

Fiche informative sur les organismes de quarantaine

Bursaphelenchus xylophilus

Les vecteurs de *Bursaphelenchus xylophilus* (*Monochamus* spp.) figurent dans la Directive 77/93 de l'UE. Ces espèces ne présentant un risque que par leur relation avec *B. xylophilus*, elles sont incluses dans la présente fiche

IDENTITE• ***Bursaphelenchus xylophilus***

Nom: *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhner) Nickle

Synonymes: *Aphelenchoides xylophilus* Steiner & Buhner
Bursaphelenchus lignicolus Mamiya & Kiyohara

Classement taxonomique: Nematoda: Aphelenchoididae

Noms communs: Kiefernholz nematode (allemand)
Pine wood nematode, pine wilt disease (anglais)
Nématode du bois de pin, nématode des pins, dépérissement des pins (français)

Notes sur la taxonomie et la nomenclature: *B. xylophilus* a d'abord été décrit aux Etats-Unis sous l'appellation *Aphelenchoides xylophilus* (Steiner & Buhner, 1934). Puis il a été décrit à nouveau sous l'appellation *Bursaphelenchus lignicolus*, lorsqu'on l'a déterminé comme agent causal du dépérissement des pins au Japon (Mamiya & Kiyohara, 1972). La synonymie a été reconnue en 1981 (Nickle *et al.*, 1981). Une espèce très similaire mais non-pathogène, *B. mucronatus*, a été décrite par Mamiya & Enda (1979), elle ne diffère en morphologie de *B. xylophilus* que par des caractères secondaires dont la présence nette chez la femelle d'un mucron (extension en forme de doigt). Ultérieurement, on a découvert aux Etats-Unis des populations de *B. xylophilus* qui présentent aussi un mucron sur la queue. Les relations entre ces deux espèces, ainsi qu'avec *B. fraudulentus* Rühm, un nématode des feuillus d'Europe centrale, ont donc fait l'objet d'un débat prolongé. Des études biochimiques de diverses populations de ces nématodes ont confirmé nettement l'existence de trois espèces séparées (Webster *et al.*, 1990; Abad *et al.*, 1991). *B. xylophilus* est originaire d'Amérique du Nord alors que les deux autres sont des espèces paléarctiques colonisant l'une, les conifères et l'autre, les feuillus. Le *B. xylophilus* que l'on trouve au Japon et dans d'autres pays d'Asie a été manifestement introduit d'Amérique du Nord. Une autre espèce apparemment très proche *Bursaphelenchus kolymensis* Korenchenko, a été décrite sur *Larix* dans l'extrême est de l'ex URSS (Korenchenko, 1980); ce nématode n'a pas été activement étudié mais il est possible qu'il soit synonyme de *B. mucronatus*. Une population de *B. mucronatus* a été découverte dans la province de Québec au Canada (Harmey & Harmey, 1993), mais on ne sait pas si il s'agit d'une introduction.

Code informatique Bayer: BURSXY

Liste A1 OEPP: n° 158

Désignation annexe UE: II/A1

• ***Monochamus* spp.**

Noms et synonymes: voir Tableau 1

Classement taxonomique: Insecta: Coleoptera: Cerambycidae

Désignation annexe UE: I/A1 - en tant que *Monochamus* spp. (non européennes)

PLANTES-HOTES

- ***Bursaphelenchus xylophilus***

B. xylophilus se rencontre principalement sur *Pinus*. Apparemment le bois mort de toutes les espèces de pin peut servir de substrat à son développement. Cependant seulement quelques espèces peuvent être attaquées lorsque les arbres sont encore en vie; *P. densiflora*, *P. luchuensis*, *P. nigra*, *P. sylvestris* et *P. thunbergii* sont les seules espèces connues pour mourir du dépérissement des pins une fois qu'ils sont adultes, en place. On a signalé, uniquement en conditions expérimentales (principalement des plantules en serre), que de nombreuses autres espèces peuvent être endommagées ou tuées par le nématode.

D'autres conifères peuvent aussi être attaqués (surtout *Larix*, *Abies* et *Picea*) mais les signalements sont rares. Des cas isolés de mortalité chez *Picea* et *Pseudotsuga* dus à *B. xylophilus* ont été signalés aux Etats-Unis (Malek & Appleby, 1984).

Dans la région OEPP, *P. sylvestris* serait la seule espèce de *Pinus* fortement menacée dans les zones septentrionales et centrales, tandis que *P. nigra* et *P. pinaster* serait l'espèce menacée dans les zones centrales et méridionales.

- ***Monochamus* spp.**

Les espèces de *Monochamus* vectrices de *B. xylophilus* (reconnues ou potentielles) attaquent surtout les *Pinus* mais parfois aussi d'autres genres de conifères (voir Table 1). De plus, elles pondent sur la majorité des espèces de conifères, même sur celles où les possibilités de développement complet jusqu'à l'adulte sont limitées. *Thuja plicata*, cependant, présente des propriétés insecticides qui s'opposent à la ponte. D'autres espèces de *Monochamus* s'attaquent à d'autres plantes-hôtes, mais cela n'a aucune importance dans le cadre actuel.

REPARTITION GEOGRAPHIQUE

- ***Bursaphelenchus xylophilus***

On suppose que *B. xylophilus*, originaire d'Amérique du Nord, a été transporté vers l'île japonaise méridionale de Kyushu sur du bois infesté au début du XX^e siècle (Nickle *et al.*, 1981; Mamiya, 1983; Malek & Appleby, 1984). Le fait que les conifères originaires d'Amérique sont majoritairement résistantes alors que les espèces japonaises sont sensibles, tend à confirmer cette hypothèse. Le nématode se serait disséminé vers d'autres pays d'Asie à partir du Japon (Li *et al.*, 1983).

OEPP: absent. Des prospections pour déterminer si *B. xylophilus* était présent ont été réalisées dans plusieurs pays européens (dont Allemagne, Finlande, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Royaume-Uni et Suède) mais cette espèce n'a pas été trouvée. De plus *B. xylophilus* n'a pas été observé lors d'un examen en Finlande de 150 cargaisons de bois de conifères venant de pays européens. *B. xylophilus* a été signalé sur *P. pinaster* dans le sud-ouest de la France (Baujard *et al.*, 1979) mais des examens microscopiques et biochimiques ultérieurs ont montré qu'en fait il s'agissait de *B. mucronatus*. Même si cette espèce a été trouvée dans des *Pinus* morts ou mourants, on a conclu qu'elle n'était pas responsable de la mortalité. En plus de la France, *B. mucronatus* a été signalé en Autriche, Finlande, Norvège, Russie, Suède. Voir aussi De Guiran & Boulbria (1986).

Asie: Chine (Anhui, Guangdong, Jiangsu, Shandong et Zhejiang; Zhang & Huang, 1990), Hong-kong, Japon (archipel Ryukyu, Honshu, Kyushu, Shikoku), République de Corée, Taïwan.

Amérique du Nord: Canada (Alberta, British Columbia, Manitoba, New Brunswick, Ontario, Québec, Saskatchewan; probablement dans l'ensemble du pays), Etats-Unis (signalé dans au moins 34 états, dont Alabama, Arkansas, California, Connecticut, Delaware, Florida, Georgia, Illinois, Indiana, Iowa, Kansas, Kentucky, Louisiana, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Mississippi, Missouri, Nebraska, New

Jersey, New York, North Carolina, Ohio, Oklahoma, Oregon (probablement), Pennsylvania, South Carolina, Tennessee, Texas, Vermont, Virginia, Washington (probablement), West Virginia, Wisconsin; probablement partout où l'on trouve des *Pinus* mais pas à Hawaïi), Mexique.

UE: absent.

- ***Monochamus* spp.**

Les espèces de *Monochamus* vectrices de *B. xylophilus*, reconnues ou potentielles, ne sont présentes que dans l'hémisphère nord. Le tableau 1 en dresse la liste et indique leur répartition géographique, le chevauchement éventuel de celle-ci avec la répartition de *B. xylophilus* et les cas où la capacité vectrice est reconnue. Certaines des espèces sont très largement réparties, le genre étant représenté dans presque toutes les zones de l'hémisphère nord. Les îles de Grande Bretagne et d'Irlande constituent une exception. Le genre *Monochamus* est représenté dans d'autres parties du monde, mais les espèces concernées n'attaquent pas les conifères.

BIOLOGIE

- ***Bursaphelenchus xylophilus***

On sait que *B. xylophilus* présente deux types différents de cycles biologiques, un type de propagation et un type de dispersion (Wingfield, 1983). Dans les deux cas, les nématodes sont transmis d'une plante-hôte à la suivante par une espèce de *Monochamus*. Lors du cycle biologique de propagation, les larves du quatrième stade du nématode sont transmises à des arbres morts ou mourants lors de la ponte des femelles vectrices. Les nématodes quittent l'insecte et pénètrent dans l'arbre par la cavité creusée par l'insecte pour pondre ses oeufs. Dans le bois, les nématodes se nourrissent d'hyphes de champignons (habituellement *Ceratocystis* spp.) qui sont aussi transmis au bois par des coléoptères qui y pondent. Immédiatement après avoir pénétré dans le bois, les larves subissent une dernière mue et les adultes qui en proviennent commencent à pondre des oeufs. Lors de ce stade de propagation et de multiplication, la population est composée de mâles, de femelles et de quatre stades larvaires.

A un moment donné après l'invasion initiale par les nématodes, la multiplication de la population s'arrête et la population commence à décliner. Un différent type de troisième stade larvaire, appelé "troisième stade larvaire de dispersion", est produit (Mamiya, 1983); il s'agit plutôt un stade de survie capables de résister aux conditions défavorables. Il est probable que le déclenchement de la phase de dispersion est une réaction à la diminution de la disponibilité de nourriture, lorsque le champignon a complètement exploité le bois. Les larves de "dispersion" se rassemblent dans le bois qui entoure la loge nymphale du *Monochamus* vecteur, peut-être sous l'influence de substances émises par la nymphe. A proximité de l'éclosion de l'insecte, les nématodes muent en larve de quatrième stade particulière, appelées "dauer larvae". Les hyphes du champignon se développent aussi autour de la loge nymphale. Le champignon forme des périthèces à longs cols qui s'étendent dans la loge; les nématodes se rassemblent à l'extrémité des périthèces. Lorsque le jeune insecte adulte émerge, il se frotte contre les cols des périthèces, récoltant les nématodes qui s'installent sous les élytres et surtout dans les tachées. L'insecte immature s'envole alors du bois et emporte les nématodes.

Le cycle biologique décrit ci-dessus peut être considéré comme le cycle biologique "normal" de *B. xylophilus*, il est similaire à celui de la majorité des autres *Bursaphelenchus* spp. ayant des relations phorétiques avec les coléoptères des forêts. En Amérique du Nord, il s'agit vraisemblablement de la situation la plus courante (Wingfield, 1983). En revanche, en Asie, ainsi qu'en Amérique du Nord partout où le nématode entre en contact avec des espèces *Pinus* sensibles, non indigènes, un différent type de transmission aux arbres-hôtes prédomine. Dans ces conditions, le nématode est transmis par les jeunes insectes adultes

peu après leur sortie de la loge nymphale, lorsqu'ils volent vers les jeunes pousses de *Pinus* pour se nourrir. Les nématodes pénètrent dans les pousses par les blessures de nutrition. La raison pour laquelle cette forme de transmission ne se rencontre que chez certaines espèces de *Pinus* n'est pas entièrement connue, mais on pense que les espèces de *Pinus* originaires des zones où l'on trouve *B. xylophilus* ont créé des barrières physiques ou biochimiques pour empêcher l'invasion directe des tissus sains.

Dans les jeunes pousses de *Pinus*, *B. xylophilus* se multiplie dans les canaux à résine dont ils attaquent les cellules épithéliales. Environ trois semaines plus tard, l'arbre présente les premiers symptômes de dessèchement c'est-à-dire une baisse de l'exsudation d'oléorésine. Les nématodes peuvent alors se déplacer librement dans tout l'arbre qui meurt. Suite à la réduction de ses mécanismes de défense (par exemple la baisse d'oléorésine), l'arbre devient attractif pour les insectes adultes qui s'assemblent sur le tronc pour s'accoupler. A ce stade on observe une intensification du flétrissement et un jaunissement des aiguilles. L'arbre meurt 30-40 jours après l'infection et peuvent renfermer des millions de nématodes dans le tronc, les branches et les racines. Le reste du cycle biologique est similaire à ce qui a été décrit pour la transmission par la ponte, les nématodes se regroupant aux niveaux des nymphes de *Monochamus* juste avant l'émergence.

On peut élever *B. xylophilus* au laboratoire, sur cultures fongiques. Il se reproduit en 12 jours à 15°C, 6 jours à 20°C et 3 jours à 30°C. La ponte commence 4 jours après l'éclosion et les oeufs éclosent en 26-32 heures à 25°C. Le seuil thermique de développement est de 6,5°C.

- ***Monochamus* spp.**

Les espèces de *Monochamus* inféodées aux conifères sont les principaux vecteurs de *B. xylophilus*; parmi ceux-ci *M. alternatus* est le principal vecteur au Japon, tandis que *M. carolinensis* et *M. scutellatus* sont les principaux vecteurs en Amérique du Nord. D'autres *Monochamus* qui sont des vecteurs moins efficaces ont été signalés au Japon et en Amérique du Nord (voir Tableau 1). La majorité des espèces de *Monochamus* inféodées aux conifères sont associées à des *Bursaphelenchus* spp. non pathogènes; il est donc supposé qu'elles seraient capables de transmettre plus ou moins efficacement *B. xylophilus*. A titre d'exemple, les espèces européennes *M. sutor* et *M. galloprovincialis* transmettent l'espèce voisine *B. mucronatus* et pourraient probablement donc transmettre *B. xylophilus* si ce dernier était introduit en Europe, comme cela est arrivé dans le cas de *M. alternatus* au Japon.

D'autres genres parmi les Cerambycidae (par exemple *Acalolepta*, *Acanthocinus*, *Amniscus*, *Arhopalus*, *Asemum*, *Corymbia*, *Neacanthocinus*, *Rhagium*, *Spondylis*, *Uraecha*, *Xylotrechus*) ainsi que d'autres coléoptères (par exemple *Chrysobothris*, *Hylobius*, *Pissodes*) ont été signalés transportant des nématodes dans ou sur leurs corps mais sans preuve qu'ils jouent un quelconque rôle vecteur dans la nature.

Les oeufs des *Monochamus* sont pondus dans des anfractuosités de l'écorce des arbres-hôtes et éclosent en 4 à 12 jours en fonction de la température. La larve au premier stade commence à s'alimenter du phloème et du cambium dans la zone sub-corticale. La larve à proximité du troisième stade commence à creuser l'aubier et forme une galerie composée d'une partie horizontale en S perpendiculaire à l'axe de l'arbre et d'une partie verticale parallèle à l'axe. La larve des stades ultérieurs achève la galerie en creusant une vaste loge nymphale dans la partie verticale. Il y a quatre stades larvaires chez *M. alternatus*, tandis qu'on en signale 3-8 chez *M. carolinensis*.

La larve du dernier stade larvaire bouche l'ouverture de la galerie avec des fragments de bois et entre en nymphose. Le stade nymphal peut durer jusqu'à 19 jours et ensuite le jeune adulte commence à broyer le xylème avec ses pièces buccales pour sortir; entre l'apparition de l'adulte et sa sortie, il peut s'écouler 6-8 jours. Tous les stades (à l'exception de la nymphe) peuvent hiverner; chez *M. alternatus* c'est généralement le dernier stade larvaire.

S'il n'y a pas de période d'hibernation, le développement complet de la ponte à l'adulte dure 8-12 semaines.

Juste à sa sortie, l'adulte grimpe dans la branche ou le tronc où a eu lieu sa métamorphose et s'envole à son extrémité à la recherche de pousses de l'année ou âgées d'un an où il se nourrit de l'écorce. Ce stade initial de nutrition, qui dure environ 10 jours (mais jusqu'à 3 semaines chez certaines espèces), est essentiel pour la maturité sexuelle. Les adultes matures sont attirés par les arbres affaiblis ou les troncs récemment abattus sur lesquels ils s'accouplent et commencent à pondre. Les substances qui attirent ces insectes vers des arbres-hôtes appropriés sont des monoterpènes et l'éthanol.

Avec ses mandibules, la femelle creuse une cavité conique dans l'écorce et pond un oeuf à l'aide de son ovipositeur. Il y a généralement un oeuf par cavité mais de nombreuses cavités ayant été creusées restent vides. Les femelles peuvent vivre jusqu'à 83 jours et continuent à pondre jusqu'à leur mort, pouvant pondre 40-215 oeufs.

Il y a habituellement une génération par année chez *M. alternatus*, mais le développement peut prendre deux années, particulièrement dans les zones plus fraîches du nord du Japon.. Dans le Missouri (Etats-Unis), il y a deux générations par année, partiellement asynchrones chez *M. carolinensis*. Pour plus d'informations sur la biologie, consulter Kobayashi *et al.* (1984) pour *M. alternatus*, et Kondo *et al.* (1982) ainsi que Linit (1987) pour *M. carolinensis*.

DETECTION ET IDENTIFICATION

Symptômes

- ***Bursaphelenchus xylophilus***

Le premier signe de la présence dans l'arbre de ces nématodes est la diminution de la production d'oléorésine. La transpiration des aiguilles diminue et s'arrête ensuite complètement. Les premiers symptômes externes visibles sont le jaunissement et le flétrissement des aiguilles, ce qui peut mener ensuite à la mort de l'arbre (Mamiya, 1983). Le flétrissement peut n'apparaître au départ que sur une seule branche même si l'arbre entier manifeste plus tard ces symptômes (Malek & Appleby, 1984). Il est à noter que l'apparition des symptômes sur une seule branche peut provenir de la consommation des pousses par *Monochamus*.

- ***Monochamus spp.***

Ces insectes ne pondent que sur des arbres récemment abattus ou déjà affaiblis. L'alimentation des larves se traduit par la présence de traces dans l'aubier sous l'écorce ainsi que par des trous dans le bois ce qui le rend invendable.

Morphologie

- ***Bursaphelenchus xylophilus***

B. xylophilus présente les caractéristiques générales des *Bursaphelenchus spp.*: lèvres hautes et désaxées; stylet peu développé avec des boutons basaux réduits; bulbe médian bien développé, glande oesophagienne dorsale débouchant dans le bulbe médian. Chez la femelle le sac post-utérin est long. Chez le mâle la queue est recourbée ventralement, en forme de cône et présente une extrémité pointue. Une petite bursa se trouve à l'extrémité. Les spicules sont bien développés avec un rostre proéminent.

B. xylophilus se différencie des autres espèces par la présence simultanée des trois caractères suivants: chez le mâle les spicules sont aplatis à leur extrémité distale et forment une structure en disque (le cucullus). Chez la femelle, la lèvre antérieure de la vulve est recouvrante et l'extrémité postérieure est arrondie chez presque tous les individus. Ce dernier caractère sépare *B. xylophilus* de *B. mucronatus*, espèce non pathogène, chez laquelle la femelle présente une extrémité antérieure arrondie. Cependant, la différenciation

morphologique entre *B. mucronatus* et des populations de *B. xylophilus* nord américaines à queues présentant un mucron est très difficile.

- **Monochamus spp.**

Larve

Les larves présentent les mêmes caractéristiques faciales que les autres cérambycides. Le corps est allongé, mou, à 10 métamères abdominaux dont la mamilla anale. Chez les *Monochamus* la tête est nettement plus large que longue. Tous les tergites abdominaux sont simples, sans épines ni plaques sclérifiées. La larve est apode.

Adulte

Les *Monochamus* adultes font 15 à 30 mm de long. Les caractéristiques du genre sont: front transversal ou presque carré; protubérances des antennes très grosses, proches l'une de l'autre et séparées par une dépression marquée. Antennes fines, très longues chez le mâle, nettement plus courtes que le corps chez la femelle, le troisième segment étant au moins deux fois plus long que le scape. Pronotum légèrement convexe, avec un bord antérieur large et un bord postérieur large marqué d'une rainure, chaque côté ayant une forte excroissance latérale submédiane conique. Cavités coxales antérieures s'ouvrant vers l'arrière. Excroissances prosternales arrondies, plus basses que les coxas. Excroissance mésosternale étroite. Bases des élytres plus larges que le pronotum et protubérantes, extrémités à peine tronquées. Pattes fines et allongées, surtout chez les mâles où le tibia antérieur est arqué et les tarses bordés de poils.

Méthodes de détection et d'inspection

- **Bursaphelenchus xylophilus**

Avant l'apparition d'un symptôme quelconque, on peut détecter la réduction de la production d'oléorésine en perçant un trou de 10-15 mm de diamètre à travers l'écorce et le cambium (Oda, 1967). On peut extraire des nématodes des arbres présentant des symptômes en plongeant le coeur des arbres dans de l'eau pendant plusieurs jours; les nématodes sortent du bois et passent dans l'eau. Les nématodes peuvent être extraits de petits copeaux de bois infesté en utilisant la méthode standard d'extraction des nématodes (méthode de l'entonnoir de Baermann).

- **Monochamus spp.**

Extérieurement, les cavités coniques de ponte dans l'écorce révèlent que l'arbre a été attaqué. En retirant l'écorce on peut observer les jeunes larves creusant leurs galeries de nutrition dans l'aubier. Les orifices d'entrée dans le bois, ovales, creusés par les larves âgées sont caractéristiques; bien qu'ils puissent être masqués par l'accumulation des déchets de bois. Les orifices plus nettement arrondis, que l'on peut observer avec ou sans l'écorce, sont les orifices de sortie et leur présence indique que les insectes ont achevés leur développement dans le bois et qu'ils sont partis.

MOYENS DE DEPLACEMENT ET DE DISPERSION

Les nématodes peuvent se déplacer activement dans les tissus ligneux et peuvent passer d'une section de bois à une autre section adjacente. Cependant, sans leurs vecteurs, ils ne peuvent pas se déplacer d'un arbre à un autre. Les insectes adultes sont capables d'un vol actif et le maximum de leur activité de vol se situe environ 5 jours après leur sortie. On a signalé des vols atteignant 3,3 km, mais dans la majorité des cas, la dispersion ne se fait que sur quelques centaines de mètres (Kobayashi *et al.*, 1984).

Le bois infesté constitue le mode de transport de *B. xylophilus* le plus probable au niveau international, ce nématode a été intercepté à plusieurs reprises dans des planches, du bois en grume ou dans des copeaux de bois importés dans la région OEPP à partir des Etats-Unis et du Canada.

B. xylophilus présenterait un danger d'introduction surtout si le bois qui le transporte contient aussi des insectes vecteurs capables de le transmettre à des conifères. Ces insectes ne peuvent survivre que si l'humidité du bois est assez élevée, supérieure à celle dont a besoin le nématode. Plus les pièces de bois sont de grande dimension, plus la survie des insectes peut être longue, le bois en grume et les planches présentent donc plus de risques que les copeaux de bois. Les copeaux peuvent avoir une teneur en humidité élevée, permettant une survie aisée du nématode, mais les procédés mis en oeuvre pour leur production réduisent la possibilité de survie des insectes.

Que l'introduction ait lieu avec ou sans vecteur, il est nécessaire pour un établissement à long terme que le nématode entre en contact avec un vecteur local, et ceci ne peut probablement être réalisé que si le nématode envahit d'abord du bois contenant les larves ou les nymphes d'un vecteur potentiel. Les nématodes peuvent se déplacer très activement à partir de copeaux de bois et le contact avec le vecteur peut se faire si ce matériel entre en contact avec des souches d'arbres ou des troncs coupés; lors du traitement du bois, on utilise parfois les mêmes moyens de transport pour le bois importé et pour le bois produit localement (McNamara & Støen, 1988).

NUISIBILITE

Impact économique

- ***Bursaphelenchus xylophilus***

Le dépérissement des pins a été signalé pour la première fois au Japon en 1913 dans la région de Nagasaki, mais l'agent causal n'a été identifié comme étant *B. xylophilus* qu'en 1972 (Mamiya & Kiyohara, 1972). Les symptômes ont d'abord été attribués aux insectes xylophages, très nombreux dans les arbres atteints, mais on a alors découvert que les premiers symptômes précédaient l'invasion des insectes. La maladie s'est alors disséminée vers le nord et a provoqué de très graves pertes dans tout le pays. A la fin des années 1940, les pertes annuelles dépassaient un million de m³ de bois, mais une campagne de destruction des arbres malades ramena ce chiffre à 500 000 m³ (chiffre encore très élevé). Cependant, depuis que l'industrialisation a réduit la main-d'oeuvre disponible pour les forêts, et depuis l'abandon du bois comme combustible au profit du pétrole, les arbres infestés ne sont plus éliminés et constituent des réservoirs de nématodes. En conséquence, la courbe des pertes s'est fortement redressée depuis 1970 et dépasse maintenant 2 millions de m³ par an. Presque tout l'archipel japonais est atteint depuis les îles Ryukyu dans l'extrême sud, où *P. luchuensis* est très sensible, jusqu'à la partie septentrionale de l'île de Honshu où le climat est beaucoup plus froid et la température annuelle moyenne de 10-12°C. Il semble probable que la dissémination dans le nord a été le résultat d'une forte pression de population dans le sud. Seule l'île de Hokkaïdo située très au nord est encore épargnée. Cependant, il est certain que les graves symptômes de flétrissement sont liés à des températures plus élevées (Rutherford *et al.*, 1990) et n'ont lieu que lorsque la température estivale moyenne dépasse 20°C.

En 1979, *B. xylophilus* a été signalé responsable d'un dépérissement de *Pinus* dans le Missouri (États-Unis), surtout de *P. sylvestris* en plantations ornementales (Malek & Appleby, 1984). En Amérique du Nord en général, les pertes concernent principalement les espèces exotiques et les écosystèmes forestiers artificiels comme les plantations de conifères ornementaux, les brise-vent et les plantations d'arbres de Noël. *B. xylophilus* est largement répandu dans les forêts naturelles de conifères mais on ne signale pas de pertes significatives.

- ***Monochamus* spp.**

Les larves peuvent entraîner des pertes économiques aux troncs abattus en perçant des trous dans le bois. Ceci n'est normalement important que si les troncs sont laissés longtemps dans la forêt après l'abattage. Dans les forêts bien gérées, les *Monochamus* spp. ne sont pas

considérés comme de graves ravageurs par eux-mêmes. Leur principal impact économique réside dans leur capacité vectrice de *B. xylophilus*.

Lutte

A ce jour, il a été impossible de lutter contre *B. xylophilus* après son introduction dans un arbre. C'est pourquoi la lutte contre le dépérissement des pins au Japon s'est concentrée sur un ensemble de techniques culturales: retirer les arbres morts ou mourants des forêts pour empêcher qu'ils ne servent de réservoir pour une infection ultérieure, ainsi que sur des traitements insecticides contre les insectes vecteurs. Le gouvernement japonais a consacré d'importantes sommes à des programmes de lutte intensive impliquant des pulvérisations aériennes et l'élimination des arbres malades (Ikeda, 1984). Dans le cas d'arbres particuliers ayant une importance spéciale (par exemple religieuse), les infections peuvent être empêchées par des traitements chimiques prophylactiques. Des recherches continuent pour trouver des alternatives aux méthodes de lutte comme des agents de lutte biologique contre les nématodes et les vecteurs, des attractifs pour les insectes, la sélection de clones de *Pinus* résistants et l'induction d'une résistance par inoculation de souches non pathogènes de *B. xylophilus*.

Risque phytosanitaire

B. xylophilus et ses vecteurs sont des organismes de quarantaine A1 de l'OEPP (OEPP/EPPO, 1986). Plusieurs auteurs ont étudié le risque de son introduction dans la région OEPP (dont Magnusson, 1986; McNamara & Støen, 1988; Skwiercz, 1988). Evans *et al.* (1996) ont effectué une analyse détaillée du risque de *B. xylophilus* pour l'Union Européenne. Les espèces européennes de *Pinus* se sont révélées très sensibles en Amérique du Nord et on considère que l'introduction de *B. xylophilus* en Europe est un risque très sérieux. Plusieurs espèces de *Monochamus* sont présentes en Europe et capables de transmettre l'espèce voisine *B. mucronatus* (Tomminen, 1990). Compte tenu de la non spécificité de la capacité vectrice des *Monochamus* pour les *Bursaphelenchus*, il est probable que ces mêmes espèces puissent transmettre aussi *B. xylophilus*. Comme la maladie est favorisée par les étés chauds, les zones méridionales sont les plus menacées. L'expérience du Japon suggère qu'une épidémie peut se disséminer vers des zones à climat moins favorable, à condition que des espèces sensibles y soient présentes. L'introduction directe du nématode en Europe du nord présente certainement aussi un danger, car les symptômes peuvent s'exprimer si les arbres souffrent de toute autre forme de stress (par exemple sécheresse ou périodes occasionnelles de fortes températures). De plus, une introduction en Europe du nord pourrait conduire ultérieurement à une dissémination vers les zones méridionale plus sensibles.

La menace des *Monochamus* spp réside dans la possibilité de transport et d'introduction de *B. xylophilus*. Pour cette raison, les espèces dangereuses sont celles d'Amérique du Nord (Tableau 1) et des pays d'Extrême-Orient où *B. xylophilus* est présent (surtout le Japon). *M. alternatus*, le principal vecteur au Japon, est présent dans plusieurs autres pays d'Asie où l'on rencontre aussi le nématode. *M. saltuarius*, reconnu comme vecteur au Japon (Tableau 1) et *M. urussovi*, présent au Japon sans être signalé comme vecteur, sont largement répartis en Asie du Nord et jusqu'en Europe, mais n'y recourent pas la répartition géographique de *B. xylophilus*. D'autres espèces présentes en Europe et en Asie (*M. galloprovincialis*, *M. sutor*) ne recourent nulle part la répartition de *B. xylophilus*. En principe, ces espèces ne présentent aucun risque. Toutefois, on peut craindre que *B. xylophilus* se dissémine naturellement en Asie orientale et atteigne à une date ultérieure les zones où ces vecteurs potentiels sont actuellement présents.

MESURES PHYTOSANITAIRES

Les recommandations de l'OEPP pour éviter l'introduction de *B. xylophilus* et de ses vecteurs concernent les plants et le bois de tous les conifères venant de pays où ce nématode est présent, à l'exception de *Thuja plicata*. Il est recommandé d'interdire l'importation de plants de conifères mais les pays peuvent choisir d'interdire aussi l'importation de bois. Si l'importation n'est pas interdite, le bois doit avoir été séché à une température centrale de 56°C pendant 30 minutes. Dans le cas du bois d'emballage (cageots, bois de calage, etc.) on peut accepter à la place un séchage au four alors que pour les particules de bois, la fumigation peut aussi être acceptée.

On a proposé divers traitements pour les copeaux de bois, tels que les traitements à la vapeur ou à la chaleur ou la fumigation à la phosphine en transit (Kinn, 1986). De tels traitements peuvent être coûteux par rapport au prix de la marchandise. Le principal risque d'infection de bois coupé se situe entre l'abattage et le départ de la forêt. On peut protéger les troncs de la ponte des insectes (et donc de l'introduction de nématodes) par des traitements chimiques mais ces traitements ne sont pas efficaces pour éliminer des larves d'insectes déjà présentes dans l'écorce; dans ce dernier cas le traitement vient aussi trop tard pour empêcher l'infection par le nématode. Les autres moyens de réduction du risque d'attaque comprennent la couverture des troncs après l'abattage, l'exposition de troncs pièges à proximité et l'abattage en dehors de la période de vol des insectes (Dominik, 1981; Raske, 1973).

Le seul traitement du bois autre qu'en copeaux reconnu comme efficace contre *B. xylophilus* et ses vecteurs semble être le traitement à la vapeur, au cours duquel toutes les parties du bois atteignent une température de 56°C pendant au moins 30 minutes; les pratiques commerciales de séchage réalisent ces conditions. L'inspection du bois ne révèle pas toujours la présence des larves ou des nymphes de l'insecte qui peuvent être cachées dans des galeries internes.

BIBLIOGRAPHIE

- Abad, P.; Tares, S.; Brugier, N.; Guiran, G. de (1991) Characterization of the relationships in the pinewood nematode species complex (PWNSC) (*Bursaphelenchus* spp.) using a heterologous *unc-22* DNA probe from *Caenorhabditis elegans*. *Parasitology* **102**, 303-308.
- Baujard, P.; Boulbria, A.; Ham, R.; Laumont, C.; Scotto La Massese, C. (1979) Premières données sur la nématofaune associée aux dépérissements du pin maritime dans l'Ouest de la France. *Annales des Sciences Forestières* **36**, 331-339.
- De Guiran, G.; Boulbria, A. (1986) Le nématode des pins. Caractéristiques de la souche française et risque d'introduction et d'extension de *Bursaphelenchus xylophilus* en Europe. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **16**, 445-452.
- Dominik, J. (1981) [Lutte d'été contre les insectes xylophages ravageurs du pin sylvestre]. *Sylwan* **125**, 111-117
- Evans, H.F.; McNamara, D.G.; Braasch, H.; Chadoeuf, J.; Magnusson, C. (1996) Pest Risk Analysis (PRA) for the territories of the European Union (as PRA area) on *Bursaphelenchus xylophilus* and its vectors in the genus *Monochamus*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **26** 199-249.
- Harmey, J. H.; Harmey, M. A. (1993) Detection and identification of *Bursaphelenchus* species with DNA fingerprinting and polymerase chain reaction. *Journal of Nematology* **25**, 406-415.
- Ikeda, T. (1984) Integrated pest management of Japanese pine wilt disease. *European Journal of Forest Pathology* **14**, 398-414.
- Kinn, D.N. (1986) Survival of *Bursaphelenchus xylophilus* in wood chips. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **16**, 461-464.
- Kobayashi, F.; Yamane, A.; Ikeda, T. (1984) The Japanese pine sawyer beetle as the vector of pine wilt disease. *Annual Review of Entomology* **29**, 115-135.
- Kondo, E.; Foudin, A.; Linit, M.; Smith, M.; Bolla, R.; Winter, R.; Dropkin, V. (1982) *Pine wilt disease - nematological, entomological and biochemical investigations*. Department of Entomology and Nematology, Saga University, Japan.

- Korenchenko, E.A. (1980) [New species of nematodes from the family Aphelenchoididae, parasites of stem pests of the dahurian larch]. *Zoologicheskii Zhurnal* **12**, 1768-1780.
- Li, G.W.; Shao, G.Y.; Huo, Y.L.; Xu, F.Y. (1983) [Découverte et études préliminaires sur les nématodes du bois de pin en Chine]. *Forest Science and Technology* No. 7, pp. 25-28.
- Linit, M.J. (1987) The insect component of pine wilt disease in the United States. In: *Pathogenicity of the pine wood nematode* (Ed. by Wingfield, M.J.), pp. 66-73. APS Press, St. Paul, Minnesota, USA.
- McNamara, D.G.; Støen, M. (1988) A survey for *Bursaphelenchus* spp. in pine forests in Norway. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **18**, 353-363.
- Magnusson, C. (1986) Potential for establishment of *Bursaphelenchus xylophilus* and the pine wilt disease under Nordic conditions. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **16**, 465-471.
- Malek, R.B.; Appleby, J.E. (1984) Epidemiology of pine wilt in Illinois. *Plant Disease* **68**, 180-186.
- Mamiya, Y. (1983) Pathology of pine wilt disease caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. *Annual Review of Phytopathology* **21**, 201-220.
- Mamiya, Y.; Enda, N. (1979) *Bursaphelenchus mucronatus* n.sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and its biology and pathogenicity to pine trees. *Nematologica* **25**, 353-361.
- Mamiya, Y.; Kiyohara, T. (1972) Description of *Bursaphelenchus lignicolus* n.sp. (Nematoda: Aphelenchoididae) from pine wood and histopathology of nematode-infested trees. *Nematologica* **18**, 120-124.
- Nickle, W.R.; Golden, A.M.; Mamiya, Y.; Wergin, W.P. (1981) On the taxonomy and morphology of the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Bührer 1934) Nickle 1971. *Journal of Nematology* **13**, 385-392.
- Oda, K. (1967) [How to diagnose the susceptible pine trees which are attacked by pine beetles in the near future]. *Forest Protection News* **16**, 263-266.
- OEPP/EPPO (1986) Data sheets on quarantine organisms No. 158, *Bursaphelenchus xylophilus*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **16**, 55-60.
- Raske, A.G. (1973) Relationship between felling date and larval density of *Monochamus scutellatus*. *Bi-monthly Research Notes* **29** (4), 23-24.
- Rutherford, T. A.; Mamiya, Y.; Webster, J. M. (1990) Nematode-induced pine wilt disease: factors influencing its occurrence and distribution. *Forest Science* **36**, 145-155.
- Skwiercz, A.T. (1988) [*Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Bührer 1934) (= *B. lignicolus* Mamiya & Kiyohara 1972) (Nematoda: Aphelenchoididae) - parasite of pine]. *Sylwan* **132**, 73-77.
- Steiner, G.; Bührer, E.M. (1934) *Aphelenchoides xylophilus* n.sp. A nematode associated with blue-stain and other fungi in timber. *Journal of Agricultural Research* **48**, 949-955.
- Tomminen, J. (1990) Presence of *B. mucronatus* (Nematoda: Aphelenchoididae) fourth dispersal stages in selected conifer beetles in Finland. *Silva Fennica* **24**, 273-278.
- Webster, J.J.; Anderson, R.V.; Baillie, D.L.; Beckenbach, K.; Curran, J.; Rutherford, T.A. (1990) DNA probes for differentiating isolates of the pine wood nematode species complex. *Revue de Nématologie* **13**, 255-263.
- Wingfield, M.J. (1983) Transmission of pine wood nematode to cut timber and girdled trees. *Plant Disease* **67**, 35-37.
- Zhang, B.C.; Huang, Y.C. (1990) A list of important plant diseases in China. *Review of Plant Pathology* **69**, 97-118.

Tableau 1. Espèces de *Monochamus* des conifères connus pour être des vecteurs de *Bursaphelenchus xylophilus* ou considérées comme des vecteurs potentiels

Espèce de <i>Monochamus</i>	Répartition géographique	Principales plantes-hôtes	Statut de vecteur
Amérique du Nord			
<i>M. carolinensis</i> Olivier	USA (moitié est), Canada (est & frontière avec les USA), Mexique (centre-nord)	<i>Pinus</i>	+
<i>M. clamator</i> LeConte	USA (côte ouest), Canada (British Columbia)	<i>Pinus contorta</i>	-
<i>M. marmorator</i> Kirby	USA, Canada	<i>Abies, Picea</i>	+
<i>M. mutator</i> LeConte (syn. <i>M. maculosus</i> Haldeman)	USA, Canada	<i>Pinus</i>	+
<i>M. notatus</i> (Drury)	USA, Canada	<i>Pinus strobus</i>	-
<i>M. obtusus</i> Casey	USA (côte ouest), Canada (British Columbia)	<i>Pinus, Abies, Pseudotsuga</i>	
<i>M. rubigenus</i> Bates	USA (sud), Mexique, Guatemala, Honduras	<i>Pinus</i>	-
<i>M. scutellatus</i> Say subsp. <i>scutellatus</i>	Est de l'Amérique du Nord (et certaines zones du Mexique)	<i>Pinus, Picea, Abies, Larix</i>	+
<i>M. scutellatus</i> subsp. <i>oregonensis</i> LeConte	USA (côte ouest), Canada (British Columbia)	<i>Picea</i>	-
<i>M. titillator</i> (Fabricius)	USA (centre, est & sud-east), Canada (Ontario)	<i>Pinus, Abies, Picea</i>	+

Espèce de <i>Monochamus</i>	Répartition géographique	Principales plantes-hôtes	Statut de vecteur
Région paléarctique (chevauchement avec <i>B. xylophilus</i>)			
<i>M. alternatus</i> Hope	Japon, République de Corée, Taïwan, Hong- kong, Lao, Chine (Anhui, Guangdong, Hunan, Jiangsu, Shandong, Zhejiang, c'est à dire est et centre)	<i>Pinus, Cedrus,</i> <i>Abies, Picea, Larix</i>	+
<i>M. nitens</i> Bates	Japon	<i>Pinus</i>	+
<i>M. saltuarius</i> Eschscholz	Japon, Chine (Heilongjiang; nord-est) Sibérie, Lituanie, Alpes centrales et orientales, Europe centrale et orientale sud de l'Italie	<i>Picea</i>	+
<i>M. tesserula</i> White	Japon, Chine	<i>Pinus</i>	-
<i>M. urussovii</i> (Fischer) (syn. <i>M. rosenmuelleri</i> Cederhielm)	Japon, Chine (Liaoning, Heilongjiang, Mongolie intérieure, c'est à dire nord est) Sibérie, Russie (Caucase), Finlande, Pologne	<i>Abies, Larix, Picea,</i> <i>Pinus</i>	-
Région paléarctique (sans chevauchement avec <i>B. xylophilus</i>)			
<i>M. galloprovincialis</i> (Olivier)	Portugal, Afrique du Nord, Italie, France, Grèce, Allemagne, Pologne, Suède, Finlande, Russie (d'Europe), Sibérie	<i>Pinus</i>	-
<i>M. sartor</i> Fabricius	Europe centrale (est de la France à ouest de l'Ukraine)	<i>Picea, Pinus</i>	-
<i>M. sutor</i> (Linnaeus)	Chine (Heilongjiang, Liaoning ; nord-est) Sibérie, Russie (d'Europe), Georgie, pays nordiques, Europe centrale et orientale; Pyrénées, Alpes	<i>Pinus, Picea, Larix</i>	-