiche

Luzulo niveae-Fagetum typicum
(Luzulo silvaticae-Abieti-Fagetum calamagrostietosum arundinaceae) **3(19a)**

Description type de station actuel (Hêtraie à Luzule blanc-de-neige typique, 3)

Données générales	**Forêt naturelle**	Souvent hêtraies denses, en partie hêtres à gros houppiers ou rejets de souche. En mélange par endroits: chêne sessile, bouleau, châtaignier, alisier blanc, sorbier des oiseleurs, tremble, tilleul, épicéa, sapin, mélèze. Dans la région 5a, présence éventuelle de quelques épicéas en bordure de l'aire de répartition de cette essence; l'épicéa manque totalement dans la région 5b. Les rares stades de forêt définitive sont plus riches en sapins et correspondent à peu près à la 1h (Hêtraie à Luzule des forêts typique).
	Hauteur maximale du peuplement	**15–25 m** Hauteur maximale des arbres: résineux 30 m / feuillus 25 m
	Station générale	Sur pentes; plus bas, versants ombragés froids. De 500 à 1500 m d'altitude.
Strate arborée	**Essences dominantes en forêt naturelle**	hêtre
	Essences importantes en forêt naturelle	sapin, châtaignier, épicéa, chêne sessile
	Autres essences	érable plane, érable sycomore, bouleau, frêne, houx, aubour des Alpes, mélèze, pin sylvestre, tremble, cerisier, douglas, chêne chevelu, chêne rouge, saule des chèvres, alisier blanc, sorbier des oiseleurs, if, tilleul à petites feuilles
Strate arbustive et herbacée	**Végétation aspect**	Strate herbacée clairsemée avec luzule blanc-de-neige, calamagrostide roseau et raiponce à feuilles de bétoine. Dans les peuplements les plus sombres, la strate herbacée fait souvent défaut.
	Arbustes/buissons souvent présents	
	Plantes herbacées souvent présents	**très acide**: canche flexueuse; **acide**: calamagrostide des forêts, luzule blanc-de-neige; myrtille; **moyen**: prénanthe pourpre; **autres**: epervière des murs, solidage verge d'or
Écologie et sylviculture	**Remarques**	Degré de fermeture: normal à entrouvert. Les forêts sont fréquemment constituées de rejets de souche. À basse altitude, elles sont souvent composées de châtaigniers. La Hêtraie oligotrophe à Houx (3VL) est décrite dans les forêts de feuillus de l'étage collinéen.
	Facteurs limitants	**Dessèchement**: Le rajeunissement du hêtre supporte mal le dessèchement temporaire sous couvert et sur les surfaces découvertes et ensoleillées. **Incendies:** Ils entraînent fréquemment la dégradation de la station. **Acidité du sol:** Les feuillus nobles font largement défaut en raison de l'acidité du sol. Si la couche organique est épaisse, la station sera toujours plus défavorable à la régénération du hêtre.
	Sylviculture	Régime de la haute futaie avec jardinage ou coupe progressive. Une régénération lente sous couvert ou dans de petites trouées est possible. Il faut tenir compte du risque de dessèchement lorsque les ouvertures sont plus grandes. Pour favoriser le rajeunissement, on peut créer des ouvertures en fente de 1 à 1,5 longueurs d'arbre.

Description sol actuel (Hêtraie à Luzule blanc-de-neige typique, 3)

Légende

Répartition du type NaiS: très fréquente; moins fréquente; rare

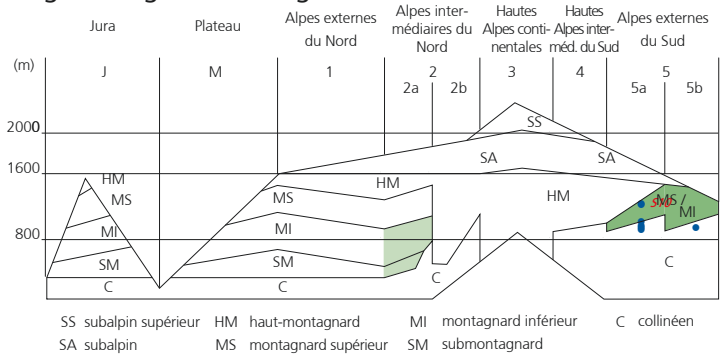
Profils de sol WSL: n = **7**

Lieu du profil

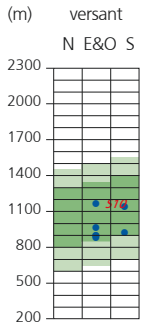
A1 N° du profil issu de «Waldböden der Schweiz»

3 Nombre de profils, si plusieurs au même endroit du graphique

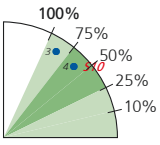
Etage de végétation / Région



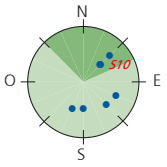
Altitude



Pente

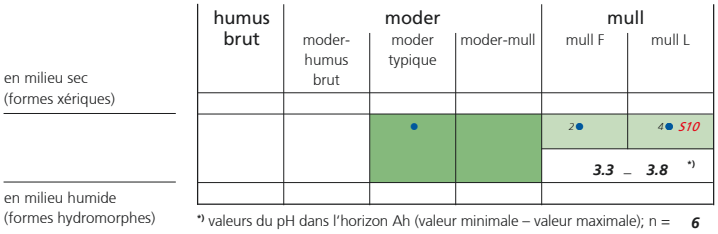


Exposition



Sol

Forme d'humus

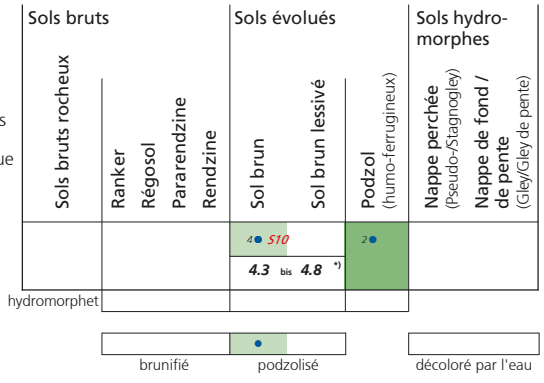


*) valeurs du pH dans l'horizon Ah (valeur minimale – valeur maximale); n = **6**

Variantes: anmoor; tourbe; mull calcique; moder calcique; tangel; érodée

Formation des sols

Sols organiques; Sols alluviaux; Sols bruns neutres; Sol ocre podzolique; Podzol humifère



*) valeurs du pH dans l'horizon B (valeur minimale – valeur maximale); n = **5**

Matériau parental

2 acide

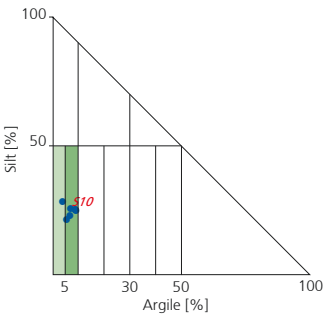
alcalin

5 indéterminé

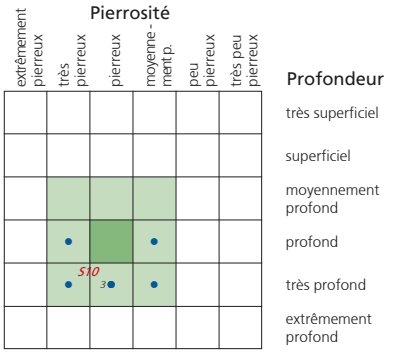
Limite des carbonates (voir chapitre 7.4.7)

aucune LC

Texture

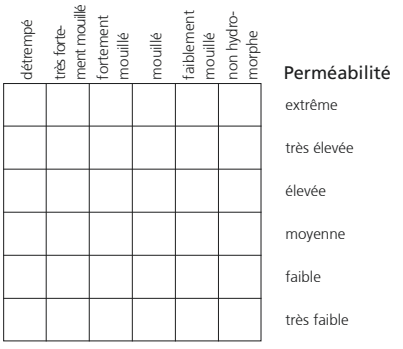


Profondeur et pierrosité

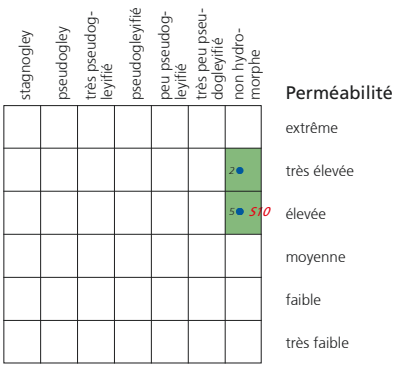


Perméabilité à l'eau et hydromorphie

Hydromorphie: sols influencés par une nappe de fond ou de pente

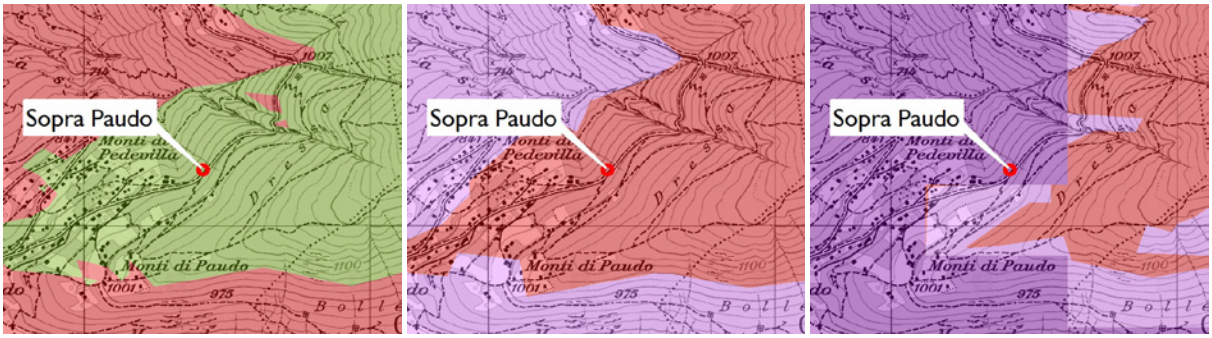


Hydromorphie: sols influencés par une nappe perchée



Étage de végétation actuel et en 2070–2099
Sopra Paudo, Pianezzo (TI)

aujourd'hui *montagnard supérieur / montagnard inférieur*	**2070–2099 changement climatique «modéré»** (RegCM3) *collinéen avec le hêtre*	**2070–2099 changement climatique «fort»** (CLM) *collinéen sans le hêtre*



Légende étages de végétation: montagnard inférieur/supérieur; collinéen avec le hêtre; collinéen sans le hêtre; hyper-insubrien

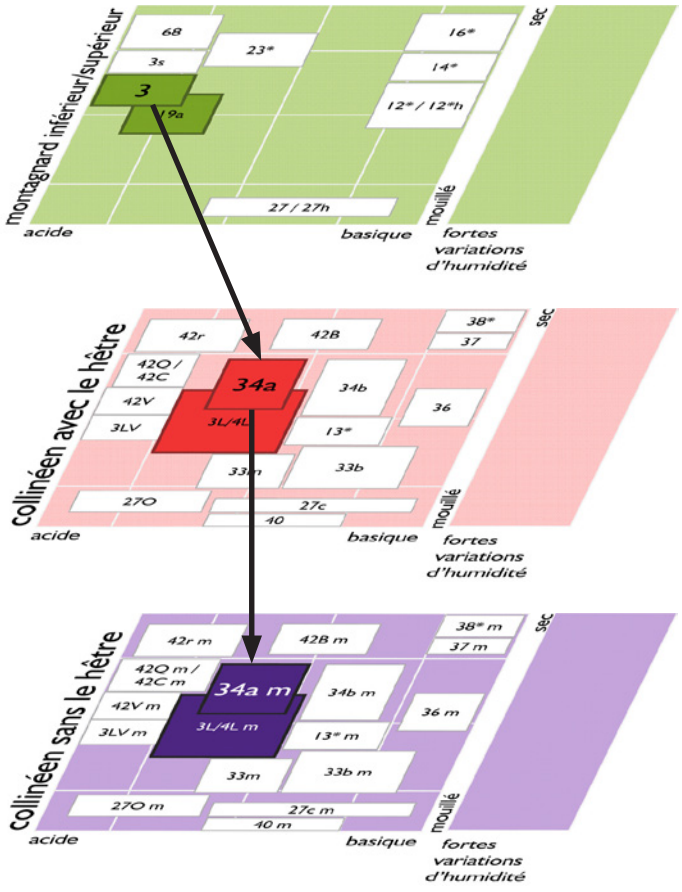
Le déplacement de l'étage de végétation n'est valable que pour le lieu géographique indiqué. Il ne peut pas être généralisé à une plus grande région.

Écogrammes et types de stations actuels et en 2070–2099
Sopra Paudo, Pianezzo (TI)

aujourd'hui

2070–2099 changement climatique «modéré» (RegCM3)

2070-2099 changement climatique «fort» (CLM)



Les écogrammes n'indiquent pas tous les types de stations (en raison du manque de place).

Essences adaptées aux types de stations 2070–2099

	2070-2099 changement climatique «modéré» (RegCM3) **34a (3L/4L) Chênaie-Châtaigneraie à Tilleul sur sol acide (Hêtraie mésotrophe à Houx)** *collinéen avec le hêtre*	**2070-2099 changement climatique «fort»** (CLM) **34a m (3L/4L m)** *collinéen sans le hêtre*
Essences importantes en forêt naturelle	**châtaignier, hêtre**, bouleau, houx, cerisier, chêne sessile, tilleul à petites feuilles, cerisier tardif	**chêne sessile**, érable champêtre, châtaignier, houx, charme-houblon, cerisier, chêne chevelu, chêne pubescent, alisier blanc, ailante, laurier noble, troène de Chine, cerisier tardif, robinier
Autres essences	sapin, érable champêtre, érable plane, érable sycomore, charme, frêne, noyer, mélèze, charme-houblon, épicéa, pin sylvestre, tremble, chêne chevelu, chêne pubescent, chêne pédonculé, saule des chèvres, alisier blanc, sorbier des oiseleurs, if, tilleul à grandes feuilles, orme champêtre, ailante, Cannelier glanduleux, plaqueminier lotier, laurier noble, troène de Chine, douglas, chêne rouge, robinier, palmier de Chine	bouleau, hêtre, frêne à fleurs, noyer, pommier sauvage, tremble, chêne pédonculé, saule des chèvres, alisier torminal, if, tilleul à petites feuilles, plaqueminier lotier, pin noir, douglas, chêne rouge, palmier de Chine
Hauteur dominante	20–25 m	15–23 m

Recommandations pour l'adaptation des essences à deux futurs climatiques

	Essences déjà possibles aujourd'hui	
Favoriser	châtaignier, hêtre, bouleau, cerisier, chêne sessile, tilleul à petites feuilles	chêne sessile, châtaignier, cerisier, alisier blanc
Conserver	sapin, érable sycomore, frêne, mélèze, épicéa, pin sylvestre, tremble, saule des chèvres, alisier blanc, sorbier des oiseleurs, if, douglas, chêne rouge	bouleau, hêtre, tremble, saule des chèvres, if, tilleul à petites feuilles, douglas, chêne rouge
Réduire	mélèze	épicéa, érable sycomore, frêne, mélèze, pin sylvestre, sorbier des oiseleurs
	Essences supplémentaires possibles à l'avenir	
Favoriser	houx, cerisier tardif	érable champêtre, houx, charme-houblon, chêne chevelu, chêne pubescent, laurier noble, troène de Chine, cerisier tardif, robinier
Conserver	érable champêtre, érable plane, charme, noyer, charme-houblon, chêne chevelu, chêne pubescent, chêne pédonculé, tilleul à grandes feuilles, orme champêtre, ailante, Cannelier glanduleux, plaqueminier lotier, laurier noble, troène de Chine, robinier, palmier de Chine	frêne à fleurs, noyer, pommier sauvage, chêne pédonculé, alisier torminal, plaqueminier lotier, pin noir, palmier de Chine

8 Bibliographie

Académies suisses des sciences, 2016: Coup de projecteur sur le climat suisse. État des lieux et perspectives. Swiss Academies Reports 11, 5.

Allgaier Leuch, B.; Streit, K.; Augustin, S.; Brang, P., 2016: Les impacts du réchauffement climatique. La Forêt 69, 12: 18–21. Allgaier Leuch, B.; Streit, K.; Brang, P., 2017a: Sylviculture proche de la nature sous le signe des changements climatiques. Notice pour le praticien 59.1: 8 p.

Allgaier Leuch, B.; Zürcher, N.; Brang, P., 2017b: Die Anpassung des Gebirgswalds an den Klimawandel will geübt sein. Bündner Wald 70, 1: 46–51.

Allgaier Leuch, B.; Streit, K.; Stillhard, J.; Cioldi, F.; Brang, P., 2018: L'avenir des épicéas du Plateau suisse. La Forêt 71, 3: 22–25.

Begert, M.; Schlegel, T.; Kirchhofer, W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. International Journal of Climatology 25: 65–80.

Bircher, N.; Cailleret, M.; Zingg, A.; Bugmann, H., 2016: Modifications potentielles de la surface terrière à l'échelle du peuplement dans le contexte des changements climatiques. In: Pluess, A.R.; Brang, P.; Augustin, S. (Red.). Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 163–181.

Brang, P.; Küchli, C.; Schwitter, R.; Bugmann, H.; Ammann, P., 2016: Stratégies sylvicoles et changements climatiques. In: Pluess, A.R.; Brang, P.; Augustin, S. (Red.). Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 345–369.

Office fédéral de l'environnement (2010) Aide à l'exécution Forêt et gibier. Gestion intégrale du chevreuil, du chamois, du cerf élaphe et de leur habitat. Berne. 24 p.

CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Zurich, C2SM, MeteoSwiss, NCCR Climate, OcCC. 87 p.

Collins, M.; Knutti, R.; Arblaster, J.; Dufresne, J.-L.; Fichefet, T.; Friedlingstein, P.; Gao, X.; Gutowski, W.J.; Johns, T.; Krinner, G.; Shongwe, M.; Tebaldi, C.; Weaver, A.J.; Wehner, M., 2013: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.: Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Etzold, S.; Wunder, J.; Braun, S.; Rohner, B.; Bigler, C.; Abegg, M.; Rigling, A., 2016: Mortalité des arbres forestiers: causes et tendances. In: Pluess, A.R.; Brang, P.; Augustin, S. (Red.). Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 183–203.

Ellenberg, H.; Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 48: 587–930.

Forster, B.; Meier, F.; Brändli, U.-B., 2008: Vorratsabbau – auch durch Sturm und Käfer. Wald und Holz 89, 3: 52–54.

Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R., 2005/09: Gestion durable des forêts de protection. Soins sylvicoles et contrôle des résultats: instructions pratiques. Berne, Office fédéral de l'environnement.

Frehner, M.; Huber, B. (Red.) 2018: Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»: Übersicht über die Teilberichte. Sargans, Forstingenieurbüro Frehner & Chur, Abenis AG.

Frehner, M.; Brang, P.; Kaufmann, G.; Küchli, C., Schmutz, M. 2018: Fiches des types de stations adaptées pour les objets visités lors des test forestiers. Annexe numérique du rapport

Bases stationnelles pour la gestion forestière face au changement climatique. (Red.: Frehner, M.; Brang, P.; Kaufmann, G.; Küchli, C.). WSL Ber. 66, Anhang.

Frehner, M.; Scherler, M.; Braun, S., in Vorb. Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel», Teil 2: Quantifizierung der Lage von Standortstypen im Ökogramm. Sargans.

Gubelmann, P.; Huber, B.; Frehner, M.; Zischg, A.; Burnand, J.; Carraro, G., 2018: Schlussbericht des Projektes «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel», Teil 1: Quantifizierung und Verschiebung der Höhenstufengrenzen sowie des Tannen- und Buchenareals in der Schweiz mit zwei Klimazukünften. Chur, Abenis AG.

Huber, B.; Frehner, M.; Zimmermann, N. E.; van Wijnkoop, P.; Wüest, R.O., 2017: Vorarbeiten für Baumartenempfehlungen von Standortstypen, die in der Schweiz heute noch nicht vorkommen. Ein Bericht aus dem Projekt «Adaptierte Ökogramme» im Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel». Chur, Abenis AG. 70 S.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [eds: Core Writing Team; Pachauri, R.K.; Meyer, L.A.]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 pp.

Manser, R.; Steffen, K.; Meier, U.; Küchli, C., 2015: Forschung zur richtigen Zeit, umsetzungsorientiert und politisch eingebettet (Editorial). Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166: 348–351.

Meehl, G.A.; Stocker, T.F.; Collins, W.D.; Friedlingstein, P.; Gaye A.T.; Gregory, J.M.; Kitoh, A.; Knutti, R.; Murphy, J.M.; Noda, A.; Raper, S.C.B.; Watterson, I.G.; Weaver, A.J.; Zhao, Z.-C., 2007: Global Climate Projections. In: Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; Miller, H.L. (eds), Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 100 pp.

Millar, C.I.; Stephenson, N.L., 2015: Temperate forest health in a era of emerging megadisturbance. Science 349, 6250: 823–826.

Pluess, A.R.; Brang, P.; Augustin, S. (Red.). Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 447 S.

Remund, J.; Augustin, S., 2015: Zustand und Entwicklung der Trockenheit in Schweizer Wäldern. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 166: 352–360.

Remund, J.; Rihm, B.; Hueguenin-Landl, B., 2016: Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert. Bern, Meteotest. 39 S.

Rosa, J.; Riou-Nivert, P.; Paillassa, É., 2011: Guide de l'expérimentation forestière. Principes de base. Prise en compte du changement climatique. Paris, CNPF/IDF. 223 p.

Wohlgemuth, T.; Gallien, L.; Zimmermann, N.E., 2016: Régénération du hêtre et de l'épicéa dans le contexte des changement climatiques. In: Pluess, A.R.; Brang, P.; Augustin, S. (Red.). Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 115–135.

Zimmermann, N.E.; Normand, S.; Psomas, A., 2015: PORTREE. Final Report. A project funded by the OFEV-WSL program on «Forests and Climate Change». Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL.

Zimmermann, N.E.; Schmatz, D.R.; Gallien, L.; Körner, C.; Huber, B.; Frehner, M.; Küchler, M.; Psomas, A., 2016: Répartition des essences forestières et adéquation des stations. In: Pluess, A.R.; Brang, P.; Augustin, S. (Red.). Forêts et changements climatiques. Éléments pour des stratégies d'adaptation. Berne, Office fédéral de l'environnement OFEV, Birmensdorf, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL; Berne, Stuttgart, Vienne, Haupt. 199–221.

9 Participants aux tests forestiers

Nom		Organisation	Manifestation
Thomas	Abt	Dienststelle für Landwirtschaft und Wald LU	Atelier des ingénieurs forestiers cantonaux
Jan Andrea	Aeberhard	OFEV	Test forestier 4
Christoph	Aeschbacher	Abteilung Wald und Natur OW	Test forestier 1
Pierre	Alfter	Service de la faune, des forêts et de la nature NE	Test forestier 2
Urs	Allemann	Amt für Wald, Jagd und Fischerei SO	Test forestier 2
Yvonne	Allemann	Office des forêts BE	Test pour forestiers en montagne
Karin	Allenspach	Office des forêts BE	Atelier d'été GSM
Barbara	Allgaier Leuch	WSL	Test forestier préalable, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux, Test pour forestiers en plaine, Atelier d'été du groupe de sylviculture en montagne GSM
Jürg	Altwegg	Abteilung Natur und Landschaft ZH	Test forestier 1
Sejana Agnes	Amir	Dienststelle für Landwirtschaft und Wald LU	Test pour forestiers en montagne
August	Ammann	Forstdienst SG	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Peter	Ammann	Centre de compétence en sylviculture Lyss	Test forestier 2
Martin	Attenberger	Oberforstamt AI	Atelier d'été GSM, Test forestier 3
Sabine	Augustin	OFEV	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts, Test forestier préalable, Test pour forestiers en montagne, Test forestier 1, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Andreas	Bacher	Abteilung Wald und Natur OW	Test pour forestiers en montagne, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Guido	Bader	Amt für Wald BL/BS	Atelier d'été GSM
Marc	Ballmer	Office de l'environnement JU	Test pour forestiers en plaine
Recher	Balz	Forstrevier Riedbach BL	Test forestier 2
Peter	Bebi	SLF	Atelier d'été GSM
Lukas	Becker	Service des forêts et du paysage VS	Atelier d'été GSM
Davide	Bettelini	Sezione forestale TI	Test forestier 4
Thomas	Bettler	OFEV	Test forestier 5
Roger	Biderborst	Forst Goms	Atelier d'été GSM
Bernard	Biedermann	Nivalp SA, Grimisuat	Atelier d'été GSM
Raffael	Bienz	Abteilung Wald AG	Test forestier 3
Stefan	Biermann	Forstrevier Bödeli, Berne	Test pour forestiers en montagne
Franz	Binder	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Allemagne	Atelier d'été GSM

Nom		Organisation	Manifestation
Daniel	Böhi	Forstamt TG	Test forestier 3, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Roberto	Bolgè	OFEV	Test pour forestiers en plaine
Markus	Bolliger	OFEV	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts
Francesco	Bonavia	Ufficio delle misure promozionali e del vivaio TI	Test forestier 4
Patrick	Bonfils	Naturavali	Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestier 5
François	Bossel	Service des forêts et de la faune FR	Test pour forestiers en montagne
Jacques	Bottani	Sezione forestale TI	Test forestier 4
Thomas	Brandes	Forstdienst SG	Test pour forestiers en montagne, Atelier d'été GSM
Peter	Brang	WSL	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier d'été GSM, Test forestier préalable, Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 1–6, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Sabine	Braun	Institut de biologie végétale appliquée, Schönenbuch	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Jean-Baptiste	Bruchez	Triage forestier Fully VS	Test forestier 6
Urban	Brütsch	ForêtSuisse	Test forestier 3
Harald	Bugmann	ETH Zürich	Atelier d'été GSM
Rolf	Bühlmann	Dienststelle für Landwirtschaft und Wald LU	Test pour forestiers en plaine
Thomas	Burger	Burger und Liechti GmbH, Ennetbaden	Atelier international d'experts
Jacqueline	Bütikofer	ForêtSuisse	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts
Gabriele	Carraro	Dionea SA, Locarno	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Test forestier 4
Vincent	Castella	Triage forestier Jaun FR	Test pour forestiers en montagne
François	Chablaix	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5
Mathieu	Charvoz	Triage forestier Riddes VS	Test forestier 6
Jean-Christophe	Clivaz	Service des forêts et du paysage VS	Test forestier 6
François	Clot		Test forestier 5
Milena	Conzetti	Amt für Wald BL/BS	Test forestier 2
Silvio	Covi	Service des forêts et du paysage VS	Atelier d'été GSM, Test forestier 1
Simon	Czendlik	Forstrevier oberer Hauenstein BL	Test forestier 2
Daniel	Dahmen	Abteilung Natur und Landschaft ZH	Test pour forestiers en plaine
Roland	David	Sezione forestale TI	Test forestier 4
Catherine	De Rivaz Gillieron	Inspection cantonale des forêts VD	Atelier d'été GSM

Nom		Organisation	Manifestation
Claudio	De Sassi	OFEV	Test forestier 6
Rocco	De Stefano	De Stefano sàrl, Yverdon-les-Bains	Test forestier 5
Julien	Desarzens	Service des forêts et du paysage VS	Test forestier 6
Matthieu	Détraz	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5
Lorenz	Diefenbach	Amt für Wald und Naturgefahren GR	Test forestier 4
Fabian	Dietiker	Abteilung Wald AG	Test forestier 3
Clémence	Dirac	OFEV	Test forestier 6
Christoph	Dürr	OFEV	Test forestier 5
Rolf	Ehrbar	Forstdienst SG	Atelier d'été GSM
Urs	Eigenheer	Naturkonzept AG, Steckborn	Test forestier 3
Albert	Elmiger	Oberforstamt AI	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Jörg	Ewald	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Allemagne	Atelier international d'experts
Michiel	Fehr	Dienststelle für Landwirtschaft und Wald LU	Test forestier 1
Beat	Feigenwinter	Amt für Wald BL/BS	Test pour forestiers en plaine
Ralf	Fluor	Forstrevier La Punt / Madulain GR	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts
Stefan	Flury	Codoc	Test forestier 5
Julien	Fournier		Test forestier 6
Nicolas	Fournier	ETUFOR SA, Uvrier	Test forestier 6
Monika	Frehner	Forstingenieurbüro, Sargans	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier d'été GSM, Atelier international d'experts, Test forestier préalable, Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 1–6, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Maurus	Frei	Abteilung Wald und Naturgefahren GL	Atelier d'été GSM
Ueli	Frey	Dienststelle für Landwirtschaft und Wald LU	Test pour forestiers en plaine
Andreas	Freuler	Abteilung Wald AG	Atelier d'été GSM
Beat	Fritsche	Amt für Raum und Wald Appenzell AR	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'été GSM, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Josef	Gabriel	Amt für Wald und Naturgefahren SZ	Atelier d'été GSM
Grégory	Gabriel	Triage forestier Bonmont-La Rippe VD	Test forestier 5
Élie	Garet	Service des forêts et du paysage VS	Test forestier 6
Jean-Louis	Gay	Inspection cantonale des forêts VD	Atelier d'été GSM, Test pour forestiers en montagne
Thomas	Gelbhaar	Forstreviere II/IV AI	Test forestier 3
Philipp	Gerold	Ingénieur en gestion des forêts, Brigue	Atelier d'été GSM
Didier	Gétaz	Triages forestiers Haute-Broye + Jorat, VD	Test forestier 5
Marcel	Gigon	Dienststelle für Landwirtschaft und Wald LU	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestier 3

Nom		Organisation	Manifestation
Lukas	Glanzmann	IbW Bildungszentrum Wald, Berne	Atelier d'été GSM
Christa	Glauser	BirdLife Suisse	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestiers 2 et 3
Cristian	Gobbin	Sezione forestale TI	Test forestier 4
Anne	Golay	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5
Bernhard	Greil	Forst Goms	Atelier d'été GSM
Dominic	Gruber	Triage forestier Région Loèche VS	Test forestier 6
Alexandre	Guhl	pbplan AG	Test pour forestiers en plaine
Thomas	Gut	Office des forêts BE	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestier 2
Oskar	Hagen	ETH Zürich	Test forestier 3
Raphael	Häner	WaldBeiderBasel	Test forestier 2
Thomas	Hediger	HAFL	Atelier d'été GSM
Christof	Heimgartner	Forstrevier Feldbach TG	Test forestier 3
Caroline	Heiri	Société forestière suisse	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts
Josef	Hess	OFEV	Test pour forestiers en montagne
Karin	Hilfiker	CFF	Atelier d'été GSM
Patrick	Hofer	Association suisse du personnel forestier	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestier 1
Roger	Hollenstein	Forstrevier Fischingen TG	Test pour forestiers en plaine, Test forestier 3
Christian	Hösli	Forstrevier Schwanden GL	Test forestier 1
Barbara	Huber	Abenis AG, Coire	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Jérémie	Huber	Bureau d'études Forestières, Martigny	Test forestier 6
Urs	Hunziker	Abteilung Wald und Natur OW	Atelier d'été GSM
Patrick	Jäger	Kaufmann + Bader GmbH, Soleure	Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestier 1
Robert	Jenni	Service des forêts et de la faune FR	Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne
Martin	Jenssen	Waldkunde Institut Eberswalde, Allemagne	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts
Gerda	Jimmy	OFEV	Test pour forestiers en montagne
Pascal	Junod	Centre de compétence en sylviculture Lyss	Atelier d'été GSM, Test forestier 2
Daniel	Kämpfer	BINA Engineering SA, Turtmann	Test forestier 6
Geri	Kaufmann	Kaufmann + Bader GmbH, Soleure	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier d'été GSM, Atelier international d'experts, Test forestier préalable, Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 1–6, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016

Nom		Organisation	Manifestation
Reynald	Keller	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5
Pius	Kläger	Amt für Forst und Jagd UR	Atelier d'été GSM
Matthias	Kläy	OFEV	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestier 2
Ralf	Klosterhuber	Wald Landschaft Mensch Innsbruck, Autriche	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts
David	Knecht	Triage forestier Haute-Broye + Jorat VD	Test forestier 5
Eckart	Kolb	Université Technique de Munich, Allemagne	Atelier d'experts sur les stations non analogues
Walter	Koller	Forstreviere Ia/III/V AI	Test forestier 3
Martin	Krähenbühl	Forstrevier ob. Diegten BL	Test forestier 2
Martin	Kreiliger	Stiftung Bergwaldprojekt	Atelier d'été GSM
Christian	Küchli	OFEV	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts, Test forestier préalable, Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 1–6, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Peter	Lakerveld	Pro Natura	Test forestier 2
Alain	Lambert	Service des forêts et de la faune FR	Test pour forestiers en montagne
Benjamin	Lange	OFEV	Atelier d'été GSM
Roberto	Lardelli	BirdLife Suisse	Test forestier 4
Robert	Laurent	Triage forestier La Venoge VD	Test forestier 5
Jonas	Lehner	Service des forêts et du paysage VS	Test forestier 6
Ruedi	Lengweiler	Forstamt TG	Test pour forestiers en plaine, Test forestier 3
Gloria	Locatelli	Service de la faune, des forêts et de la nature NE	Test forestier 2
Stéphane	Losey	OFEV	Test forestier 6, Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier d'été GSM, Atelier international d'experts, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Andreas	Lötscher	Office des forêts BE	Atelier d'été GSM
Markus	Lüdin	Forstrevier Ergolzquelle BL	Test forestier 2
Felix	Lüscher	Oberallmeindkorporation Schwyz	Atelier d'été GSM
Martin	Maag	Pro Natura	Test forestier 2
Rolf	Manser	OFEV	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Test forestier préalable, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 2 et 4, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Benoit	Mazotti	Service des forêts et de la faune FR	Test pour forestiers en montagne

Nom		Organisation	Manifestation
Henning	Meesenburg	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Allemagne	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts
Ueli	Meier	CIC	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestier préalable, Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 1, 3, 5 et 6, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Karl	Mellert	Université technique de Munich, Allemagne	Atelier international d'experts
Roland	Métral	Service des forêts et du paysage VS	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'été GSM, Test forestier 6
Micheline	Meylan	Inspection cantonale des forêts VD	Test pour forestiers en plaine
Hans-Gerhard	Michiels	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Allemagne	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts
Eric	Monachon	Triage forestier La Veveyse VD	Test forestier 5
Vincent	Monnet		Test forestier 6
Giorgio	Moretti	Sezione forestale TI	Atelier d'été GSM, Test forestier 4
Alain	Morier	Abteilung Wald AG	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Martin	Moritzi	WSL	Test forestier 4
Philip	Mösch	Office des forêts BE	Atelier d'été GSM
Ruedi	Müller	Amt für Wald und Naturgefahren SZ	Test forestier 1
Konrad	Nötzli	Abteilung Natur und Landschaft ZH	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Maxime	Pattaroni	Silvaplus SA	Test forestier 6
Patrick	Patthey	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5
Karim	Pellouchoud		Test forestier 6
Marco	Perović	Université de Belgrade, Serbie	Atelier d'experts sur les stations non analogues
Hugues	Philipona	Forêt Valais	Test forestier 6
Christian	Piédallu	Centre AGROPARISTECH, France	Atelier d'experts sur les stations non analogues
Luca	Plozza	Amt für Wald und Naturgefahren GR	Atelier d'été GSM, Test forestier 4
Jakob	Poellath	Bundesamt für Naturschutz, Allemagne	Atelier international d'experts
Nenad	Potočić	Croatian Forest Research Institute	Atelier d'experts sur les stations non analogues
Stefan	Rechberger	Abteilung Natur und Landschaft ZH	Test forestier 3
Michael	Reinhard	OFEV	Test forestier 4
Reto	Rescalli	La Forêt, ForêtSuisse	Test forestier 2
Kaspar	Reutimann	Kaufmann + Bader GmbH, Soleure	Test forestier 3, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Corsin	Riatsch	Abteilung Natur und Landschaft ZH	Test forestier 1
Andrina	Rimle	Sezione forestale TI	Test forestier 4

Nom		Organisation	Manifestation
Peter	Rinderknecht	Forstamt TG	Test forestier 3
Andrey Mijancos	Rocio	Service des forêts et du paysage VS	Test forestier 6
Marc	Rod	Triage forestier Haute-Broye + Jorat VD	Test forestier 5
Hans	Romang	OFEV	Test forestier 1
Bruno	Röösli	OFEV	Test forestier 1
Samuele	Rosselli	Sezione forestale TI	Test forestier 4
Jean	Rosset	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Yvon	Rouiller	Triage forestier Martigny VS	Test forestier 6
Urs	Rutishauser	Zürcher Wald	Test forestier 3
Arthur	Sandri	OFEV	Atelier d'été GSM
Mélia	Saucy		Test pour forestiers en montagne
Hans Peter	Schaffer	Pro Natura	Test forestier 2
Samuel	Scheibler	Amt für Wald, Jagd und Fischerei SO	Test pour forestiers en plaine, Test forestiers 2 et 3
Bruno	Schmid	Kantonsforstamt SH	Test forestier 3
Peter	Schmid	Forstrevier Sissach BL	Test forestier 2
Ueli	Schmid	ETH Zürich	Atelier d'été GSM
Gabriela	Schmidt	Natur- und Vogelschutzverband BL	Test forestier 2
Adrian	Schmutz	OFEV	Test forestier 2
Manuela	Schmutz	Kaufmann + Bader GmbH, Soleure	Test forestiers 1, 3, 4, 5, 6
Manuel	Schnellmann	Amt für Wald, Jagd und Fischerei SO	Atelier d'été GSM
Jürg	Schneider	Office des forêts BE	Test pour forestiers en plaine
Olivier	Schneider	OFEV	Test pour forestiers en montagne
Reinhard	Schnidrig	OFEV	Test pour forestiers en montagne
Dominique	Schönbächler	Ingenieur für Wald und Umwelt, Selkingen	Test forestier 6
Antoine	Schüttel	Inspection cantonale des forêts VD	Test pour forestiers en montagne
Gerold	Schwager	Forstamt TG	Test forestier 3
Raphael	Schwitter	Centre de sylviculture de montagne	Atelier d'été GSM
Patrick	Sieber	DDC	Test forestier 2
Alois	Simon	Tirol Forstplanung, Autriche	Atelier international d'experts
Eric	Sonnay	Triage forestier Écoteaux VD	Test forestier 5
Ernst	Spahr	Amt für Wald BL/BS	Test forestier 2
Erwin	Städler	Abteilung Wald AG	Test pour forestiers en plaine
Peter	Steiger	Pulsatilla	Test forestiers 3 et 4
Holger	Stockhaus	Amt für Wald BL/BS	Test forestier 2
Sabine	Stöcklin	Amt für Umweltschutz und Energie BL	Test forestier 2

Nom		Organisation	Manifestation
Kathrin	Streit	WSL	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts, Test forestier préalable, Test pour forestiers en plaine, Test forestiers 1 et 3, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Heinz	Studer	Forstrevier Bipperamt Ost, Berne	Test forestier 2
Stefan	Studhalter	Abteilung Natur und Landschaft ZH	Test pour forestiers en plaine
René	Tanner	Pro Natura	Test forestier 5
Jean-Jacques	Thormann	HAFL	Atelier d'été GSM
Raphaela	Tinner	Amt für Wald und Wild ZG	Test pour forestiers en plaine
Marcus	Ulber	Pro Natura	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Test forestiers 1, 2, 3 et 6
Ulrich	Ulmer	Forstamt TG	Test forestier 3
Päivi	van Wijnkoop	Abenis AG, Coire	Atelier international d'experts, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Marco	Vanoni	Amt für Wald und Naturgefahren GR	Atelier d'été GSM
Maurizio	Veneziani	Forstdienst SG	Test pour forestiers en montagne
Patrick	von Däniken	Kaufmann + Bader GmbH, Soleure	Test pour forestiers en plaine, Test pour forestiers en montagne, Test forestiers 1 et 2
Martial	Vurlod	Triage forestier Forel VD	Test forestier 5
Manu	Wahlen	Inspection cantonale des forêts VD	Test forestier 5
Benjamin	Waibel	Pro Natura	Test forestier 2
Jürg	Walcher	Abteilung Wald und Naturgefahren GL	Atelier d'été GSM
Giorgio	Walther	OFEV	Atelier d'été GSM, Test forestier 4
Lorenz	Walthert	WSL	Atelier d'été GSM
Berchthold	Wasser	Naturdialog AG	Atelier d'été GSM
Regina	Weber	Industrie du Bois Suisse	Test forestiers 1 et 2
Theo	Weber	Amt für Wald und Naturgefahren SZ	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Willy	Werlen	Forst Goms	Atelier d'été GSM
Martin	Winkler	Amt für Wald und Wild ZG	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Thomas	Wirth	WWF Suisse	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts
Otmar	Wüest	CIC	Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Roland	Wüthrich	Amt für Forst und Jagd UR	Test pour forestiers en montagne
Andreas	Wyss	Forstrevier Riehen-Bettingen BS	Test forestier 2
Kevin	Zambaz	Patrick Epiney Sàrl, Vissoie	Test forestier 6
Thomas	Zanker	Forstbetrieb St. Martin, Autriche	Atelier d'été GSM
Anton	Zech	Forstabteilung Vorarlberg, Autriche	Atelier d'été GSM

Nom		Organisation	Manifestation
Philipp	Zehntner	Forstrevier Riedbach BL	Test forestier 2
Ludwig	Zgraggen	MétéoSuisse	Atelier d'experts sur les stations non analogues, Atelier international d'experts, Test forestier 4, Atelier des inspecteurs forestiers cantonaux
Martin	Ziegler	Amt für Wald und Wild ZG	Atelier d'été GSM, Test forestiers 1 et 3
Erica	Zimmermann	OFEV	Test forestier 2
Niklaus	Zimmermann	WSL	Atelier d'experts sur les stations non analogues
Thomas	Zumbrunnen	Inspection cantonale des forêts VD	Test pour forestiers en plaine, Test forestier 5
Nora	Zürcher	Gadola AG, Rabius	Test forestier préalable, Test forestiers 2–6, Atelier d'été GSM, Bilan intermédiaire tests forestiers 2016
Samuel	Zürcher	Centre de sylviculture de montagne	Rencontre d'information pour les groupes d'intérêts, Atelier d'été GSM