

biologie et forêt

SPHAEROPSIS SAPINEA UN NOUVEAU PROBLÈME SANITAIRE DES PINS EN FRANCE ?

D. PIOU, P. CHANDELIER, M. MORELET

Depuis plusieurs années en France, des dégâts importants imputés au champignon *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton sont observés sur de nombreuses espèces de Pins. L'ampleur de cette recrudescence nous a amenés à démarrer des programmes de recherche sur ce pathogène. Le travail bibliographique préliminaire entrepris sur ce sujet se concrétise par cette note. Les observations, essentiellement qualitatives, récentes ou anciennes, effectuées par l'un ou l'autre d'entre nous complètent cette synthèse.

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE ET PLANTES HÔTES

Sphaeropsis sapinea présente une très large répartition dans le monde (Anonyme, 1969). Il est signalé sur les cinq continents et une bibliographie récente (Swart *et al.*, 1985) le recense dans plus d'une trentaine de pays.

En Amérique du Nord, *Sphaeropsis sapinea* pose problème dans le Nord-Est des États-Unis et l'Ontario canadien, les Appalaches, les grandes plaines centrales et en Californie (Peterson, 1981 a et b). Les problèmes importants sont recensés en plantations ornementales et en reboisements notamment sur *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*. Parmi les Pins indigènes, *Pinus ponderosa* présente des symptômes d'attaques mais pratiquement jamais en plantation naturelle. *Pinus resinosa* est moins sensible. En Californie par contre, *Pinus radiata*, originaire de cet État, est très atteint.

Dans l'hémisphère Sud, les plantations de cette dernière espèce sont fréquemment touchées. En Afrique du Sud, où la maladie est connue depuis le début du siècle, les dégâts sur *Pinus radiata*

ont conduit à en limiter les plantations (Swart *et al.*, 1985). *Pinus taeda*, *Pinus patula* et surtout *Pinus elliotii* sont moins sensibles.

Plus au nord, *Sphaeropsis sapinea* est décrit en Afrique de l'Est, jusqu'en Ouganda et au Kenya, ainsi que sur l'île Maurice dans l'océan Indien (Anonyme, 1969). En Nouvelle-Zélande, une augmentation des attaques est constatée depuis les années soixante (Chou, 1976 a, 1987) sur *Pinus radiata* tout comme en Australie (Marks et Minko, 1969).

L'aire de répartition de *Sphaeropsis sapinea* s'étend aussi en Amérique du Sud (Argentine, Brésil et Chili) et en Asie, de l'Inde à la Malaisie, en Chine et au Japon (Anonyme, 1969).

En Europe, *Sphaeropsis sapinea* est décrit pour la première fois par Fries en 1822. Il est ensuite signalé en France par Desmazières (1842), puis par Kickx en Belgique et en Italie (1867). Les problèmes semblent toutefois peu importants, mis à part quelques cas signalés en Italie (Capretti, 1956) et dans le Sud de la France sur *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus halepensis* et *Pinus sylvestris* (Morelet, 1981). Peace (1962) cite également des attaques sérieuses sur *Pinus sylvestris* et *Pinus nigra* en Roumanie et en Espagne ainsi que sur *Pinus halepensis* au Portugal. Enfin, sur les Iles britanniques, le champignon, s'il est présent (R.-G. Strouts, communication personnelle), ne provoque pas de dégâts sérieux.

Cependant, depuis le début des années 1980, une recrudescence de l'activité du champignon est observée en Europe. En Hollande, un développement épidémique débute en 1982 pour culminer en 1985 (De Kam, 1985). *Pinus laricio* var. *austriaca*, *Pinus laricio* var. *corsicana* et *Pinus sylvestris* sont les espèces les plus touchées. En RFA, pendant l'été 1984, jusqu'à 30 % des pins (âgés de 10 à 40 ans) sont atteints dans certaines zones de Forêt-Noire (Butin, 1984).

En France, le même phénomène se produit comme il a été indiqué plus haut. Des dégâts importants et même des dépérissements de pins dans lesquels ce champignon semble impliqué ont pu être constatés notamment dans le Centre et dans l'Est de la France. Les premières constatations faites par le Département de la Santé des Forêts en 1989 confirment la présence de ce champignon dans les deux régions précitées. *Pinus laricio* et *Pinus nigra austriaca* semblent actuellement les espèces les plus sensibles.

Enfin, il convient de signaler que, si *Sphaeropsis sapinea* est principalement actif sur le genre *Pinus* (33 espèces différentes ont d'ores et déjà été signalées comme hôtes potentiels), (Palmer et Nicholls, 1985), il est aussi présent sur presque tous les genres de Pinacées : *Picea* spp., *Abies* spp., *Pseudotsuga menziesii*, *Larix decidua* ; mais encore sur les Cupressacées, une forme spéciale ayant même été décrite sur *Cupressus* spp. en Israël : *Diplodia pinea* F. sp. *cupressi* (Madar *et al.*, 1989).

LES SYMPTÔMES

Sphaeropsis sapinea, bien que présent sur de nombreux genres, est essentiellement associé à des symptômes maladiés sur *Pinus* spp. Il peut fructifier sur de nombreux organes de la plante (Swart *et al.*, 1985) et dans la litière (Waterman, 1943).

Dessèchements des pousses de l'année

C'est le symptôme le plus fréquemment observé dans toutes les régions où le champignon est présent (Chou, 1976 a ; Peterson, 1977 ; Swart *et al.*, 1985 ; De Kam, 1985). L'infection des pousses débute précocement avant même la sortie complète des aiguilles. Elle se traduit d'abord par l'apparition d'exsudats de résine au niveau de la pousse, puis (photo 1) par un roussissement des aiguilles infectées qui restent plus courtes que les aiguilles vertes (photo 2),

Photos D. PLOU.



Photo 1 Dessèchement de la pousse de l'année sur *Pinus sylvestris* causé par *Sphaeropsis sapinea*.



Photo 2 Pousse sèche en crosse de *Pinus sylvestris* causée par *Sphaeropsis sapinea*.

(Peterson, 1977, 1981 a, b). La pousse reste nanifiée, elle peut prendre la forme d'une crosse (Swart et al., 1985). Au cours de l'été, les aiguilles deviennent gris cendre à brunes et des fructifications noires apparaissent (notamment sous la gaine insérant ces aiguilles). La résine durcie rend le rameau sec et cassant. Dans la plupart des cas, une réaction de défense se produit au niveau de la pousse lignifiée de l'année précédente. Celle-ci dans ce cas n'est pas affectée. Lorsque la pousse terminale est ainsi détruite, un départ de pousses latérales se produit. Ce type de dégâts est aussi observé en pépinière sur des semis de un an et plus (Slagg et Wright, 1943 ; Palmer et Nicholls, 1985).

Infection sur cônes

Sphaeropsis sapinea colonise abondamment les écailles des cônes de deux ans. Les pycnides apparaissent soit à l'automne de l'année de l'infection si les pluies d'été sont abondantes, soit au printemps suivant si la pluviosité a été inférieure à la normale (Peterson, 1977). Dans le cône contaminé, les graines sont indemnes et semblent germer normalement, par contre le rachis central et le pédoncule fructifère sont généralement atteints. Le nombre de pycnides par cône est souvent considérable (photo 3, p. 207).

Sur des arbres indemnes de tout autre symptôme, nous avons pu observer dans l'Arboretum national des Barres à Nogent-sur-Vernisson (Loiret) des cônes fortement contaminés par *Sphaeropsis sapinea*. De même, dans un peuplement mélangé de *Pinus sylvestris* et de *Pinus laricio* de 60 ans, au sud d'Orléans, des fructifications abondantes couvraient les cônes des deux essences alors que seuls les *Pinus laricio* présentaient des symptômes de dépérissement. Ces observations confirment celles de Peterson (1981) qui signale de plus que, sur les vieux arbres, l'infection commence d'abord par les cônes.

Chancres sur rameaux et troncs

Sur des branches de plus d'un an et sur le tronc, *Sphaeropsis sapinea* provoque des nécroses plus ou moins importantes pouvant ceinturer l'organe attaqué et entraîner le dessèchement complet de la partie située au-dessus de la zone touchée. À ce niveau, les tissus de l'écorce deviennent bruns à légèrement violets formant une tache d'abord humide puis sèche qui prend alors une coloration plus noire (Chou, 1987).

Nous avons pu observer des symptômes tout à fait comparables sur *Pinus laricio* dans la région d'Orléans et sur des sites calcaires dans la région de Montargis (Loiret) ainsi que sur *Pinus ponderosa* dans l'Arboretum national des Barres. *Sphaeropsis sapinea* fructifie dans ce cas abondamment sur l'écorce nécrosée des parties atteintes. L'attaque est quasiment toujours présente dans la partie supérieure de l'arbre, la partie inférieure est en général saine avec un liber épais et turgescant. Sur branches de *Pinus sylvestris*, nous avons pu constater aussi des faciès chancreux fréquents avec des concrétions de résine plus ou moins importantes. Ce chancre n'entraîne pas forcément la mort de la branche concernée.

Bleuissement du bois

À la suite d'une attaque d'écorce, le bois sous-jacent est colonisé par les hyphes du champignon qui se développent abondamment dans les cellules radiales. Le bois prend une coloration gris beige à bleu foncé qui s'assombrit avec le temps (Chou, 1987). Nous avons constaté ce phénomène sur de nombreux Pins d'Alep dépérissants dans la région de Montpellier (Buzignargues-Hérault) en 1987 (photo 4, ci-contre). Si les qualités mécaniques du bois ne sont pas altérées, l'aspect esthétique des sciages est largement déprécié.

Nécroses des racines et du collet

Des mortalités de plants de 1 à 3 ans ont été constatées dans certaines pépinières des États-Unis (Slagg et Wright, 1943 ; Palmer et Nicholls, 1985) avec des colorations et des exsudations de résine au niveau du collet. *Sphaeropsis sapinea* a pu être isolé dans les tissus atteints. Wingfield et Knox-Davies (1980) signalent par ailleurs des attaques racinaires sur *Pinus taeda* et *Pinus elliotii*. Les symptômes sur arbres sont des bleuissements radiaux ou totaux des jeunes racines s'étendant aux racines principales et parfois au tronc. Swart *et al.* (1985) ont pu isoler *Sphaeropsis sapinea* sur racines de *Pinus radiata* âgés de 20 ans et présentant des signes de chlorose. En 1975, nous avons isolé *Sphaeropsis sapinea* sur racines de *Pinus pinaster* dépérissants (Morelet, 1975).

L'AGENT CAUSAL

L'observation des symptômes décrits précédemment ne suffit pas à caractériser l'action de *Sphaeropsis sapinea*. En effet, d'autres champignons (*Sclerophoma pithyophila* (Corda) Höhnelt, *Sirococcus strobilinus* Preuss, *Melampsora pinitorqua* Rostrup en début d'attaque), des dégâts d'insectes (Hylésine tordeuse de pousses du pin), et même des causes abiotiques (sécheresse, froid, ...) peuvent être à l'origine de symptômes tels que des dessèchements de pousse.

Fort heureusement le champignon fructifie facilement et abondamment sur tous les organes qui l'hébergent. Les pycnides sont noires, plus ou moins agrégées, d'abord sous-épidermiques puis érompantes. Elles mesurent environ 200 μm de diamètre (Sutton, 1980).

Cependant, il est indispensable de procéder à une observation microscopique de ces fructifications pour confirmer l'identité du champignon. Les pycnides de *Sphaeropsis sapinea* peuvent être en effet confondues avec celles de *Sclerophoma pithyophila* au niveau macroscopique

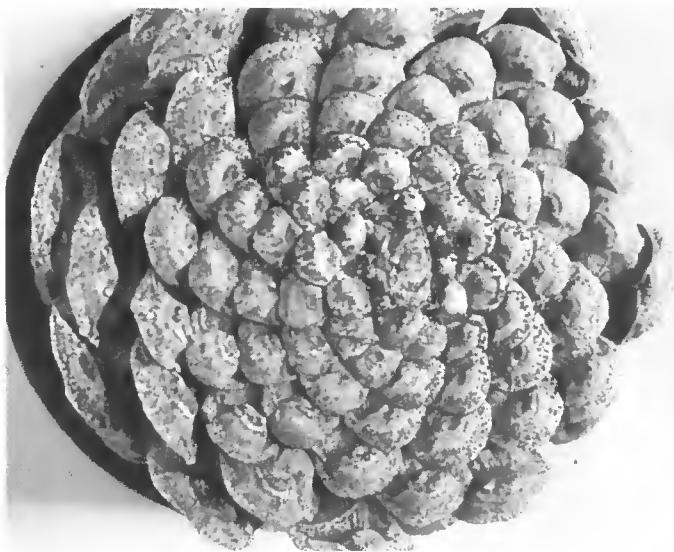


Photo P. CHANDELIER.

Photo 3 Fructifications de *Sphaeropsis sapinea* sur cône de *Pinus laricio corsicana*.

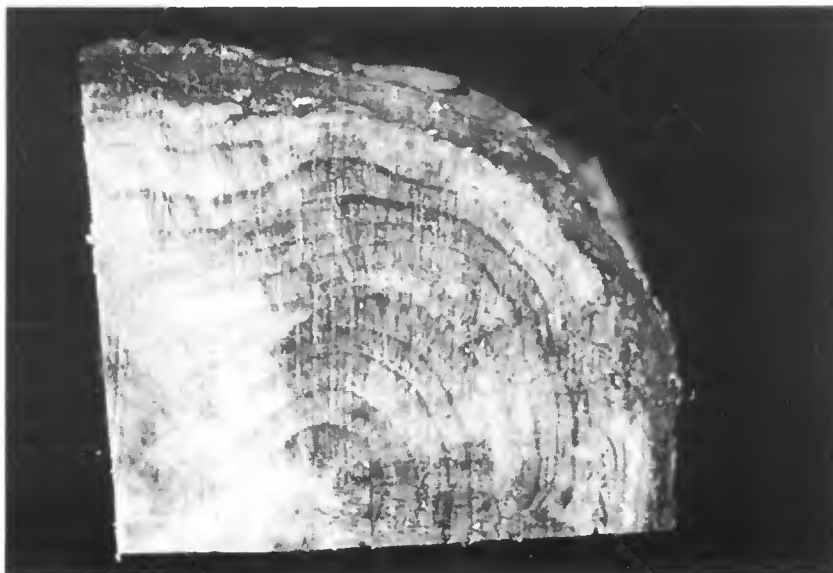


Photo M. MORELET.

Photo 4 Bleuissement du bois de cœur de *Pinus halepensis* causé par *Sphaeropsis sapinea*.



Photo 5 Conidies de *Sphaeropsis sapinea*.

Photo P. CHANDELIER.

(Petraik, 1961). Les conidies de *Sphaeropsis sapinea* sont par contre typiques. Elles sont unicellulaires, allongées, tronquées à la base, arrondies à leur sommet, la paroi est légèrement rugueuse (photo 5, ci-dessus). Elles sont abondantes dans les fructifications. D'abord hyalines, elles deviennent brunes à maturité. À ce stade, elles peuvent parfois être bicellulaires (d'où vient la dénomination ancienne du champignon : *Diplodia pinea* (Desm.) Kickx). Elles mesurent $30-45 \times 10-16 \mu\text{m}$ (Sutton, 1980). À ce jour, aucune forme sexuée n'a pu être mise en évidence.

En revanche, la présence de spermaties (conidies unicellulaires, hyalines, cylindriques à extrémité ronde et mesurant $2,4-6 \times 0,9-1,8 \mu\text{m}$) est parfois signalée (Wingfield et Knox-Davies, 1980 ; Palmer *et al.*, 1987). Elles naissent sur des spermatophores distincts des conidiophores et sont incapables de germer. Nous avons pu aussi observer de telles microconidies en mélange avec des macroconidies dans une même fructification.

CYCLE BIOLOGIQUE DU CHAMPIGNON

Peu d'études ont été effectuées en Europe, la plupart des données proviennent d'Amérique du Nord ou d'Afrique du Sud et de Nouvelle-Zélande. Les spores sont disséminées pendant toute la saison de végétation, de mars à octobre, avec une période optimale d'avril à juin pendant la croissance des pousses (Palmer *et al.*, 1988 ; Peterson, 1981 a et b). Les pics de dissémination correspondent toujours aux périodes pluvieuses (Brookhouser et Peterson, 1971), mais surtout lorsqu'elles ont lieu en période chaude (Swart *et al.*, 1987). Sur des attaques en pépinières, un gradient dans l'intensité de la maladie est constaté à partir d'arbres adultes voisins contaminés (Palmer *et al.*, 1988). Ces auteurs soulignent l'importance des sources proches d'inoculum. Si le vent est cité comme essentiel dans la dissémination des spores à distance, le rôle des insectes est pratiquement inconnu dans cette dispersion (Swart *et al.*, 1985).

La contamination se réalise à des températures assez élevées, l'optimum de germination est de 24°C et celui de la croissance du tube germinatif de 28°C (Peterson, 1981 b). Les cônes sont infectés au cours de leur elongation, généralement trois semaines après l'infection des pousses (Peterson, 1977). Ils constituent la source la plus importante d'inoculum (Palmer *et al.*, 1988).

La pénétration dans les aiguilles se réalise toujours par les stomates, jamais directement à travers l'épiderme (Brookhouser et Peterson, 1971). La sensibilité des aiguilles est maximum d'avril à juin. Sur les tissus non lignifiés des jeunes pousses, la pénétration est par contre directe par la cuticule après la formation d'un agrégat mycélien au niveau de pénétration (Chou, 1978).

Pour Chou (1982), l'infection ne peut pas être initiée à 5°C. A 10°C, le niveau d'infection peut être élevé si le taux d'humidité n'est pas un facteur limitant. Par contre, une extension importante de la nécrose de la pousse nécessite des températures de l'ordre de 25 à 30°C. En résumé, des températures de 10-12°C, 15°C et 20-25°C ou plus, durant un à deux jours humides ou pluvieux, pourraient représenter des risques respectivement faibles, modérés et sérieux.

Les premiers symptômes sont observés dès la fin mai (De Kam et Van Dam, 1987), ou même à la mi-mai (observations en région Centre, 1989). Les premières pycnides immatures peuvent apparaître fin juin (De Kam et Van Dam, l.c.) ou parfois plus tard, à la fin de l'été ou même au printemps suivant (Peterson, 1981 a et b).

FACTEURS PRÉDISPOSANTS

Le rôle parasitaire de *Sphaeropsis sapinea* et la nécessité de facteurs prédisposants à l'infection ont fait l'objet de nombreuses études parfois contradictoires (Chou, 1976 a et b ; Swart *et al.*, 1987 ; Bachi et Peterson, 1985).

Rôle des blessures

Elles ont souvent été citées comme un préalable à la pénétration du champignon dans l'arbre. En fait, le comportement des arbres à l'infection varie en fonction de l'organe concerné.

Plusieurs auteurs (Brookhouser et Peterson, 1971 ; Chou, 1978 ; De Kam et Van Dam, 1987) affirment la non-nécessité de blessures pour la contamination des pousses en cours d'élongation (inoculations artificielles à l'aide de suspension de spores). Néanmoins Swart *et al.* (1985) obtiennent des taux plus importants de mortalité de pousses après blessures artificielles par piqûres. Ces études expérimentales sont cependant réalisées avec des taux d'inoculum considérables. Aussi, de nombreux auteurs s'accordent à penser que les pousses non blessées ne sont sensibles qu'en présence d'une forte pression d'inoculum (nombreux cônes infectés à proximité) et de conditions favorables de germination du champignon.

Les conditions de pénétration du parasite sur tronc et branches sont moins discutées. Peterson (1981), sur la base de nombreuses observations histologiques faites au niveau des entrenœuds, affirme n'avoir jamais observé le passage de *Sphaeropsis sapinea* d'une pousse atteinte, ou du pédoncule fructifère d'un cône, aux tissus voisins lignifiés de la plante.

Aussi la plupart des auteurs s'accordent pour reconnaître la nécessité de blessures pour la pénétration de *Sphaeropsis sapinea* dans les tissus lignifiés (Peterson, 1981 a et b ; De Kam et Van Dam, 1987 ; Swart *et al.*, 1985 ; Sinclair, 1987). Ces blessures peuvent être d'origines diverses :

— En France, le Laboratoire de Pathologie forestière (INRA) a observé en 1971 dans les Landes à Arengosse, de fortes attaques de *Sphaeropsis sapinea* sur une centaine d'hectares de *Pinus pinaster* grêlés, aussi bien en peuplement âgé d'une soixantaine d'années que sur jeune peuplement d'environ vingt ans. Plus récemment, en Afrique du Sud, Lundquist (1987), Swart *et al.* (1987) signalent aussi d'importants dégâts liés à la grêle.

— Le gel aux États-Unis, après un hiver particulièrement froid (Johnson *et al.*, 1985) crée des voies d'infection pour *Sphaeropsis sapinea*.

— Les blessures provoquées par les insectes sont également largement évoquées : attaques simultanées de *Sphaeropsis sapinea* et d'un hémiptère (*Aphrophora parallela* Say) aux États-Unis (Haddow et Newman, 1942) ; rôle d'un défoliateur (*Orgyia anartoïdes* Walker) en Australie (Browne, 1968) et d'un charançon (*Pissodes nemorensis* Germ.) en Afrique du Sud (Swart *et al.*, 1987). En France, en Indre-et-Loire, nous avons observé en 1973 une forte corrélation entre des attaques de tordeuses des pousses (*Rhyacionia buoliana* Den. et Schiff.) et *Sphaeropsis sapinea* sur *Pinus pinaster*. Plus récemment encore en région Centre, *Sphaeropsis sapinea* est isolé à partir de nécroses corticales prenant naissance sur des blessures ressemblant beaucoup à des morsures de charançon tel que *Hylobius abietis* L. Expérimentalement, la possibilité de pénétration de *Sphaeropsis sapinea* par les plaies d'élagage de branches vertes a été démontrée sur *Pinus radiata* (Chou et Mackensie, 1988).

— Enfin, les lésions occasionnées par certains champignons, comme celles que provoque *Crumenulopsis sororia* (Karst.) Groves sur *Pinus halepensis*, constituent aussi des portes d'entrée pour *Sphaeropsis sapinea* (Morelet, 1971).

Rôle de l'état physiologique des arbres

Les attaques sur pousses et sur cônes semblent en général indépendantes de l'état physiologique de l'arbre (Waterman, 1943 ; Marks et Minko, 1969 ; Chou, 1976, 1987 ; Peterson, 1981 ; De Kam et Van Dam, 1987 ; Sinclair *et al.*, 1987). Pour les attaques corticales, les stress, notamment hydriques, jouent un grand rôle dans la réussite des infections. Chou (1987) démontre expérimentalement que seul un stress hydrique provoque un dépérissement de cime après inoculation sur tige. La longueur de la nécrose semble par ailleurs corrélée avec le niveau du stress.

En 1973, le Laboratoire de Pathologie forestière (INRA) a relevé de fortes attaques de *Sphaeropsis sapinea* sur *Pinus laricio* en provenance d'un essai de fertilisation en forêt domaniale de Moulière. Les sujets les plus atteints étaient ceux qui présentaient la plus forte croissance en hauteur et en diamètre et qui avaient été fertilisés, selon M. Adrian (Station de Recherches sur les Sols forestiers), par un apport phospho-potassique, contrairement aux sujets dépressifs et peu atteints fertilisés en azote.

Cette observation est en contradiction avec celle de Chou (1976 a) en Nouvelle-Zélande qui signale l'effet sensibilisant d'une alimentation élevée en azote. De Kam *et al.* (1989, communication personnelle) signalent le même phénomène en Hollande. Ces derniers auteurs émettent aussi l'hypothèse d'une action aggravante des émissions d'azote ammoniacal en provenance des élevages intensifs à proximité des peuplements atteints.

POUVOIR PATHOGÈNE

La comparaison entre les différentes expériences mesurant le pouvoir pathogène est rendue difficile par l'existence, démontrée aux USA et en Afrique du Sud (Palmer *et al.*, 1987 ; Swart *et al.*, 1987), de souches de *Sphaeropsis sapinea* d'agressivité différente.

« Aux USA, deux types (A et B) ont pu être caractérisés au sein de l'espèce *Sphaeropsis sapinea* sur la base de critères morphologiques en culture, des profils enzymatiques et des différences de pathogénicité. Les souches A ont une croissance rapide, un mycélium aérien duveteux, des conidies assez grandes ($36 \times 12,9 \mu\text{m}$ en culture). Par inoculation, elles provoquent des dessèchements de pousses sans blessure préalable. A l'inverse, les souches B n'infectent les pousses que si elles ont été blessées. En culture, le mycélium est plus sombre et plus rasant, les conidies mesurent $34,3 \times 12,1 \mu\text{m}$. Les profils enzymatiques des deux souches sont aussi différents » (Palmer *et al.*, 1987).

La recrudescence d'attaques en Hollande a conduit des chercheurs à étudier aussi l'existence de souches de virulence variable. Aucune variabilité de pouvoir pathogène n'a cependant pu être mise en évidence dans ce pays (Keen et Smits, 1989).

En Afrique du Sud, de tels travaux sont en cours (les premiers résultats montrent l'existence de types différents du champignon) (Swart *et al.*, 1987).

LES DÉGÂTS

Largement répartis à travers le monde, les dégâts de *Sphaeropsis sapinea* ne sont pas sans conséquence sur la production et la qualité du bois produit. En Australie (État de Victoria), en 1951, dans des parcelles attaquées, 50 à 60 % des arbres présentent une cime morte (Millikan et Anderson, 1957). En Afrique du Sud (Swart *et al.*, 1987), après une période de sécheresse, une mortalité de 20 % est observée sur *Pinus taeda* de 28 ans, tandis qu'une forte grêle provoque une attaque de *Sphaeropsis sapinea* telle que 400 hectares de *Pinus taeda* et *Pinus pinaster* doivent être coupés à blanc. Par ailleurs, dans le Swaziland, une attaque racinaire (Wingfield et Knox-Davies, 1980) est cause de la mort de plus de 50 % des plants sur 600 hectares (*Pinus taeda* surtout). Aux États-Unis (Nicholls et Ostry, 1990), des chancre sur *Pinus resinosa* et *Pinus banksiana* entraînent une mortalité pouvant atteindre respectivement 30 et 15 % des plants. Dans une pépinière du Wisconsin en 1981, près de 35 % des plants de *Pinus resinosa* sont attaqués (Palmer et Nicholls, 1985). En Europe, les dégâts les plus importants ont été recensés aux Pays-Bas où une enquête effectuée en 1989 sur 25 000 hectares montre 2 300 hectares et 900 hectares avec respectivement plus de 40 et 20 % de branches mortes.

LUTTE

Un certain nombre de mesures prophylactiques, tenant compte de la biologie du champignon, peuvent limiter les dégâts en pépinières et en jeunes plantations. L'adaptation des essences à la station forestière est indispensable pour limiter le risque de stress (hydrique ou nutritionnel). Des travaux de taille effectués en dehors des périodes pluvieuses évitent les contaminations par les spores. Une éclaircie réalisée précocement diminue l'humidité dans le sous-bois. D'autre part, la plantation près d'une parcelle adulte déjà contaminée est à éviter, les cônes constituant un réservoir d'inoculum considérable (Palmer *et al.*, 1988).

Enfin, la lutte chimique ne peut être envisagée que lorsqu'elle est applicable de façon réaliste (pépinières et jeunes plantations). La période de sensibilité des pousses sera mise à profit pour effectuer une application fongicide. Des expérimentations en pépinières ont montré la bonne efficacité du bénomyl à 1,1 kg de matière active par hectare. Quatre applications sont nécessaires à compter de mai (Palmer *et al.*, 1986).

CONCLUSIONS

Le potentiel de nuisibilité de *Sphaeropsis sapinea* tel qu'il se dégage de notre analyse ainsi que les nombreuses observations réalisées dans le cadre des réseaux du Département de la Santé des Forêts en 1990 attestent des risques importants encourus par les pinèdes de notre pays, notamment si les stress climatiques (sécheresse) de ces deux dernières années venaient à durer.

Des recherches sont engagées en France pour préciser nos connaissances notamment dans les domaines suivants :

— celui du rôle éventuel, mais non démontré, des insectes comme vecteurs du champignon, ainsi que le rôle du stress dans la réussite de l'infection (étude entreprise à l'ENITEF de Nogent-sur-Vernisson),

— celui de la variabilité du champignon tant sous l'angle morphologique, cultural et biochimique que celui de son pouvoir pathogène (étude réalisée par le Service régional de la Protection des Végétaux (SRPV) de Nancy en collaboration avec l'INRA de Champenoux).

D. PIOU
ÉCOLE NATIONALE DES INGÉNIEURS DES TRAVAUX DES EAUX ET FORÊTS
Domaine des Barres
45290 NOGENT-SUR-VERNISSON

P. CHANDELIER
SERVICE RÉGIONAL DE LA PROTECTION DES VÉGÉTAUX
38, rue Sainte-Catherine
54043 NANCY CEDEX

M. MORELET
Laboratoire de Pathologie forestière
CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES (INRA)
CHAMPENOUX
54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME. — *Diplodia pinea*. — CMI, Distribution maps of plant diseases, n° 459, Kew (England), 1969.
- BACHI (P.R.), PETERSON (J.L.). — Enhancement of *Sphaeropsis sapinea* stem invasion of Pines by water deficits. — *Plant Disease*, n° 69, 1985, pp. 798-799.
- BROOKHOUSER (L.W.), PETERSON (G.W.). — Infection of Austrian, Scots and Ponderosa Pines by *Diplodia pinea*. — *Phytopathology*, n° 61, 1971, pp. 409-414.
- BUTIN (H.). — Triebspitzenschaden an *Pinus sylvestris*, verursacht durch *Sphaeropsis sapinea* (= *Diplodia pinea*). — *Allgemeine Forstzeitschrift*, n° 50, 1984, pp. 1256-1257.
- CAPRETTI (C.). — *Diplodia pinea* (Desm.) Kickx agente del disseccamento di varie specie del gen. *Pinus* e di altre conifere. — *Annali. Accademia italiana di Scienza forestali*, n° 5, 1956, pp. 171-202.
- CHOU (C.K.S.). — A shoot dieback in *Pinus radiata* caused by *Diplodia pinea*. I: Symptoms, disease development and isolation of pathogen. — *New-Zealand Journal of Forestry Science*, n° 6, 1976 a, pp. 72-79.
- CHOU (C.K.S.). — A shoot dieback in *Pinus radiata* caused by *Diplodia pinea*. II: Inoculation studies. — *New-Zealand Journal of Forestry Science*, n° 6, 1976 b, pp. 409-420.
- CHOU (C.K.S.). — Crown wilt of *Pinus radiata* associated with *Diplodia pinea* infection of woody stems. — *European Journal of Forest Pathology*, n° 17, 1987, pp. 398-411.
- CHOU (C.K.S.). — Penetration of young stems of *Pinus radiata* by *Diplodia pinea*. — *Physiological Plant Pathology*, n° 12, 1978, pp. 189-192.
- CHOU (C.K.S.), MACKENSIE (M.). — Effects of pruning intensity and season on *Diplodia pinea* infection of *Pinus radiata* stem through pruning wounds. — *European Journal of Forest Pathology*, n° 18, 1988, pp. 437-444.
- CURRIE (D.), TOES (E.). — Stem volume loss due to severe *Diplodia pinea* infection in a young *Pinus radiata* stand. — *New Zealand Journal of Forestry*, n° 23, 1978, pp. 143-148.
- DESMAZIÈRES (J.-B.). — Neuvième notice sur quelques plantes, la plupart inédites, récemment découvertes en France et qui vont paraître en nature dans la collection publiée par l'auteur. — *Annales des Sciences naturelles*, n° 11 (17), 1842, pp. 91-118.

- HADDOW (W.R.), NEWMAN (F.S.). — A disease of the Scots pine (*Pinus sylvestris*) caused by *Diplodia pinea* Kickx associated with the pine spittlebug (*Aphrophora parallela* Say.). — *Trans. Can. Inst.*, n° 24, 1942, pp. 1-18.
- JOHNSON (D.W.), PETERSON (G.W.), DORSET (R.D.). — *Diplodia* tip blight of *Ponderosa Pine* in the Black Hills of South Dakota. — *Plant Disease*, n° 69, 1985, pp. 136-137.
- KAM (M. de). — *Sphaeropsis* (= *Diplodia*) shoot dying : an incident or a permanent problem. — *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, n° 57, 1985, pp. 118-122.
- KAM (M. de), VAN DAM (B.C.). — Shoot blight and bark necrosis caused by *Sphaeropsis sapinea* in the Netherlands. — *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, n° 59, 1987, pp. 215-219.
- KAM (M. de), VAN DAM (B.C.), VERSTEEGEN (C.M.), VAN DEN BURG (J.). — A serious epidemic of *Sphaeropsis sapinea* in the Netherlands and the role of ammonium deposition as an epidemiological factor. — 1989 (communication personnelle).
- KENN (A.), SMITS (T.F.C.). — Application of a mathematical for a temperature optimum curve to establish differences in growth between isolates of a fungus. — *Nerth. J. Pl. Path.*, n° 95, 1989, pp. 37-49.
- KICKX (J.). — *Flora cryptogamique de Flandres*, n° 1, 1967, p. 397.
- LUNDQUIST (J.E.). — Fungi associated with *Pinus* in South Africa. Part.1 : The Transvall. — *South African Forestry Journal*, n° 138, 1987, pp. 1-14.
- MADAR (Z.), SOLEL (Z.), KIMCHI (M.). — Effect of water stress in Cypress on the development of cankers caused by *Diplodia pinea* F. sp. *cupressi* and *Seiridium cardinale*. — *Plant Disease*, n° 73, 1989, pp. 484-485.
- MARKS (J.C.), MINKO (G.). — The pathogenicity of *Diplodia pinea* to *Pinus radiata* D. Don. — *Aust. J. Bot.*, n° 17, 1969, pp. 1-12.
- MORELET (M.). — Aparçu sur les maladies cryptogamiques des arbres du département du Var. — *Annales de la Société des Sciences naturelles et d'Archéologie de Toulon et du Var*, n° 33, 1981, pp. 85-97.
- MORELET (M.). — La Maladie chancreuse du Pin d'Alap. I : Inventaire des champignons associés aux chancres. — *Bulletin mensuel de la Société linéenne de Lyon*, n° 40 (9), 1971, pp. 265-269.
- MORELET (M.). — Rapport annuel 1974. — Nancy : INRA - Laboratoire de Pathologie forestière, 1975, pp. 1-15 (document interne).
- NICHOLLS (T.H.), OSTRY (M.E.). — *Sphaeropsis sapinea* cankers on stressed red and jack pine in Minnesota and Wisconsin. — *Plant Disease*, n° 74, 1990, pp. 54-56.
- PALMER (M.A.), NICHOLLS (T.H.). — Shoot blight and collar rot of *Pinus resinosa* caused by *Sphaeropsis sapinea* in forest trees nurseries. — *Plant Disease*, n° 69, 1985, pp. 739-740.
- PALMER (M.A.), NICHOLLS (T.H.), CROGMAN (C.F.). — Fungicidal control of shoot blight caused by *Sphaeropsis sapinea* on red pine nursery seedling. — *Plant Disease*, n° 70, 1986, pp. 194-196.
- PALMER (M.A.), ROBERTS (R.E.), NICHOLLS (T.H.). — Sources of inoculum of *Sphaeropsis sapinea* in forest trees nurseries. — *Phytopathology*, n° 78, 1988, pp. 831-835.
- PALMER (M.A.), STEWART (E.L.), WINGFIELD (M.J.). — Variation among isolates of *Sphaeropsis sapinea* in the North Central United States. — *Phytopathology*, n° 77, 1987, pp. 944-948.
- PEACE (T.R.). — Pathology of trees and shrubs. — Oxford : Clarendon Press, 1962. — 722 p.
- PETERSON (G.W.). — *Diplodia* blight of Pines. Forest insect and disease. — *Leaflet 161, USDA Forest Service*, 1981 a.
- PETERSON (G.W.). — Infaction, epidemiology and control of *Diplodia* blight of Austrian, Ponderosa and Scots Pines. — *Phytopathology*, n° 67, 1977, pp. 511-514.
- PETERSON (G.W.). — Pine and Juniper diseases in the great plains. — *USDA Forest Service General Technical Report*, 1981 b.
- PETRAK (F.). — *Macrophoma sapinea* (Fr.) Petr. in den Föhrenwälder des niederösterreichischen Waldviertels. — *Sydowia*, n° 15, 1961, pp. 309-316.
- SINCLAIR (W.A.), LYON (H.H.), JOHNSON (W.T.). — Diseases of trees and shrubs. — Ithaca-N.Y. : Cornell University Press, 1987. — 574 p.
- SLAGG (C.), WRIGHT (E.). — *Diplodia* blight in coniferous seed beds. — *Phytopathology*, n° 33, 1943, pp. 390-393.
- SUTTON (B.C.). — The Coelomycetes. — Kew (England) : CMI, 1980. — 696 p.
- SWART (W.J.), KNOX-DAVIES (P.S.), WINGFIELD (M.J.). — *Sphaeropsis sapinea*, with special reference to its occurrence on *Pinus* spp in South Africa. — *South African Forestry Journal*, n° 35, 1985, pp. 1-8.
- SWART (W.J.), WINGFIELD (M.J.), KNOX-DAVIES (P.S.). — Conidial dispersal of *Sphaeropsis sapinea* in three climatic regions of South Africa. — *Plant Disease*, n° 71, 1987 a, pp. 1038-1040.
- SWART (W.J.), WINGFIELD (M.J.), KNOX-DAVIES (P.S.). — Factors associated with *Sphaeropsis sapinea* infection of pine trees in South Africa. — *Phytophylactica*, n° 19, 1987 b, pp. 505-510.
- VAN DAM (B.C.), KAM (M. de). — *Sphaeropsis sapinea* (= *Diplodia pinea*), cause of dieback of top shoots with *Pinus* in the Netherlands. — *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, n° 56, 1984, pp. 173-177.
- WALLA (J.A.). — *Diplodia pinea* found in North Dakota. — *Plant Disease Reporter*, n° 63, 1979, p. 464.
- WATERMAN (A.M.). — *Diplodia pinea*, the cause of a disease of Hard Pines. — *Phytopathology*, n° 33, 1943, pp. 1018-1043.
- WINGFIELD (M.J.), KNOX-DAVIES (P.S.). — Association of *Diplodia pinea* with a root disease of Pines in South Africa. — *Plant Disease*, n° 64, 1980, pp. 221-223.