

Maladies fongiques en haute altitude

Biologie et symptômes

Dagmar Nierhaus-Wunderwald, Service phytosanitaire d'observation et d'information (SPOI) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, Birmensdorf

Traduction Monique Dousse



Dépressions du terrain, ravin, combes, zones d'accumulation d'avalanches sont des endroits où les résineux sont très exposés aux maladies fongiques. Car ces lieux restent longtemps recouverts de neige et la période de croissance estivale en est d'autant plus courte.



Même derrière les ouvrages retenant les avalanches, d'importantes masses de neige s'accumulent et tardent à fondre, ce qui accroît le danger d'épidémies fongiques. Photos: Section Forêts de montagne, FNP

Maladies fongiques en haute altitude

Biologie et symptômes

Dagmar Nierhaus-Wunderwald* / Traduction Monique Dousse

Les maladies fongiques telles que le dépérissement des pousses, la chute des neiges de l'arolle ou le noir dû à *Herpotrichia* sont largement répandues dans les Préalpes suisses surtout mais aussi jusqu'à la limite forestière. *Herpotrichia juniperi* sévit également sur les hauteurs du Jura. Ces maladies affectent les résineux croissant dans des régénérations naturelles et notamment dans des afforestations en haute altitude où les champignons provoquent des dégâts d'une importance économique considérable. Les pépinières et les places de mise en jauge des régions élevées peuvent également être touchées. Ce document vise à faire connaître la biologie des principaux champignons responsables de ces maladies et à favoriser l'établissement d'un diagnostic.

Introduction

Les champignons décrits ici ont un point commun: leur principale phase de développement se déroule durant le repos hivernal, époque à laquelle leur croissance n'est pas perturbée par les réactions dé-

fensives de l'arbre-hôte. Leur biologie est donc fondamentalement différente de celle des autres champignons. Installés le plus souvent sur de jeunes résineux, ou parties de résineux, recouverts d'une épaisse couche de neige, ils ont la particularité de pouvoir se développer par une température de

0° C et une hygrométrie très élevée. Leurs lieux de prédilection sont des poches d'air très humides qui se forment autour des aiguilles et des rameaux. De telles conditions climatiques ne sont données que sous une épaisse couche de neige où les températures ne sont pas optimales pour ces champignons (tabl. 2). Les étés frais et très

* Dagmar Nierhaus-Wunderwald, Dr ès sciences naturelles, est biologiste au Service phytosanitaire d'observation et d'information (SPOI) de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP), à Birmensdorf.

Remerciements: Pour leurs avis critiques et leurs précieuses suggestions, je tiens à remercier tout particulièrement Ursula Heiniger, Dr ès sciences naturelles, chef du groupe de Phytopathologie/FNP; Roland Engesser, Dr ès sciences techniques au SPOI/FNP; Erwin Jansen, Chef du SPOI/FNP; et Ernst Zeller, Chef du Projet de Soins aux forêts de montagne. J'adresse aussi mes remerciements à Patrik Högger, collaborateur au service de Phytopathologie/FNP, qui a bien voulu vérifier cette traduction.

Tableau 1: Champignons pathogènes d'importance en haute altitude et leurs arbres-hôtes

Nom du champignon Forme sexuée	Nom du champignon Forme asexuée	Noms de la maladie et du champignon	Arbres-hôtes
<i>Gremmeniella abietina</i> (Lagerberg) Morelet Syn.: <i>Ascocalyx abietina</i> (Lagerb.) Schläpfer-Bernhard; <i>Scleroderris lagerbergii</i> Gremmen	<i>Brunchorstia pinea</i> (Karsten) de Höhnel	Dépérissement des pousses de résineux Maladie Scleroderris	Arolle (<i>Pinus cembra</i> L.); pin à crochets (<i>Pinus mugo</i> Turra ssp. <i>uncinata</i> Domin); pin rampant (<i>Pinus mugo</i> Turra ssp. <i>mugo</i>); parfois épicéa (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) et mélèze commun (<i>Larix decidua</i> Mill.)
<i>Gremmeniella laricina</i> (Ettlinger) Schläpfer-Bernhard Syn.: <i>Ascocalyx laricina</i> (Ettl.) Schläpfer-Bernhard; <i>Scleroderris laricina</i> (Ettl.) Gremmen	<i>Brunchorstia laricina</i> Ettl.	Dépérissement des pousses du mélèze Maladie Scleroderris	Mélèze commun Le mélèze du Japon (<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carr.) y est moins sensible
<i>Phacidium infestans</i> Karst.	—	Chute des neiges de l'arolle	Arolle
<i>Herpotrichia juniperi</i> (Duby) Pettrak Syn.: <i>Herpotrichia nigra</i> Hartig	—	Le noir dû à <i>Herpotrichia</i>	Épicéa, arolle, pin à crochets, pin rampant; sapin pectiné (<i>Abies alba</i> Mill.); genévrier (<i>Juniperus communis</i> L.)
<i>Herpotrichia coulteri</i> (Peck) Bose	—	Le noir dû à <i>Herpotrichia</i>	Pin rampant (unique arbre-hôte en Europe)

Ces pathogènes appartiennent à la classe des ascomycètes. Les espèces de *Gremmeniella* développent tant la forme sexuée qu'asexuée. Ces deux formes ont été longtemps décrites comme étant deux espèces différentes. Ce n'est que vers 1913 voire 1940 que leur appartenance commune fut découverte. Dans les fructifications des formes sexuées (**apothécies** ou **périthécies**), les **ascospores** issues de la reproduction sexuée se développent dans des asques. Dans les fructifications des formes asexuées (**pycnides**), les spores (**pycnospores**) prennent naissance par reproduction asexuée.

Tableau 2: Croissance du champignon en fonction de la température

	<i>Gremmeniella abietina</i> (IUFRO, 1988)	<i>Phacidium infestans</i> (Bazzigher, 1978)	<i>Herpotrichia juniperi</i> (Bazzigher, 1978)	<i>Herpotrichia coulteri</i> (Bazzigher, 1976)
Croissance minimum en culture	-5°C à -5.8°C	-3°C à -5°C	-3°C à -5°C	-5°C
Croissance optimale en culture	13°C à 20°C	15°C	15°C	10°C
Arrêt de croissance en culture	30°C	27°C	30°C	24°C
Croissance sous une profonde couche de neige et par une hygrométrie élevée			vers 0°C	

humides favorisent tant la fructification que l'infection. Pour que la maladie se déclare, il faut que ces conditions favorables durent un certain temps.

Après avoir été infectés, les jeunes résineux entièrement recouverts de neige ne survivent pas plus de deux ou trois ans. Chez les arbres plus âgés qui ont dépassé le niveau de la neige, le champignon attaque les rameaux inférieurs non dégagés qui finissent aussi par dépérir.

Ces maladies fongiques ne sont pas transmises par les semences. En ce qui concerne les interventions sylvicoles préventives, il est conseillé de se référer aux recherches publiées par Schönenberger et al. en 1990 et par Senn et al. en 1994.

Biologie des principaux champignons en haute altitude

Dépérissement des pousses de l'arolle, du pin à crochets, de l'épicéa et du mélèze *Gremmeniella abietina* et *Gremmeniella laricina*

Cette maladie est connue au nord et au centre de l'Europe depuis la fin du 19e siècle. Elle a également été constatée, un peu plus tard, en Amérique du Nord, en Asie et au Japon. En Suisse, c'est vers 1940 que L. Ettlinger décrit pour la première fois la présence de *G. abietina* et de *G. laricina* dans l'afforestation d'Alberti-Tobel au-dessus de Davos. Mais il est probable que ces deux pathogènes existaient ici depuis plus longtemps.

En haute altitude, les espèces de *Gremmeniella* sont des champignons parasites largement répandus notamment sur les jeunes résineux. *G. abietina* met surtout en danger l'arolle et le pin à crochets; l'épicéa et le mélèze sont plus rarement touchés. *G. laricina* n'attaque que le mélèze (tabl. 1).

Les petits arbres chétifs sont sujets à des atteintes plus graves et plus fréquentes que les individus plus vigoureux. Une lignification incomplète des pousses à la suite

d'une fonte des neiges tardive (la période de végétation est donc très brève) ainsi qu'un été frais et humide diminuent la résistance des petits arbres tout en augmentant le danger d'infection.

Les dépérissements des pousses dus à *G. abietina* sont d'autant plus fréquents que l'altitude est élevée. *G. abietina* se présente sous des races différentes. Celle répandue en Europe est la «race européenne» agressive.

Les deux espèces de *Gremmeniella* se distinguent par leurs spores. Celles de *Brunchorstia pinea*, la forme asexuée de *G. abietina* (fig. 4), sont généralement pluricellulaires (à quatre ou huit cellules) et falciformes (fig. 1/11) alors que celles de *Brunchorstia laricina*, la forme asexuée de *G. laricina*, sont bicellulaires et fusiformes.

Une année ou deux après l'infection (cela dépend des conditions climatiques), les fructifications (pycnides) de la forme asexuée apparaissent sur les rameaux longs dépérissants des résineux atteints. De couleur noire, semblables à des pustules proéminentes de 0.5 mm, ces fructifications se développent dès le printemps, après la fonte des neiges. Arrivées à maturité, elles s'ouvrent de façon irrégulière et libèrent des pycnospores enveloppées dans des sécrétions muqueuses; les gouttes de pluie les emportent sur de courtes distances. Les fructifications (apothécies) de la forme sexuée n'apparaissent qu'en été; elles sont de couleur brun-noir et d'un diamètre allant de 0.5 à 1.5 mm. Lorsque l'humidité est très élevée, elles s'ouvrent en prenant la forme d'une cupule à l'intérieur.

Champignons	Symptômes
Dépérissement des pousses de l'arolle, du pin à crochets et de l'épicéa (<i>G. abietina</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Signes marquants: pousses terminales, d'un an pour la plupart, défoliées et mortes (fig. 1/7); sur les parties de bois légèrement jaunies, l'écorce et le liber se détachent facilement; la moelle est brunâtre (fig. 1/8). - Coloration rouge-brun à la base des aiguilles (fig. 3); en cas de dégâts dus au gel, ce rougissement commence à la pointe de l'aiguille; aiguilles de l'extrémité des pousses atteintes détachables sous l'effet d'une simple pression; dépérissement et chute des aiguilles, à partir de l'extrémité des pousses, gagnant progressivement les aiguilles des anciennes générations. - Absence d'élosion, ou faible élosion, de certains bourgeons terminaux qui brunissent et se dessèchent (fig. 1/5); il suffit de les effleurer pour qu'ils tombent. - Présence de fructifications à la base des aiguilles et des bourgeons des parties de pousses mortes et défoliées (loupe; fig. 4 et 5). - Une régénération n'est possible que si les bourgeons dormants s'ouvrent dans la partie inférieure des rameaux longs morts (fig. 1/9). Les pousses de remplacement peuvent également être attaquées.
Dépérissement des pousses du mélèze (<i>G. laricina</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - En été, flétrissement, brunissement et chute des aiguilles des rameaux longs infectés l'année précédente. - Les longues pousses terminales, mortes et défoliées, constituent un symptôme qui se remarque de loin. - Présence de fructifications à l'extrémité des pousses mortes (loupe; fig. 6). La plupart de ces symptômes sont semblables à ceux de <i>G. Abietina</i>. <p>L'établissement d'un diagnostic fiable n'est souvent réalisable qu'à l'aide d'un microscope ou en isolant le champignon en culture car il existe sur les pousses mortes d'autres champignons (en partie inoffensifs) qu'il est facile de confondre avec le pathogène de ce dépérissement.</p>

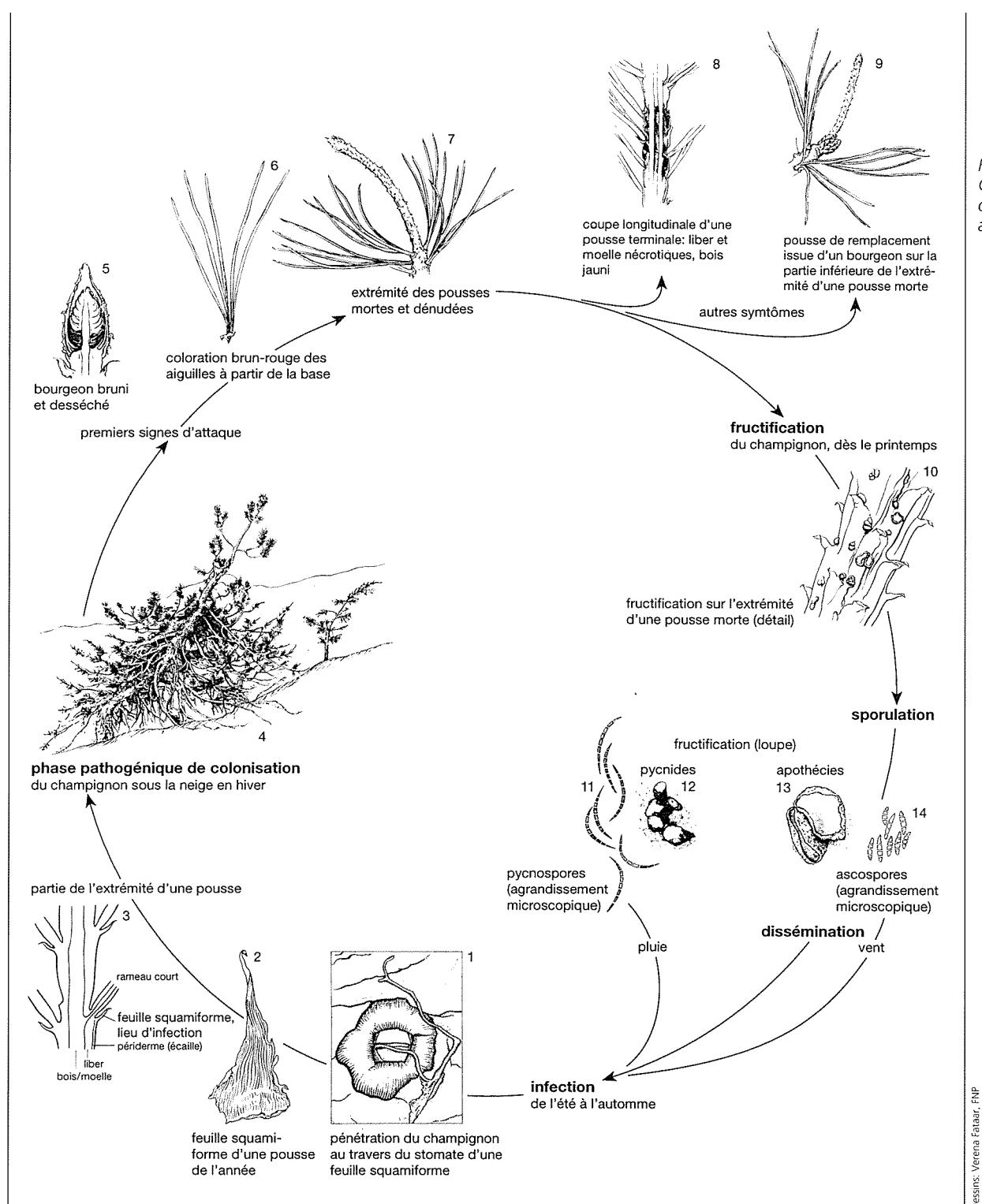


Fig. 1
Cycle biologique de *Gremmeniella abietina* sur arole.

Dessin: Verena Fatac, FNP

rieur de laquelle se distingue l'hyménium gris clair (fig. 5). Sous un climat sec, le bord de la cupule est enroulé, d'où son apparence oblongue (fig. 1/13). Les ascospores libérées – elles sont tétracellulaires chez *G. abietina* et bicellulaires chez *G. laricina* – sont dispersées par le vent sur de grandes distances. Comme les fructifications libèrent leurs spores durant tout l'été et jusqu'en automne, le danger d'infection subsiste durant une longue période. Outre les aiguilles et les blessures, les feuilles squamiformes semblent être les principaux lieux d'infection. En passant par les stomates, le champignon pénètre dans les feuilles squamiformes (fig. 1/1 et 1/2), souvent dépréssantes, des jeunes ra-

meaux ou des bourgeons. Il ne se répand pas très loin et ne tarde pas à être inhibé dans sa croissance, faute de nourriture. Comme il est sensible à la chaleur, il ne résiste que rarement aux températures estivales. Voilà pourquoi ce stade est considéré comme une phase critique du cycle biologique de ce champignon. Il n'empêche que par un temps frais et humide, il perdure au-delà d'une année.

En hiver, lorsque les branches et les petits arbres sont recouverts de neige, le champignon entre dans sa phase pathogénique. Il franchit les barrières des tissus subéreux, à la base des feuilles squamiformes, et il colonise rapidement les pousses qui déprécissent progressivement au ryth-

me de l'évolution de la maladie. Le champignon se répand plus vite vers la base des bourgeons terminaux que vers le bas des parties de pousses plus âgées. Il peut survivre longtemps dans des pousses dépréssantes. La perte des bourgeons terminaux et de l'extrémité des pousses provoque chez l'arbre de graves perturbations qui s'accompagnent d'inhibitions d'accroissement en hauteur et en largeur. La phase de sporulation étant de longue durée, tout comme le temps d'incubation souvent, la maladie risque de n'être décelée que tardivement. Mais il est aussi possible que le champignon cesse de se développer, ce qui permettra à l'arbre de surmonter la maladie.



Symptômes

Gremmeniella abietina: ici, les dépérissements des pousses de pins à crochets sont largement répandus.

Photo: Phytopathologie/FNP



Fig. 3
Gremmeniella abietina dépérissement des pousses de l'arolle: les aiguilles de l'extrémité des pousses rougissent à partir de la base; chez l'arolle, elles s'inclinent fortement vers le bas.

Photo: Forêt de montagne/FNP



Fig. 5
Gremmeniella abietina: sous une forte humidité, les fructifications matures de la forme sexuée s'ouvrent comme une cupule où l'on distingue l'hyménium gris clair.

Photo: Phytopathologie/FNP



Pycnides matures de la forme asexuée

Apothécies immatures de la forme sexuée

Fig. 4
Gremmeniella abietina: fructifications de la forme asexuée *Brunchorstia pinea*; ces pycnides matures ont la forme de pustules proéminentes

Photo: Phytopathologie/FNP



Fig. 6
Gremmeniella laricina: fructifications ouvertes de la forme sexuée sur l'extrémité d'une pousse de mélèze dépérisante.

La chute des neiges de l'arolle *Phacidium infestans*

Champignons	Symptômes
Chute des neiges de l'arolle <i>Phacidium infestans</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Lorsqu'elles sont encore sous la neige, les aiguilles, gris olive, sont mortes et gonflées d'eau; après la fonte printanière, elles se dessèchent rapidement et brunissent avant de blanchir au cours de l'été; elles se fragilisent de plus en plus; ces aiguilles déperissantes restent suspendues en touffes au rameau. - Dès le début de l'été, apparition de fructifications (visibles à la loupe) semblables à des points gris foncé à noirs qui se distinguent sous l'épiderme de l'aiguille morte; plus l'aiguille blanchit, plus ces points se remarquent (fig. 8). - D'habitude, l'écorce et les bourgeons des rameaux atteints déperissent aussi.

La chute des neiges de l'arolle est largement répandue en Europe, en Asie et en Amérique du Nord. En Europe, ce champignon a été décrit pour la première fois au 19e siècle en Scandinavie où il attaque principalement des pins sylvestres. Sa présence dans les Alpes est connue depuis 1942, mais il est probable qu'il s'y trouvait depuis plus longtemps déjà. Dans cette région, il ne met en danger que les arolles (tabl. 1). Il est répandu dans les rajeunissements naturels et dans presque toutes les afforestations d'arolles où il infecte aussi les jeunes arbres sains. Les petits arolles recouverts de neige, voire les branches des plus grands, (fig. 7) déperissent souvent après une seule attaque. Les arbres affaiblis par *Phacidium infestans* sont souvent colonisés par *Gremmeniella abietina*.

Lorsqu'à la fin de l'automne, le temps est *frais et humide*, des **fructifications** (*apothécies*) de 0.5 mm environ se développent dans les *aiguilles ou parties d'aiguilles malades*. Elles transpercent alors l'épiderme et dévoilent un hyménium brun clair (fig. 9). *Avant l'arrivée de la neige, le vent disperse les ascospores*, le plus souvent unicellulaires. Par temps sec ou en cas de gel subit, les spores peuvent rester dans les asques durant un certain temps sans subir de dommages. Dès la fin de l'automne et jusqu'en hiver, les aiguilles saines sont infectées tant par les spores que par les hyphes. Ces derniers proviennent d'aiguilles attaquées l'hiver précédent; celles ayant été touchées à une période antérieure ne peuvent plus transmettre la maladie. Par des hivers pauvres en neige, le champignon se trouvant dans des tissus foliaires nouvellement atteints ne peut se développer dans des conditions idéales; il n'arrive donc pas à fructifier et seul le mycélium est capable de causer une nouvelle infection. *La maladie peut également provenir d'aiguilles ou parties d'aiguilles fragilisées par l'infection et gisant au sol* après avoir été disséminées par le vent, les animaux ou les hommes.

Le champignon se développe sous la neige en se répandant d'une aiguille à l'autre. Il s'y introduit au travers des sto-

mates et détruit le tissu foliaire. Après la fonte des neiges, il cesse de se développer.

Le noir dû à *Herpotrichia*

Herpotrichia juniperi et *Herpotrichia coulteri*

Le noir dû à *Herpotrichia*, *H. juniperi*, est connu en Europe depuis la fin du 19e siècle. Il a été observé un peu plus tard en Amérique du Nord. En 1918, la présence de *H. coulteri* était confirmée en Europe et en 1958, ce champignon parasite était également identifié dans les Alpes suisses.

H. juniperi attaque les épicéas, arolles, pins à crochets, sapin et genévrier (tabl. 1). Sa principale aire de distribution se situe entre 1400 et 2000 m d'altitude, mais on le rencontre aussi à partir de 900 mètres. Les dommages les plus graves qu'il cause se constatent dans les zones très enneigées des Préalpes à l'est du lac des Quatre Cantons. *H. juniperi* attaque des résineux tant dans les rajeunissements naturels que dans des afforestations en montagne où il apparaît par foyers. Dans les afforestations de notre pays, ce pathogène est de loin le champignon parasite le plus dangereux pour les jeunes épicéas d'une hauteur inférieure à celle du manteau neigeux.

En Europe, *H. coulteri* semble se limiter aux pins rampants (tabl. 1). Il se trouve surtout au-dessus de 1900 m, mais il est plutôt rare dans les afforestations.

Le noir dû à *Herpotrichia* met surtout en danger les jeunes sujets affaiblis ou les rameaux inférieurs des arbres plus âgés qui restent longtemps sous la neige au printemps. Les individus de petite taille risquent d'en mourir.

Ces deux champignons se distinguent à l'aide de leurs spores discernables au microscope. Celles de *H. juniperi* sont tétracellulaires et transparentes, puis elles brûnissent légèrement; celles de *H. coulteri* sont bicellulaires, dans des tons bruns à brun foncé. La large échelle des températures qu'il tolère (tabl. 2) et la multiplicité des arbres-hôtes qu'il est capable de coloniser permettent à *Herpotrichia juniperi* d'être plus largement répandu.

Les fructifications (péritthèces) de 0.2 à 0.5 mm se forment le plus souvent sur les stomates des aiguilles infectées; elles n'apparaissent pas avant la deuxième année de développement du champignon. Durant toute la période sans neige, ces fructifications libèrent des ascospores qui sont transportées par le vent sur d'autres arbres-hôtes. Peu après la germination, les spores prennent la «forme durable» qui leur permettra de résister jusqu'en hiver aux conditions climatiques défavorables. Durant cette époque, les hyphes germinatifs cessent de croître. Une nouvelle infection peut également être causée par les aiguilles et les rameaux au sol qui sont entourés de ce tissu fongique.

Lorsqu'elles sont recouvertes de neige, les espèces d'*Herpotrichia* se développent d'abord superficiellement sur l'aiguille. Ensuite, elles pénètrent dans les cellules épidermiques par la voie des organes d'absorption des substances nutritives. A ce stade de colonisation, elles n'y causent aucun dommage visible. Dans la phase suivante, les champignons pénètrent au travers des stomates dans la couche profonde des tissus foliaires qu'ils détruisent. Ils enveloppent en même temps les branches garnies d'aiguilles, et parfois l'arbre entier, d'un feutrage gris blanchâtre de mycélium tomenteux, aux filaments serrés, qui s'étend largement à partir du point d'infection.

Après la fonte des neiges, le mycélium superficiel prend une couleur brun-noir sous la lumière du soleil. Il s'épaissit et cesse de se développer. Ce lacs mycélien, aux filaments serrés, constitue la forme durable du champignon durant l'été. Au cours de l'hiver suivant, les solides hyphes persistants se développent à nouveau sous la couche de neige où ils infectent les aiguilles saines. Ils résistent extraordinairement bien aux températures extrêmes, aux forts rayonnements et à la sécheresse.

Champignons	Symptômes
Le noir dû à <i>Herpotrichia</i> <i>Herpotrichia juniperi</i> <i>Herpotrichia coulteri</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les aiguilles et rameaux ou jeunes arbres entiers sont entourés d'un solide feutrage mycélien de couleur brun foncé à noir; les aiguilles sont agglutinées en touffes (fig. 10). - Durant la deuxième année de développement, apparition de fructifications noires globuleuses (fig. 11) sur les aiguilles mortes infectées (loupe).

Symptômes

Fig. 7
Phacidium infestans: arolles atteints de chute des neiges. Cette maladie ne touche que les rameaux inférieurs recouverts de neige.

Photo: Forêt de montagne/FNP



Fig. 8
Phacidium infestans: ces points noirs sont autant de fructifications présentes sur des aiguilles d'arolles blanchies par la maladie; ils en constituent l'un des principaux symptômes.

Photo: Forêt de montagne/FNP



Fig. 9
Phacidium infestans: segment d'aiguille; de petites fructifications ouvertes (en milieu humide) font éclater l'épiderme sous lequel on distingue l'hyménium brun clair.

Photo: O. Holderegger/EPF Zurich



Fig. 10
Épicéa infecté par *Herpotrichia juniperi*: ces aiguilles et rameaux solidement enveloppés dans un laciis mycélien aux filaments serrés sont un symptôme incontestable.

Photo: Forêt de montagne/FNP



Fig. 11:
Herpotrichia juniperi: fructifications, pas encore complètement ouvertes, sur aiguilles dépérissantes.

Photo: O. Holderegger/EPF Zurich

Si l'air est sec, ils arrivent à survivre durant plusieurs décennies. Les aiguilles et rameaux fermement entourés de ce feutrage mycélien dépérissent progressivement au rythme de la dégradation des tissus foliaires et par manque d'air et de lumière.

Mesures

Afin d'empêcher ces maladies de prendre l'ampleur d'une épidémie, il serait souhaitable, dans les lieux accessibles, de couper et de brûler les plantes ou parties de plantes malades. Si l'attaque est provoquée par les espèces de *Gremmeniella*, l'opération se fera au début de l'été. Chez les mélèzes, leurs ramifications sont si fines qu'il est très difficile de procéder à une coupe sanitaire et lorsqu'ils ont atteint une certaine grandeur, cette intervention n'est plus réalisable. Les branches infectées par *Phacidium infestans* devraient être coupées et brûlées sans tarder dès la fonte des neiges, c'est-à-dire avant que les aiguilles infectées ne durcissent, se fragilisent et que leurs débris soient emportés par le vent, les animaux ou les hommes. Les plantes ou parties de plantes infectées par les espèces d'*Herpotrichia* sont à éliminer durant la période de végétation.

Dans les pépinières et places de mises en jauge situées en haute altitude, on utilisera préventivement des fongicides une fois par année en automne. La liste actualisée des produits autorisés peut être obtenue auprès du SPOI/FNP.

En ce qui concerne les traitements de surfaces dans les forêts et afforestations en haute montagne, aucun fongicide adéquat n'est autorisé en Suisse. Au point de vue écologique, il ne serait pas justifiable non plus d'envisager à long terme une lutte chimique à large échelle. Quant aux fongicides organiques, des recherches réalisées dans le passé ont montré que de telles mesures sont peu judicieuses à cause des particularités biologiques propres à ces champignons; en voici quelques exemples:

- Comme les pathogènes du dépérissement des rameaux et du noir dû à *Herpotrichia* libèrent leurs spores durant toute la période de végétation, une lutte chimique devrait être répétée plusieurs fois par année. Par ailleurs, l'action des fongicides ne serait guère efficace face à l'épaisse paroi d'hypbes persistants derrière laquelle les espèces d'*Herpotrichia* se protègent durant l'été. Le feutrage mycélien recouvrant les aiguilles et les branches est principalement constitué de ce genre d'hypbes résistants. Comme le lacis mycélien est tissé de filaments extrêmement serrés, une vaporisation régulière de fongicides est difficile à réaliser et il est donc presque certain que les hypbes persistants germeront l'hiver suivant.

• La principale phase de croissance des champignons en question se déroule en hiver sous une profonde couche de neige. C'est donc durant cette phase que la lutte chimique devrait être engagée. Or un traitement de ce genre est irréalisable, tout au moins pour les espèces de *Gremmeniella*, puisqu'à cette époque, elles sont enfouies sous une masse de neige. En ce qui concerne *Phacidium infestans* et *Herpotrichia*, l'application de fongicides ne serait efficace qu'au stade initial de l'infection, lorsque seules quelques parties de

branches isolées sont attaquées. Cette intervention permettrait d'endiguer la propagation du champignon. Le fongicide devrait être vaporisé en automne, sous une forme très concentrée, afin que la matière active adhère à la plante et continue d'agir durant tout l'hiver. Mais cela signifie aussi que le traitement chimique devrait être répété systématiquement durant vingt ou trente ans à titre préventif en attendant que la moitié du houppier des arbres de petites dimensions émerge de la surface enneigée.

Autres pathogènes des maladies fongiques de moindre importance en haute altitude

Champignon	Espèce
Rouille vésiculeuse des aiguilles de l'épicéa (<i>Chrysomyxa rhododendri</i>)	Épicéa (hôte intermédiaire: rhododendron)
Rouille vésiculeuse des aiguilles du pin (<i>Coleosporium</i> sp.)	Pin à crochets, pin rampant
Chute des aiguilles par <i>Naemacyclus</i> (<i>Naemacyclus minor</i>)	Pin à crochets, pin rampant
Chancre du mélèze (<i>Lachnellula willkommii</i>)	Mélèze
Armillaire (<i>Armillaria</i> sp.)	Épicéa, pin à crochets, pin rampant, arolle, mélèze

Bibliographie

- Bazzigher, G., 1971: Triebsterben an Föhren und Lärchen. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 63. 6 p.
- Bazzigher, G., 1976: Reservespritzung mit hochkonzentrierten Fungiziden für die Bekämpfung des schwarzen Schneeschimmels im Herbst. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 166. 8 p.
- Bazzigher, G., 1978: Die Bekämpfung des Arvenschneepilzes *Phacidium infestans* Karst. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 182. 14 p.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (éd.), 1995: Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln im Wald. Grundlagen zum Erwerb der Fachbewilligung. Leitfaden Umwelt 1, 2., überarb. Aufl., 108 p.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (éd.), 1986: Wegleitung - Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. Teil der Flankierenden Massnahmen (FLAM) des Walderhebungsprogramms (WEP) 1992-1995. Modul Minimalpflege/Erfolgskontrolle. Bezugsquelle: EDMZ, 3000 Bern. Bestell-Nr. 310.051 d.
- Butin, H., 1989: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Diagnose - Biologie - Bekämpfung. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart/New York, Thieme. 216 p.
- Capretti, P.; Heiniger, U.; Stephan, R. (éd.), 1995: Shoot and Foliage Diseases in Forest Trees. Proceedings of a Joint Meeting of the Working Parties Canker and Shoot Blight of Conifers (S2.06.02) Foliage Diseases. (S2.06.04), Vallombrosa, Firenze, Italy June 6-11, 1994. Firenze, Università degli Studi di Firenze. 309 p.
- Donaubauer, E.; Stephan, R. (éd.), 1988: Neuere Forschungen über das Scleroterris-Triebsterben der Koniferen. IUFRO Working Party, Salzburg, Sept. 1986. In: Mitt. forstl. Bundes.vers.anst., Wien, cahier 162. 167 p.
- Ettlinger, L., 1945: Über die Gattung *Crumenula* sensu Rehm mit besonderer Berücksichtigung des *Crumenula*-Triebsterbens der *Pinus*-Arten. Beitr. Kryptogamenflora Schweiz 10,1: 1-73.
- Petrini, O.; Petrini, L.E.; La Flamme, G.; Ouellette, G.B., 1989: Taxonomic position of *Gremmeniella abietina* and related species: a reappraisal. Can. J. Bot. 67: 2805-2814.
- Roll-Hansen, F., 1989: *Phacidium infestans*. A Literature Review. Eur. J. For. Path. 19, 237-250.
- Schönenberger, W.; Frey, W.; Leuenberger, F., 1990: Ökologie und Technik der Aufforstung im Gebirge - Anregungen für die Praxis. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes., Ber. 325. 58 p. (Version française: Ecologie et technique d'afforestation en montagne - suggestions à l'usage des praticiens).
- Senn, J.; Schönenberger, W.; Wasem, U., 1994: Survival and growth of planted cembran pines at the alpine timberline. In: USDA For. Serv., Gen. Techn. Rep. INT-GTR-309, 105-109.
- Zeller, E., 1996: Probleme im Gebirgswald lösen. Wiederbevölken; Stabilisieren; Verjüngen; Sanieren. Projekt Gebirgswaldflege II (GWP II). Ber. Nr. 5A, Interkant. Försterschule Maienfeld (en cours d'impression).