L'EAU, VECTEUR D'AGENTS PATHOGÈNES : CAS DU *PHYTOPHTHORA* DE L'AULNE

CLAUDE HUSSON - BÉNÉDICTE THOIRAIN - RENAUD IOOS - PASCAL FREY - BENOÎT MARÇAIS

QUELQUES MODES DE DISSÉMINATION D'AGENTS PATHOGÈNES CHEZ LES ARBRES

La dissémination des agents pathogènes fongiques des arbres forestiers est assurée par des modes de transmission très variés pouvant être biotiques ou abiotiques. Selon les pathosystèmes, le vent, le sol, le matériel végétal, la faune, l'activité humaine ou enfin l'eau interviennent comme vecteur de la maladie.

D'un point de vue spatial, l'air et les courants aériens ont déjà montré une grande efficacité dans la dissémination de spores de champignons. Dans le cas de la rouille du Peuplier causée par les champignons du genre *Melampsora*, le vent peut transporter les urédospores sur de très longues distances. Ainsi, les premiers cas d'infection de Peupliers en Nouvelle-Zélande en 1973 ont pour origine supposée l'Australie, distante de près de 2 000 km (Wilkinson et Spiers, 1976). Le transport de matériel végétal contaminé ne semblant pas mis en cause, les auteurs ont estimé que l'introduction était due au vent. Par la suite, le champignon s'est disséminé très rapidement dans le pays et s'y est définitivement implanté.

La faune est un vecteur potentiel d'agents pathogènes impliquant parfois une association spécifique entre les deux partenaires. Par exemple, les spores d'*Ophiostoma novo-ulmi*, champignon ascomycète responsable de la graphiose de l'Orme, ne sont véhiculées que par certains coléoptères du genre *Scolytus*. Les insectes adultes transportent sur leur corps les spores du champignon à partir des galeries de nidification qu'ils creusent sous l'écorce des arbres contaminés. En accomplissant leur repas de maturation sexuelle par morsures des jeunes branches du houppier, ils contaminent les arbres voisins (Pinon et Feugey, 1994). Ce mode de dissémination explique certainement l'introduction du parasite dans les îles anglo-normandes à partir des zones contaminées des côtes françaises ou anglaises.

Le transport du matériel végétal est également un moyen de dispersion des maladies. Via le commerce puis la plantation, les jeunes plants infectés sur leur lieu de production, en pépinière, disséminent l'agent pathogène en milieu naturel. Jung et Blaschke (2004) ont montré que l'infection des aulnaies ripicoles par *Phytophthora alni* en Bavière avait souvent pour origine une plantation en amont des rivières de jeunes aulnes infectés lors de leur production en pépinière. Par ailleurs, l'introduction dans le Sud de la France de *Ceratocystis fimbriata* forme spéciale *platani*, agent responsable du chancre coloré du Platane, est sans doute due au transport des caisses en bois de platane de l'armée américaine lors de l'arrivée des troupes en région méditerranéenne en 1945 (Vigouroux, 1979). En effet, aux États-Unis, le champignon sévit sur les Platanes de la côte Est depuis le début du XX^{e} siècle.

Outre le transport de végétaux ou partie de végétaux contaminés, l'activité humaine est à l'origine de la dissémination de parasites par le transport de sol contaminé via les bottes et les véhicules. Tjosvold *et al.* (2002) ont ainsi détecté *Phytophthora ramorum*, agent pathogène responsable de la mort subite du Chêne aux États-Unis, dans du sol prélevé sur des chaussures de randonneurs provenant d'une zone contaminée. Par ailleurs, l'utilisation d'outils de tailles ou d'élagage crée une porte d'entrée pour le parasite dans la plante hôte. Ainsi, en Amérique centrale, le dépérissement du Cacaoyer dû à *Ceratocystis fimbriata* est appelé aussi le « *mal des machettes* » (Semal, 1989).

QUELQUES EXEMPLES DE DISSÉMINATION D'AGENTS PATHOGÈNES PAR L'EAU

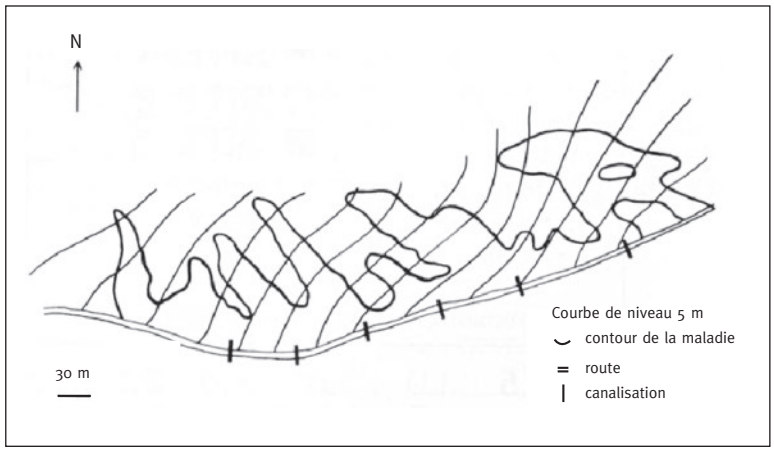
Parmi tous les vecteurs d'agents pathogènes, l'eau sous ses différentes formes joue un rôle très important. Les Oomycètes du genre *Phytophthora* sont particulièrement concernés par ce mode de dissémination. En effet, ils produisent des zoospores flagellées motiles dans l'eau qui attaquent les arbres par les racines ou les lenticelles. Ainsi, l'irrigation par de l'eau de rivière contaminée a été mise en cause dans l'infection de jeunes plants d'aulnes par *Phytophthora alni* en pépinière (Gibbs *et al.*, 2003 ; Jung et Blaschke, 2004). Par ailleurs, la réutilisation pour l'arrosage des eaux d'irrigation collectées est une pratique présentant un fort risque en pépinière. Themann *et al.* (2002) ont en effet détecté de nombreuses espèces de *Phytophthora* dans les eaux des bassins de rétention. Sans l'installation d'un système de désinfection efficace, ces eaux peuvent être à l'origine d'épidémies sur les plantes irriguées.

Selon son mode d'action, l'eau permet la propagation de spores infectieuses sur des distances variables. L'impact d'une goutte d'eau de pluie sur un inoculum permet la dissémination des spores dans un rayon d'un mètre (Agrios, 1988). Dans le cas du chancre du Hêtre causé par *Nectria ditissima*, le ruissellement de la rosée ou de la pluie le long d'un tronc entraîne les spores et contribue ainsi à la multiplication des chancres sur un même sujet (Perrin, 1974). Ce même phénomène de propagation est observé dans le cas de *Marssonina brunnea* qui forme de nombreuses pustules sur les rameaux de Peupliers via les conidies véhiculées par l'eau de pluie (Pinon et Poissonnier, 1975). Les rivières quant à elles peuvent propager les parasites sur de grandes distances. Dans le cas du chancre coloré du Platane, Grosclaude *et al.* (1991) ont montré que l'inoculum produit par des arbres malades peut être véhiculé par la rivière jusqu'à une distance de plus de 100 m en une semaine provoquant ainsi l'infection des arbres sains situés en aval. Les auteurs concluent que, même si on ne peut pas exclure le concours de la faune ripicole et aquatique (rongeurs, poissons, batraciens), le transport des propagules infectieuses est vraisemblablement le fait du courant d'eau.

En Australie, *Phytophthora cinnamomi* provoque des dégâts considérables dans les forêts d'Eucalyptus. Weste et Law (1973) ont décrit le cas d'une tache d'infection en bordure d'une route (figure 1, p. 353). L'agent pathogène a été introduit dans le milieu par les graviers contaminés ayant servi à la construction de la route. La délimitation de la zone d'arbres malades a permis de faire le lien avec les canalisations qui assurent l'écoulement des eaux en travers de la route. Les foyers de maladie étaient clairement liés à ces conduits de drainage. Ainsi, l'agent pathogène, *Phytophthora cinnamomi*, a été disséminé par les eaux de pluies passant par les conduits de drainage jusqu'à des distances supérieures à 100 m en fonction du relief.

Un autre exemple remarquable décrit par Jules *et al.* (2002) est la dissémination de *Phytophthora lateralis*, agent pathogène de *Chamaecyparis lawsoniana*, dans les ripisylves en Oregon (États-Unis). Les auteurs ont retracé et cartographié l'historique de l'infection des arbres localisés au bord des cours d'eau sur une période de 15 ans par dendrochronologie des arbres morts. Dans

Figure 1 **PROPAGATION DE LA MALADIE DUE À *PHYTOPHTHORA CINNAMOMI* PAR LES EAUX CANALISÉES DANS LES CONDUITS À PARTIR DES GRAVIERS INFECTÉS**
(Weste et Law, 1973)



72 % des cas, les événements infectieux avaient pour origine géographique les jonctions entre les routes ou chemins et les ruisseaux. Les véhicules, et notamment les engins utilisés pour l'exploitation forestière, ont transporté l'inoculum qui, déposé au niveau de ces jonctions, s'est disséminé ensuite dans l'eau de rivière contaminant ainsi les arbres situés en aval. En amont, les ripisylves sont restées saines, les zoospores étant incapables de se déplacer à contre courant. Il est intéressant de préciser qu'au cours de cette étude une cessation de l'activité d'exploitation forestière a eu lieu durant trois ans pendant laquelle aucun nouveau cas d'infection n'a été signalé. Les auteurs ont montré que le déplacement de sol contaminé par l'homme ou par les animaux participait aussi au dépôt d'inoculum de *Phytophthora lateralis*, mais à un degré moindre. Par ailleurs, des facteurs de risque d'introduction de la maladie à l'intersection d'une route et d'une rivière ont été définis. Une forte densité d'arbres hôtes à proximité de la jonction et un fort débit de la rivière à cette jonction augmentaient fortement le risque d'introduction de la maladie.

LE DÉPÉRISSEMENT DE L'AULNE GLUTINEUX DANS LES RIPISYLVES

Le dépérissement des aulnaies ripicoles est un bon modèle d'étude du rôle de l'eau de rivière dans l'épidémiologie de la maladie. Depuis le début des années 1990, en Europe, l'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) subit de graves dépérissements essentiellement le long des cours d'eau. Cette maladie émergente due à un Oomycète hybride, *Phytophthora alni*, provoque des taux de mortalité importants. Dans un réseau de placettes mis en place en Charente et suivi annuellement par le Département de la Santé des Forêts depuis 1998, le taux annuel de mortalité atteint 5 %. L'agent pathogène est présent dans le sol et se propage dans l'eau grâce à ses zoospores flagellées (Streito *et al.*, 2002). Il pénètre dans l'arbre par les fines racines et les lenticelles au niveau du collet et se développe dans l'écorce interne. Les arbres symptomatiques présentent un houppier clairsemé avec des feuilles petites et jaunissantes et des taches nécrotiques noires sur le tronc pouvant produire un exsudat goudronneux (photo 1, p. 354). 50 % des jeunes plants meurent moins de trois ans après l'apparition des premiers symptômes sur tronc.



Photo 1
Taches noires sur un tronc d'Aulne glutineux dues à *Phytophthora alni*

Photo INRA-Nancy

DÉTECTION DE *PHYTOPHTHORA ALNI* DANS L'EAU DE RIVIÈRE

Le parasite a été détecté dans le sol et l'eau de rivière grâce à une technique de piégeage biologique à base de rameaux d'Aulne (Streito *et al.*, 2002). Toutefois, l'efficacité de cette technique était très faible. Pour améliorer le taux de détection afin d'enrichir les connaissances épidémiologiques de la maladie, nous avons mis au point une nouvelle méthode. Des outils de diagnostic moléculaire spécifiques de *Phytophthora alni* ont été définis (Ioos *et al.*, 2005). En couplant ces outils à la filtration de l'eau de rivière à l'aide d'une pompe, il est alors possible de détecter la présence de 10 zoospores de *Phytophthora alni* par litre d'eau filtrée. Cette méthode a été appliquée en milieu naturel le long d'un cours d'eau (la Sarre) dans une zone de 3,5 km de long où 30 % des aulnes étaient malades en 2005. Durant l'été 2006, nous avons détecté *Phytophthora alni* dans 17 % des filtres analysés. L'eau de rivière prélevée au pied des arbres était contaminée aussi bien au pied des sujets malades que des sujets sains. Ces résultats confirment le rôle très important de l'eau dans la dissémination de l'agent pathogène.

ENQUÊTE ÉPIDÉMIOLOGIQUE SUR L'ÉTAT SANITAIRE DES AULNES DANS LE BASSIN RHIN-MEUSE

Durant l'été 2004, nous avons conduit une étude épidémiologique dans les aulnaies ripicoles du bassin Rhin-Meuse afin de déterminer quels étaient les facteurs de risque associés à la maladie. Un plan d'échantillonnage stratifié a été établi en fonction de la qualité de l'eau (azote total oxydé) et de la typologie des cours d'eau (tableau I, p. 355). Cette typologie définie par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse décrit la géologie, la géomorphologie, la pente et la largeur des cours d'eau. Ainsi, pour un même cours d'eau, le type change d'un secteur à l'autre selon sa localisation géographique. Les secteurs de rivières à prospecter ont été sélectionnés selon leur proximité avec les stations de mesures physico-chimiques de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Pour chaque secteur (d'une longueur de 1 à 3 km), et dans la mesure du possible, une portion courbe et une portion droite ont été choisies. Les données de qualité de l'eau relevées ont été la température de l'eau (de mai à octobre), la conductivité électrique, le pH, la demande biologique en oxygène, la concentration en calcium, sodium, chlore, azote total oxydé, orthophosphate et ammonium.

Pour chaque variable, la moyenne des années 1998 à 2003 a été retenue. Toutes ces données sont disponibles sur le site internet de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse (www.eau-rhin-meuse.fr).

La présence d'Aulnes sur les secteurs de rivière sélectionnés a été vérifiée avant l'enquête de terrain par visualisation de photographies aériennes infrarouges fournies par l'échelon de Nancy de l'Inventaire forestier national. Cette démarche a permis d'éliminer les zones sans ripisylve ou majoritairement constituées de Saules ou de conifères. En revanche, il n'a pas été possible de distinguer les Aulnes des Chênes, des Frênes ou des Peupliers.

Les prospections ont eu lieu en juin et juillet 2004 dans chaque secteur. Tous les aulnes d'une hauteur supérieure à 1,30 m et situés à moins de 2 m de la rive ont été recensés sur une distance de 100 m ou plus jusqu'à concurrence de 15 à 20 sujets dans chaque secteur. L'état sanitaire de chaque arbre, à savoir la présence de nécroses sur les troncs et les symptômes du houppier, a été noté. La densité de l'aulnaie a été estimée par le nombre d'arbres de diamètre supérieur à 5 cm sur une distance de 100 m. Enfin, nous avons relevé la largeur de la rivière, la présence de chemins, routes, ponts, la texture du sol, le pourcentage de recouvrement de la strate arborée. Trois échantillons d'écorce d'arbres malades ont été prélevés dans chaque site infecté et analysés au laboratoire.

Parmi les 97 sites prospectés, 58 sites avec une présence suffisante d'Aulnes ont été retenus. Vingt d'entre eux comportaient à la fois une portion courbe et une portion droite. Au total, 78 points d'enquêtes, localisés sur 35 rivières différentes, ont donc été retenus pour l'étude.

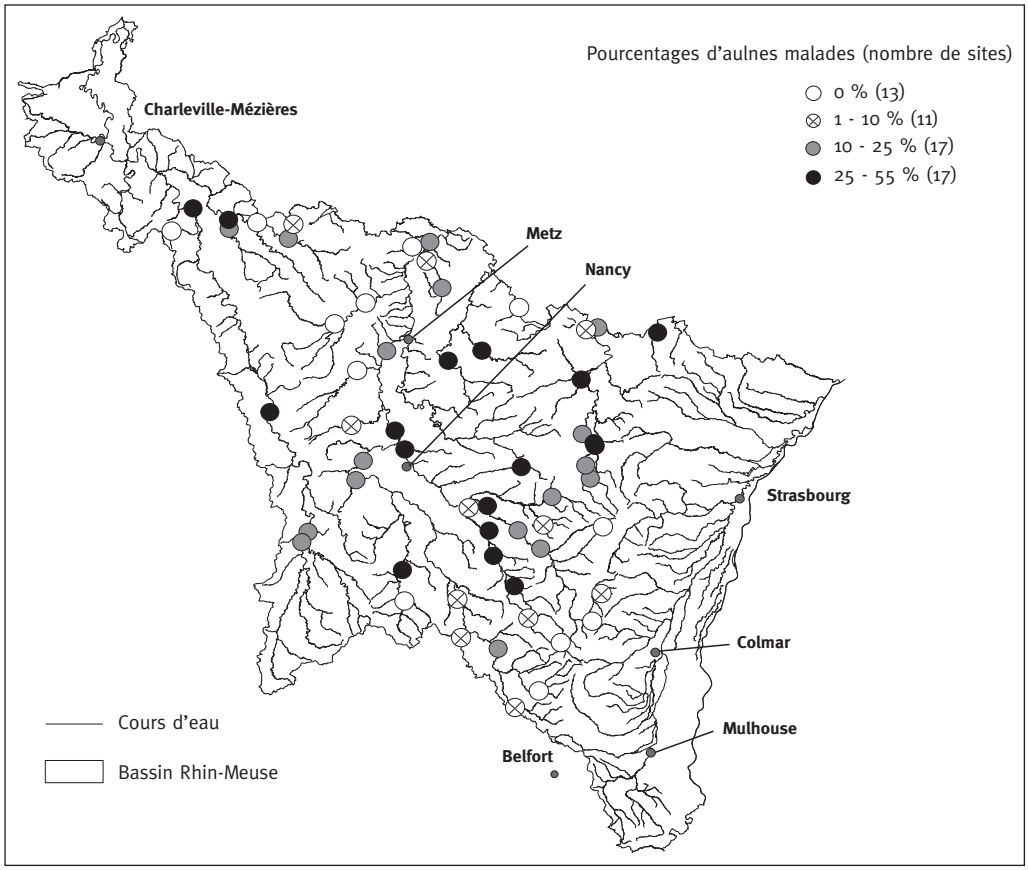
PRÉVALENCE DE LA MALADIE ET FACTEURS DE RISQUE

L'enquête a révélé que 17 % des aulnes étaient malades sur les bassins de la Meuse, de la Moselle et de la Sarre. Par ailleurs, 77 % des tronçons prospectés et 71 % des rivières présentaient des arbres dépérissants (figure 2, p. 356). La présence du parasite a été confirmée par

Tableau I **Typologie des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse**
(source : Agence de l'Eau Rhin-Meuse)

Types	Nom	Géologie	Largeur	Pente
T1	Cours d'eau et torrents de montagne	Cristallin métamorphique	Quasi inexistante	Forte à très forte
T2	Moyennes vallées des Vosges cristallines	Cristallin métamorphique	Modeste	Moyenne à forte
T2 bis	Hautes et moyennes vallées des Vosges gréseuses	Grès	Étroit	Faible excepté en amont
T3	Cours d'eau de piémont	Varié non morphogène	Élargissement	Moyenne "rupture de pente en amont"
T4	Cours d'eau de côtes calcaires et marno-calcaires	Calcaire marno-calcaire	Très étroit	Moyenne à faible
T5	Basses vallées de plateaux calcaires	Basses vallées de plateau calcaire	Étroit à large	Faible
T6	Cours d'eau de plaines argilo-limoneuses	Argiles et limons remaniés	Très large	Très faible

Figure 2 **CARTE DE RÉPARTITION DES POINTS D'ENQUÊTE DE L'ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE DU DÉPÉRISSEMENT DES AULNES ET PRÉVALENCE DE LA MALADIE**



isolement mycologique ou identification moléculaire dans près de 90 % des sites, ce qui montre que *Phytophthora alni* est bien le principal agent pathogène responsable des dépérissements observés.

L'analyse statistique par régression logistique ne montre aucune corrélation significative entre la prévalence d'arbres malades et la morphologie de la rivière (courbe et droite), le diamètre des arbres et certains paramètres environnementaux liés à l'eau : demande biologique en oxygène, azote total oxydé, ammonium, orthophosphate, pH.

La probabilité d'introduction de la maladie sur un site dépend beaucoup de sa position sur la rivière, l'aval ayant beaucoup plus de chance d'être contaminé que l'amont en raison du mouvement des propagules infectieuses dans l'eau dans le sens du courant. Un effort spécial a donc été réalisé pour tenir compte de ce facteur de confusion.

Il ressort que la typologie de la rivière, la température de l'eau, le recouvrement de la strate arborée en bordure du cours d'eau, la largeur de rivière, la texture de sol, la présence d'un pont ou route à proximité sont liés à la maladie.

Le facteur le plus explicatif est le type de cours d'eau : le risque de maladie est 3,4 fois plus élevé dans les types T2b, T5 et T6 que dans les types T1-T2, T3 et T4 (tableau I, p. 355). Bien que cette typologie intègre de nombreux facteurs environnementaux, il semble que le paramètre qui différencie clairement les deux groupes soit la vitesse de courant. Les eaux calmes sont donc plus sujettes à l'infection. Cette hypothèse est renforcée par les nombreux cas de fortes infections que l'on peut observer au bord des étangs et des lacs.

Par ailleurs, le pourcentage d'aulnes malades croît quand la température de l'eau augmente de 12 à 20 °C et quand la texture du sol est argileuse (figures 3 et 4, ci-dessous).

Figure 3
CORRÉLATION ENTRE LE POURCENTAGE D'ARBRES MALADES ET LA TEXTURE DU SOL

la : limono-argileux
lm : limon moyen
ls : limono-sableux
sl : sablo-limoneux

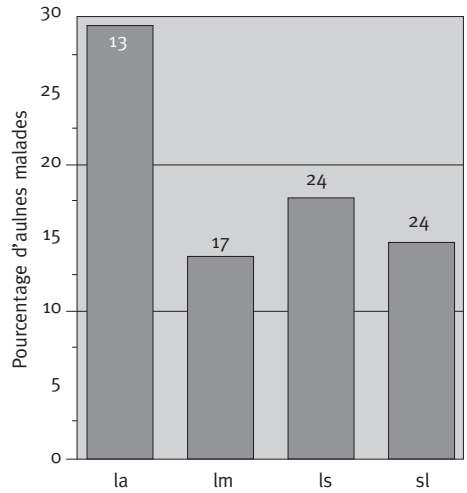
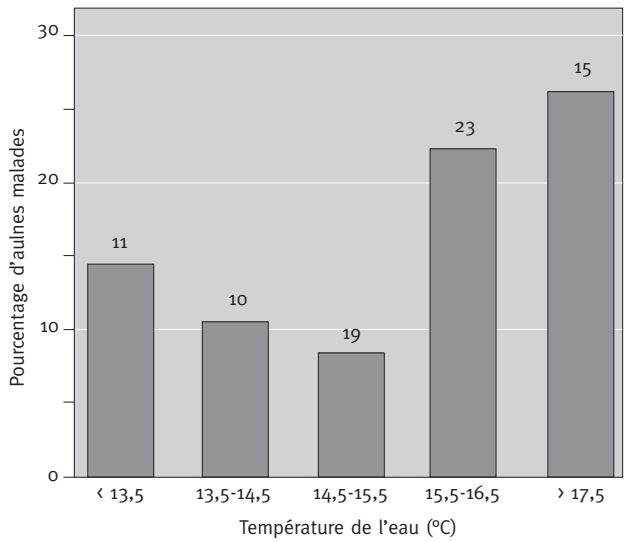


Figure 4 **CORRÉLATION ENTRE LE POURCENTAGE D'ARBRES MALADES ET LA TEMPÉRATURE MOYENNE DE L'EAU DE LA RIVIÈRE DE MAI À OCTOBRE**



En conclusion à cette étude, la pollution (azotée, organique, phosphorée) ne semble pas jouer un rôle dans la fréquence d'arbres malades. Les cours d'eau à eau fraîche ou vive, c'est-à-dire ceux de moyenne montagne, de piémont et de côtes calcaires, sont moins infectés que les grands cours d'eau à eau tempérée et calme. Un courant faible permet sans doute une accumulation d'inoculum (zoospores) au pied des arbres, ce qui engendre un risque plus élevé d'infection par les racines. L'augmentation de la température de l'eau est liée positivement avec la maladie. Cette corrélation est confirmée par une étude de Chandelier *et al.* (2004) montrant que la production de sporanges, propagules qui produisent les zoospores de *Phytophthora alni*, est plus forte quand la température de l'eau augmente de 11 à 20 °C. Les berges à texture fine sont favorables à l'infection, phénomène bien connu chez les Oomycètes du genre *Phytophthora*. Le rôle du recouvrement de la strate arborée est plus difficile à expliquer. Il peut s'agir d'un effet indirect sur l'infection via la température de l'eau : un recouvrement peu dense engendrerait une élévation de la température de l'eau (moins d'ombrage) favorable au parasite comme on l'a vu ci-dessus. Enfin, l'effet de la présence d'un pont ou d'une route à proximité joue sans doute un rôle sur la fréquence des crues qui favoriseraient la dissémination du parasite dans la zone inondable. Cette corrélation a déjà été suggérée dans une étude de Jung et Blaschke (2004) sur ce même pathosystème.

Claude HUSSON – Bénédicte THOIRAIN
Pascal FREY – Benoît MARÇAIS
UMR 1136, Équipe de Pathologie forestière
INRA Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(claude.husson@nancy.inra.fr)
(thoirain@nancy.inra.fr)
(frey@nancy.inra.fr)
(marcais@nancy.inra.fr)

Renaud IOOS
Unité de Mycologie agricole et forestière
LABORATOIRE NATIONAL
DE LA PROTECTION DES VÉGÉTAUX
Domaine de Pixérécourt
BP 90059
F-54220 MALZÉVILLE
(renaud.ioos@agriculture.gouv.fr)

Remerciements
L'étude épidémiologique du dépérissement de l'Aulne a été financée par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

BIBLIOGRAPHIE

AGRIOS (J.). — Plant Pathology. — Third Edition. — Academic Press Inc., 1988. — 803 p.

CHANDELIER (A.), LAURENT (F.), ABRAS (S.), DEBRUXELLES (N.), CAVELIER (M.). — *Phytophthora* disease of alder : role of bacteria in the production of sporangia. — Third International Meeting on *Phytophthora* in Forests and Natural Ecosystems, Freising (Germany), 11-17 september 2004 (poster).

GIBBS (J.), VAN DIJK (C.), WEBBER (J.). — *Phytophthora* Disease of Alder in Europe. — *Forestry Commission Bulletin*, n° 126, 2003, 82 p.

GROSCLAUDE (C.), OLIVIER (R.), PIZZUTO (J.-C.), ROMITI (C.). — Étude expérimentale du transport de l'inoculum de *Ceratocystis fimbriata* f. *platani* par l'eau d'une rivière. — *European Journal of Forest Pathology*, vol. 21, n° 3, 1991, pp. 168-171.

IOOS (R.), HUSSON (C.), ANDRIEUX (A.), FREY (P.). — SCAR-based PCR primers to detect the hybrid pathogen *Phytophthora alni* and its subspecies causing alder disease in Europe. — *European Journal of Plant Pathology*, 112, 2005, pp. 323-335.

JULES (E.), KAUFFMAN (M.), RITTS (W.), CARROLL (A.). — Spread of an invasive pathogen over a variable landscape: a nonnative root rot on Port Oxford cedar. — *Ecology*, vol. 83, n° 11, 2002, pp. 3167-3181.

JUNG (T.), BLASCHKE (M.). — *Phytophthora* root and collar rot of alders in Bavaria: distribution, modes of spread and possible management strategies. — *Plant Pathology*, 53, 2004, pp. 197-208.

PERRIN (R.). — Le Chancre du Hêtre. — *Revue forestière française*, vol. XXVI, n° 3, 1974, pp. 219-221.

PINON (J.), FEUGEY (L.). — La Graphiose de l'Orme : une maladie dévastatrice à causes bien identifiées. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 5, 1994, pp. 422-430.

PINON (J.), POISSONIER (M.). — Epidemiology study of *Marssonina brunnea* (Ell. & Ev.) P. Magn. — *European Journal of Forest Pathology*, vol. 5, n° 2, 1975, pp. 97-111.

SEMAL (J.). — Traité de pathologie végétale. — Les Presses Agronomiques de Gembloux, 1989. — 621 p.

STREITO (J.-C.), DE VILLARTAY (G.), TABARY (F.). — Methods for isolating the alder *Phytophthora*. — *Forest Pathology*, 32, 2002, pp. 193-196.

THEMANN (K.), WERRES (S.), LÜTTMANN (R.), DIENER (H.A.). — Observations of *Phytophthora* spp. in water recirculation systems in commercial hardy ornamental nursery stock. — *European Journal of Plant Pathology*, 108, 2002, pp. 337-343.

TJOSVOLD (S.A.), CHAMBERS (D.L.), DAVIDSON (J.M.), RIZZO (D.M.). — Incidence of *Phytophthora ramorum* inoculum found in soil collected from a hiking trail and hikers'shoes in a California park. — First Sudden Oak Death Science Symposium: The State of Our Knowledge, Monterey, USA, 15-18 september 2002.

VIGOUROUX (A.). — Les "dépérissements" des Platanes. Causes, importance, mesures envisageables. — *Revue forestière française*, vol. XXXI, n° 1, 1979, pp. 28-39.

WILKINSON (A.), SPIERS (A.). — Introduction of the poplar rusts *Melampsora larici-populina* and *M. medusae* to New Zealand and their subsequent distribution. — *New Zealand Journal of Science*, vol. 19, n° 2, 1976, pp. 195-198.

WESTE (G.), LAW (C.). — The invasion of native forest by *Phytophthora cinnamomi*. III. Threat to the National Park, Wilson's Promontory, Victoria. — *Australian Journal of Botany*, 25, 1973, pp. 31-51.

L'EAU, VECTEUR D'AGENTS PATHOGÈNES : CAS DU *PHYTOPHTHORA* DE L'AULNE (Résumé)

Avec l'air, le sol, le matériel végétal, la faune et l'activité humaine, l'eau est un vecteur potentiel d'agents pathogènes. Grâce aux zoospores, propagules infectieuses motiles dans l'eau, les parasites du genre *Phytophthora* sont particulièrement concernés par ce mode de dissémination dans les milieux anthropisés (irrigation en pépinières) et dans les milieux naturels.

Le dépérissement des aulnaies en ripisylve dû à *Phytophthora alni* est un bon modèle d'étude du rôle de l'eau de rivière dans l'épidémiologie de la maladie. Nous avons mené une enquête épidémiologique en 2004 qui a révélé que 17 % des aulnes sont malades le long de la Meuse, la Moselle, la Sarre et leurs affluents. Près de 80 % des sites prospectés répartis sur 35 cours d'eau sont infectés. Les principaux facteurs de risque associés à la maladie sont la vitesse du courant et la température de l'eau. Les rivières à eaux calmes et tempérées de plateaux calcaires et de plaines présentent des taux de dépérissement d'aulnes plus importants que les rivières à eaux vives et fraîches de moyenne montagne, de piémont et côtes calcaires.

WATER – A VECTOR FOR PATHOGENS. THE CASE OF ALDER *PHYTOPHTHORA* (Abstract)

Together with the air, soil, plant material, the fauna and human activity, water too is a potential vector for pathogens. Through the zoospores, infectious propagules that are free-moving in water, this mode of dissemination in anthropogenic environments (irrigated nurseries) and in natural environments is of particular relevance with respect to *Phytophthora* genus parasites.

Dieback of riverine elder forests due to *Phytophthora alni* offers a good study model for the role played by river water in the epidemiology of the disease. We conducted an epidemiological survey in 2004 that showed that 17 % of the elders along the Meuse, the Moselle, and Sarre Rivers and their tributaries are diseased. Nearly 80 % of the sites inspected, distributed over 35 watercourses, are infected. The main risk factors associated with the disease are the speed of flow and the temperature of the water. The rate of elder dieback is more severe where temperate rivers with quiet waters run through limestone tablelands and plains than where cool, fast-flowing rivers run through middle altitude mountains, foothills and hilly calcareous terrain.