

Les chênes pubescents chassent-ils les pins sylvestres valaisans?

Andreas Rigling, Matthias Dobbertin, Matthias Bürgi, Urs Gimmi, Elisabeth Graf Pannatier, Felix Gugerli, Ursula Heiniger, Janina Polomski, Martine Rebetez, Daniel Rigling, Pascale Weber, Beat Wermelinger, Thomas Wohlgemuth

Le programme de recherche du WSL Dynamique de la forêt a permis d'analyser et d'expliquer en grande partie les raisons complexes du dépérissement des pins sylvestres et de la modification des essences observés depuis des dizaines d'années en Valais, même si certaines questions de recherche demandent encore à être éclaircies. Pour le praticien en découlent des indications et des conseils sur le traitement phytosanitaire et sylvicole en vue d'une garantie des fonctions forestières sur le long terme.

Dépérissement des pins sylvestres – rétrospective

La ceinture de pins sylvestres caractéristique de la vallée du Rhône valaisanne et de ses vallées latérales s'étend du fond de la vallée, à 450 m environ, jusqu'à près de 1500 m d'altitude et, dans certains domaines, jusqu'à la limite forestière. L'aire des pinèdes couvre 12 000 ha, soit 11% de la surface forestière. Ces forêts protègent contre les avalanches, les chutes de pierres et l'érosion, sont des espaces de détente pour la population, représentent un élément paysager important et sont l'habitat de plantes et animaux singuliers (RIGLING et CHERUBINI 1999; RIGLING *et al.* 2004). Déjà dès le début du 20^{ème} siècle, les peuplements de pins du Valais ont présenté des taux élevés de mortalité à de multiples reprises. Dans les années 1970 et 1980, des nécroses des aiguilles distinctement perceptibles sur les pins sylvestres (*Pinus sylvestris* L.) ont été mises en relation avec des immissions de fluor en provenance d'usines d'aluminium des environs proches (FLÜHLER *et al.* 1981). L'installation dans ces usines de systèmes de filtrage efficaces au début des années 1980 a permis de réduire considérablement les rejets de polluants, entraînant la disparition des dommages caractéristiques. Même si le lien causal avec les immissions fluorées était évident, d'autres facteurs de stress ont déjà été mentionnés à l'époque, telle la



Fig. 1. Chêne pubescent en pleine santé aux côtés de pins sylvestres morts.

Programme de recherche Dynamique de la forêt

Entre 2001 et 2006, le Programme s'est concentré, dans plusieurs régions de Suisse, sur les évolutions de la forêt pertinentes pour la société. Près de 80 personnes ont examiné au sein de plus de 40 projets les conséquences écologiques des influences environnementales sur l'évolution des forêts. Les résultats ont permis d'élaborer, au sein de dialogues interactifs avec les praticiens forestiers, des recommandations d'action scientifiquement fondées. Le thème des forêts de pins sylvestres est l'un des six thèmes centraux.

sécheresse. Au début des années 1990, les taux de mortalité ont recommencé à croître excessivement. A la demande des services forestiers locaux, le Service phytosanitaire d'observation et d'information (SPOI) du WSL a expertisé à différentes reprises les domaines forestiers concernés, et a maintes fois souligné les nuisances majeures causées par divers insectes ravageurs et plusieurs maladies. A certains endroits sont apparues d'autres essences à la place des pins sylvestres dépérissants, comme le chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd., Fig. 1) ou l'alisier blanc (*Sorbus aria* Crantz). Mais à d'autres endroits ne se trouvait sur place aucune essence de

substitution pour continuer à assurer les fonctions forestières. Cette évolution dramatique dans une partie des domaines (Fig. 2, 3) a incité l'Institut fédéral de recherches WSL, de concert avec le Service des forêts et du paysage du canton du Valais à lancer un projet de recherche exhaustif et interdisciplinaire. L'objectif était de comprendre pourquoi les pins dépérissaient à grande échelle. Des options d'action et des mesures de gestion devaient de plus être formulées.

Topographie

Un premier résultat important de l'analyse de la problématique fut la constatation que les phénomènes actuels de dépérissement, contrairement à la problématique précédente du fluor, n'apparaissaient plus seulement dans le Valais, mais aussi dans d'autres vallées sèches intraalpines de l'arc alpin, comme la région d'Innsbruck (SCHWANINGER 1998; CECH et PERNY 2000), de la Basse Autriche (TOMICZEK 1982; CECH et WIESINGER 1995), la Carinthie et le sud de la Styrie (PFISTER *et al.* 2001), le Vintschgau (MINERBI 1993, 1998) et la Vallée d'Aoste (VERTUI et TAGLIAFERRO 1996). Cette présence dans les Alpes rend d'une part peu plausible une cause locale, par exemple des immissions de polluants. D'autre part se pose la question des similitudes: on s'accorde en effet à considérer, dans toutes les ré-

gions, que c'est un ensemble complexe de facteurs qui déclenche ce phénomène de dépérissement.

Il s'agissait en premier lieu d'établir combien de pins sylvestres avaient péri dans le Valais, et dans quelles zones. Pour ce faire, de nouveaux relevés ont été effectués sur la composition en essences, la défoliation et la régénération sur les placettes du réseau de 1x1 km de l'Inventaire forestier national IFN où des relevés des années 1983–85 et 1993–95 étaient déjà disponibles. Les analyses ont clairement montré qu'au cours des 20 dernières années les taux de mortalité les plus élevés apparaissaient dans les zones les moins élevées, c'est-à-dire dans les vallées à moins de 1200 m d'altitude environ, et en particulier dans le Valais central, une région sèche (DOBBERTIN *et al.* 2005a). Tandis que dans les zones à une altitude plus élevée, la mortalité était comparable à la moyenne suisse pour le pin sylvestre, les valeurs pour les zones inférieures du Valais y étaient deux fois supérieures (Fig. 4).

Bilan: La mortalité du pin sylvestre en Valais atteint les valeurs maximales dans les zones situées à faible altitude. Dans les vallées sèches intraalpines, des taux de mortalité accrus peuvent également être observés chez cette essence.



Fig. 2. Forêt protectrice près de Stalden présentant un dépérissement du pin à grande échelle (1999).



Fig. 3. Pin mort infesté par le gui près de Brigue.

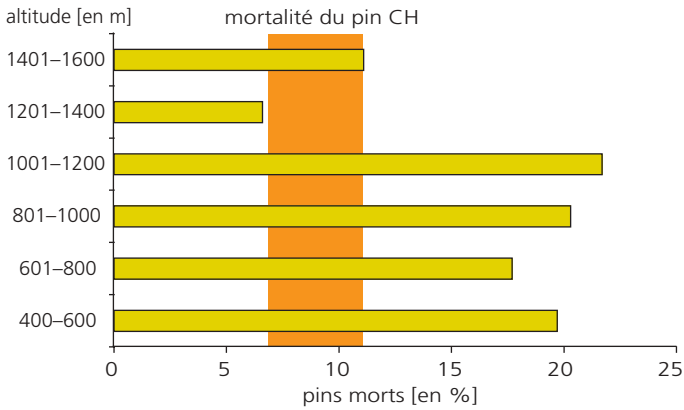


Fig. 4: Mortalité du pin en Valais comparée à celle en Suisse (1985 à 2004).

Génétique

Les pins sylvestres gris et rouges du Valais ont fait l'objet de descriptions dès les années 1940 (HESS 1942). Les pins à l'écorce de couleur grisâtre sont présents dans les zones inférieures à 1200m, donc dans les zones à mortalité accrue aujourd'hui. Les pins rouges typiques poussent dans les zones supérieures. S'ajoutant à des raisons purement écologiques pour ces deux formes, une différence génétique entre les pins des zones inférieures et supérieures est également possible; une différence génétique serait donc à l'origine du dépérissement des pins dans les populations des zones inférieures du Valais.

Dans les quatre régions de Brigue, Stalden, Salquenen et de Leytron, nous avons pour ce faire recherché des différences entre les zones inférieures et supérieures à l'aide de méthodes génétiques (FOURNIER *et al.*, sous presse). Nous avons choisi dans chacune des régions un peuplement dans la zone du fond de la vallée et un autre à l'altitude la plus élevée possible. Nous avons aussi testé en parallèle s'il était possible de distinguer à l'intérieur des peuplements les pins à l'apparence saine des pins malades et défoliés.

Les résultats ont démontré que les pins gris et rouges se distinguaient à peine sur le plan génétique. Nous expliquons cette faible différence par le fait que les populations des zones supérieures et inférieures ne fleurissent pas en même temps, et qu'aucun échange génétique majeur ne peut de ce fait avoir lieu entre ces peuplements. Les données génétiques n'ont apporté aucune explication sur la distinction entre les arbres sains et les arbres malades.

Toutefois, les résultats ne permettent pas de dire de façon définitive si les données génétiques jouent un rôle dans le

dépérissement des pins. Comme nous n'avons analysé qu'une très petite partie de l'ensemble du patrimoine génétique, il reste possible qu'en plus des influences environnementales, les facteurs génétiques participent au dépérissement variable des peuplements aux niveaux supérieurs et inférieurs.

Bilan: Les pins des zones supérieures et inférieures ne présentent que des différences génétiques mineures. Aucune distinction sur le plan génétique n'a pu être établie entre les pins sains et les pins malades.

Climat

Avec des précipitations annuelles comprises entre 500 et 1000 mm, le Valais central est la région la plus sèche de la Suisse. Les différences locales sont cependant très grandes: de l'ouest à l'est, les précipitations diminuent de façon significative dans la vallée du Rhône par

l'effet paravent des montagnes. De plus, le maximum des précipitations se déplace de l'été à l'hiver. Le stress hydrique estival imposé à la végétation s'accroît à l'est et atteint son impact maximal près de Viège. L'observation de l'évolution des cent dernières années ne permet pas de distinguer de diminution des précipitations ni d'augmentation marquée des périodes de sécheresse (REBETZ et DOBBERTIN 2004); en revanche, dans le Valais comme dans le reste de la Suisse, les températures ont fortement augmenté au cours de cette période (BEGERT *et al.* 2005). L'élévation rapide des températures estivales au cours des 20 dernières années est flagrante. Le nombre de journées chaudes aux températures moyennes de plus de 20 °C s'est accru de façon nette ces dernières années: Viège en recensait 22 en 1980 contre près de 40 actuellement, avec un record de 77 jours pour l'année 2003 célèbre pour sa canicule (Fig. 5).

L'augmentation des températures pendant les mois estivaux accentue l'évaporation et entraîne, en particulier les années sèches lorsque la quantité d'eau disponible est limitée, un stress hydrique accru des arbres (REBETZ et DOBBERTIN 2004). Sur la placette de Viège, où plus de 60% des pins sont morts depuis 1996, c'est après les étés les plus chauds et les plus secs (p. ex. 1998 et 2003) que la plus forte mortalité a été observée (DOBBERTIN *et al.* 2005a). Lorsque plusieurs années sèches se succèdent, les effets négatifs sont d'autant plus marqués (BIGLER *et al.* 2006 sous presse). Dans d'autres régions sèches d'Italie (Bozen, Veltlin),

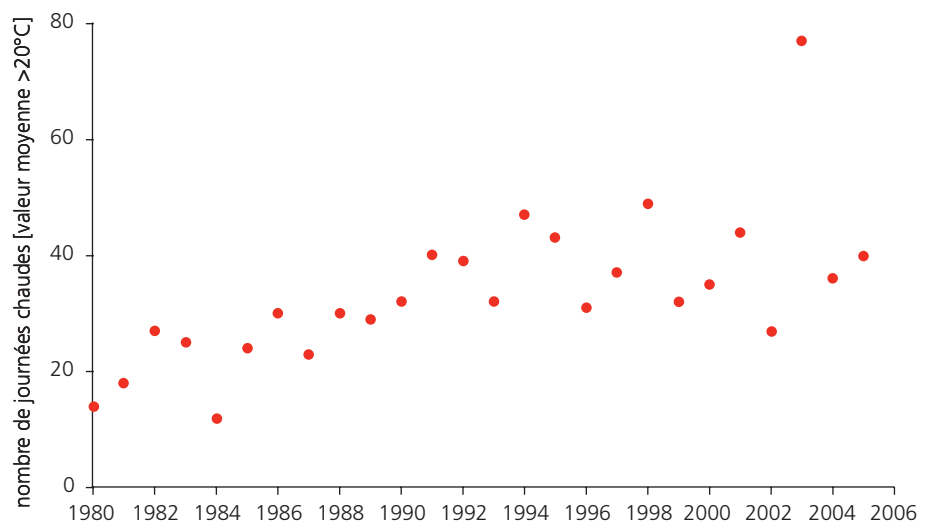


Fig. 5. Journées chaudes (température moyenne journalière supérieure à 20 °C) à Viège depuis 1980.

d'Autriche (vallée de l'Inn), d'Allemagne (domaine du Rhin et du Main) et de France (Sainte-Beaume) des pins ont également déperissé à grande échelle suite à l'année 2003 caractérisée par la sécheresse et la canicule.

De façon générale, les années sèches en Valais se traduisent par une chute accrue des aiguilles, et par des aiguilles et rameaux des pins de moindre longueur (DOBBERTIN et RIGLING, sous presse).

Les feuillus comme les alisiers blancs et les chênes pubescents ont certes moins de feuilles après des années de sécheresse, mais ils présentent un taux de mortalité nettement inférieur à celui des pins.

Les pins à la masse d'aiguilles réduite semblent plus exposés au stress, p. ex. à une attaque parallèle du gui (DOBBERTIN et RIGLING, sous presse) ou à une infection par des nématodes, des insectes ou des champignons du bleuissement.

Le chêne pubescent, essence subméditerranéenne, est, il est vrai, mieux adapté à la sécheresse. Les analyses de croissance démontrent toutefois qu'il est lui aussi menacé par les années de sécheresse extrêmes.

Bilan: Les températures estivales et hivernales, de même que le nombre de journées chaudes, ont fortement augmenté en Valais au cours des dernières décennies. Les précipitations sont toutefois demeurées constantes. Des étés chauds et secs affaiblissent les pins et entraînent un accroissement de leur mortalité.

Conditions édaphiques

L'eau du sol est un élément important de l'écosystème forestier. Elle sert à la transpiration foliaire des arbres et joue un rôle central dans l'ensemble des processus physiologiques de la plante. Le stress hydrique, qui résulte de la pénurie en eau, a donc des conséquences négatives sur la vitalité de l'arbre. Parmi les causes de la perte de vitalité, les stocks d'éléments nutritifs ne joueraient qu'un rôle mineur. BLASER *et al.* (2005) ont certes décrit des stocks déséquilibrés sur trois placettes aux alentours de Viège, Stalden et de Lens; des carences en substances nutritives n'ont toutefois été identifiées sur aucune de ces placettes. A cause de la sécheresse temporaire, les nutriments ne sont en revanche disponibles que de façon limi-

tée. Les valeurs estimées de la capacité de rétention d'eau s'avèrent élevées à Viège et à Lens, et faibles à Stalden. Malgré les caractéristiques favorables du sol à Viège et à Lens, le risque de stress hydrique est très grand sur les trois stations au vu des conditions climatiques données (BLASER *et al.* 2005).

Pour la placette de Viège, nous avons modélisé les volumes d'eau entre 1995 et 2004. L'hiver, le réservoir d'eau du sol ne se remplit souvent qu'en partie, et l'été les réserves d'eau sont fréquemment épuisées. Des mesures en continu de la teneur en eau à deux niveaux de profondeur (15, 40 cm) le confirment. L'été, la teneur en eau diminue nettement pendant les périodes de sécheresse. Tant qu'il n'y a pas de précipitations dignes de ce nom, la teneur en eau demeure à un niveau faible et constant jusqu'en hiver (Fig. 6); l'eau n'est plus disponible pour les plantes. De faibles quantités de précipitations (<10 mm par jour) s'évaporent très vite l'été et n'humidifient qu'à peine le sol (lignes B, Fig. 6). En présence de plus grandes quantités, l'eau ne s'infiltre que de façon superficielle tandis que les horizons inférieurs du sol restent secs (lignes A, Fig. 6). Ceux-ci n'assument que partiellement le rôle de fournisseur d'eau en période de sécheresse. Si le réservoir ne se remplit pas l'hiver à cause de précipitations inférieures à la moyenne, le stress hydrique apparaît plus tôt dans la période de végétation suivante.

Nous constatons ainsi que les arbres des placettes étudiées souffrent de stress hydrique pendant la période végétative, ce qui réduit la force de résistance vis-à-vis d'organismes pathogènes.

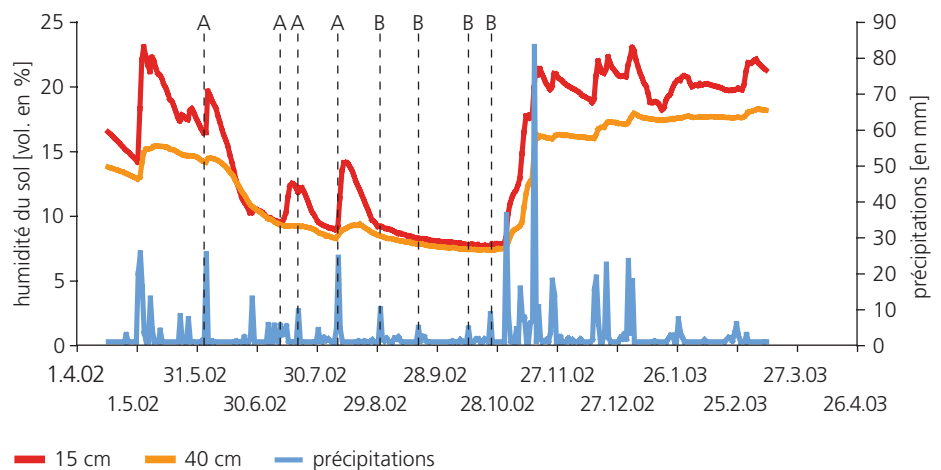


Fig. 6. Humidité du sol à Viège à 15 cm et 40 cm de profondeur, et précipitations (du 1.4.02 au 26.4.03) (données sur les précipitations: G. Schneiter, WSL). Lignes A et B: explication dans le texte.

Bilan: Les sols hautement perméables et pierreux renferment un risque élevé de stress dû à la sécheresse. De faibles quantités de précipitations s'évaporent l'été avant même de pouvoir s'infiltrer dans le sol. Le réservoir d'eau du sol se vide régulièrement et les plantes souffrent de stress hydrique. Les réserves d'eau ne se reconstituent pas systématiquement tous les hivers.

Infestation par le gui

Un élément important des pinèdes du Valais est le gui du pin (*Viscum album* ssp. *austriacum*, Fig. 7, 8). Le gui est un hémiparasite thermophile qui extrait eau et substances nutritives de l'arbre, réalisant lui-même la photosynthèse.

Pendant les années 2002/03, on a inventorié près de 1000 pins entre 450 et 1600 m d'altitude sur le réseau de 1x1 km de l'IFN pour y déterminer la présence du gui. Le parasite a été identifié sur presque 37% des pins et sur plus de la moitié des placettes (HILKER *et al.* 2005). La limite supérieure moyenne (50% des placettes avec des arbres colonisés) s'élevait alors à 1250 m d'altitude, la présence la plus marquée à 1490 m (Fig. 9). Suite à une enquête des services forestiers effectuée en 1910, la limite supérieure de répartition a été établie à près de 1000 m en Valais et la zone de présence maximale du gui du pin signalée à 1340 m (CoAZ 1918). Cette progression de plus de 200 m s'explique par l'augmentation parallèle des températures l'hiver de 1,6 °C (DOBBERTIN *et al.* 2005b), qui accentue la maturation des graines de gui l'hiver et facilite

leur dissémination par les oiseaux. La prolifération du gui a de même considérablement augmenté sur l'ensemble des placettes ces dernières années.

Pendant la sécheresse, le gui consomme nettement plus d'eau que le pin et accroît d'autant le stress ambiant. L'arbre hôte réagit en fermant les stomates, ce qui entraîne une chute précoce des aiguilles, et se traduit par des aiguilles plus courtes et un nombre inférieur de rameaux latéraux. Dans le cas de figure extrême, l'arbre meurt de façon prématurée. Sur la placette de Viège et le réseau IFN, les arbres victimes d'une forte attaque du gui sont morts deux à trois fois plus souvent que les arbres légèrement ou pas du tout colonisés (DOBBER-TIN et RIGLING, sous presse, Fig. 10). De surcroît, en particulier après des périodes de sécheresse, la transparence du houppier d'arbres victimes du gui s'est accentuée en très peu de temps. Une grave infestation par le gui affaiblit donc le pin et contribue à son dépérissement.

La production de cônes est elle aussi entravée par la prolifération du gui. Des études complémentaires sont nécessaires pour établir si l'infestation affecte également la faculté germinative des graines et menace à long terme de ce fait la régénération du pin.

Bilan: Le gui du pin est très fréquent en Valais. La limite altitudinale de sa répartition se déplace vers le haut parallèlement à l'augmentation des températures. L'attaque du gui entraîne une réduction de la masse des aiguilles et, en combinaison avec la sécheresse, une mortalité accrue des pins.



Fig. 7. Forte infestation par le gui près de Stalden.

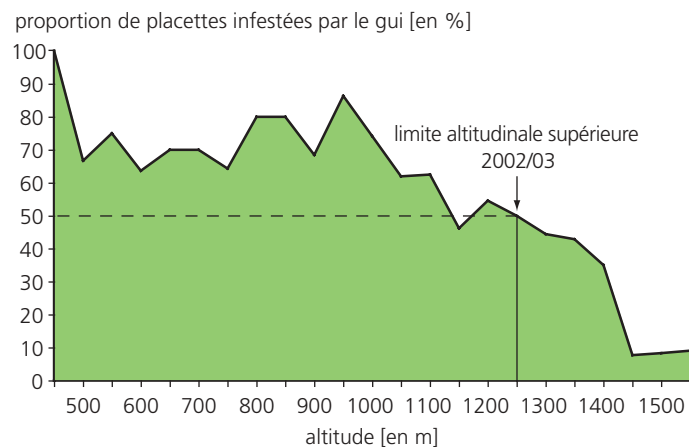


Fig. 9. Répartition de la présence du gui en fonction de l'altitude.



Fig. 8. Gui du pin.

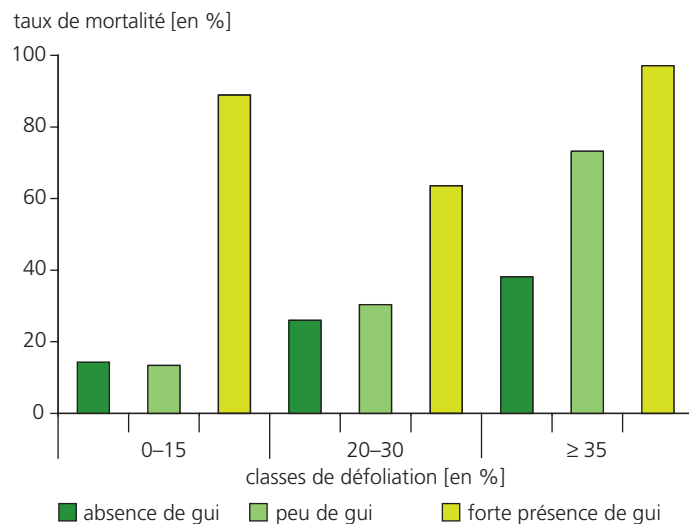


Fig. 10. Mortalité du pin en fonction du degré d'infestation par le gui et de la défoliation.

Maladies fongiques

Le pin sylvestre est victime de nombreuses maladies fongiques qui attaquent les racines, le tronc et les aiguilles, endommagent les arbres et peuvent même entraîner leur mort. Afin d'établir leur rôle dans le dépérissement des pins du Valais, nous avons étudié des pins porteurs de symptômes plus ou moins marqués d'une infestation fongique, d'un houppier légèrement défolié à un arbre fraîchement dépéri. Parmi les agents pathogènes les plus agressifs du pin sylvestre se trouvent l'armillaire (*Armillaria* spp.) et le fomes (*Heterobasidion annosum*) qui déclenchent tous deux un pourridié des racines. Aucun des pins sylvestres du Valais n'était cependant parasité par l'une de ces deux maladies racinaires. Les maladies des aiguilles et des pousses, en particulier *Cenangium ferruginosum*, sont certes présentes en Valais, mais elles n'ont été déterminées comme cause de la mort des pins qu'au niveau local.

La forte présence du bleuissement dans les arbres dépérissants attire particulièrement l'attention (Fig. 11). Ce bleuissement est provoqué par différents champignons qui colonisent l'aubier et dont le mycélium fongique coloré entraîne une coloration bleu-gris du bois. En Valais, les champignons du bleuissement apparaissent avant tout sur les pins fortement endommagés ou morts depuis peu; dans certains cas, des champignons du bleuissement ont toutefois été déjà découverts sur des arbres légèrement endommagés et pas encore teintés de bleu (Fig. 12). Même si la plupart des champignons du bleuissement

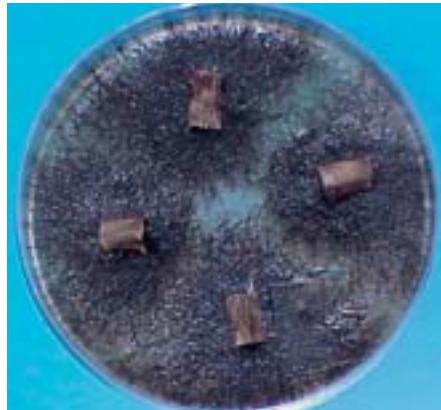
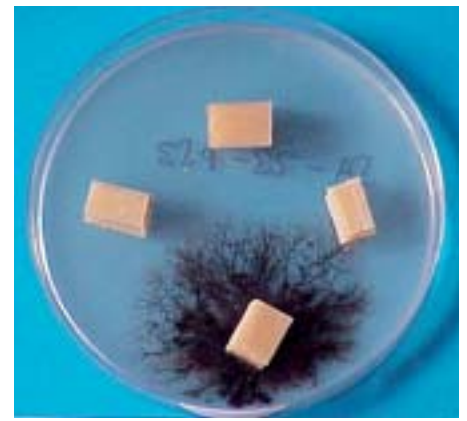


Fig. 11. Section de tronc infestée par un champignon du bleuissement (en haut à gauche), isolation des champignons du bleuissement en laboratoire (en bas à gauche), preuve de la présence de champignons du bleuissement malgré une infestation non visible de l'extérieur (en haut à droite).

sont qualifiés d'inoffensifs, on en recense des espèces très dangereuses en Amérique du Nord. Deux champignons du bleuissement ont été identifiés principalement dans le Valais: dans les racines se trouvait *Leptographium serpens*; dans le tronc et les branches *Ophiostoma minus* de façon prépondérante. Ces deux espèces sont considérées comme faiblement pathogènes. Les champignons du bleuissement accompagnent souvent des insectes arboricoles, et

sont transmis aux arbres lors des forages de maturation et de la ponte. *Ophiostoma minus* est par exemple connu pour son association avec l'hylésine du pin (*Tomicus piniperda*). Les champignons du bleuissement retrouvés représentent ainsi l'un des nombreux facteurs qui participent à l'affaiblissement général des arbres et qui favorisent probablement, en combinaison avec une attaque d'insectes et la sécheresse, le dépérissement des pins.

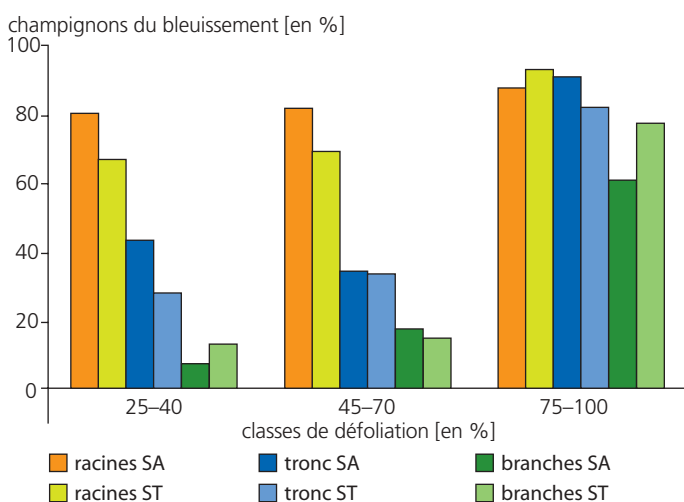


Fig. 12. Colonisation par des champignons du bleuissement des racines, du tronc et des branches en fonction de la défoliation (placettes de Salquenen = SA, Stalden = ST).

Bilan: L'armillaire et le fomes ne jouent aucun rôle dans la mort des pins. Les maladies des aiguilles et des pousses ne revêtent de même qu'une importance mineure. Deux champignons du bleuissement apparaissent au contraire fréquemment et sont soupçonnés de contribuer à l'affaiblissement général des pins.

Nématodes

Les nématodes du genre *Bursaphelenchus* sont des vers ronds longs de 1 mm environ, présents dans l'aubier de différentes espèces de pins. D'après les connaissances actuelles, tous les nématodes de l'aubier sont transportés sur les arbres par les insectes lors de la ponte ou du forage de maturation. Parmi les innombrables espèces appartenant à cet embranchement, seul le nématode du bois de pin (*Bursaphelenchus xylophilus*) a été l'objet de recherches intensives jusqu'à présent. Celui-ci, extrêmement dangereux pour diverses espèces de pins, attaque depuis des décennies les pinèdes du Japon et d'autres pays d'Asie (SCHÖNFELD *et al.* 2004). Il a été recensé pour la première fois en Europe (Portugal) en 1999.

La répartition des nématodes de l'aubier et le rôle qu'ils jouent dans le dépérissement des pinèdes ont été étudiés dans le cadre d'examens nématologiques effectués en Valais. Des échantillons de bois de 217 pins plus ou moins endommagés ont été examinés à la recherche de nématodes. Le dangereux nématode du bois de pin *B. xylophilus* n'a pas été identifié. Par contre, 40 % des pins fraîchement dépéris étaient colonisés par des nématodes du genre *Bursaphelenchus*. Aucun nématode de l'aubier n'a été retrouvé dans les arbres sains ou légèrement endommagés. Fait intéressant, tous les arbres colonisés par des nématodes étaient aussi infectés par des champignons du bleuissement.

L'espèce la plus fréquente parmi les cinq identifiées en Valais était *B. vallesianus* (75 % des espèces découvertes), suivi de *B. mucronatus* (20 %). Tandis que *B. mucronatus* était déjà connu en Europe, il s'agissait pour *B. vallesianus* (Fig. 13) d'une espèce de nématode nouvellement identifiée (BRAASCH *et al.* 2004).

Le caractère pathogène des deux espèces a été testé au moyen d'expériences d'inoculation de jeunes plants de pins en serre. Chez les plants soumis à des conditions d'irrigation optimales, les deux espèces de nématodes se sont avérées pathogènes et ont causé, en l'espace de deux mois, la mort des plants inoculés (Fig. 14). Les plants exposés au stress hydrique ont encore plus souffert de l'attaque des ravageurs.

Nos études démontrent que des nématodes de l'aubier à caractère pathogène sont présents dans les forêts de pins dépérissants du Valais, et que leur effet nuisible sur les plants est renforcé par la sécheresse. Il reste toutefois à clarifier si ces résultats peuvent s'appliquer à des pins ayant atteint leur taille adulte.

Bilan: L'agressif nématode du bois de pin (*B. xylophilus*) n'est pas encore apparu en Valais. En revanche, différents nématodes de l'aubier apparentés ont été identifiés, parfois en grand nombre. Lors des essais en laboratoire, ils ont causé le dépérissement des jeunes plants de pins, effet accentué par la sécheresse.

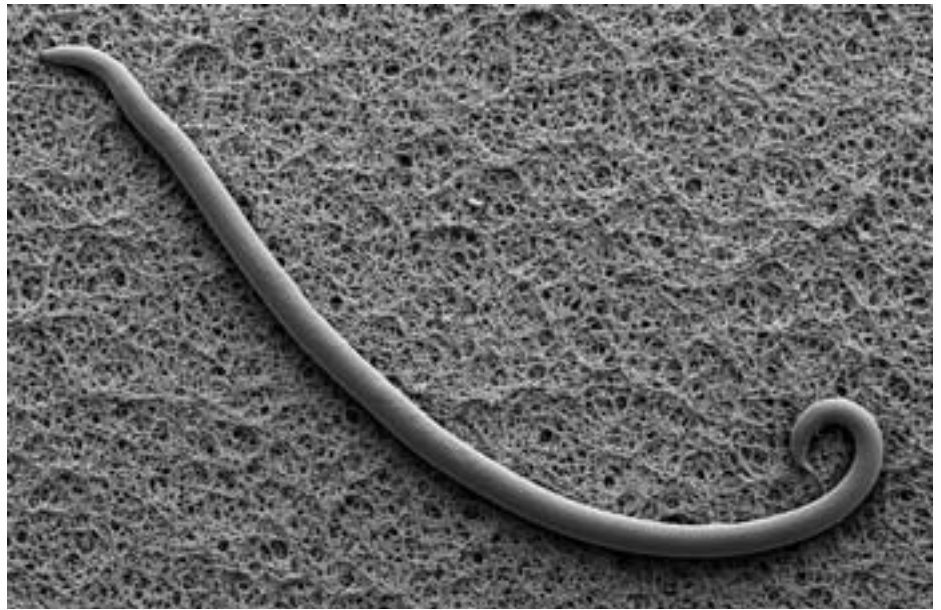


Fig. 13. Nématode (*B. vallesianus*) au microscope électronique à balayage (longueur, 1 mm environ).



Fig. 14. Expérience sur les nématodes sous serre: la plante à gauche a été infectée par les nématodes et dépérit, la plante à droite n'a pas subi de traitement.

Insectes

Différents insectes, ou leurs galeries, ont été retrouvés de façon récurrente dans les pins déjà morts. Afin de rechercher un lien causal éventuel entre le dépérissement des pins et l'attaque des insectes, nous avons abattu à Stalden et à Salquenen, entre 2001 et 2005, un total de 209 pins présentant différents degrés de défoliation. Des échantillons du tronc et des branches de chaque arbre ont été prélevés et, sur une partie du peuplement, des racines. Ces échantillons ont été placés dans des pièges à trous, ou *pièges d'émergence*, puis les insectes éclos ont été rassemblés et identifiés. Avec 5433 individus capturés représentant 37 espèces, les insectes saproxyliques ont particulièrement attiré l'attention. Ils provenaient d'arbres présentant différents degrés de défolia-



Fig. 15. En haut: le bupreste bleu du pin. Au milieu: le capricorne charpentier. En bas: le sirex.

tion. La majorité des insectes a toutefois éclos dans des arbres dont la perte d'aiguilles était supérieure à 65 % lors de la coupe.

Parmi les représentants les plus fréquents se trouvaient la vrillette molle (*Ernobius mollis*); le bupreste bleu du pin (*Phaenops cyanea*, Fig. 15); le capricorne charpentier (*Acanthocinus aedilis*, Fig. 15); le charançon du pin (*Pissodes piniphilus*); le scolyte acuminé (*Ips acuminatus*); *Orthotomicus longicollis*; l'hylésine mineur (*Tomicus minor*, également un scolyte) et le sirex (*Sirex noctilio*). Le bupreste, le scolyte et le sirex en sont les parasites potentiels les plus probables. Les profils d'attaque étaient fort diversifiés (Fig. 16). Le capricorne charpentier, par exemple, a uniquement colonisé les pins très affaiblis avec une perte d'aiguilles de 70 à 80 %. Il a fait fi des arbres peu défoliés tout comme des arbres pratiquement morts. Le comportement du scolyte *Orthotomicus longicollis* fut semblable. Le bupreste bleu du pin a au contraire infecté les pins avec une défoliation nettement inférieure à 50 %, mais il a aussi niché dans les arbres morts, néanmoins encore frais, avec une défoliation à 100 %. Le scolyte acuminé a présenté un comportement similaire. Le charançon du pin et le sirex furent fréquemment retrouvés sur des arbres au taux de défo-

liation compris entre 50 et 80 %. C'est exclusivement d'arbres très endommagés que des insectes ont éclos des racines, en particulier les espèces de scolytes *Hylastes* et le coléoptère *Spondylis buprestoides*.

Sur la courbe temporelle de la densité de l'attaque des espèces qualifiées de principales, un paroxysme est apparu en 2001, suivi d'un recul jusqu'en 2003, puis d'une nouvelle augmentation (Fig. 17). Celle-ci s'explique probablement par les conditions de chaleur et de sécheresse exceptionnelles de l'année 2003 qui ont considérablement affaibli les arbres hôtes et favorisé le développement des insectes.

Comme la majorité des insectes a été retrouvée sur des pins fortement défoliés et affaiblis, ils participent vraisemblablement au processus de dépérissement des arbres. Ces insectes ne semblent toutefois pas jouer de rôle primaire, causal – ils profitent seulement de l'offre abondante en arbres malades et dépérissants. Seul le bupreste bleu du pin, observé de façon accrue au cours des dernières années, ainsi que le scolyte acuminé, au vu de l'étendue de leur attaque, pourraient jouer un rôle spécifique au niveau local en tant que facteur prépondérant de dommage.

Différents insectes retrouvés sont aussi soupçonnés d'être des vecteurs de

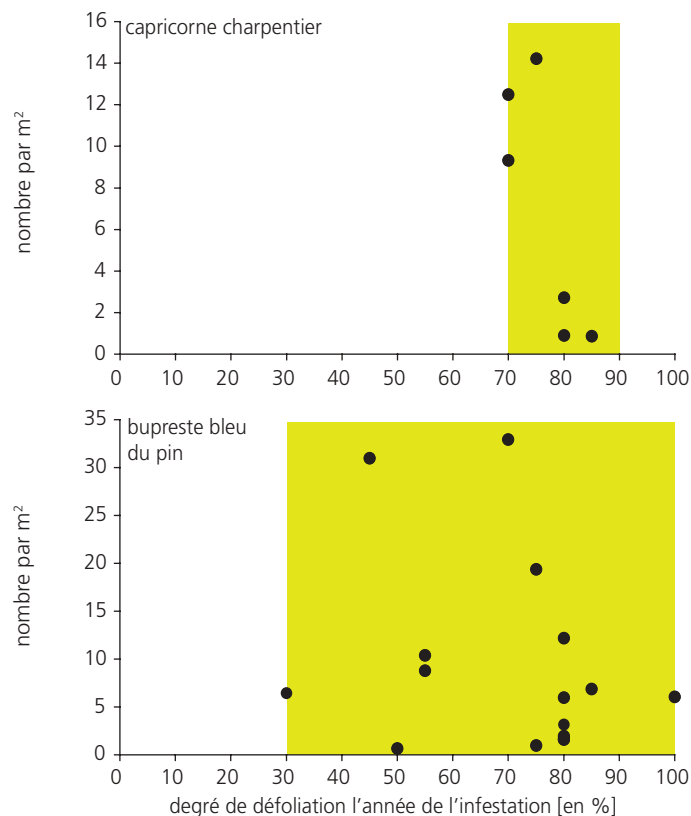


Fig. 16. Profil de l'attaque du capricorne charpentier et du bupreste bleu du pin.

maladies fongiques et de nématodes et rempliraient ainsi un rôle déterminant dans la dynamique de dépérissement des forêts de pins sylvestres.

Bilan: Bien que différents insectes participent à la mortalité des pins, la plupart ne peuvent être considérés comme un facteur causal. Seuls le bupreste bleu du pin et le scolyte acuminé revêtent un rôle au niveau local en tant qu'insectes ravageurs primaires.

Changement de composition en essences

L'analyse de la situation dans les forêts de pins sylvestres n'a pas seulement montré des différences régionales dans le phénomène de dépérissement, elle a aussi établi la progression de diverses espèces de feuillus, le chêne pubescent arrivant en tête de liste (LOCK *et al.* 2003; RIGLING *et al.* 2004).

La répétition de 130 relevés, certains vieux de 70 ans, a mis en évidence dans la moitié des inventaires un passage significatif du pin au chêne (HADORN 2003; KIENAST *et al.* 2004). Les paires de relevés, constituées chacune par l'ancien et le nouveau relevé, ont été classées en fonction de la composition du peuplement et du nombre d'années écoulées entre les deux inventaires. Le passage de peuplements purs de pins à des peuplements purs de chênes se déroule, selon les estimations, sur une période de 80 à 140 ans.



Fig. 18. Les pins sylvestres meurent, les chênes pubescents progressent près de Viège.

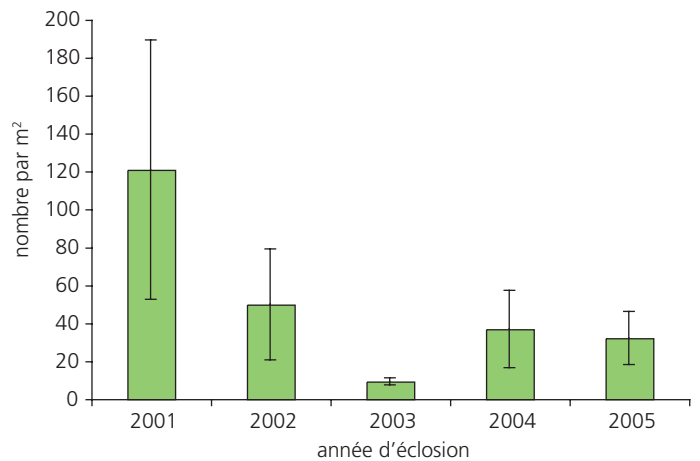


Fig. 17. Evolution temporelle de la densité de l'attaque entre 2001 et 2005.

Sur le réseau de 1x1 km de l'IFN, on a procédé à un inventaire des modifications de la composition des essences sur les 20 dernières années, que l'on a ensuite mis en corrélation avec le passage à la futaie et la mortalité des arbres individuels. Tandis que pour le pin sylvestre, on observait une diminution de 12,7 % de la surface terrière, les autres essences présentaient au contraire une augmentation de 4,7 %. A l'est de Sierre, le changement était encore plus marqué à moins de 1100 m d'altitude: la diminution de 23,5 % chez le pin sylvestre faisait face à une augmentation de 9,4 % chez les autres essences.

Les modifications des structures forestières dans la région de Viège ont été examinées au moyen de l'analyse de photos aériennes (TINNER 2004). Des photos de l'année 1977 ont été comparées à celles de l'année 1997. Les résultats montrent une domination crois-

sante exercée par le chêne pubescent (Fig 18). A moins de 1000 m d'altitude environ se trouvent aujourd'hui à large échelle des peuplements de chênes pubescents. Or, c'est d'autant plus surprenant qu'au début du 20^{ème} siècle, dans la région de Viège, la présence du chêne pubescent n'était signalée que sous forme de rares buissons stériles (CHRIST 1920). Le passage du pin au chêne pubescent en l'espace de 100 ans correspond à l'estimation temporelle mentionnée ci-dessus, fondée sur des relevés de végétation.

Bilan: La composition en essences a évolué dans de nombreux peuplements de pins sylvestres: le pin sylvestre présente des taux de mortalité élevés tandis que les feuillus gagnent du terrain, le chêne pubescent en tête de liste. Il est possible de clairement démontrer ce changement d'essences à l'aide d'anciens relevés de végétation, d'images aériennes et de données d'inventaire.

Concurrence dans le peuplement

La progression du chêne pubescent et d'autres feuillus dans les peuplements de pins accroît la pression de la concurrence pour le pin sylvestre. Le pin, espèce pionnière, est tributaire de beaucoup de lumière, dans la phase de régénération comme dans les phases de croissance ultérieures. Une offre de lumière amoindrie suite à l'apparition d'essences qui, à l'instar du chêne pubescent, poussent et survivent aussi dans la demi-ombre, peut ainsi donner lieu à un accroissement moindre, et dans le cas extrême, à la mort de pins

sylvestres. L'analyse des cernes a permis de mettre en évidence une diminution de l'accroissement annuel des pins sylvestres et, à l'opposé, une augmentation de l'accroissement des arbres voisins (WEBER 2005). Les effets de la concurrence sur la croissance sont apparus de façon particulièrement nette ces 10 dernières années. Ils se sont traduits, chez les pins concernés, par le dépérissement de certaines branches et, de ce fait, par la réduction des surfaces assimilatrices. Cette évolution peut s'expliquer par les différents besoins en lumière, les différentes tolérances à l'ombre des deux essences. De surcroît, les deux essences réagissent différemment face à la sécheresse, ce qui peut défavoriser davantage encore le pin sylvestre (EILMANN *et al.* 2006, WEBER 2006). Les années de sécheresse, le chêne pubescent présente en effet une plus forte croissance que le pin sylvestre. Dans les peuplements mixtes, la pression de la concurrence que subit le pin sylvestre va donc en s'accroissant. La concurrence interspécifique n'est certes pas l'effet déclencheur, elle est cependant une force motrice du changement d'essences en cours. De nombreux peuplements mixtes actuels, composés de pins sylvestres et de chênes pubescents, se transformeront à moyen terme en des peuplements de chênes pubescents.

Bilan: Le chêne pubescent et d'autres feuillus progressent de plus en plus dans les peuplements de pins sylvestres et concurrencent ainsi les pins tributaires de lumière. La sécheresse vient s'ajouter pour affaiblir encore plus la compétitivité du pin. A moyen terme, de nombreux peuplements mixtes rassemblant pins sylvestres et chênes pubescents se transformeront en des peuplements composés uniquement de chênes pubescents.

Régénération naturelle

L'évolution des forêts de pins sylvestres est non seulement influencée de façon prépondérante par les taux accrus de mortalité, mais aussi par la régénération des arbres. Par le passé, le service forestier local a signalé à multiples reprises des problèmes généraux de régénération du pin sylvestre, même si au niveau local, une régénération abondante peut être présente (Fig. 19). Les relevés de régénération effectués sur 201 points d'échan-



Fig. 19. Régénération abondante de pins sylvestres et de feuillus dans une clairière près de Salquenen.

tillon du réseau IFN de 1x1 km confirment cette estimation: on a déterminé des pins sylvestres dominants sur 153 placettes, 80 % ne comportaient cependant aucune régénération du pin. Sur 19 placettes d'échantillonnage présentant une strate supérieure de chênes, seules 5 (26 %) n'offraient pas de régénération du chêne. Celle du pin ne s'est effectuée que sur 3 des 35 placettes d'échantillonnage sans strate supérieure de pins (8 %). En revanche, on a très fréquemment retrouvé une régénération du chêne pubescent, plus précisément sur 79 % (53 points d'échantillonnage) des surfaces sans strate supérieure de chênes. Seuls 486 jeunes pins ont été dénombrés en tout, contre 2343 jeunes chênes. Cette situation est surprenante si l'on considère l'écologie de répartition des deux essences: l'essence pionnière qu'est le pin sylvestre, avec son nombre élevé de graines légères et facilement transportables par le vent, devrait avoir l'avantage dans la colonisation de nouveaux espaces sur le chêne pubescent qui, en comparaison, produit un nombre restreint de lourdes graines disséminées uniquement par les animaux. De plus, en Valais on recense 12 000 ha de forêts de pins sylvestres dont la majeure partie est productrice de graines, et relativement peu de peuplements semenciers de chênes pubescents, présents au niveau local.

La régénération du pin actuelle ne peut être qualifiée de durable sur la base de nos observations. La régénération du chêne pubescent devrait au contraire

continuer d'augmenter au cours des prochaines années car les arbres semenciers seront de plus en plus nombreux. Les circonstances devraient être propices à la répartition du chêne pubescent car le geai (*Garrulus glandarius*), principal disséminateur du chêne, a été beaucoup moins la cible des chasseurs ces dernières années. A moyen terme, les différences de régénération accéléreront probablement encore plus nettement le changement d'essences déjà observé.

La faible régénération du pin se concentre surtout à l'ouest de Loèche. Elle concerne toutes les altitudes étudiées, du fond de la vallée à 1600 m d'altitude. La régénération du chêne pubescent a



Fig. 20. Jeune chêne pubescent abrouiti par le gibier.

lieu à moins de 1000–1200 m d'altitude dans l'ensemble de la zone étudiée. On ne la trouve que de façon éparse à une altitude plus élevée.

La présence de la régénération peut s'expliquer de la façon suivante: plus la station est sèche, plus la couche d'humus est épaisse et la densité du peuplement grande, moins il y aura de régénération du pin et plus il y aura au contraire de régénération du chêne. Seuls l'abrutissement du gibier et le gel tardif peuvent la stopper (Fig. 20).

Comment améliorer les conditions de germination du pin? Des coupes de régénération de forme oblongue ont été exécutées à cet effet en 2003 sur les placettes de Brigue et de Vollèges pour permettre à plus de lumière d'atteindre le sol; une partie du sol brut a été alors mise à nu. Deux ans après ces interventions sylvicoles, aucune régénération du pin n'est encore perceptible. A eux seuls, le sol brut et la lumière ne suffisent pas encore pour introduire la régénération dans les pinèdes. Sont nécessaires une disponibilité en graines suffisante et un climat humide en période de germination à la fin de l'hiver et au printemps.

Bilan: Même si les forêts de pins sylvestres sont encore présentes à grande échelle, la régénération du pin est absente en maints endroits. On retrouve au contraire de jeunes chênes très fréquemment, y compris quand la strate supérieure est dépourvue d'arbres semenciers. La régénération du pin pâtit de la sécheresse, de l'épaisseur de la couche d'humus et de fortes densités de peuplements, tandis que le chêne pubescent les tolère beaucoup mieux.

Gestion forestière du passé

Nombre de forêts actuelles de pins sylvestres sont apparues suite aux dévastations à large échelle du 19^{ème} et du début du 20^{ème} siècle. L'industrie minière (Gantertal), les verreries (Saint-Prex) ou les fonderies (Ardon), mais aussi l'industrie ferroviaire, se sont caractérisées par un énorme besoin en bois. En vue de l'exportation vers le bassin lémanique, de larges surfaces ont de plus été déboisées que le pin sylvestre, essence pionnière, a ensuite pu coloniser.

Dans la partie historique du projet sur les pins sylvestres, les exploitations forestières traditionnelles ont été

reconstituées dans l'espace et le temps et quantifiées, autant que faire se peut. Cela permet une estimation relativement précise de l'influence des modifications historiques de gestion sur la dynamique des processus forestiers actuels dans les pinèdes valaisannes. On a donc procédé à l'examen d'anciens plans de foresterie et de documents écrits de l'administration forestière cantonale extraits des archives publiques valaisannes. D'autre part, des témoins de l'époque ayant eux-mêmes participé à ces exploitations ont été interrogés; des informations de première main ont ainsi pu être rassemblées.

Les études démontrent qu'en plus de l'exploitation du bois, les pâturages boisés et l'exploitation de la litière ont joué un rôle particulièrement important dans les pinèdes. Le bois d'affouage – bois mort et cônes – était quant à lui très prisé comme matériau de combustion. A l'échelle locale, on faisait bouillir des souches de pin pour obtenir de la résine. La récolte du gui était certes de moindre importance du point de vue écologique, mais au niveau historique et culturel, utile pour diverses applications médicales.

Pâturages boisés: Les pinèdes valaisannes étaient exploitées à grande échelle pour le petit bétail (chèvres et moutons) (Fig. 21). Tandis qu'en règle générale, les moutons pâturaient dans la forêt un mois au printemps et à l'automne, avant et après la saison alpine, la plupart des chèvres restaient pratiquement toute l'année dans la forêt. Après la Seconde Guerre mondiale, la population de chèvres a vite décliné. S'en est suivie à la fin des années 1950 la disparition quasi totale des pâturages boisés (Fig. 22).



Fig. 21. Pâturage de chèvres en forêt (vers 1920; extrait de SCHMID 1998)



Fig. 23. Exploitation de la litière en forêt (env. 1965, photo: A. Imboden, Zollikofen, extrait de KEMPF 1985).

population de chèvres dans le canton VS

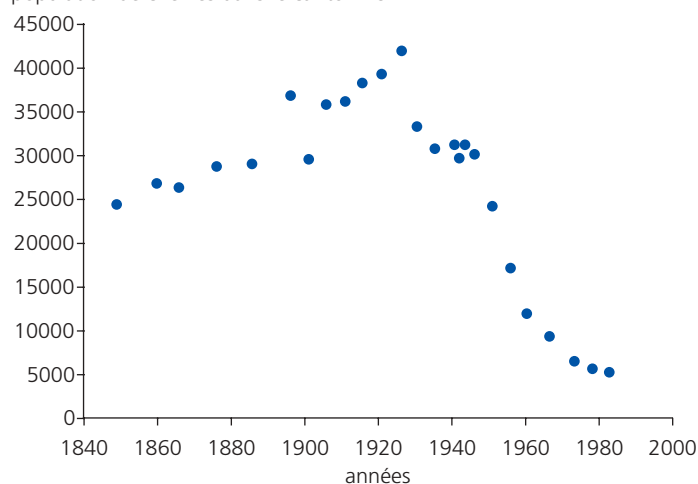


Fig. 22. Evolution de la population de chèvres dans le canton du Valais (RITZMANN-BLICKENS-DORFER 1996).

Exploitation de la litière: Certains jours secs d'automne, femmes et enfants équipés de râteliers en bois se rendaient dans la forêt pour récolter la litière forestière à des endroits précis. La couche de litière était ratissée, mais souvent aussi la couche supérieure du sol. Le matériau était soit transporté dans la grange, soit rassemblé en grands tas dans la forêt (Fig. 23). La litière forestière remplaçait la paille dans les étables. Son exploitation a rapidement perdu en importance après la Seconde Guerre mondiale, elle s'est toutefois maintenue à l'échelon local jusqu'aux années 1960.

Longtemps, les pâturages boisés et l'exploitation de la litière ont favorisé la régénération du pin. Le chêne pubescent a bien plus souffert de l'abrutissement par le bétail que le pin. L'exploitation de la litière a mis le sol brut à nu de façon répétée créant ainsi des conditions idéales d'ensemencement pour une espèce pionnière, le pin sylvestre. De surcroît, le ratissage a non seulement enlevé la couche de litière, mais aussi les glands et, de ce fait, amoindri le potentiel de régénération du chêne pubescent. De par l'abandon de ces exploitations dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, les conditions de germination du pin se sont détériorées tandis que les essences de feuillus ont pu s'épanouir de plus en plus, ce qui se reflète dans le changement d'essences observé.

Bilan: Les exploitations forestières traditionnelles, comme les pâturages boisés et l'exploitation de la litière pratiqués sur des siècles, ont créé des conditions favorables au pin sylvestre (sol brut, piétinement par le bétail), et, pour le chêne pubescent, des conditions défavorables d'ensemencement et de rajeunissement (abrutissement). Ces exploitations ont été abandonnées et les conditions de régénération évoluent à l'avantage du chêne pubescent, mais au détriment du pin sylvestre.

Synthèse: Mortalité du pin

Nous trouvons dans les ouvrages de référence nombre de concepts divers sur la dynamique du dépérissement de certains arbres ou de peuplements forestiers dans leur totalité. Malgré les nombreuses différences, les théories sur le dépérissement s'accordent toutes sur

un point: il est extrêmement rare qu'un unique facteur soit tenu responsable du dépérissement. Elles partent au contraire du principe que différents facteurs de stress biotiques et abiotiques y participent en règle générale. Nous souhaitons par la suite nous appuyer sur le concept de MANION (1981) qui distingue les facteurs précurseurs (*predisposing*), déclencheurs (*inciting*) et finaux (*contributing*). La combinaison de ces facteurs et l'interaction qui en résulte entraînent la mort précoce de l'arbre (Fig. 24).

Dans les pinèdes valaisannes, les facteurs précurseurs à noter sont le vieillissement de l'arbre, la concurrence croissante au sein du peuplement, la forte infestation par le gui, la sécheresse aux effets généraux, ainsi que les forages de maturation réguliers des insectes comme l'hylésine du pin. Lors du forage de maturation, des champignons pathogènes et des nématodes peuvent de plus contaminer l'arbre. Ces facteurs combinés fragilisent l'arbre sur des années, voire des décennies; ils réduisent sa résistance par rapport aux facteurs de stress déclencheurs - périodes de sécheresse par exemple, attaques d'insectes comme le bupreste du pin, les scolytes, les nématodes, ou d'agressifs champignons du bleuissement - dont l'effet est à court terme. Ces facteurs déclencheurs entravent les processus physiologiques de l'arbre et amenuisent sa capacité de résistance vis-à-vis d'autres insectes et champignons pathogènes. La somme des facteurs précurseurs

et déclencheurs détermine la capacité de résistance (vitalité) de l'arbre. Si celui-ci est déjà très affaibli, un facteur de stress final relativement faible suffira à causer sa mort. De tels facteurs finaux sont des insectes ravageurs secondaires comme l'hylésine du pin, le charançon ou le sirex, des champignons pathogènes telles les maladies des aiguilles et des pousses, des nématodes, une infestation aiguë par le gui ou d'autres facteurs climatiques comme le gel.

La combinaison des facteurs varie selon le peuplement forestier et est soumise aux conditions environnementales en perpétuel changement.

Bilan: L'observation modélisée de la dynamique du dépérissement des pins repose sur une classification des facteurs d'affaiblissement de la vitalité en facteurs de stress précurseurs, déclencheurs et finaux. La somme des facteurs précurseurs et déclencheurs détermine la capacité de résistance de l'arbre. En fonction de la capacité de résistance du pin, un facteur final relativement faible peut causer sa mort. En fin de compte, c'est donc la combinaison des facteurs qui définit si le pin sylvestre meurt et quand.

Synthèse: Régénération

En vue d'une régénération efficace de l'arbre, différents critères spécifiques à l'essence doivent être remplis. Dans la figure 25, six facteurs pertinents sont représentés sous forme d'axes: le point

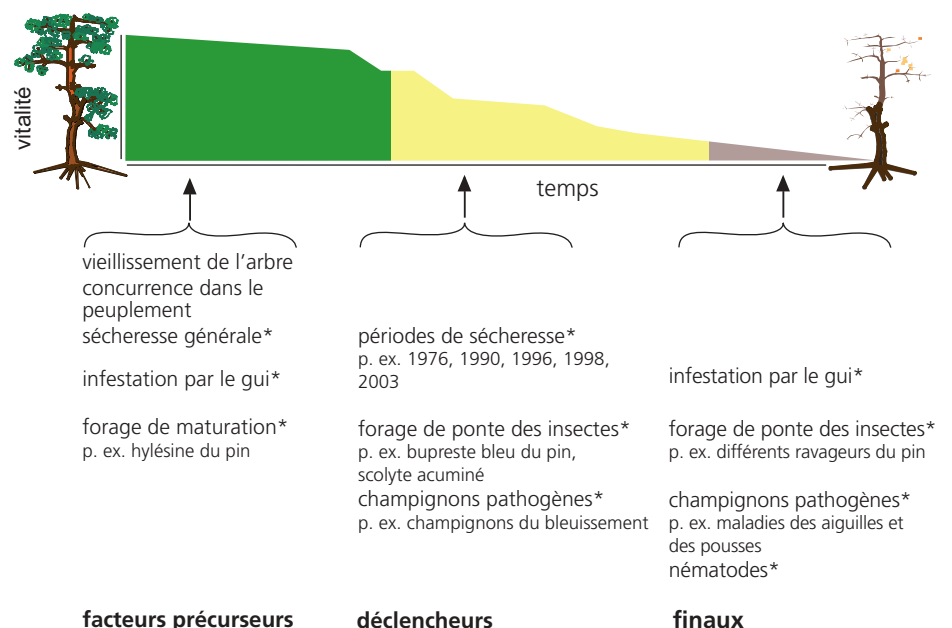


Fig. 24. Facteurs du dépérissement des pins (les facteurs accompagnés d'un * sont influencés directement ou indirectement par les modifications du climat).

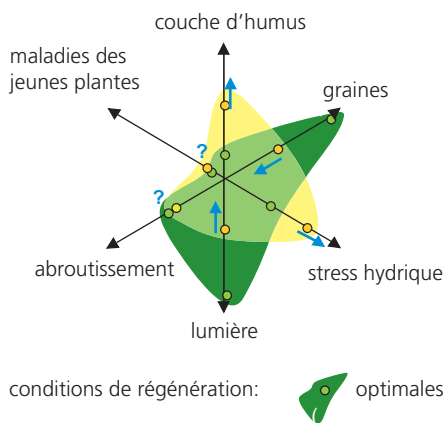
de rencontre des axes figure le point zéro pour les valeurs des facteurs. La surface verte symbolise les conditions optimales de régénération, tandis que la jaune reflète la situation actuelle en Valais. Les petites flèches bleues indiquent la direction que devrait emprunter la régénération dans le proche futur. Plus la distance entre les couples de points verts et jaunes est grande, plus la situation de la régénération doit être évaluée d'un oeil critique. Chez le pin sylvestre, tous les critères, excepté les maladies des jeunes plants et l'abroustissement, doivent être classifiés comme critiques, avec une tendance à la dégradation. Chez le chêne pubescent au contraire, la situation actuelle, mis à part l'abroustissement, est quasiment optimale et la tendance est à l'amélioration. L'évolution de l'exploitation des forêts et le changement continu des essences donnent une couche d'humus plus épaisse et une obscurité croissante. Par rapport au chêne pubescent, cette tendance désavantage le pin tributaire de lumière et caractérisé par sa germination dans le sol brut. La disponibilité en graines pour le pin sylvestre est amoindrie en raison de la forte présence du gui. Celle pour le chêne pubescent devrait continuer de s'améliorer au vu de l'abandon de l'exploitation de la litière et du nombre croissant d'arbres semenciers. La régénération du pin sylvestre est plus sensible à la sécheresse que celle du chêne pubescent. Des températures à la hausse et des périodes de sécheresse peuvent toutefois aussi limiter à l'avenir la régénération du chêne pubescent (Fig. 25).

Bilan: La tendance actuelle de régénération du pin sylvestre en Valais doit être qualifiée de critique et elle est à la dégradation. Pour le chêne pubescent au contraire, la situation actuelle peut être définie comme fort bonne; elle devrait même s'améliorer à l'avenir.

Propositions pour l'exploitation des forêts

Les processus de dynamique forestière décrits ici sont, pour la majeure partie, des processus naturels de régulation de successions fortement influencées par l'homme – par conséquent une évolution naturelle des pinèdes pionnières en forêts climaciques de chênes pubescents.

Pin sylvestre



Chêne pubescent

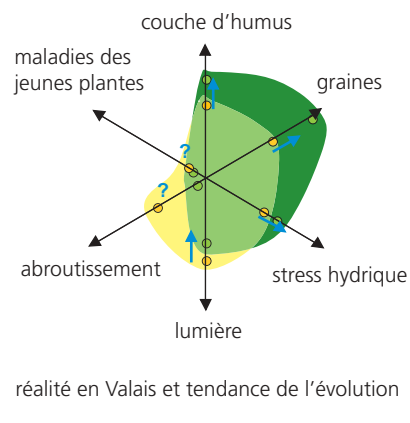


Fig. 25. Analyse de la situation de la régénération du pin et du chêne pubescent.

Mais le Valais est une vallée de montagne densément peuplée dont les quelque 275 000 habitants ont des exigences spécifiques et justifiées vis-à-vis de leur habitat, et plus précisément de la forêt: celle-ci est synonyme de protection contre les dangers naturels, d'habitat pour les plantes et les animaux, de même qu'elle est vue comme espace de détente pour la population et les touristes. Pour remplir ces fonctions de façon durable, diverses mesures sont envisageables – elles définissent la marge de manoeuvre.

Mesures phytosanitaires:

La dynamique du dépérissement des pinèdes (Fig. 24) ne peut être influencée directement que de façon limitée. Les éclaircies peuvent certes dédramatiser temporairement la situation concurrentielle, mais elles ne sont pas durables et coûtent très cher à long terme.

La dynamique des insectes, des champignons pathogènes, des nématodes et du gui est difficile à contrôler.

Retirer les pins infestés:

En reconnaissant et en enlevant les arbres atteints très tôt, on peut réduire le nombre d'organismes nuisibles. La plupart du temps, les arbres infestés sont toutefois détectés tard et souvent difficiles d'accès. De plus, le moment opportun pour retirer les arbres varie selon l'organisme nuisible. Cette mesure peut avoir néanmoins des effets positifs lorsqu'un organisme est massivement présent au niveau local.

Arbres pièges à insectes:

D'immenses quantités d'arbres pièges seraient nécessaires pour concurrencer les nombreux pins affaiblis, attractifs

pour les insectes. Le travail de suivi est de plus très coûteux car il faut régulièrement contrôler les troncs disposés pour attirer les insectes et, le cas échéant, les écorcer de suite et les détruire. Enlever trop tard les arbres infestés ou, de façon générale, les arbres morts, signifie gêner les ennemis naturels des insectes nuisibles, qui prennent leur envol par la suite, et nombre d'autres habitants du bois.

Retirer les arbres infestés par le gui:

Il est possible d'abattre les pins fortement infestés par le gui, en particulier dans la zone de contact avec des peuplements moins touchés, et de ralentir peut-être ainsi la propagation du gui. Ces mesures sont très onéreuses et leur efficacité n'est pas prouvée. Elles ne sont donc pas conseillées.

Mesures sylvicoles:

Il existe en revanche différentes possibilités pour réguler le mélange des essences et la structure du peuplement et, de ce fait, garantir indirectement que les fonctions des forêts protectrices de pins seront bien remplies. Intacte, une forêt mélangée de feuillus ou une forêt de chênes pubescents peut sans problème remplir les mêmes fonctions protectrices qu'une pinède. Nous supposons même qu'un peuplement de chênes pubescents riche en buissons et bien structuré, composé essentiellement de rejets de souches, peut offrir une protection nettement meilleure que celle d'un peuplement de pins (Fig. 26). Il reste à définir dans quelle mesure la fonction de détente, ou par exemple de biodiversité, est assurée par des forêts mélangées de feuillus.

Un point critique consiste toutefois dans la garantie durable, sans temps mort, de la protection lorsque les pins meurent et que les essences de substitution n'ont pas encore pris le relais.

Sont également critiques les pinèdes étendues, uniformes et souvent régulières, apparues à la suite de catastrophes à grande échelle ou d'exploitations intensives, comme la forêt de Glis, près de Brigue, ou le bois supérieur de Finges, près de Loèche. Ces forêts, par leur lar-

ge étendue et leur structure homogène, fournissent des conditions optimales au développement d'organismes nuisibles et ne peuvent donc pas garantir la fonction protectrice sur le long terme.

La règle veut qu'en sylviculture, la prise de décisions et la gestion (Fig. 27) soient soumises au principe de répartition des risques. Dans le cas des pinèdes, cela signifie que des peuplements mélangés **bien structurés et irréguliers** présentent le risque le plus faible

d'effondrement à grande échelle. Cela vaut également pour des peuplements en altitude (à plus de 1200 m environ), encore stables à l'heure actuelle (1er cas de figure). On peut toutefois redouter qu'au fil des modifications climatiques ultérieures, ces peuplements deviennent eux aussi instables.

Il est nécessaire d'agir sans plus tarder dans les peuplements de pins à moindre altitude: si des essences de substitution sont sur place, il faut les encourager de façon conséquente et favoriser la régénération en place (cas de figure 2 et 4).

En l'absence d'essences de substitution (cas de figure 3 et 5), il est nécessaire de diversifier la structure des âges et du peuplement dès le stade du fourré et du perchis. Des coupes de régénération de diverses tailles et des scarifications du sol doivent alors être effectuées à intervalles spatiaux et temporels irréguliers. Des semencements et des plantations sont également à considérer afin de favoriser le mélange d'arbres et d'arbrisseaux souhaité. Dans des peuplements assurant une fonction protectrice spécifique, il convient d'inclure de façon temporaire des mesures protectrices techniques adaptées à la situation (cas de figure 5).

L'état de santé des arbres dominants ainsi que la fonction protectrice déterminent l'urgence d'une intervention proactive: dans des peuplements critiques à mortalité élevée et aux arbres affaiblis, il faut agir tout de suite (cas de figure 4 et 5).

Si une grande quantité de bois mort apparaît suite à des interventions sylvicoles, le risque de pullulation excessive d'insectes et de feux de forêt peut augmenter à court terme. Sur le long terme, les interventions sylvicoles proposées devraient remédier à la situation dans les pinèdes.

Les **ensemencements et les plantations** ne devraient avoir lieu qu'en automne. La phase critique de la germination et de l'enracinement correspond ainsi, en Valais, à la période climatique propice des mois pluvieux d'automne et d'hiver. Lorsqu'au printemps et au début de l'été le climat sec et chaud fait son apparition, le plant a déjà ses racines profondément ancrées dans le sol, ce qui accroît considérablement ses chances de survie.

A cause de la **fragilité vis-à-vis de l'abroustissement** des feuillus et des arbrisseaux, il ne faut pas perdre de vue



Fig. 26. Rejet de souche du chêne et fonction protectrice contre les chutes de pierres.

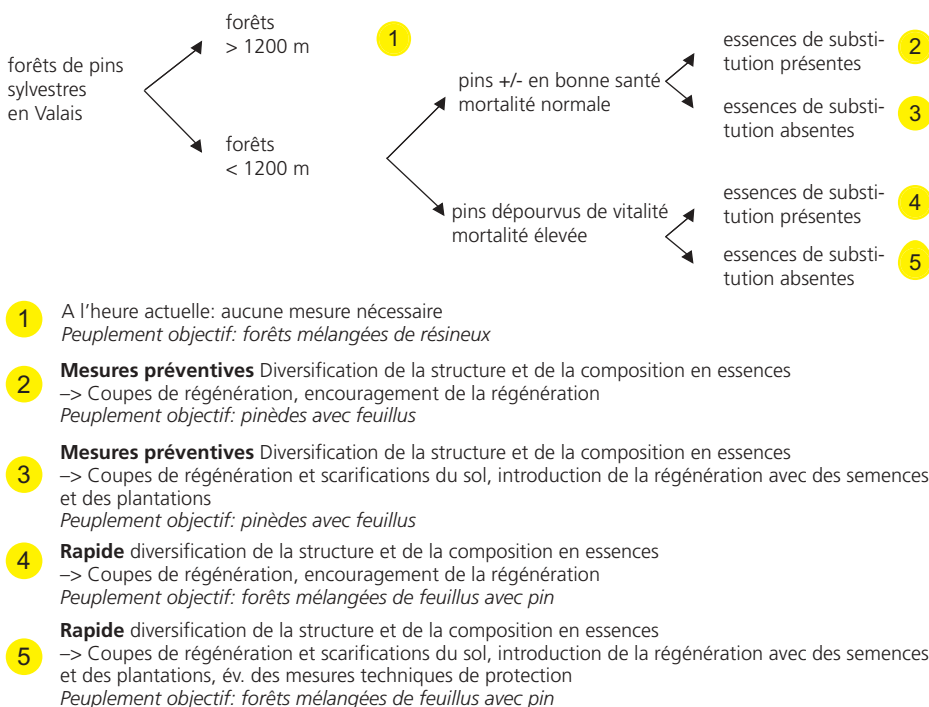


Fig. 27. Interventions sylvicoles proactives: arbre de décisions et mesures.

les dégâts causés par le gibier. Comme le montrent nos résultats, les feuillus se propagent en Valais malgré un abrutissement du gibier parfois très important, ce qui indique que les atteintes de l'abrutissement sont dans l'ensemble tolérables. Dans les domaines forestiers critiques où la conversion en forêts de feuillus a dû rapidement être effectuée pour des raisons de sécurité, des mesures de protection contre le gibier doivent être envisagées.

L'objectif de ces mesures modificatrices de structures ne peut être la transformation complète de forêts de pins sylvestres en des forêts de chênes pubescents. Le pin sylvestre doit également, dans un mélange et une proportion appropriés, jouer à l'avenir un rôle prépondérant en Valais (Fig. 27).

À l'heure actuelle, on ne remarque certes pas de mortalité excessive chez le chêne pubescent et ses peuplements peuvent être qualifiés de stables. Cela ne doit pas faire oublier que chez lui également, le risque de pullulation démesurée d'organismes nuisibles augmentera si les peuplements purs s'étendent à grande échelle. Les analyses de croissance démontrent, quant à elles, que le chêne pubescent souffre lui aussi des années de sécheresse extrême. Dans un environnement en perpétuel changement, on peut donc craindre que d'autres espèces, comme le pin sylvestre, aient de plus en plus de mal à s'adapter.

Evolution future des forêts de pins sylvestres

Les pronostics sur l'évolution du climat couvrent une large palette. De façon générale, toute augmentation supplémentaire des températures, en particulier l'été, affaiblira les pins des zones inférieures et renforcera certains organismes nuisibles potentiels. Sont attendus une augmentation des précipitations hivernales et un recul des précipitations estivales, ce qui devrait continuer de fragiliser le pin, et entraver sa régénération. La ceinture de pins sylvestres devrait se déplacer vers des altitudes plus élevées. Dans les zones de vallées, le chêne pubescent va s'affirmer et s'imposer dans un premier temps. Si la sécheresse s'accroît, il souffrira lui aussi. L'apparition de steppes serait alors un scénario envisageable.

Pistes de recherche:

Les facteurs qui entraînent la mort des forêts de pins sylvestres et une vaste modification des essences ont pu être mis à jour de façon générale. Cependant, certaines relations essentielles n'ont pas encore été éclaircies et certaines questions de recherche attendent toujours une réponse:

Quels vecteurs permettent à divers champignons pathogènes (champignons du bleuissement en part.) et nématodes de se propager? Quelles sont les interactions entre les organismes pathogènes et leurs ennemis naturels? Quel est l'effet des nématodes sur les pins adultes? Les arbres très affaiblis, présentant une grande perte d'aiguilles, peuvent-ils encore se rétablir avec un meilleur approvisionnement en eau? Quels mécanismes physiologiques sont responsables des différents degrés de tolérance, ou au contraire de fragilité, des différentes espèces de plantes vis-à-vis de la sécheresse? Quel est l'effet des interventions d'éclaircie sur la vitalité des arbres individuels et sur la régénération?

Bibliographie

- BLASER, P.; ZIMMERMANN, S.; LUSTER, J.; WALTHERT, L.; LÜSCHER, P., 2005: Waldböden der Schweiz. Band 2. Regionen Alpen und Alpensüdseiten. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bern, Hep Verlag. 920 S.
- BEGERT, M.; SCHLEGEL, T.; KIRCHHOFER, W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *Int. J. Climatol.* 25: 65–80.
- BIGLER, C.; BRAEKER, O.U.; BUGMANN, H.; DOBBERTIN, M.; RIGLING, A.: Drought as inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* (sous presse).
- BRAASCH, H.; SCHÖNFELD, U.; POLOMSKI, J.; BURGERMEISTER, W., 2004: *Bursaphelenchus vallesianus* sp. n. – a new species of the *Bursaphelenchus sexdentati* group (Nematoda: Parasitaphelenchidae). - *Nematol. mediterr.* 32: 71–79.
- CECH, T.L.; PERNY, B., 2000: Kiefernsterben in Tirol. *Forstschutz-aktuell Wien*, 22: 12–15.
- CECH, T.L.; WIESINGER, R., 1995: Kiefernsterben in Niederösterreich. In: NEUMANN, M. (Ed.) *Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem*. *Ber. Forstl. Bundesvers.anst. Wien*, A: 159–165.
- CHRIST, H., 1920: Die Visp-Taler Föhrenregion im Wallis. *Bull. Murithienne* XL: 1–87.
- COAZ, J., 1918: Über die Verbreitung der Mistel (*Viscum album* L.) in der Schweiz. *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft* 16:138–195.
- DOBBERTIN, M.; MAYER, P.; WOHLGEMUTH, T.; FELDMAYER-CHRISTE, E.; GRAF, U.; ZIMMERMANN, N.; RIGLING, A., 2005a: The decline of *Pinus sylvestris* L. forests in the Swiss Rhone Valley – a result of drought stress? *Phyton* 45, 4: 153–156.
- DOBBERTIN, M.; HILKER, N.; REBETZ, M.; ZIMMERMANN, N.E.; WOHLGEMUTH, T.; RIGLING, A., 2005b: The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland – the result of climate warming? *J. Biometeorol.* 50: 40–47.
- DOBBERTIN, M.; RIGLING, A.: Pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) contributes to Scots pine (*Pinus sylvestris*) mortality in the Rhone valley of Switzerland. *For. Pathol.* (sous presse).
- EILMANN, B.; WEBER, P.; RIGLING, A.; ECKSTEIN, D., 2006: The influence of drought on the wood structure of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. in Valais, Switzerland. *Den-drochronologia* 23:121–132.
- FLÜHLER, H.; KELLER, T.; SCHWAGER, H., 1981: Die Immissionsbelastung der Föhrenwälder im Walliser Rhonetal. In: *Waldschäden im Walliser Rhonetal* (Schweiz). *Eidg. Anst. Forstl. Versuchs.wes., Birmensdorf, Mitt.* 57, 4: 361–499.
- FOURNIER, N.; RIGLING, A.; DOBBERTIN, M.; GUGERLI, F., 2006: Faible différenciation génétique, à partir d'amplification aléatoire d'ADN polymorphe (RAPD), entre les types de pin sylvestre d'altitude et de plaine (*Pinus sylvestris* L.) dans les Alpes à climat continental. *Ann. Sci. For.* (sous presse).
- HADORN, S., 2003: Föhrenrückgang im Wallis: Sukzessionsanalyse und GIS-gestützte Modellierung des räumlichen Auftretens. *Diplomarbeit UNI Bern*.
- HESS, E., 1942: Die autochthonen Föhrenrassen des Wallis, Schweiz. *Z. Forstwes.* 93: 1–14.
- HILKER, N., 2004: Änderung der pflanzengeographischen Verbreitung der Föhrenmistel (*Viscum album* L. ssp. *austriacum*) im Kanton Wallis: ein Klimasignal? *Diplomarbeit Universität Zürich*.
- HILKER, N.; RIGLING, A.; DOBBERTIN, M., 2005: Ist der Verbreitungsanstieg der Mistel im Wallis durch die Klimaerwärmung verursacht? *Wald Holz* 3: 39–42.
- KEMPF, A., 1985: Waldveränderungen als Kulturlandschaftswandel – Walliser Rhonetal. Fallstudien zur Persistenz und Dynamik des Waldes zwischen Brig und Martigny seit 1873. *Basler Beiträge zur Geographie* 31: 262 pp.
- KIENAST, F.; HADORN, S.; SCHÜTZ, M., 2004: Werden Walliser Föhrenwälder zu Eichenwäldern? Eine pflanzensoziologische Studie mit historischen Aufnahmen. *Inf.bl. Forsch.bereich Landsch.* 59: 1–3.
- LOCK, S.; PAHLMANN, S.; WEBER, P.; RIGLING, A., 2003: Nach Stalden kehrt die Flaumeiche zurück. *Wald Holz* 9: 29–33.
- MANION, P.D., 1981. *Tree disease concepts*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice-Hall. 409 p.
- MINERBI, S., 1993: Wie gesund sind unsere Wälder? 10. Bericht über den Zustand der Wälder im Südtirol. *Assessorat für Forstwirtschaft der Autonomen Provinz Bozen*. 40 S.
- MINERBI, S., 1998: Phytosanitäre Massnahmen gegen das Kiefernsterben im Vinschgau und Vorbeugemassnahmen gegen Wildschäden. *Projektbericht Abt. 32 Forstwirtschaft, Autonome Provinz Bozen-Südtirol*.

PFISTER, A.; KREHAN, H.; PERNY, B.; TOMICZEK, C.; BUCHBERGER, A.; LICK, H., 2001: Kiefern-schäden – Erkennen und Vermeiden. Merkblatt Amt der Steyermärkischen Landesregierung, Fachabteilung Forstwesen und Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien. 2 S.

REBETZ, M.; DOBBERTIN, M., 2004: Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theor. Appl. Climatol.* 79: 1–9.

RIGLING, A.; CHERUBINI, P., 1999: Wieso sterben die Waldföhren im «Telwald» bei Visp? Eine Zusammenfassung bisheriger Studien und eine dendroökologische Untersuchung. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150, 4: 113–131.

RIGLING, A.; WEBER, P.; CHERUBINI, P.; DOBBERTIN, M., 2004: Walddynamische Prozesse und Jahrringe – Bestandesdynamik zentralalpiner Waldföhrenwälder aufgezeigt anhand dendroökologischer Fallstudien aus dem Wallis, Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 6: 178–190.

RITZMANN-BLICKENSDORFER, H., 1996: Historische Statistik der Schweiz. Zürich, Chronos Verlag. 1221 S.

SCHÖNFELD, U.; RIGLING, D.; POLOMSKI, J., 2004: Eine neue Gefahr für die Föhren der Schweiz? Der Kiefernholznematode. *Wald Holz* 85, 6: 35–37.

SCHWANINGER, C., 1998: Kiefernsterben im Oberland. *Tiroler Forstdienst*: 10.

SCHMID, M., 1998: Sonnige Halden. *Erinnern Sie sich*. Bd. 5. Visp, Rotten Verlag. 144 S.

TINNER, R., 2004: Luftbildanalytische Erfassung des Strukturwandels von Föhrenwäldern in Richtung Flaumeichenwälder in der Region Visp. Diplomarbeit ETH Zürich.

TOMICZEK, C., 1982: Ursachen des Kiefernsterbens in Niederösterreich. Dissertation, Universität für Bodenkultur. 204 S.

VERTUI, F.; TAGLIAFERRO, F., 1996: Scots pine die-back by unknown causes in the Aosta Valley, Italy. *Chemosphere* 36, 4–5: 1061–1065.

WEBER, P., 2005: Intra- and interspecific competition in mixed *Pinus sylvestris* and *Quercus pubescens* stands – Modelling stand dynamics based on tree-ring analysis. Dissertation ETH Zürich No. 16235.

Les équipes des différents projets:

Dépérissement des pins sylvestres – rétrospective:
Topographie:
Génétique:
Climat:
Conditions édaphiques:

A. Rigling, M. Dobbertin, W. Landolt, B. Oester
M. Dobbertin, A. Rigling, T. Wohlgenuth
F. Gugerli, N. Fournier
M. Rebetez, M. Dobbertin
E. Graf Pannatier, R. Köchli, L. Walthert,
P. Lüscher, S. Zimmermann
M. Dobbertin, N. Hilker, R. Köchli, A. Rigling
U. Heiniger, M. Carron, H. Blauenstein,
R. Engesser, D. Rigling, F. Theile
J. Polomski, D. Rigling
B. Wermelinger, B. Fecker, B. Forster,
D. Schneider Mathis

Infestation par le gui ¹⁾:
Maladies fongiques ²⁾:

M. Dobbertin, E. Feldmeyer-Christe, C. Ginzler,
U. Graf, S. Hadorn, F. Kienast, P. Mayer,
A. Rigling, R. Tinner, T. Wohlgenuth

Nématodes ³⁾:
Insectes:

P. Weber, E. Baumann, O.U. Bräker, B. Eilmann,
S. Lock, S. Pahlmann, A. Rigling
A. Rigling, H.H. Bachofen, R. Cereghetti,
M. Dobbertin, E. Feldmeyer-Christe, U. Graf,
C. Matter, P. Mayer, T. Wohlgenuth, A. Zingg
U. Gimmi, M. Bürgi

Changement de composition en essences:

A. Rigling, M. Dobbertin, T. Wohlgenuth

Concurrence dans le peuplement ^{2, 4)}:

A. Rigling, M. Dobbertin, R. Métral ⁵⁾

Régénération naturelle:

M. Dobbertin, A. Rigling, T. Wohlgenuth

Gestion forestière du passé:
Synthèse: Mortalité du pin, et
Synthèse: Régénération:
Propositions pour l'exploitation des forêts:
Evolution future des forêts de pins sylvestres:

¹⁾ En collaboration avec R. Zweifel, L. Zimmermann, Université de Berne

²⁾ En collaboration avec R. Motta, G. Nicolotti, P. Gonthier et collaborateurs de l'Université de Turin

³⁾ En collaboration avec H. Braasch (Potsdam), U. Schönfeld (Service de protection des plantes Brandebourg)

⁴⁾ En collaboration avec C. Bigler et H. Bugmann, EPF Zurich

⁵⁾ Service des forêts et du paysage Ct. VS, en collaboration avec C. Pernstich, A. Brigger

Les travaux de recherche sont soutenus par: Service des forêts et du paysage Ct. VS, Fondation Velux, Office fédéral de l'environnement (OFEV), INTERREG IIIa, HYDRO Exploitation SA, Services forestiers des communes de Brigue, Lens, Salquenen, Stalden, Viège, Vollèges-Sembrancher.

Notice pour le praticien ISSN 1012-6554

Concept

Les résultats de la recherche sont élaborés pour constituer des pôles de savoir et des guides d'action à l'intention des acteurs de la pratique. Cette série s'adresse aux milieux de la foresterie et de la protection de la nature, aux autorités, aux écoles ainsi qu'aux non-initiés.

Les versions allemandes de cette série sont intitulées

Merkblatt für die Praxis ISSN 1422-2876

Les éditions italiennes paraissent occasionnellement dans le périodique

Sherwood, Foreste ed Alberi Oggi.

Pour les dernières parutions, consultez

<http://www.wsl.ch/lm/publications/series/merkblatt-de.ehtml>

Managing Editor

Dr. Ruth Landolt
Institut fédéral de recherches WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
E-mail: ruth.landolt@wsl.ch
www.wsl.ch/publications/

Mise en page:
Jacqueline Annen, WSL
Sandra Gurzeler, WSL

Traduction: Jenny Sigot, WSL

Impression: Gassmann AG