

Les rouilles de l'épicéa

Dagmar Nierhaus-Wunderwald

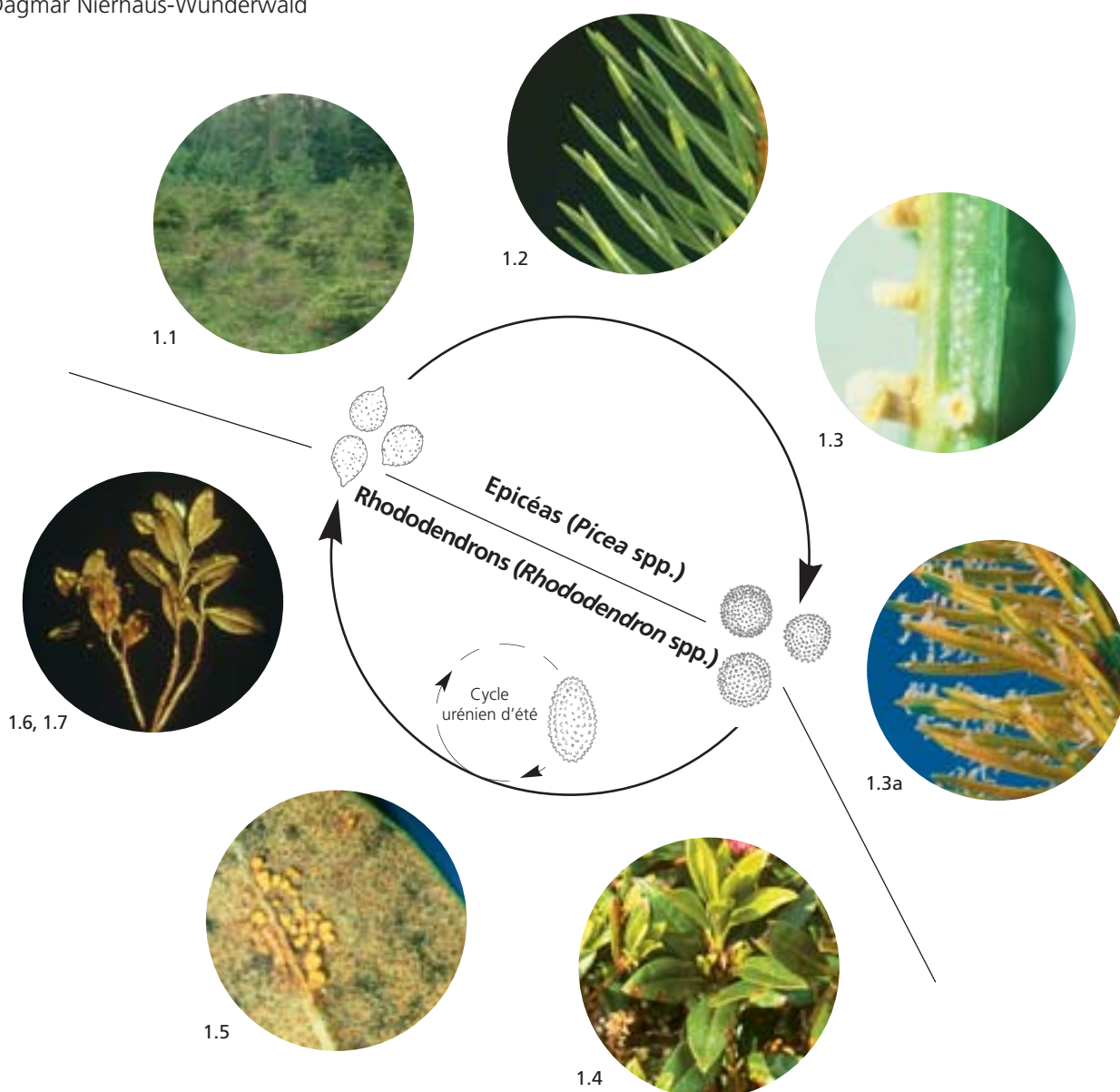


Fig. 1.1–1.7 Cycle évolutif de *Chrysomyxa rhododendri* sur aiguilles d'épicéa et feuilles de rhododendron (GÄUMANN 1959/1964; DÖRFELT 1989; VOLGGER 1997)

1.1 Juin/juillet: Basidiospores infectant les dernières aiguilles d'épicéa. **1.2 Dès juillet:** Bandes transversales sur aiguilles infectées. **1.3 Août:** Développement des écidies et écidiospores. **1.3a** Ecidies vides telles une membrane blanche. **1.4** Ecidiospores ($\varnothing \sim 20 \mu\text{m}$) sur feuilles de rhododendrons. **1.5 Après 10 à 14 jours:** Urédies et urédiospores ($25 \times 18 \mu\text{m}$); spores d'été n'infectant que les feuilles de rhododendrons et non les aiguilles d'épicéa. **1.6 Hibernation:** Formation des télies et des téliospores (spores d'hiver) sur feuilles de rhododendrons. **1.7 Quelques semaines après la fonte des neiges:** Développement des basidiospores ($5 \times 7 \mu\text{m}$).

Introduction

Les rouilles de l'épicéa, notamment la remarquable rouille vésiculeuse des aiguilles de l'épicéa, font partie de l'écosystème des pessières de l'étage subalpin. Les champignons pathogènes des rouilles ne peuvent atteindre leur plein développement que sur des plantes vivantes, d'où leur dénomination de parasites stricts ou obligatoires. Voilà pourquoi ces parasites ne détruisent leurs bases vitales que dans des cas très exceptionnels.

Les rouilles font partie de la classe des basidiomycètes et de l'ordre des urédinales. Il en existe plus de 5000 espèces au monde. Toutes les rouilles colonisent un hôte spécifique; elles sont donc spécialisées sur des plantes-hôtes bien définies. Elles se développent rarement sur une seule plante-hôte mais elles alternent généralement entre deux espèces qui ne sont pas systématiquement apparentées. Les rouilles de l'épicéa (*Chrysomyxa* spp.) à hôte alternant (ou hôte secondaire) colonisent différentes espèces d'épicéas. On les trouve aussi sur des phanérogames (plantes à fleurs) lignifiées ou herbacées de la famille des éricacées ou proches de cette famille. La survie et donc la présence des espèces de rouilles à hôte alternant est toujours liée à l'aire d'extension des éricacées et des plantes proches de cette famille. Il existe en Suisse trois des six espèces de *Chrysomyxa* présentes en Europe. La plus fréquente dans notre pays est la rouille vésiculeuse des aiguilles de l'épicéa (*Chrysomyxa rhododendri*). Comme elle passe de l'épicéa au rhododendron, elle est surtout répandue dans les zones supérieures. Cette rouille provoque de remarquables jaunissements aux aiguilles de l'épicéa. La deuxième est la rouille annulaire des aiguilles de l'épicéa (*Chrysomyxa abietis*). Il s'agit d'une rouille autoïque, c'est-à-dire qu'elle n'a pas besoin d'un hôte secondaire; elle colonise uniquement l'épicéa. Dans nos régions, cette espèce de rouille ne se rencontre que localement. La troisième, *Chrysomyxa pyrolata* (dite rouille jaune des cônes), n'apparaît que rarement; elle alterne entre les cônes d'épicéa et diverses espèces de pyrolacées.



Fig. 2. *Chrysomyxa rhododendri*, une rouille typique à l'étage subalpin: la dernière génération d'aiguilles de cet épicéa est gravement infectée.

Plantes-hôtes, habitat et biologie

Rouille vésiculeuse des aiguilles de l'épicéa (*Chrysomyxa rhododendri*)

Les rouilles de l'épicéa appartiennent à la famille des Melampsoraceae (sous-famille des Chrysomyxaceae). Analysé et décrit par le biologiste Anton de Bary en 1879 déjà, *Chrysomyxa rhododendri* alterne entre le rhododendron et l'épicéa. Le champignon provoquant cette rouille se développe et perdure sur les deux espèces de rhododendrons *Rhododendron ferrugineum* et *Rhododendron hirsutum* (tabl. 1); pendant l'hiver, il subsiste également sur l'une ou l'autre de ces deux plantes. Son hôte secondaire est l'épicéa, notamment *Picea abies*, mais aussi des espèces non indigènes (tabl. 1). Il infecte surtout les jeunes épicéas, parfois aussi des arbres plus âgés. Comme ce champignon n'a pas absolument besoin de l'épicéa pour se développer, il est également présent à l'extérieur de l'aire d'extension de cette essence. *Chrysomyxa rhododendri* est très fréquent dans les Alpes et dans d'autres montagnes d'Europe ainsi qu'en Amérique du Nord et en Asie Orientale. En Suisse, l'épicéa avoisine les rhododendrons dans les zones situées entre 1000 et 2000 m d'altitude. Cette rouille est particulièrement ré-



Fig. 3. *Chrysomyxa rhododendri*: après avoir été infectées l'année passée, les aiguilles touchées sont toutes tombées à l'exception de quelques-unes légèrement atteintes. Les aiguilles nouvellement formées sont déjà de nouveau infectées.

pandue dans les vallées des Alpes grisonnes et tessinoises.

Chrysomyxa rhododendri peut aussi s'introduire en basse altitude. En Europe, cette rouille a été découverte dans des parcs, des jardins botaniques et des pépinières. Elle a touché 15 espèces et variétés de rhododendrons d'ornement sur lesquels elle a pu se répandre même en l'absence d'épicéas. Les rhododendrons infectés perdent de leur valeur esthétique. Il arrive que l'un ou l'autre épicéa du voisinage soit également touché. Mais comme les rhododendrons sont peu répandus en basse altitude et qu'une éventuelle sporulation ne serait donc guère fructueuse, une infection de *Chrysomyxa rhododendri* n'aurait aucune conséquence pour les épicéas.

Les spores (basidiospores) de *Chrysomyxa rhododendri* se forment sur la partie inférieure des feuilles de rhododendrons et parfois aussi sur leur tige. Elles sont ensuite disséminées par le vent. Elles doivent alors atteindre des aiguilles d'épicéa, car seul ce substrat leur permet de germer si le climat est assez humide (rosée, pluie, brouillard). *C. rhododendri* commence à infecter les épicéas au printemps (juin/juillet), avant ou pendant la floraison des rhododendrons (fig. 1.1). Ce champignon ne touche que les aiguilles qui viennent d'éclorre. Celles des années précédentes

Tabl. 1. Espèces de *Chrysomyxa* présentes en Europe et leurs plantes-hôtes (GÄUMANN 1959; HEGI 1975/1981; SCHMIDT-VOGT 1989; PHILLIPS et BURDEKIN 1992; FITSCHEN 1994; BRÄNDLI 1996; BUTIN 1996; LAUBER et WAGNER 1998)

Espèce de rouille	Plantes-hôtes et leur habitat	
<p>Rouille vésiculeuse des aiguilles de l'épicéa <i>Chrysomyxa rhododendri</i> (DC.) de Bary</p>	<p>Ericacées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Rhododendron ferrugineux <i>Rhododendron ferrugineum</i> L. entre 1000 et 2300 m d'altitude, souvent aussi plus bas; épars jusqu'à 2500 m: Alpes («étage des rhododendrons» à la limite forestière); Plateau (à proximité des Alpes); Sud du Jura (dans la zone nord jusqu'au Creux du Van) – Rhododendron hirsute <i>Rhododendron hirsutum</i> L. entre 1200 et 2000 m d'altitude: Alpes (principalement au nord et dans les GR; rarement en VS et au TI); Plateau (à proximité des Alpes) <p><i>Chrysomyxa rhododendri</i> peut s'introduire en basse altitude et se répandre sur diverses espèces de rhododendrons (dans les jardins, parcs, etc.).</p>	<p>Pins (Pinaceae) Epicéa, sapin rouge <i>Picea abies</i> (L.) Karsten dans pessières originellement pures, rarement au-dessous de 800 m; en Suisse, extension verticale entre 250 et 2200 m, bien que 90% des épicéas croissent entre 500 et 1800 m d'altitude</p> <p>Espèces d'épicéas non indigènes</p> <ul style="list-style-type: none"> – Epicéa de Sitka <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrier – Epicéa d'Engelmann <i>Picea engelmannii</i> Parry ex Engelm. – Epicéa piquant <i>Picea pungens</i> Engelm. – Epicéa blanc <i>Picea glauca</i> (Moench) Voss – Epicéa noir <i>Picea mariana</i> (Mill.) B.S.P. <p>(Rouille sur aiguilles)</p> <p>En basse altitude, <i>Chrysomyxa rhododendri</i> peut toucher les épicéas mais son attaque n'a pas de conséquences</p>
<p>Rouille annulaire des aiguilles de l'épicéa <i>Chrysomyxa abietis</i> (Wallroth) Unger</p>	<p>sur aiguilles d'épicéa, sans hôte secondaire <i>Picea abies</i>, <i>Picea pungens</i>, <i>Picea sitchensis</i>, <i>Picea engelmannii</i>, <i>Picea rubens</i> Sargent (Epicéa rouge)</p>	
<p><i>Chrysomyxa pyrolata</i> (Schweinitz) Winter</p>	<p>Pyrolacées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Pyrole à feuilles rondes <i>Pyrola rotundifolia</i> L. étages (collinéen-)montagnard à subalpin (-alpin): répandue en Suisse – Petite pyrole. <i>Pyrola minor</i> L. étages (collinéen-)montagnard à subalpin (-alpin): répandue en Suisse – Pyrole verdâtre <i>Pyrola chlorantha</i> Schwartz étages (collinéen-)montagnard à subalpin: rare en Suisse (inexistante au TI) – Pyrole intermédiaire <i>Pyrola media</i> Schwartz étage (collinéen-)subalpin: Alpes, Plateau (à proximité des Alpes), sud et nord du Jura (BE, JU); éparsée en Suisse – Pyrole à une fleur <i>Moneses (Pyrola) uniflora</i> (L.) Gray étages (collinéen-)montagnard à subalpin: principalement dans les Alpes, rare dans le Jura – Pyrole unilatérale <i>Orthilia (Pyrola) secunda</i> L. étages (collinéen-)montagnard à subalpin: répandue en Suisse 	<p><i>Picea abies</i>, <i>Picea engelmannii</i>, <i>Picea pungens</i>, <i>Picea glauca</i>, <i>Picea mariana</i>, <i>Picea rubens</i></p> <p>(Rouille sur écailles de cônes)</p>
<p><i>Chrysomyxa empetri</i> (Persoon) Schroeter</p>	<p>Empétracées</p> <ul style="list-style-type: none"> – Camarine hermaphrodite <i>Empetrum nigrum</i> ssp. <i>hermaphroditum</i> (Lange) Böcher étage subalpin-alpin; répandue dans les Alpes; généralement pas au-dessous de 1700 m: Oberland bernois jusqu'à 2800 m, Valais jusqu'à 2550 m, Tessin jusqu'à 2800 m; chaîne du Reculet – Camarine noire <i>Empetrum nigrum</i> ssp. <i>nigrum</i> L. étages montagnard à subalpin: sud du Jura (VD, NE); rare 	<p><i>Picea abies</i>, <i>Picea glauca</i>, <i>Picea rubens</i></p> <p>(Rouille sur aiguilles)</p> <p>attaque rarement les épicéas car, dans nos régions, elle colonise principalement les représentants des camarines</p>
<p><i>Chrysomyxa ledi</i> (Albertini & Schweinitz) de Bary</p> <p><i>Chrysomyxa woronini</i> Tranzschel</p>	<p>Ericacées</p> <p>Lédon <i>Ledum</i> spp. Scandinavie et vers l'est jusqu'en Sibérie; Amérique du Nord inexistant en Suisse</p>	<p><i>Picea abies</i>, <i>Picea engelmannii</i>, <i>Picea glauca</i>, <i>Picea mariana</i>, <i>Picea rubens</i></p> <p>(<i>Chrysomyxa ledi</i> sur aiguilles/<i>Chrysomyxa woronini</i> sur bourgeons terminaux)</p>

en sont épargnées. Il se développe à l'intérieur de l'aiguille en formant un lacin mycélien très ramifié (mycélium) qui s'alimente des composants cellulaires de son hôte. Les tout premiers signes d'infection peuvent être détectés sur la coupe transversale de l'aiguille. On y remarque des hyphes, de couleur jaune orangée, qui évoluent dans les tissus de l'aiguille. Trois semaines après le début de l'infection, une ou plusieurs bandes transversales se forment sur les aiguilles; leur couleur est d'abord jaune-verte; elle devient ensuite jaune orangé (fig. 1.2, tabl. 2). Ce changement de couleur est dû à la réduction de chlorophylle et à la présence d'hyphes jaune orange qui luisent au travers de l'aiguille (formation de caroténoïde fongique). Vers la fin de juillet, ou en août et septembre en montagne, des fructifications appelées écidies ou écies se développent sur ces bandes. Elles forment des pustules jaune orangé, faciles à distinguer (fig. 1.3). Le nombre d'écidies produites sur une aiguille peut aller jusqu'à 20. Elles ont entre 0,5 et 3 mm de long et 0,5 mm de large. En cas de forte attaque, les écidiospores mûrissent en si grand nombre que les branches de l'épicéa sont entourées de nuages de spores jaunes lorsqu'elles sont secouées. Après la libération des spores, les écidies vides restent sur les aiguilles de



Fig. 5. *Chrysomyxa abietis*: après la fonte des neiges, les télies brunâtres deviennent visibles en formant des bandes transversales sur les aiguilles de l'épicéa.

l'année. Elles ont alors l'aspect de membranes blanches, irrégulièrement fissurées (fig. 1.3a). A la pointe des rameaux, les aiguilles infectées prennent une remarquable couleur jaune brillant (fig. 2); puis elles tombent en automne ou parfois en hiver seulement (tabl. 2). Les arbres gravement infectés peuvent ainsi perdre toute une génération d'aiguilles; il ne leur reste que des rameaux dénudés. Comme les bourgeons ne sont pas attaqués par le



Fig. 4. *Chrysomyxa rhododendri*: après la libération des basidiospores, les télies se décomposent sur les feuilles de rhododendrons et meurent. Cette infection laisse des taches brunes visibles sur chaque côté de la feuille.



Fig. 6. *Chrysomyxa abietis*: télies mûres, de couleur rouille. Elle peuvent mesurer jusqu'à 10 cm de long.

champignon, ils débourent à nouveau au printemps suivant (fig. 3).

Disséminées par le vent sur de larges surfaces, les écidiospores infectent alors les feuilles des rhododendrons (fig. 1.4). A l'aide de leur tube germinatif, ces spores pénètrent dans les feuilles par la voie des stomates; elles y forment un mycélium très étendu. Dix à quatorze jours après l'infection, il en émane des urédies ou urédosores (fig. 1.5) qui se déposent sur la partie inférieure de la feuille en formant des groupes de corpuscules jaunes tirant sur le brun. Les urédiospores (spores d'été), qui mûrissent à l'intérieur des urédies, servent uniquement à la dissémination du champignon sur les rhododendrons. Au cours de plusieurs cycles infectieux, le champignon produit régulièrement des urédies dans lesquelles se développent de nouvelles urédiospores; cela signifie que les rhododendrons s'infectent à nouveau d'eux-mêmes vers la fin de l'été (cycle urédien d'été, fig. 1.5). Les aiguilles de l'épicéa ne peuvent être contaminées par ce type de spores.

En automne, le mycélium qui avait formé les urédies produit d'autres fructifications appelées télies ou téléutosores. Ces dernières produisent les téliospores, des spores aux parois épaisses et très résistantes à la sécheresse et au froid. Elles remplissent donc la fonction de «spores durables». Pendant l'hiver, le champignon subsiste dans les feuilles de rhododendrons. Au printemps suivant, quelques semaines après la fonte des neiges, les télies jaunes sont visibles sur la partie inférieure de la feuille. Elles sont fréquemment réunies en groupes (fig. 1.7). Les téliospores mûrissent et germent dans les télies. Chacune d'elle comporte une baside dans laquelle se

Tabl. 2. Aire d'extension, présence et caractéristiques de *Chrysomyxa rhododendri*, *Chrysomyxa abietis* et de *Chrysomyxa pyrolata* sur épicéas (GÄUMANN 1959; SUTHERLAND *et al.* 1984; SCHMIDT-VOGT 1989; PHILLIPS/BURDEKIN 1992; HARTMANN *et al.* 1995)

	Rouille vésiculeuse des aiguilles de l'épicéa <i>Chrysomyxa rhododendri</i>	Rouille annulaire des aiguilles de l'épicéa <i>Chrysomyxa abietis</i>	<i>Chrysomyxa pyrolata</i>
Alternance d'hôte avec	Rhododendrons	–	Ericacées
Aire d'extension en Suisse	entre 1000 et 2000 m	entre 400 et 1100 m	Plateau et zones supérieures
Présence en Suisse	fréquente; généralement très répandue dans les zones supérieures	moins fréquente, n'attaque guère isolément; assez répandue dans les cultures d'arbres de Noël	plutôt rare; n'altère ni la régénération ni la production de semences
– parties de la plante touchées – âge des épicéas infectés	– dernière génération d'aiguilles – surtout les jeunes arbres	– dernière génération d'aiguilles – surtout les jeunes épicéas dans les peuplements serrés	– écailles carmin ou verdâtres de jeunes cônes dressés (inflorescences femelles) – vieux épicéas (première floraison entre 30 et 50 ans pour les arbres hors forêt et entre 60 et 70 ans dans le peuplement; fréquence de la floraison: tous les 3 ou 4 ans en basse altitude et 7 ou 8 ans (voire 12) en montagne
Caractéristiques	– bandes transversales jaune-vert, puis jaune orangé (dès juillet) sur aiguilles d'épicéa – formation d'une vingtaine d'écidies jaune orange sur les bandes transversales (dès août) – libération d'un grand nombre de spores jaunes (écidiospores) en cas de forte attaque – présence de l'enveloppe des écidies qui reste sur les aiguilles sous la forme d'une membrane blanche irrégulièrement fissurée – coloration des aiguilles qui deviennent jaune brillant – chute des aiguilles en automne (l'année de l'infection)	– bandes jaune-vert puis jaune orangé (dès juillet) sur aiguilles d'épicéa – champignon subsistant dans les aiguilles vertes pendant l'hiver – au printemps suivant, formation sur les aiguilles jaunies de téliosporos allongées, d'un rouge orangé foncé – pas d'émanation visible de poussière de spores – chute des aiguilles en été (un an après l'infection)	– une ou deux très grosses écidies jaunes à or (dès août) sur la partie extérieure des écailles de cônes d'épicéa – brunissement des cônes malades qui s'ouvrent prématurément; par forte infection, ils s'étiolent, s'atrophient et dépérissent; à la fin de l'été, on les distingue facilement, à l'aide de jumelles, entre les cônes verts non infectés – réduction de la production de semences – écoulement inhabituel de résine sur les écailles infectées, ce qui entrave la dissémination naturelle des semences – réduction du pouvoir germinatif des semences des cônes malades – chute prématurée du cône entier si aucune semence n'a pu s'en dégager

développent les basidiospores qui infectent immédiatement les jeunes aiguilles d'épicéa. C'est ainsi que débute un nouveau cycle évolutif. Après la libération des basidiospores, les télies se décomposent et meurent en laissant des taches brunes facilement décelables sur les feuilles de rhododendrons anciennement infectées (fig. 4).

Durant les hivers très enneigés, les rhododendrons et donc le champignon *Chrysomyxa rhododendri* sont protégés du froid et de la sécheresse par le manteau neigeux. Dans ces conditions, la maladie qui se répand au printemps suivant dans les pessières voisines peut prendre l'ampleur d'une épidémie. Si une telle épidémie se répète plusieurs années de suite, elle peut mettre en

danger les jeunes épicéas affaiblis (voir encadré). Au cours des hivers rudes et peu enneigés, ou dans les endroits où le vent a chassé la neige recouvrant les rhododendrons, les feuilles de ces plantes gèlent ainsi que le mycélium de la rouille qui s'y trouve. Ces faits expliquent pourquoi cette rouille se répand sur les épicéas avec une intensité différente d'une année à l'autre. Il est extrêmement rare que l'arbre entier soit attaqué. En général, l'infection se localise sur les rameaux inférieurs du côté de l'arbre exposé au vent. Elle ne se répand presque jamais sur toutes les parties de la couronne.

Dans les peuplements d'épicéa gravement infectés par *Chrysomyxa rhododendri*, on constate que l'intensité de

l'attaque varie d'un arbre à l'autre; certains en sont même épargnés. La raison de cette différence de résistance entre les individus n'est pas encore connue.

Rouille annulaire des aiguilles de l'épicéa (*Chrysomyxa abietis*)

La rouille annulaire des aiguilles de l'épicéa colonise uniquement les aiguilles de l'épicéa (tabl. 1); elle n'a pas d'hôte secondaire. *C. abietis* infecte généralement les jeunes arbres (de moins de 20 ans) surcimés dans les peuplements serrés, mais il arrive aussi qu'il attaque des épicéas plus âgés. En Suisse, cette rouille est répandue dans les zones situées entre 400 m et 1100 m d'altitude. Dans le reste de l'Europe, elle va jusqu'à 1700 m. Elle est égale-



Fig. 7. *Chrysomyxa abietis*: ces aiguilles d'épicéa malades sont restées sur l'arbre pendant l'hiver; elles tomberont au cours de l'été. Les aiguilles nouvellement formées sont déjà de nouveau infectées (formation de bandes transversales).

ment présente en Asie jusqu'au Japon inclus.

Les basidiospores de *Chrysomyxa abietis* n'infectent que les aiguilles fraîchement écloses de différentes espèces d'épicéa (tabl. 1). Un printemps frais et humide crée des conditions particulièrement favorables au développement du champignon. Les premiers symptômes visibles de la «maladie» sont les mêmes que chez *Chrysomyxa rhododendri*, à savoir l'apparition de bandes transversales d'un jaune-vert qui devient ensuite jaune orangé. Le champignon pénètre dans les tissus de l'aiguille; en automne, il forme des tèles dans lesquelles se développent les téliospores. Il passe l'hiver à ce stade dans les aiguilles vivantes. Au printemps suivant, les tèles prennent une couleur orange tirant sur le rouge; elles forment de petits coussinets peluchés allant jusqu'à 10 mm de long (fig. 5 et 6). Les téliospores mûrissent entre mai et juin; lors de la germination, elles produisent des basidiospores qui seront disséminées par le vent et iront à nouveau se déposer sur les épicéas dont elles infecteront les aiguilles qui viennent d'éclore. *Chrysomyxa abietis* ne forme pas d'écidies ni d'urédies. Les aiguilles malades restent sur l'arbre durant l'hiver (fig. 7); elles ne tombent que l'été suivant (tabl. 2).

Rouille due à *Chrysomyxa pyrolata*

Chrysomyxa pyrolata est une rouille à hôte alternant qui va des pyrolacées à différentes espèces d'épicéa (tabl. 1). Ce champignon n'attaque que la dernière génération d'écaïlles de cônes. Il est présent dans l'aire d'extension des pyrolacées, comme dans les Alpes. On le trouve aussi de l'est de la Scandinavie à la Russie ainsi qu'au Japon et en Amérique du Nord.

Chrysomyxa pyrolata subsiste pendant l'hiver sous forme de mycélium dans les pyrolacées dont il colonise les feuilles, les pétioles, les bourgeons ainsi que les nodules de vieux stolons souterrains. Peu après la fonte des neiges, on remarque la présence d'urédies jaune orange sur toutes les parties aériennes des espèces vivaces de pyrolacées. Les tèles, de forme arrondie, ont une couleur un peu plus claire. Elles apparaissent au cours de l'hiver déjà. Une forte humidité de l'air favorise leur formation. Les téliospores germent au printemps et forment des basidiospores qui infectent les jeunes écaïlles, carmin ou vertes, des cônes de l'épicéa. Cela se produit en mai, au moment de la dissémination des pollens de l'épicéa. Sur la partie extérieure des écaïlles se développent quelques grosses écidies, de couleur jaune à or, qui souvent s'agglutinent (fig. 8). Les écidiospores peuvent alors infecter à nouveau les pyrolacées.

Mais il semble que dans nos régions, les écidiospores de *C. pyrolata* ne réinfectent pas souvent les pyrolacées; la dissémination des urédiospores est donc de moindre importance. Ce champignon tend davantage à se répandre par voie souterraine où il infecte les représentants des pyrolacées. Son mycélium, qui subsiste dans les nodules de vieux stolons, colonise régulièrement de jeunes plantes et de jeunes stolons.

Sous notre climat, ce champignon contamine rarement un grand nombre de cônes d'épicéa, car il ne peut se répandre largement que si la production de basidiospores sur les pyrolacées a lieu au moment de la pollinisation des cônes femelles et s'il fait frais et humide. Par ailleurs, les années où l'épicéa fleurit se répètent à des périodes relativement espacées (tabl. 2).

Autres espèces de rouilles des aiguilles de l'épicéa à hôte alternant

Répandues en Europe, les espèces suivantes de *Chrysomyxa* sont rares, voire inexistantes en Suisse.

Chrysomyxa empetri colonise les épicéas, les camarines hermaphrodites répandues dans les Alpes et les camarines noires présentes ici ou là au sud du Jura (tabl. 1). Il semble qu'en Suisse, ce champignon ne produit que des urédiospores. Comme ces dernières ne peuvent réinfecter que les camarines, il est très rare que les épicéas soient touchés par cette rouille. Le champignon est présent en Europe, au Groenland, au Japon, en Amérique du Nord ainsi que dans les îles Malouines.

Chrysomyxa ledi alterne entre les aiguilles d'épicéa et les espèces de lédons (*Ledum* spp.), des éricacées inexistantes en Suisse (tabl. 1). Cette rouille n'est donc pas répandue sur les épicéas de nos régions. Il en est de même pour *Chrysomyxa woronini* qui colonise aussi les lédons et différentes espèces de *Picea* (tabl. 1) dont il infecte les bourgeons terminaux à la fin du printemps. Les pousses terminales des épicéas ayant un goût sucré et une chair qui devient moelleuse lorsqu'elles sont infectées, elles sont parfois consommées sous forme de «Mjölkomlor» au nord de la Norvège et en Finlande; elles apportent aussi un complément de nourriture au grand tétras en hiver. En Finlande, on appelle ces pousses le «pain du grand tétras».

Importance pour l'économie forestière

Chrysomyxa rhododendri, la plus fréquente et la plus remarquable des rouil-



Fig. 8. *Chrysomyxa pyrolata*: Ces grosses écidies se trouvent sur la partie extérieure des écaïlles d'un cône d'épicéa infecté.

les de l'épicéa, est connue dans les Alpes depuis plus de 100 ans. Pourtant, aucun cas de dépérissement massif n'a été signalé à ce propos jusqu'à ce jour. Cette rouille ne met pas non plus en danger les rhododendrons. Il n'est donc pas nécessaire d'entrevoir des mesures curatives.

La rouille annulaire des aiguilles de l'épicéa (*Chrysomyxa abietis*) se limite principalement aux jeunes peuplements serrés où l'air est constamment humide. D'où la nécessité de les éclaircir à temps. En général, *C. abietis* ne se répand que localement. Cette rouille étant assez fréquente dans les cultures d'arbres de Noël (tabl. 2), elle peut occasionner des pertes considérables. D'après l'ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement, seules les cultures d'arbres de Noël et les pépinières hors forêt peuvent être soumises à un traitement préventif répété de fongicides à l'époque de la frondaison.

Chez les cônes d'épicéa infectés par *Chrysomyxa pyrolata*, la production de semences peut diminuer de 20 à 60 pour cent (tabl. 2). Dans les cas graves, elle est même inexistante. On ne connaît aucun moyen de prévenir cette infection. En Suisse, ce champignon n'apparaît que rarement. Il ne compromet donc ni la régénération ni la récolte des semences.

Régulation naturelle des rouilles de l'épicéa

La biocénose temporaire qui s'établit entre le champignon *Chrysomyxa rhododendri* et les épicéas adultes est un exemple frappant de la manière avec laquelle deux organismes aux mœurs complètement différentes peuvent s'adapter l'un à l'autre et vivre longtemps en parfait équilibre. Par ailleurs, cette « maladie » cryptogamique est régulée par de multiples influences, notamment les conditions climatiques du milieu, comme la présence d'un manteau neigeux en hiver et un temps frais et humide au printemps. En outre, les aiguilles saines de vieux épicéas, spécialement celles d'une année ou deux, arrivent à compenser partiellement la perte des jeunes aiguilles contaminées en augmentant leur production d'éléments nutritifs.

Les antagonistes peuvent également contribuer à la régulation biologique naturelle des rouilles des aiguilles de l'épicéa. Si leur impact est encore peu connu, c'est peut-être parce qu'ils ne sont que deux à avoir été reconnus en tant que tels jusqu'à présent. Le premier est un deutéromycète (Sphaeropsidales), *Darlucula filum* (Biv. ex Fr.) Cast., qui parasite les télies des espèces de *Chrysomyxa*. Le deuxième est une espèce de cécidomyie (Cecidomyiidae) dont les larves mangent les télies et diminuent ainsi l'intensité de la sporulation.

Bibliographie

- BAUER, H.; PLATTNER, K.; VOLGGER, W., 2000: Photosynthesis in Norway spruce seedlings infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*. *Tree Physiol.* 20, 3: 211–216.
- BRÄNDLI, U.-B., 1996: Die häufigsten Waldbäume der Schweiz. Ergebnisse aus dem Landesforstinventar 1983–85: Verbreitung, Standort und Häufigkeit von 30 Baumarten. *Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch.* 342: 278 S.
- BUTIN, H., 1996: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. 3. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart/New York, Thieme. 261 S.
- CECH, T.L., 1994: Nadelkrankheiten und Kronenzustand der Fichte (*Picea abies* L.). Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien. Forstschutzmerkblatt 10: 10 S.
- CRANE, P.E.; HIRATSUKA, Y., 2000: Evidence for environmental determination of uredinia and telia production in *Chrysomyxa pirolata* (inland spruce cone rust). *Can. J. Bot.* 78, 5: 660–667.
- DE BARY, A., 1879: *Aecidium abietum*. *Bot. Ztg.* 37, 48–52: 761–774, 777–789, 801–811, 825–830, 841–847.
- DÖRFELT, H., 1989: Lexikon der Mykologie. Stuttgart/New York, Fischer. 432 S.
- ENGESSER, R., 1990: Rostpilze an Fichten. *Der Gartenbau* 28: 1449.
- FITSCHEN, J., 1994: Gehölzflora. Überarbeitet von MEYER, F.H.; HECKER, U.; HÖSTER, H.R.; SCHROEDER, F.-G. 10. überarb. Aufl. Heidelberg/Wiesbaden, Quelle & Meyer.
- GÄUMANN, E., 1946: Pflanzliche Infektionslehre. Basel, Birkhäuser. 611 S.
- GÄUMANN, E., 1959: Die Rostpilze Mitteleuropas, mit besonderer Berücksichtigung der Schweiz. In: Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz. Bd. 12. Bern, Bückler. 1407 S.
- GÄUMANN, E., 1964: Die Pilze. Grundzüge ihrer Entwicklungsgeschichte und Morphologie. Basel/Stuttgart, Birkhäuser. 541 S.
- GRILL, D.; FACHBACH, G.; BRUNEGGER, A., 1983: REM-Beitrag zum Befall von *Chrysomyxa abietis* Teleutosporenlagern durch Mückenlarven. *Eur. J. For. Pathol.* 13: 409–414.
- HARTMANN, G.; NIENHAUS, F.; BUTIN, H., 1995: Farbatlas Waldschäden – Diagnose von Baumkrankheiten. 2. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, Ulmer. 288 S.
- HEGI, G., 1975: Illustrierte Flora von Mitteleuropa: Dicotyledones. Bd. V, Teil 3. Berlin/Hamburg, Parey. 2254 S.
- HEGI, G., 1981: Illustrierte Flora von Mitteleuropa: Gymnospermae, Angiospermae, Monocotyledoneae 1. Bd. I, Teil 2; 3. völlig neubearb. Aufl. Berlin/Hamburg, Parey. 269 S.
- HEINIGER, U., 1990: Pilzliche Krankheiten der Fichtennadeln – Untersuchungen in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 141, 4: 295–301.
- LAUBER, K.; WAGNER, G., 1998: Flora Helvetica. 2. verbesserte und ergänzte Aufl. Bern/Stuttgart/Wien, Haupt. 1614 S.

Derniers résultats de recherches réalisées en laboratoire et sur le terrain à propos de *Chrysomyxa rhododendri* (Institut de botanique de l'université Leopold-Franzen, Innsbruck)

De jeunes épicéas et des arbres adultes sont infectés à différents degrés par *Chrysomyxa rhododendri*. Chez les jeunes arbres de moins de 6 ans, la proportion de nouvelles aiguilles par rapport à la masse foliaire globale est nettement plus grande que chez les arbres adultes. Dès lors, les jeunes arbres sont davantage dépendants de leurs nouvelles aiguilles. S'ils en perdent plus d'un tiers, leur vitalité et leur croissance en sont altérées. Cette réaction se traduit par une diminution du poids de la masse anhydre des pousses et des racines. Cela est dû à une réduction notable de l'activité photosynthétique des aiguilles contaminées. Une seule forte infection peut faire chuter de 30 à 50% le poids de la masse anhydre. De telles pertes ne pourront être compensées l'année suivante même en l'absence de rouille. Après une infection répétée deux années de suite, la masse anhydre diminue de 60% environ. Les épicéas proches de larges peuplements de rhododendrons risquent alors d'être mis en danger, comme ce fut le cas à divers endroits dans les Alpes autrichiennes.

Les épicéas plus âgés supportent nettement mieux une infection due à *Chrysomyxa rhododendri*. Chez les épicéas adultes comportant jusqu'à dix générations d'aiguilles, la proportion de nouvelles aiguilles par rapport à la masse foliaire globale est relativement faible. Dès lors, une seule infection de rouille vésiculeuse sur la dernière génération d'aiguilles n'a que peu d'effet sur la croissance. Par ailleurs, les aiguilles de l'année précédente n'étant pas infectées, elles peuvent augmenter jusqu'à 50% leur production d'éléments nutritifs et compenser partiellement ainsi ce que les aiguilles infectées n'ont pu produire. Toutefois, une forte infection répétée deux ou trois ans de suite – ce qui est rare – et donc la perte d'une grande partie des aiguilles, ralentit la croissance (les cernes sont plus étroits) et altère la vitalité des épicéas touchés.

- MURRAY, J.S., 1953: A note on the outbreak of *Chrysomyxa abietis* Unger (spruce needle rust) in Scotland, 1951. *Scott. For.* 7, 2: 52–56.
- OBERHUBER, W.; THOMASER, G.; MAYR, S.; BAUER, H., 1999: Radial Growth of Norway Spruce infected by *Chrysomyxa rhododendri*. *Phyton* 39, 4: 147–154.
- OECHSLIN, M., 1927: Die Verbreitung des Alpenrosenrostes, *Chrysomyxa rhododendri*, im Kanton Uri in den Sommern 1924–1926. *Schweiz. Z. Forstwes.* 78, 10: 316–323.
- OECHSLIN, M., 1933: Die *Chrysomyxa rhododendri*. *Schweiz. Z. Forstwes.* 84, 1: 1–5.
- PHILLIPS, D.H.; BURDEKIN, D.A., 1992: Diseases of forest and ornamental trees. 2. ed. London/Basingstoke, MacMillan Press. 581 S.
- PLATTNER, K., 1998: Photosynthese und Wachstum *Chrysomyxa*-infizierter Jungfichten. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit: 80 S.
- PLATTNER, K.; VOLGGER, W.; OBERHUBER, W.; MAYR, S.; BAUER, H., 1999: Dry mass production in seedlings of Norway spruce infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*. *Eur. J. For. Pathol.* 29, 5: 365–370.
- Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz und Dendrologie, 1993: Mitteleuropäische Waldbaumarten. Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz. *Picea abies* (L.) Karst. ETH Zürich, Departement Forstwissenschaften. 7 S.
- RICHTER, B., 1991: Der Alpenrosenrost – ein interessanter Vertreter der Rostpilze. *Mikrokosmos* 80, 9: 260–264.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1989: Die Fichte. Krankheiten, Schäden, Fichtensterben. Bd. II/2. Hamburg/Berlin, Parey. 607 S.
- SELOCHNIK, N.N., 1990: Microflora of azaleas and rhododendrons. *Mikologiya i Fitopatologiya* 24, 4: 358–362.
- SILLER, CH., 1999: Auswirkungen eines *Chrysomyxa*-Befalls auf die Photosynthese erwachsener Fichten. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit. 88 S.
- SINGH, P.; CAREW, G.C., 1990: Inland spruce cone rust of black spruce: Effect on cone and seed yield, and seed quality. *Eur. J. For. Pathol.* 20: 397–404.
- SUTHERLAND, J.R.; HOPKINSON, S.J.; FARRIS, S.H., 1984: Inland spruce cone rust, *Chrysomyxa pirokata*, in *Pyrola asarifolia* and cones of *Picea glauca*, and morphology of the spore stages. *Can. J. Bot.* 62, 11: 2441–2447.
- THOMASER, G., 1998: Auswirkungen eines Befalls mit *Chrysomyxa rhododendri* auf den Jahrringzuwachs der Fichte. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit: 84 S.
- VOLGGER, W., 1997: Auswirkungen einer Infektion mit *Chrysomyxa rhododendri* auf Photosynthese und Wachstum der Fichte. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit. 87 S.
- ZILLER, W.G., 1974: The tree rusts of western Canada. *Can. For. Serv. Publ. No. 1329: 272 S.*

Crédits photographiques

Ma reconnaissance s'adresse aux institutions et aux collègues qui ont exécuté les dessins et m'ont prêté les photos figurant dans ce document: Dessin «Cycle évolutif» Verena Fataar, Département Logistique et Marketing, Sect. Communication et Marketing/WSL; fig. 1.1 Ulrich Wasem, Département de recherche Forêt, Sect. Gestion des ressources forestières/WSL; fig. 1.2, 1.3a, 1.4, 1.5, 6, 7, 8 SPOI, Département de recherche Forêt, Sect. Protection de la forêt et de l'environnement/WSL; fig. 1.3, 1.7 Prof. Dr Helmut Bauer, Institut de botanique de l'Université d'Innsbruck; fig. 2, 3, 5 Phytopathologie, Département de recherche Forêt, Sect. Protection de la forêt et de l'environnement/WSL; fig. 4 Prof. Dr Ottmar Holdenrieder, D-FOWI, Chaire de Pathologie forestière et de dendrologie, EPF Zürich.

Traduction: Monique Dousse

Adresse de l'auteur

Dr. Dagmar Nierhaus-Wunderwald
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
E-mail: dagmar.nierhaus@wsl.ch

Liste des derniers numéros parus dans la série des «Notice pour le praticien»

- no 24* NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1995: Le grand scolyte du mélèze. Biologie, surveillance et interventions sylvicoles. 6 p.
- no 25*/** EGLI, S.; AYER, F.; LUSSY, S.; SENN-IRLET, B.; BAUMANN, P., 1995: La protection des champignons en Suisse. Un aide-mémoire à l'intention des autorités et des milieux intéressés. 8 p.
- no 26* STÖCKLI, B., 1996: La régénération des forêts de montagne sur du bois mort. 8 p.
- no 27* NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1996: Maladies fongiques en haute altitude. Biologie et symptômes. 8 p.
- no 28* NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; LAWRENZ, P., 1997: Biologie du gui. 8 p.
- no 29*/** NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1998: Biologie et régulation naturelle des hyponomeutes. 8 p.
- no 30*/** FORSTER, B.; BUOB, S.; COVI, S.; OEHRY, E.; URECH, H.; WINKLER, M.; ZAHN, C.; ZUBER, R., 1998: Nettoyement du parterre de coupe. 4 p.
- no 31*/** NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; FORSTER, B., 2000: Les insectes corticoles des pins. 12 p.

* Egalement disponible en allemand/** et en italien