

FAITS NOUVEAUX SUR LE DÉPÉRISSEMENT DE L'ORME

J. PINON

Class. Oxford 174 ULMUS : 44/45

Depuis près de cinq ans, nous assistons, en France, à une recrudescence spectaculaire du dépérissement de l'Orme, plus connu sous le nom de graphiose ou sous le terme impropre de maladie « hollandaise de l'Orme (1) ». La présente note tente d'apporter des éléments de réponse aux questions posées par les responsables des plantations urbaines, les forestiers, les particuliers et parfois la presse. Nous nous sommes limités aux travaux les plus récents qui permettent d'expliquer la génèse de cette nouvelle épidémie, de dégager les principes de base des nouvelles méthodes de lutte et de définir leur champ d'application dans le contexte spécifique de notre pays.

Plus généralement, cette maladie constitue un exemple caractéristique des trachéomycoses des végétaux ligneux, c'est-à-dire des maladies provoquées par des champignons microscopiques parasites du système vasculaire, qui perturbent les mouvements de sève et provoquent la mort de l'hôte par flétrissement. Leur localisation interne et souvent leur rapide diffusion au sein de l'arbre les rendent peu vulnérables aux méthodes de lutte chimique traditionnelles. A ce groupe de maladies se rattachent le dépérissement du Platane à *Ceratocystis fimbriata* (Ell. et Halst.) Davidson f. *platani* Watter dans le Sud-Est ou celui du Chêne à *Ceratocystis fagacearum* (Bretz.) Hunt. confiné au continent américain et dont l'introduction en Europe serait lourde de conséquences.

Dans le but de faciliter la compréhension de cette note, nous résumerons très brièvement les caractéristiques essentielles de cette maladie. Le lecteur désireux d'approfondir ses connaissances peut se reporter au compte rendu du congrès de Minneapolis (1973) et à une bibliographie antérieure (PINON, 1969).

HISTORIQUE ET RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

C'est à la fin de la première guerre mondiale que la maladie a été reconnue presque simultanément dans plusieurs pays d'Europe occidentale (Pays-Bas, France, etc.). Son développement à travers le reste de l'Europe fut foudroyant et les dégâts considérables. Plus hypothétique est l'épidémie qui aurait sévi dans le parc de Versailles au XVIII^e siècle. En 1926, le parasite (et l'un de ses insectes vecteurs) est introduit dans l'est des États-Unis à la faveur d'importation de grumes infectées et probablement d'origine britannique. Ce fut ensuite le cas du Canada (1944). L'épidémie prit rapidement une allure de catastrophe du fait de la sensibilité élevée des espèces nord-américaines et principalement d'*Ulmus americana*.

(1) Le qualificatif « hollandaise » est impropre. La maladie est très probablement d'origine asiatique. Ce sont les chercheurs hollandais qui ont, les premiers, eu le mérite de l'identifier.



Photo I.N.R.A. - PINON

L'AGENT CAUSAL

Il s'agit d'un champignon microscopique, ascomycète, le *Ceratocystis ulmi* (Buism.) C. Moreau. Sa forme asexuée, le *Graphium ulmi* Schwarz est une Stilbacée dont le terme générique est à l'origine du nom de graphiose. Dès les premières mises en cultures, la variabilité de ce parasite apparaît importante, affectant son comportement *in vitro* et surtout son agressivité sur l'Orme. Cette variabilité est entretenue par la multiplication sexuée qui exige la confrontation de souches de potentialités différentes. De nouvelles souches du parasite peuvent ainsi prendre naissance. Des modifications de l'équilibre entre ces souches, résulterait l'alternance de périodes d'épidémie et de recul de la maladie.

LES SYMPTÔMES

Dès le printemps, les arbres infectés se signalent par un débourrement tardif et incomplet. Puis en mai-juin, le feuillage, porté par une grosse branche, jaunit subitement. Les bords des limbes brunissent et s'enroulent et rapidement les feuilles tombent. La mort de l'arbre intervient après généralisation de l'infection dans des délais variables selon l'agressivité de la souche et la sensibilité de l'arbre (parfois en un an). En coupe, on note la décoloration de quelques vaisseaux du bois sous forme de cerne bruns plus ou moins complets (en section transversale) ou de stries (en section longitudinale). Ces vaisseaux sont obstrués par des gommés et des thyllés, l'alimentation en eau du feuillage est perturbée et le flétrissement en résulte.

L'extension rapide des symptômes sur un arbre est liée à la dissémination aisée du parasite qui produit, au sein de l'hôte, des spores microscopiques véhiculées par la sève et capables de franchir les ponctuations (SANSOME et BRASIER, 1973). L'Orme est sensible à tout âge. Toutefois, chez les très jeunes sujets, le parasite rencontre plus de difficultés pour gagner le cerne suivant.

DISSÉMINATION

Bien que la pluie et le vent puissent contribuer à la dissémination des spores du champignon, ce sont surtout des insectes, les Scolytes, qui en sont responsables. Deux espèces sont impliquées en Europe dans ce processus : le grand scolyte de l'Orme (*Scolytus scolytus* Fabricius) et le petit scolyte de l'Orme (*Scolytus multistriatus* Marsham). S'y ajoute, en Amérique du Nord, *Hylurgopinus rufipes* Eichhoff. Après l'accouplement, les femelles fécondées choisissent pour hiverner des ormes affaiblis (et généralement infectés par le *Graphium*). Dans la galerie maternelle puis dans les galeries larvaires qui l'entourent règne une humidité très favorable à la fructification du champignon. En mai, les jeunes adultes émergent souillés de spores et du mycélium du parasite. Ils se portent alors sur des arbres sains qu'ils inoculent en pratiquant des morsures nutritionnelles dans les fourches des jeunes rameaux. Le cycle sera complété par la période de reproduction. Une seconde génération peut intervenir en août si la température est suffisante. Les Scolytes agissent donc en deux temps : transmission de la maladie durant leur phase de nutrition et achèvement de l'arbre malade dans leur phase d'hivernation (galeries sous-corticales). Les perforations de l'écorce qu'ils pratiquent pour s'y introduire puis en émerger trahissent leur présence. En soulevant alors l'écorce, on y décèlera les galeries maternelles (verticales) flanquées de part et d'autre des galeries larvaires (latérales).

Dans les peuplements assez denses, le champignon peut passer des arbres infectés aux arbres sains qui les entourent à travers les contacts racinaires développés entre ces arbres. Ce mode de dissémination se manifeste de proche en proche, les Scolytes assurant, par leurs vols, la dissémination à distance. Portés parfois pas nos transports terrestres, ils accomplissent alors des distances considérables.

CAUSES DE LA RECRUESCENCE DE LA MALADIE

En Grande-Bretagne, GIBBS et coll. (1972) estiment que la maladie a pris une allure épidémique vers 1970, en particulier dans le North-Gloucestershire et le South-Essex. Ils isolent alors les souches présentes dans les nouveaux foyers et les inoculent sur divers sujets d'*Ulmus glabra* et d'*Ulmus americana* en comparant avec des souches provenant de zones non épidémiques. Il apparaît nettement que les premières sont plus agressives. Cultivées à l'obscurité (GIBBS et BRASIER, 1973), ces souches ne présentent pas le même aspect : sur milieu gélosé, leur croissance est plus rapide et leur aspect est cotonneux alors que les souches peu agressives sont cireuses. HOLMES et coll. (1972), GIBBS et coll. (1975) confirment ce phénomène et signalent la présence des souches agressives aux États-Unis, au Canada, aux Pays-Bas et en Iran. Les souches que nous isolons à Paris en 1972, appartiennent au type agressif. Quelle est donc l'origine de ces souches, qui, après une certaine période de répit engendrent à nouveau, en Europe, une épidémie semblable à celle de 1918 ?

Deux hypothèses paraissent plausibles. Les souches responsables de la première épidémie devenues moins fréquentes en Europe, un état d'équilibre se serait instauré entre l'hôte et le parasite. Mais à la faveur d'un élément inconnu, elles se sont à nouveau multipliées, d'où l'épidémie actuelle. La seconde hypothèse fait intervenir l'introduction en Europe de ces souches. Dans le cas de la Grande-Bretagne, cela semble très probable. En effet, les premières zones d'épidémie se localisent autour de quelques ports où sont importées des grumes d'Orme d'Amérique du Nord (BRASIER et GIBBS, 1973). Certaines d'entre elles se sont d'ailleurs avérées infectées par le champignon mais aussi porteuses de son vecteur américain (*Hylurgopinus rufipes*). Les foyers nord-américains ayant eu pour origine des bois importés d'Europe nous assisterions donc au retour du parasite sous une forme particulièrement agressive. Cette forme pourrait résulter d'une sélection vers une plus grande agressivité (par recombinaison sexuée) en Amérique ou plus simplement d'un retour des souches originales.

ANALYSE DU POUVOIR PATHOGÈNE DES NOUVELLES SOUCHES

Ces souches agressives attaquent avec succès les clones sélectionnés pour leur résistance après la première épidémie. Ceci explique l'ampleur des dégâts en particulier en zone urbaine et pose le problème des armes puissantes dont disposent ces nouvelles souches. Elles semblent être de deux natures.

● Production de toxines

TAKAI (1974) a mis en évidence, dans les cultures liquides du champignon, une toxine (la « Ceratoulmine ») associée aux souches agressives. Il s'agit d'une substance complexe associant des peptides à des glucides sous la forme d'unités visibles au microscope et s'agrégeant en bâtonnets puis en fibrilles. CLAYDON et coll. (1974) signalent également des composés phénoliques, toxiques pour l'hôte et sécrétés par ces mêmes souches. BARRETT et SIDMORE (1975) confirment ces résultats mais pour ces auteurs la liaison toxine-agressivité souffre quelques exceptions. Néanmoins, le rôle de cette toxine dans le pouvoir pathogène est hautement probable, les réactions des clones à l'application de la toxine étant comparables à celles obtenues par inoculation (MARCIA et Mc NABB, 1970).

● Invasion de l'hôte

On admettait généralement que le champignon se développant dans la zone poreuse du cerne avait peine à atteindre les vaisseaux différenciés l'année suivante. Ceci expliquait les rémissions assez fréquentes avant cette nouvelle épidémie. PAWSEY (1972) signale toutefois que dans le cas de souches agressives, le passage d'un cerne au suivant est fréquent dans le système racinaire, ce qui exclut la rémission.



Photos I.N.R.A. - PINON



Il semble donc que l'agressivité des nouvelles souches réside au moins en partie dans un arsenal biochimique plus efficace et une meilleure mobilité dans l'hôte.

IMPORTANCE DES DÉGÂTS

L'Orme a de tout temps joué un rôle important en Europe mais à des titres divers comme l'ont rappelé GIBBS et HEYBROEK. Source de fourrage de l'Âge de bronze au Moyen Âge, tuteur de la vigne chez les Romains selon Virgile, son bois fut ensuite utilisé en construction navale et charroyage. Venise fut bâtie sur des pilotis en orme. Henri II en 1552, puis Henri IV en 1601, préconisent la plantation intensive d'ormes pour satisfaire aux besoins de l'artillerie. Olivier de SERRES, dans le théâtre de l'agriculture (1600), souligne l'intérêt de cette essence comme bois de chauffage et source de fourrage pour les bœufs et les chèvres.

Son utilisation ornementale est en grande partie un héritage de Napoléon qui ordonna sa plantation le long des routes à travers toute l'Europe. Actuellement, l'impact du dépérissement se mesure en effectifs voire en affectivité et non en perte de production.

Dès la reconnaissance des souches agressives, nos collègues britanniques se sont engagés dans une vaste campagne de prospection, aidés par les services forestiers. PAWSEY (1974) signale que, dans les zones étudiées, 5,6 % des ormes sont morts ou sérieusement dépérissants en 1971 ; 10,9 % en 1972 et 17,5 % en 1973. Les pertes cumulées depuis le début de l'épidémie sont estimées à 4 500 000 arbres (GIBBS et HOWELL, 1974).

En France, des foyers importants étaient repérés en 1972 près de Paris. L'Orme échappe aux statistiques et la diversité des propriétaires ne permet pas de chiffrer les dégâts. Mais ils sont considérables et portent en particulier sur des peuplements de grande valeur esthétique à Paris (Place des Vosges, Champs-Élysés, Champ de Mars, Bois de Boulogne, etc.). Progressivement, de nouvelles régions ont été atteintes : Normandie, Picardie, Champagne, Pays de la Loire. L'extension se poursuit en Lorraine, en Bourgogne et dans le Nord. Outre la présence des souches agressives, la progression de l'épidémie a été favorisée par la pullulation des Scolytes, l'insuffisance des abattages et des périodes estivales sèches, facteur d'aggravation des symptômes.

L'épidémie concerne maintenant d'autres pays européens où des foyers dispersés de souches agressives sont identifiés. Les services forestiers sont mobilisés aux Pays-Bas et HINTIKKA (1974) signale le parasite pour la première fois en Finlande. Selon KRYUKOVA (1973), une nouvelle épidémie affecte la région de Volgograd (U.R.S.S.). Dans le même temps, le champignon et ses vecteurs poursuivent leur progression vers l'Ouest américain atteignant à présent la Californie (HAMILTON, 1975).

Face à cette situation, un effort important est consenti pour la mise au point de méthodes chimiques de lutte (États-Unis, Canada, Grande-Bretagne) et la sélection de clones résistants (États-Unis et Pays-Bas). Ce sont les résultats de ces travaux que nous tenterons de résumer ci-dessous.

LUTTE FONGICIDE

Quel que soit le mode d'application envisagé, la lutte fongicide vise à faire absorber par l'arbre des quantités suffisantes de fongicide endothérapeutique, c'est-à-dire capable de migrer dans le système vasculaire en activité. Cet objectif est ambitieux et ne peut être atteint qu'à la faveur de la mise au point de nouvelles formulations. De nombreux essais ont été pratiqués et leur diversité, voire leurs contradictions rendent malaisée la synthèse. Dans ce qui suit, nous tenterons donc d'analyser les principaux facteurs techniques à prendre en considération. Il s'agit essentiellement de traitements préventifs, c'est-à-dire appliqués à des arbres encore sains.



Photo I.N.R.A. - PINON

Brunissement des cernes infectés par le *Graphium ulmi*



Photo I.N.R.A. - PINON

Fructification de *Graphium ulmi* (0,5 mm environ)

● Incorporation de fongicides dans le sol

Efficacité comparée de diverses matières actives

STIPES (1969) obtient une protection satisfaisante en arrosant des semis élevés en godets avec une solution de thiabendazole à 4 000 ppm (1 ppm = 1 mg/litre) ou de bénomyl (1 000 ppm). Après incorporation à un sol de pépinière de divers fongicides, le thiabendazole et le bénomyl apparaissent supérieurs au captane et au difolatan à dosage identique, c'est-à-dire 100 g de matière active par mètre carré (STIPES et WEINKE, 1972). STIPES (1973) parvient à déceler une activité fongistatique dans les rameaux des sujets traités avec les deux premiers produits. Comparant sur des sujets plus âgés (10 ans), le bénomyl (382 kg/ha) au thiabendazole, au 1-2 dichloroéthyl-p chlorophénylsulfone et au 2-4 dichloro 6 nitrophényl-phénoxyacétate, SMALLEY (1971) confirme l'intérêt du bénomyl qui assure une protection partielle.

Seuls les essais de traitement du sol par le bénomyl seront analysés dans la suite de cette note. Ceci reflète la tendance actuelle en dépit des défauts majeurs de ce produit : coût élevé, solubilité très faible dans l'eau et migration médiocre dans le sol. A dose thérapeutique, son innocuité pour l'arbre est acquise. ROBERTS et coll. (1973) n'ont noté aucun symptôme de phytotoxicité ou de réduction de croissance après traitement à 1 000 ou 1 500 ppm. Selon STIPES (1969), un début de phytotoxicité apparaît vers 4 000 ppm en pots. Au champ, les bouillies très concentrées (jusqu'à 10 000 ppm) ne semblent pas toxiques (HOCK et SCHREIBER 1971 a). Selon ces auteurs le fongicide migre par le xylème et s'accumule dans le feuillage. Une certaine dispersion latérale est assurée par le phloème.

Doses et concentrations

Les quantités sont variables selon l'âge des plants, leur mode de culture (godets ou pleine terre) et la formulation (poudre ou bouillie). *En godets*, HOCK et SCHREIBER (1971), SCHREIBER et coll. (1971), HOCK et coll. (1970) obtiennent une bonne protection par des arrosages hebdomadaires (200 ml par godet à 1 000-1 500 ppm) de plants âgés respectivement de 3-6 mois, 1 an et 3 ans et cultivés en seaux de 10 l. *En pépinière*, STIPES (1973) réussit des traitements en injectant dans le sol une bouillie sous pression à raison de 125 g de matière active par plant. La protection de jeunes plantations exige un apport massif de fongicide. Pour des arbres âgés de 10 ans et installés à diverses densités (400 à 5 000 tiges par hectare), la dose minimale est estimée à 300 kg de matière active à l'hectare par SMALLEY (1971) et BIEHN et DIMOND (1971) et 360 kg par NEELY (1974).

Effet de la formulation

Le bénomyl est commercialisé sous la forme d'une poudre mouillable, très peu soluble (10 ppm). Pour favoriser sa mise en suspension puis sa dispersion dans le sol, l'adjonction d'agents mouillants a souvent été pratiquée. Ainsi 23 d'entre eux ont été testés par HOCK et SCHREIBER (1971 *b*) dans un mélange de tourbe, de terre et de perlite sans résultat. Une certaine phytotoxicité peut même en résulter à forte concentration. STIPES (1973) est du même avis. Un doute subsiste toutefois : BIEHN (1973) qui inclut 30 l de Tween 20 à l'hectare, est le seul auteur à obtenir une efficacité prolongée du traitement (2 ans). L'intérêt des agents mouillants est donc sujet à caution. Nous pensons que cela provient du fait que le bénomyl est dégradé dans le sol en dérivés actifs plus solubles donc plus mobiles.

Influence de la nature du sol

HOCK et coll. (1970 *a* et *b*) et STIPES (1969) s'accordent pour reconnaître que le traitement est plus efficace en sol sableux, l'absorption du fongicide par les racines y serait plus intense. SCHREIBER et coll. (1971) signalent que l'absorption est meilleure quand le sol est pauvre en matière organique, le pH bas et l'activité microbienne réduite. Au laboratoire, l'absorption est maximale à pH 3,2 et devient nulle à pH 9,2 (PRASARD, 1972).

Influence de la technique d'application

En pot, le résultat est identique qu'il s'agisse d'un arrosage ou d'une incorporation de poudre avant plantation. Au champ, les poudres ne sont guère utilisées, leur enfouissement mécanique étant délicat (risque de blessures des racines). On préfère donc introduire le fongicide sous forme de bouillie peu concentrée (5 à 10 g/l). Une bonne technique d'application doit assurer une diffusion rapide de la bouillie dans le sol vers les racines. Pour ce faire, NEELY (1974), STIPES (1973), BIEHN et DIMOND (1971) injectent la bouillie sous pression (15 à 20 kg/cm²) et obtiennent des résultats supérieurs à ceux de HOCK et SCHREIBER (1971, *a*) qui la versent simplement dans des trous.

Choix de la date de traitement

Si tous les auteurs inoculent en juin (période de réceptivité maximale de l'hôte), leurs traitements s'étagent du débourement à début juin. Le fongicide est souvent détecté dans les tissus de l'hôte quelques jours après l'application (BIEHN et DIMOND, 1971). Toutefois, il semble intéressant d'effectuer le traitement dès la reprise de la végétation afin d'assurer une plus large diffusion dans l'hôte lorsqu'interviendra la période de réceptivité maximale de l'orme. Ceci est particulièrement nécessaire si le fongicide n'est pas introduit sous pression.

Conclusion

Les succès obtenus par le traitement du sol l'ont été sur des arbres jeunes (10 ans). Aucune donnée n'est disponible pour des arbres plus âgés. La réussite suppose une application massive de fongicide (300 kg de matière active par hectare) dont les conséquences sont lourdes : coût élevé (200 F environ par kg de matière active) et perturbation de la vie du sol (destruction

en particulier des vers de terre). Son application est à renouveler chaque année et son efficacité est limitée au traitement préventif. Il serait déraisonnable de généraliser de telles pratiques.

● Bandages de tronc

STIPES et SCHREIBER (1967), puis STIPES (1969), ont appliqué sur l'écorce des troncs et des branches, des bandages imbibés de fongicide en solution dans le diméthylsulfoxyde qui améliore la pénétration. Le captane et les dithiocarbamates se sont montrés inefficaces. Le thiabendazole et le bénomyl ne protégeaient que les jeunes branches. Cette voie semble abandonnée actuellement.

● Injection de tronc

Les traitements par le sol conduisant à utiliser des quantités gigantesques de fongicide dont une part est perdue, de nombreux auteurs se sont orientés vers l'injection sous pression dans les troncs de la bouillie fongicide. Cette méthode est la plus prometteuse. Sauf mention particulière, il ne s'agit ici aussi que de traitements préventifs.

Matières actives et formulations

Les traitements mettant en œuvre le thiabendazole se sont généralement soldés par des échecs (SCHREIBER, 1970). L'utilisation du bénomyl par injection se heurte à sa faible solubilité. D'où la recherche de méthodes destinées à le solubiliser, facilitant l'application et limitant le risque de précipitation dans l'arbre (et donc de phytotoxicité).

HOCK et SCHREIBER (1971 a) échouent avec diverses formulations de 2 000 à 10 000 ppm dans l'éthanol 50 %. GREGORY et coll. (1971) estiment que les formulations dans l'acide acétique et l'ammoniaque présentent peu d'intérêt. L'acide lactique paraît alors plus prometteur. Un progrès décisif est accompli par Mc WAIN et GREGORY (1973) qui, par un procédé chimique simple, transforment le bénomyl en une solution chlorhydrique de méthyl 2 benzimidazole carbamate (ou MBC, HCl en anglais, BMC, HCl ou carbendazine-HCl en français).

Depuis cette molécule a fait l'objet de nombreux essais de formulation. GIBBS et CLIFFORD (1974) signalent la phytotoxicité du nitrate de BMC en solution lactique et du bisulfate de BMC en solution monopotassique. La solution chlorhydrique ne présente pas ces inconvénients en dépit de son acidité (pH proche de 2). Son inocuité pour l'arbre paraît établie et son efficacité préventive (et parfois légèrement curative) acquise. Les expérimentations de ALFEN et WALTON (1974) confirment cette tendance aux États-Unis.

Une formulation BMC-HCl est commercialisée en Grande-Bretagne sous le nom de Lignasan et préconisée à titre préventif sur des arbres de grande valeur. Une demande d'autorisation a été déposée aux États-Unis. GIBBS et DICKINSON (1975) signalent toutefois une légère supériorité des formulations expérimentales.

Concentration des bouillies

Dans le cas des formulations BMC-HCl (les plus intéressantes actuellement), la teneur en matière active s'étage entre 0,5 et 1,5 %. Cette concentration est efficace et non phytotoxique. Une concentration plus élevée provoque la précipitation du produit sur le site d'injection qui devient ainsi moins efficace et plus phytotoxique.

Volumes de bouillie

Ils dépendent de l'espacement des sites d'injection et des difficultés rencontrées pour vaincre la pression interne du xylème. ALFEN et WALTON (1974) traitent à raison de 31 ml par site

mais ceux-ci sont espacés de 2,5 à 5 cm. Plus satisfaisante est la technique de GIBBS et CLIFFORD qui injectent 0,75 à 1 litre tous les 30 cm de circonférence (solutions à 0,25 ou 0,5 % de BMC). Ils notent une efficacité dès 4 g de matière active par site et une protection satisfaisante vers 7,5 g. JONES et coll. (1973) avec des bouillies plus concentrées (2,4 g de matière active par litre) fixent le seuil minimal à 0,7 g par site et poursuivent sans dommage apparent jusqu'à 24 g. A quantité identique de matière active un faible volume est plus aisé à injecter mais suppose une plus forte concentration donc un risque de précipitation sur le site d'injection. Nous pensons que la méthode britannique constitue un bon compromis.

Matériel d'injection

Les travaux que nous citons relèvent de l'expérimentation et leurs auteurs ont fait appel le plus souvent à des « bricolages » assez simples :

- seringue adaptée sur une tarière de Pressler par l'intermédiaire d'un bouchon (HELBURG et coll. 1973) ;
- perfusion à partir de flacons fixés sur les troncs (HOCK et SCHREIBER, 1971 a) ;
- injecteurs métalliques à profondeur réglable introduits dans des trous forés à travers l'écorce et les couches externes de l'aubier. Ces injecteurs sont reliés à une cuve contenant la bouillie sous pression (GIBBS et DICKINSON, 1975).

Quel que soit le matériel envisagé, la bouillie doit être introduite dans les cernes les plus récents, vecteurs actifs de la sève et les seuls dont l'infection soit redoutable. Un matériel du troisième type est commercialisé en Grande-Bretagne et principalement destiné aux particuliers qui doivent traiter un petit nombre d'arbres. Il s'agit d'un appareil proche des pulvérisateurs à dos classiques, équipé de quatre injecteurs et dont le coût varie de 500 à 800 F (environ) selon la capacité du modèle. Pour des raisons de commodité, les injections de tronc sont effectuées à hauteur d'homme.

Pression d'injection

L'injection par perfusion d'une bouillie soumise à la seule gravité est possible mais il faut compter plusieurs jours pour l'introduction d'une dose thérapeutique. En soumettant la bouillie à une pression, le traitement devient possible en moins d'une heure par arbre. Il est fait le plus souvent appel à de faibles pressions (facilement produites par un dispositif manuel) qui ne lèsent pas le bois et posent peu de problèmes d'étanchéité : 3,5 kg/cm² (GIBBS et DICKINSON, 1975) à 5,6 kg/cm² (DAVIS et SWEETINGBURGH, 1972).

Durée d'injection

De nombreux facteurs conditionnent le temps nécessaire pour introduire en un point un volume donné de bouillie. Pour fixer les idées, voici quelques chiffres :

- 0,5 à 1,5 minute pour 60 ml avec une seringue (HELBURG et coll., 1973) ;
- 1/4 d'heure à 48 heures pour un litre d'antibiotique sous gravité (FILER, 1973) ;
- 15 à 30 minutes pour un litre sous 3,5 kg/cm² (GIBBS et DICKINSON, 1975).

Choix de la date de traitement

Outre la pression, la date du traitement a un effet déterminant, la bouillie devant être entraînée par le flot de sève. L'absorption est liée à la période de végétation. Selon GIBBS et DICKINSON (1975), l'absorption, lente au débourrement, s'accélère fin mai lors de la différenciation du bois initial. De même FILER (1973) constate une absorption croissante de juin à juillet, puis une nette diminution en août. Elle devient nulle en novembre (GREGORY et coll., 1971). Plusieurs autres facteurs semblent en jeu. Le rythme d'injection diminue dans le milieu de la journée et augmente à nouveau dans l'après-midi (GIBBS et DICKINSON, 1975). Il serait lié à l'humidité atmosphérique et à son effet sur l'ouverture des stomates. Un ciel couvert ou une bruine légère paraissent plus favorables. Toutes choses égales par ailleurs, les différences individuelles sont importantes même sur un arbre donné.

Conclusion

Pour une efficacité identique et peut-être supérieure, les injections de tronc mettent en œuvre des quantités de fongicides infiniment plus faibles que les traitements par le sol. Un progrès certain est accompli qui ne doit pas faire perdre de vue le coût de la technique (main-d'œuvre et matériel), son caractère essentiellement préventif et la nécessité de répéter chaque année le traitement. Son intérêt réside dans la protection d'un petit nombre de sujets sains de haute valeur esthétique.

● Traitement foliaire

Le traitement fongicide par pulvérisation du feuillage présente l'avantage de pouvoir être couplé au traitement insecticide en une opération relativement aisée si on dispose d'un canon puissant. Le caractère acide du MBC-HCl ne permet guère son utilisation par cette technique et ce sont donc des suspensions de bénomyl qui ont été éprouvées généralement sans agent mouillant pour éviter les phénomènes de phytotoxicité bien étudiés par SMALLEY et coll. (1973). Des résultats intéressants sont obtenus par ces derniers à raison de 10 l par arbre (4,8 g de matière active par litre) et par NEELY (1974) à dose double. Ces traitements sont pratiqués en mai et le choix du matériel de pulvérisation est essentiel. Il semble que l'absorption soit surtout le fait des lenticelles. Trop peu d'essais ont été réalisés pour permettre de définir des consignes pratiques. Nous pensons que cette technique aura quelques chances de se développer lorsqu'une matière active mieux absorbée par le feuillage et nettement endothérique aura été découverte.

● Validité à long terme des traitements fongicides

Les formulations mises en œuvre dans les travaux auxquels nous nous sommes référés font appel au bénomyl et à un dérivé, le BMC. Ce type de fongicide absorbé par le champignon peut y engendrer des phénomènes de tolérance dont les exemples se multiplient en milieu maraîcher où il est très utilisé depuis quelques années. Le développement de souches tolérantes est-il envisageable pour le *Graphium ulmi*? BRASIER et GIBBS (1975) ont croisé de nombreuses souches agressives ou non qu'ils avaient tenté d'habituer *in vitro* à la présence de BMC. Aucune souche n'a résisté à une concentration de 10 ppm et une seule a finalement résisté à 0,5 ppm. Ce résultat rassurant ne saurait être tenu pour définitif. En effet, SCHREIBER et TOWNSEND (1976) ont isolé 29 souches de divers états américains dont trois d'entre elles résistaient à 1 000 ppm de BMC-HCl. Or ces souches provenaient d'arbres non traités. Si l'adaptation paraît difficile, il existerait des souches dont la tolérance spontanée serait élevée.

LUTTE CONTRE LES SCOLYTES

● Lutte insecticide

Traitement des arbres sur pied

Ce traitement vise à protéger les sujets sains des morsures infectieuses pratiquées par les scolytes essaimant au printemps d'arbres infectés. On utilisa d'abord des produits arsenicaux. Puis le DDT prit le relais en particulier aux États-Unis où fut ainsi conduite une lutte vigilante et efficace. L'interdiction de ce dérivé chloré trop rémanent et trop toxique s'est soldée par un renouveau des pullulations dans les villes nord-américaines et par la recherche de produits de substitution. Ce furent d'abord des insecticides de contact et d'ingestion tel que le méthoxy-chlore encore utilisé aux États-Unis et en Grande-Bretagne mais retiré du marché français. Moins rémanent et moins toxique pour les mammifères (mais dangereux pour les poissons),

ce produit est trois fois plus coûteux et son activité moins satisfaisante. Son application exige des précautions particulières dans les villes du fait de son caractère corrosif pour les peintures des automobiles ou les revêtements d'aluminium des façades.

Dans une étude récente, en Grande-Bretagne (1975), SCOTT et WALKER comparent, au laboratoire puis au champ, l'efficacité de plusieurs insecticides et des modes d'application. Au laboratoire, la supériorité du DDT et du méthoxychlore est confirmée : ils s'opposent en partie à la nutrition des insectes et assurent un taux élevé de mortalité. Le lindane (organo-chloré), le chlorpyrifos et le bromophos (organophosphorés) obtiennent néanmoins une appréciation favorable. Au champ, sont comparés le méthoxychlore, le chlorpyrifos et le tétrachlorvinphos avec un avantage certain pour les deux premiers. Cet essai a mis également en jeu quatre techniques d'application dont aucune ne permet d'assurer une couverture optimale : hélicoptère, pulvérisations terrestres à faible (1,5 l), moyen (14 l) et fort volume (90 l par arbre). Les traitements aériens n'atteignent guère les basses branches et les traitements terrestres présentent le défaut inverse. Pour des arbres de grande hauteur, l'application doit être assurée à partir d'une nacelle élévatrice.

Face à ces difficultés d'application des insecticides de contact, des recherches se sont orientées vers les systémiques avec peu de succès toutefois. Les uns manquent de spécificité (Tetram), les autres sont phytotoxiques aux doses requises pour l'anéantissement des scolytes (Bidrin). REXRODE (1974) est parvenu à inhiber le développement des scolytes par injection d'acide cacodylique et d'oxydemeton-méthyl mais ces essais demandent à être poursuivis.

La lutte insecticide n'est donc pas vraiment au point actuellement et son aptitude à juguler les épidémies difficile à estimer pour plusieurs raisons :

— on ne sait quel doit être le nombre minimal de morsures infectieuses pour que le parasite envahisse l'hôte,

— toutes les morsures ne font pas courir le même risque (HART et LANDIS, 1971). La proximité de la morsure par rapport au tronc conditionne son efficacité. Pratiquée sur une pousse épécormique, elle permet au champignon d'atteindre rapidement le flot de sève du tronc. A l'inverse, le parasite introduit à l'extrémité d'une longue branche devra franchir de multiples obstacles pour y parvenir,

— l'insecte peut accomplir sa morsure infectieuse avant d'être tué par l'insecticide.

L'efficacité à court terme du traitement chimique est donc limitée. Toutefois, l'expérience des villes américaines montre qu'une politique suivie de traitement concourt à réduire la population de l'insecte et à maintenir les dégâts dans des limites acceptables.

Traitement des grumes

Deux ans au moins après leur abattage, les troncs peuvent encore convenir aux scolytes pour leur hibernation. On préconise donc l'écorçage dès l'abattage immédiatement suivi de l'incinération des écorces et des rémanents avant tout transport des grumes. On peut également pulvériser les grumes au lindane (en solution dans du gas-oil) à raison d'un demi-litre à 0,25 % de matière active par mètre carré de surface d'écorce.

● Lutte biologique

Diverses solutions sont envisagées pour relayer la lutte chimique et de nombreux travaux fondamentaux portent actuellement sur ces thèmes. Nous nous contenterons ici de résumer l'exposé présenté par PEACOCK au congrès de Minneapolis en 1973.

Utilisation d'hyperparasites ou de prédateurs

Plusieurs Hyménoptères sont susceptibles de parasiter *Scolytus multistriatus* : *Spathius benefactor*, *Cheiopachus colon*, *Entodon leucogramma* et *Dendrosoter protuberans*. La plupart pondent sur les larves des scolytes au travers de l'écorce et ne sont donc efficaces que sur des écorces minces. *E. leucogramma* paraît plus intéressant car il pénètre dans la galerie de ponte de la femelle et pond alors dans ses œufs. Le plus souvent, il s'agit d'insectes intro-

duits d'Europe dont l'élevage puis l'acclimatation sont délicats. Ceux-ci rencontrent la concurrence de parasites indigènes moins efficaces contre les scolytes. De plus, l'utilisation de ces parasites dans un programme de lutte intégrée exige que les traitements insecticides soient spécifiques des scolytes.

Un nématode parasite les scolytes souvent à des taux élevés (55 à 100 %) dans leurs zones de pullulation sans toutefois entraîner la mort de l'insecte. *Beauvaria bassiana*, un champignon, parasite les larves hivernantes mais exige un climat chaud et humide. Quelques bactéries pathogènes ne semblent guère aptes à fournir un moyen efficace de lutte.

Inhibiteurs de la nutrition

Les Scolytes de l'Orme sont relativement spécifiques de cette espèce. On recherche donc chez d'autres ligneux délaissés par eux des substances qui inhiberaient leur nutrition ou seraient répulsives. Une de ces substances a été isolée chez *Carya ovata*, la juglone. Les travaux se poursuivent.

Phéromones

Les recherches sur les phéromones sont très avancées et probablement les plus prometteuses. Dans le cas de *Scolytus multistriatus*, un complexe de trois substances (« multilure ») a été identifié aux États-Unis et a permis le piégeage de millions d'insectes. Les chances de succès sont élevées car, chez cette espèce, mâles et femelles sont attirés par les phéromones émises par les femelles vierges. Ces phéromones, synthétisées et mélangées à des substances permettant d'échelonner leur diffusion dans le temps, pourraient alors être commercialisées. Pour les autres espèces de scolytes, les études ont moins progressé à ce jour.

DESTRUCTION DES CONTACTS RACINAIRES

CUTHBERT et coll. (1975), sur les alignements de Détroit, ont prouvé que les arbres situés à proximité de souches d'arbres infectés étaient 3 à 5 fois plus souvent contaminés que les arbres isolés (ou entourés de voisins sains) lorsque des traitements contre les scolytes sont pratiqués. Les souches demeurent contagieuses trois ans après l'abattage. Les contacts racinaires constituent donc un mode efficace de propagation de la maladie contre lequel il est souhaitable de lutter. A cette fin, deux méthodes (d'application d'ailleurs peu commode) ont été proposées. La première consiste à isoler les arbres en creusant à la pelleuse des tranchées d'environ 60 cm de profondeur. En domaine public, cette technique est impraticable : dégâts aux câbles et canalisations enterrées, risques de chute. On aura alors recours à la seconde technique, celle de NEELY et HIMELICK (1966), qui détruit les contacts racinaires par le Vapam. Ce produit dilué au tiers dans de l'eau est versé dans des trous creusés à 40 cm de profondeur dans le sol et espacés de 20 cm.

LUTTE GÉNÉTIQUE

● Sensibilité comparée des principales espèces d'Orme

Le meilleur niveau de résistance est rencontré chez les espèces asiatiques : *Ulmus pumila* L. (Orme de Sibérie), *U. parvifolia* Jacq. (Orme de Chine), *U. wallichiana* Planch., *U. laciniata* Mayr. Toutefois *U. japonica* Rhod. et *U. macrocarpa* Hance paraissent sensibles. Les espèces américaines sont toutes sensibles (*U. rubra* Mühl = *U. fulva* Michx = *U. americana* Marsh, *U. serotina* Sarg., *U. thomasii* Sarg. = *U. racemosa* Thomas) et surtout *U. americana* L. qui

est probablement la plus touchée (TOWSEND, 1971, LESTER et SMALLEY, 1972 *a*, SANTAMOUR, 1973 et 1974). Sur 21 000 semis de cette espèce, SINCLAIR et coll. (1974) ne signalent que 16 sujets résistants à l'inoculation. Les espèces européennes sont intermédiaires et plutôt assez sensibles. Selon JEFFERS (1972), les principales espèces de Grande-Bretagne, *U. procera* Salisb. (= *U. campestris* L. p.p.), *U. minor* Mill. et les hybrides *U. minor* x *glabra* présentent des niveaux voisins de sensibilité avec une plus grande variabilité chez *U. minor*. En France, *U. carpinifolia* Gleditsch (= *U. campestris* L. = *U. glabra* Mill.) et *U. effusa* Willd (= *U. faevis* Pall. = *U. pedunculata*) sont généralement sensibles mais des cas de résistance ont été exploités. *U. montana* Witt. (= *U. scabra* Mill. = *U. glabra* Huds) serait un peu moins atteint.

Les espèces asiatiques intéressantes pour leur résistance ne possèdent pas les qualités requises pour l'Orme d'ornement : croissance, forme, grandes feuilles. Ces qualités sont celles des espèces européennes et américaines. La sélection repose donc le plus souvent sur des hybrides.

● Comportement des hybrides interspécifiques

Les hybrides *U. pumila* x *japonica* sont assez peu sensibles et tirent leur qualité horticole d'*U. japonica*. En pratique, on utilise des « back cross » réalisés avec *U. pumila* pour atteindre un degré suffisant de résistance (LESTER et SMALLEY, 1972 *a*). Des croisements en première génération suivis de back-cross avec *U. pumila* et *U. rubra* ont permis de suivre la transmission des caractères recherchés (LESTER et SMALLEY, 1972 *b* et *c*). Les hybrides ont des feuilles d'autant plus grandes et une croissance plus rapide qu'ils sont proches d'*U. rubra*. Mais alors la sensibilité augmente et le débourrement devient tardif. Ici encore, on doit s'orienter vers un schéma incorporant au moins 75 % d'*U. pumila*.

Des croisements trispécifiques ont été réalisés par SANTAMOUR (1974) : *U. parvifolia* x (*U. americana* x *U. pumila*) ont des comportements variés et *U. parvifolia* x (*U. pumila* x *U. rubra*) sont sensibles. A noter qu'*U. americana* est tétraploïde et la plupart des autres espèces diploïdes.

● Mécanisme de résistance

Les données précédentes constituent une base pour la sélection qui, maintenant, peut s'appuyer de plus en plus sur les travaux concernant les mécanismes de résistance. Ils permettent de trouver des marqueurs de la résistance, des liaisons entre caractères, d'évaluer l'héritabilité de ces caractères et leur sensibilité aux facteurs écologiques. D'une manière générale, la résistance chez l'Orme semble procéder de l'isolement rapide du parasite au sein de l'hôte, ce qui se traduit par un retard dans l'apparition des symptômes et une difficulté à gagner le nouveau cerne (SINCLAIR et coll., 1975 *a*). Cette progression latérale paraît d'ailleurs plus aisée au niveau des racines où la disposition des vaisseaux est moins groupée (CAMPANA et HYLAND, 1974).

Caractères anatomiques de résistance

ELGERSMA (1970) signale que, pour les pousses de deux ans, la conductivité de l'air et de l'eau est supérieure chez les clones sensibles, ce qui correspondrait à un envahissement plus rapide du système vasculaire par le champignon. Chez les clones résistants, les vaisseaux du xylème sont d'ailleurs plus courts et plus étroits. SINCLAIR et coll. (1975 *b*) sur un plus grand nombre de clones confirment ces résultats et notent assez peu d'exceptions. Il existe selon eux une bonne corrélation entre la réaction des clones et leur pourcentage de vaisseaux de diamètre égal ou supérieur à 50 μ toujours sur des pousses âgées d'au moins deux ans. Cet index est considéré comme un marqueur fiable ; les clones dont le pourcentage est inférieur à 12 % présenteraient un niveau suffisant de résistance. Aucune liaison n'est apparue entre ce caractère et la largeur du cerne, la longueur de l'entre-nœud ou la disposition respective des vaisseaux (groupés ou non).



PHOTO I.A.R.A. - PIRON

Nouveau clone du Dr Heybroek introduit pour expérimentation

Mécanismes biochimiques de la résistance

On a longtemps considéré le développement de thylles et de gommés chez l'hôte comme un mécanisme de résistance tendant à isoler le parasite. Bien qu'intervenant dans la journée qui suit l'infection, leur rôle demeure discuté. En microscopie électronique, Mc DONALD et Mc NABB (1974) estiment qu'il n'existe pas de différence dans leur développement qui soit lié à la sensibilité des clones. ELGERSMA (1973), en microscopie classique, pense au contraire que les clones résistants réagissent plus tôt. Après inoculation, l'Orme synthétise des substances quinoniques, fongitoxiques (les mansonones). Toutefois, cette synthèse paraît peu spécifique et déclenchée par des traumatismes divers. Elles sont présentes en quantité identique chez les clones résistants et sensibles (ELGERSMA, 1969; ELGERSMA et OVEREEM, 1971). Elles limiteraient la multiplication du champignon peu après l'infection mais ne pourraient être tenues pour des mécanismes efficaces de résistance. Enfin, on ne connaît pas de substances

préformées dans le bois qui soient inhibitrices du *Graphium*. On sait seulement que le bois d'orme est plus favorable à la fructification asexuée du parasite de juillet à septembre, alors que la période de forte réceptivité de l'hôte se manifeste en mai-juin (HUBBES 1973 et 1975).

Liaisons entre caractères

Il est important pour l'améliorateur de s'assurer qu'il n'existe pas de liaison entre la résistance et des caractères indésirables ou si cette liaison, quand elle existe, peut être surmontée.

Tout d'abord NEELY (1972) a montré que les notations de symptômes pratiquées en pépinière après inoculation fournissaient une bonne image du développement du champignon dans l'hôte, les décolorations du bois étant étroitement liées au flétrissement du feuillage. Chez l'Orme américain, il semble exister une liaison entre la réaction à l'infection et la phénologie, les clones résistants débouillant plus tôt (WESTER, 1972). Les clones résistants seraient alors gélifs dans les régions où les gelées printanières sont à craindre. Cette liaison est d'ailleurs confirmée par LESTER et SMALLEY (1972 c) qui décèlent en outre une liaison avec les petites feuilles. Les exceptions sont toutefois assez nombreuses pour laisser un choix au sélectionneur.

● Transmission de la résistance

Toutes les espèces ne présentent pas la même aptitude à transmettre leur résistance. Ainsi, *U. serotina* (sensible) croisé avec *U. parvifolia* (résistant) donne naissance à de nombreux sujets résistants alors que ses hybrides avec *U. pumila* (résistant) sont le plus souvent sensibles. *U. parvifolia* serait un meilleur géniteur (SANTAMOUR, 1974). Plusieurs auteurs signalent aussi une plus forte sensibilité des ramets que des ortets sélectionnés. Compte tenu de ce que nous savons sur la validité des marqueurs anatomiques (ils doivent porter sur des rameaux de deux ans au moins), il est possible que les ramets observés soient souvent trop jeunes.

● Influence du milieu sur la sensibilité

Selon ELGERSMA (1969), une nutrition azotée sous forme ammoniacale conduit à une moindre sensibilité qu'une nutrition nitrrique. Les clones peu sensibles soumis à une carence prononcée en potassium supportent moins bien le blocage de leur système vasculaire.

● Travaux de la sélection

Aux siècles passés, les pépiniéristes européens avaient sélectionnés un certain nombre de variétés ou de clones tel que *U. x hollandica* Mill. *belgica* qui est probablement un hybride du type *U. glabra* Huds x *U. carpiniifolia* Gled. Ce clone très répandu dans l'Europe du Nord-Ouest a été décimé lors de l'épidémie de 1918. En 1928, les premiers travaux de sélection ont débuté aux Pays-Bas (HEYBROEK 1957) et, en 1935, était livré un nouveau clone « Christine Buisman », résistant, mais de peu de succès aux Pays-Bas du fait de sa sensibilité à *Nectria cinnabarina*. Il fut surtout multiplié en Italie et aux États-Unis. En 1947, sortait le clone « Bea Schwartz » issu d'un semis d'*U. carpiniifolia* récolté dans le centre de la France mais sa croissance fut jugée insuffisante. Puis furent commercialisés « Commelin » (1961) et « Groeneveld » (1963) plus vigoureux et assez résistants aux souches traditionnelles.

Les nouvelles souches agressives (GIBBS et coll., 1975) provoquent de sérieux dommages sur ces clones et de nouvelles obtentions sont apparues indispensables. Trois nouveaux clones viennent donc d'être livrés par l'Institut de recherches « De Dorskamp » de Wageningen en 1975 : « Dodoens », « Lobel » et « Plantijn ». Introduits en France, en 1976, par le Centre national de recherches forestières, ils seront testés avec des souches de la région parisienne.

Aux États-Unis, des travaux plus récents se poursuivent activement. Un sujet de bonne croissance et de résistance satisfaisante a été obtenu dans un croisement naturel *U. pumila* x *U. japonica* et commercialisé en 1975 sous le nom de « Sapporo Autumn Gold Elm » (SMALLEY, 1973).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Lorsque les responsables des espaces verts constatent les premiers symptômes de dépérissement ou de recrudescence de la maladie, ils doivent aussitôt définir un plan rigoureux de surveillance et de mesures prophylactiques en s'assurant l'affectation de moyens nouveaux. L'expérience de nombreuses villes américaines, où sont combinées efficacement la prophylaxie et la lutte insecticide, montre qu'une telle vigilance et promptitude sont fructueuses tant du point de vue technique que du point de vue économique. Attendre que le dépérissement prenne une allure spectaculaire pour débloquer des moyens de lutte est une erreur qui se traduit rapidement par une épidémie galopante et des coûts élevés d'abattage et de remplacement. Les méthodes prophylactiques bien conduites permettent de limiter le taux annuel de mortalité. Elles ne parviennent pas pour autant à enrayer l'épidémie et il convient donc, du strict point de vue technique, d'engager un programme de lutte intégrée. Un tel programme devrait inclure la destruction des contacts racinaires et la lutte chimique (insecticide, fongicide). En pratique, dans notre pays, ces méthodes demeurent pour partie inapplicables. Nous savons ainsi que le traitement fongicide par le sol, bien que faisant appel à un produit commercialisé (pour d'autres usages) n'était guère recommandable. Quant aux injections de tronc, elles ne peuvent être envisagées dans l'immédiat faute de formulation convenable. Rappelons que l'importation et l'utilisation d'un tel produit serait contraire à la législation. D'ailleurs la spécialité britannique comporte un additif inflammable qui limite ses possibilités de transport.

De même les traitements insecticides se heurtent à l'interdit (justifié) qui frappe les organochlorés les plus efficaces contre les scolytes. On ne pourra donc recourir qu'à des produits de substitution (Lindane par exemple). Cette lutte contre des insectes volants ne se conçoit d'ailleurs guère qu'à l'échelon municipal.

On comprend, dans ces conditions, que les municipalités souvent prises de vitesse dans leur action prophylactique choisissent l'abattage et la substitution d'essence. Cette attitude réaliste est mal perçue du public soumis par la presse à l'annonce périodique d'un traitement « miracle » découvert à l'étranger. Les auteurs de ces informations n'en présentent que le caractère sensationnel et font l'impasse sur la législation (mise sur pied pour protéger le public), sur les difficultés d'application et sur le coût de l'opération. A titre d'exemple le traitement en Grande-Bretagne d'un peuplement comptant initialement 100 arbres revient après dix ans de traitement fongicide à 60 000 F (compte non tenu de l'inflation et de l'amortissement du capital) pour ne laisser à terme qu'une trentaine d'arbres si le taux d'échec annuel est limité à 10 %.

Plus économique et plus aisée pour le responsable des parcs et jardins est l'utilisation de clones résistants tels que ceux fournis pour test par nos collègues hollandais. On doit toutefois penser à la différenciation de nouvelles souches du parasite aptes à les attaquer. Si cela devait à nouveau se produire, on peut raisonnablement espérer que les méthodes chimiques de lutte auront encore progressé et permettront de préserver ces arbres en attendant de nouvelles sélections. Les stations de recherches britanniques (lutte chimique, étude des souches) et hollandaises (sélection), auxquelles se joignent très modestement la France (CNRF) et l'Italie ont proposé à la CEE une organisation coordonnée de la recherche. Son efficacité dépendra en partie de l'aide que pourraient accorder les pays concernés par le dépérissement de l'Orme et des possibilités d'expérimentation que leur offriront les services utilisateurs de cette essence.

Jean PINON

Laboratoire de Pathologie forestière

CENTRE NATIONAL
DE RECHERCHES FORESTIÈRES (I.N.R.A.)

Champenois
54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

- ALFEN (N. K.), WALTON (G. S.), 1974. — Pressure injection of benomyl and methyl 1-2 benzimidazole carbamate hydrochloride for control of Dutch elm disease. *Phytopathology*, 64, 1231-1234.
- BARRETT (D. K.), SKIDMORE (A. M.), 1975. — Metabolite of *Ceratocystis ulmi* and its association with pathogenicity. *Transactions of the British Mycological Society*, 65, 469-475.
- BIEHN (W. L.), DIMOND (A. E.), 1971. — Prophylactic action of benomyl against Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 55, 179-182.
- BIEHN (W. L.), 1973. — Long-term protective action of benomyl soil treatment against Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 57, 35-57.
- BRASIER (C. M.), GIBBS (J. N.), 1973. — Origin of Dutch elm disease epidemic in Britain. *Nature*, 242, 607-609.
- BRASIER (C. M.), GIBBS (J. N.), 1975. — MBC tolerance in aggressive and non aggressive isolates of *Ceratocystis ulmi*. *Annals of Applied Biology*, 80, 231-235.
- CAMPANA (R. J.), HYLAND (F.), 1974. — Comparative size, number and distribution of vessels in roots and stems of American elm as factors in recurrence of Dutch elm disease. *Phytopathology*, 64, 30.
- CLAYDON (N.), GROVE (J. F.), HOSKEN (M.), 1974. — Phenolic metabolites of *Ceratocystis ulmi*. *Phytochemistry*, 13, 2567-2571.
- CUTHBERT (R. A.), CANNON Jr (W. N.), PEACOCK (J. W.), 1975. — Relative importance of root grafts and bark beetles to the spread of Dutch elm disease. *USDA Forest Service-Research Note* n° NE-206, 3.
- DAVIS (G. E.), SWEETINGBURGH (R.), 1972. — Dutch elm disease practical control by inoculation. *Gardeners chronicle horticultural trade journal*, 172, 20-23.
- ELGERSMA (D. M.), 1969. — Resistance mechanisms of elms to *Ceratocystis ulmi*. *Mededelingen of the Phytopathologisch laboratorium « Willie Commelin Scholten »*, Baarn, 77, 1-84.
- ELGERSMA (D. M.), 1970. — Length and diameter of xylem vessels as factor in resistance of elms to *Ceratocystis ulmi*. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 76, 179-182.
- ELGERSMA (D. M.), OVEREEM (J. C.), 1971. — The relation of mansonones to resistance against Dutch elm disease and their accumulation as induced by several agents. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 77, 168-174.
- ELGERSMA (D. M.), 1973. — Tylose formation in elms after inoculation with *Ceratocystis ulmi*, a possible resistance mechanism. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 79, 218-220.
- FILER Jr (T. H.), 1973 a. — Pressure apparatus for injecting chemicals into trees. *Plant Disease Reporter*, 57, 338-341.
- FILER Jr (T. H.), 1973 b. — Suppression of elm phloem necrosis symptoms with tetracycline antibiotics. *Plant Disease Reporter*, 57, 341-343.
- GIBBS (J. N.), HEYBROEK (H. M.), HOLMES (F. W.), 1972. — Aggressive strain of *Ceratocystis ulmi* in Britain. *Nature*, 236, 121-122.
- GIBBS (J. N.), BRASIER (C. M.), 1973. — Correlation between cultural characters and pathogenicity in *Ceratocystis ulmi* from Britain, Europe and America. *Nature*, 241, 381-383.
- GIBBS (J. N.), CLIFFORD (D. R.), 1974. — Experiments with MBC derivatives for the control of Dutch elm disease. *Annals of Applied Biology*, 78, 309-318.
- GIBBS (J. N.), HOWELL (R. S.), 1974. — Dutch elm disease survey 1972-1973. *Forest Record*, 100, 26.
- GIBBS (J. N.), DICKINSON (J.), 1975. — Fungicide injection for the control of Dutch elm disease. *Forestry*, 48, 165-176.
- GIBBS (J. N.), BRASIER (C. M.), Mc NABB Jr (H. S.), HEYBROEK (H. M.), 1975. — Further studies on pathogenicity in *Ceratocystis ulmi*. *European Journal of Forest Pathology*, 5, 161-174.
- GREGORY (G. F.), JONES (T. S.), Mc WAIN (P.), 1971. — Injection of benomyl into elm, oak, maple. *USDA Forest Service Research Paper*, NE-232.
- HAMILTON (D.), 1976. — Dutch elm disease. *Pacific Horticulture*, 37, 17-18.
- HART (J. H.), LANDIS (W. R.), 1971. — Rate and extent of colonization of naturally and artificially inoculated american elms by *Ceratocystis ulmi*. *Phytopathology*, 61, 1456-1458.
- HELBURG (L. B.), SCHOMAKER (M. E.), MORROW (R. A.), 1973. — A new trunk injection technique for systemic chemicals. *Plant Disease Reporter*, 57, 513-514.
- HEYBROEK (H. M.), 1957. — Elm breeding in Netherlands. *Silvae Genetica*, 6, 112-118.
- HINTIKKA (V.), 1974. — *Ceratocystis ulmi* in Finland. *Karstenia*, 14, 32.
- HOCK (W. K.), SCHREIBER (L. R.), ROBERTS (B. R.), 1970 a. — Suppression of Dutch elm disease in american elm seedlings by benomyl. *Phytopathology*, 60, 391-392.
- HOCK (W. K.), SCHREIBER (L. R.), ROBERTS (B. R.), 1970 b. — Factors influencing uptake, concentration and persistence of benomyl in american elm seedlings. *Phytopathology*, 60, 1619-1622.
- HOCK (W. K.), SCHREIBER (L. R.), 1971 a. — Evaluation of benomyl for the control of Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 55, 58-60.

- HOCK (W. K.), SCHREIBER (L. R.), 1971 b. — Effect of adjuvants on the uptake of benomyl from planting media by american elm seedlings. *Plant Disease Reporter*, 55, 971-974.
- HOLMES (F. W.), HEYBROEK (H. M.), GIBBS (J. N.), 1972. — Aggressiveness in *Ceratocystis ulmi*. *Phytopathology*, 62, 939-940.
- HUBBES (M.), 1973. — Coremia formation by *Ceratocystis ulmi* on elm stem discs. *European Journal of Forest Pathology*, 5, 163-168.
- HUBBES (M.), 1975. — Terpenes and unsaturated fatty acids trigger coremia formation by *Ceratocystis ulmi*. *European Journal of Forest Pathology*, 5, 129-137.
- JEFFERS (N. R.), 1972. — Dutch elm disease and botanical variation in English elm. *Nature*, 236, 407-408.
- JONES (T. W.), GREGORY (G. F.), Mc WAIN (P.), 1973. — Pressure injection of solubilized benomyl for prevention and cure of oak wilt. *USDA Forest Service-Research Note*, NE 171, 4.
- KRYUKOVA (E. A.), 1973. — (Protection of elm from Dutch elm disease) *Zashchita Rastenii*, 7, 36.
- LESTER (D. T.), SMALLEY (E. B.), 1972 a. — Response of backcross hybrids and three species combinations of *Ulmus pumila*, *U. japonica* and *U. rubra* to inoculation with *Ceratocystis ulmi*. *Phytopathology*, 62, 845-848.
- LESTER (D. T.), SMALLEY (E. B.), 1972 b. — Response of *Ulmus pumila* and *U. pumila* x *U. rubra* hybrids to inoculation with *Ceratocystis ulmi*. *Phytopathology* 62, 848-852.
- LESTER (D. T.), SMALLEY (E. B.), 1972 c. — Variation in ornamental traits and disease resistance among crosses of *Ulmus pumila*, *U. rubra* and putative natural hybrids. *Sylvae Genetica*, 21, 193-197.
- MAC DONALD (W. L.), MAC NABB (H. S.), 1974. — Electron microscope observations of *Ceratocystis ulmi* induced tylosis development in *Ulmus*. *European Journal of Forest Pathology*, 4, 2-10.
- MAC WAIN (P.), GREGORY (G. F.), 1973. — A benomyl-derived fungitoxicant for tree wilt disease control. *USDA Forest Service-Research Note*, n° NE-162, 3.
- MARCIA (A. V.), MAC NABB (H. S.), 1970. — Toxin production by isolates of *Ceratocystis ulmi*. — Proceedings Iowa Academy of Sciences, 77, 14-18.
- NEELY (D.), HIMELICK (E. B.), 1966. — Effects of SMDC on elm roots. *Plant Disease Reporter*, 50, 473-476.
- NEELY (D.), 1972. — Progression of internal and external Dutch elm disease symptoms. *Plant Disease Reporter*, 56, 667-671.
- NEELY (D.), 1974. — Efficacy of soil injections and foliar sprays of benomyl for the control of Dutch elm disease in large nursery elms. *Plant Disease Reporter*, 58, 261-264.
- OVEREEM (J. C.), ELGERSMA (D. M.), 1970. — Accumulation of mansonones E and F in *Ulmus hollandica* infected with *Ceratocystis ulmi*. *Phytochemistry*, 9, 1949-1952.
- PAWSEY (R. G.), 1972. — Internal transmission of Dutch elm disease. *Nature* 240.
- PAWSEY (R. G.), 1974. — Dutch elm disease in 1973. *Arboricultural Association Journal*, 2, 179-188.
- PEACOCK (J. W.), 1973. — Research on chemical and biological controls for elm bark beetles. In. Dutch elm disease. — Proceedings of IUFRO Conference, St-Paul, USA, september, 18-49.
- PINON (J.), 1969. — Mise au point bibliographique concernant la maladie hollandaise de l'Orme. — Nancy-Amance, Centre national de recherches forestières.
- PRASARD (R.), 1972. — Translocation of benomyl in elm (*Ulmus americana* L.), 1. Effects of hydrogen ion concentration (pH) on absorption, distribution and accumulation by roots. *Information report, chemical control research institute of Canada*, CC-X, 32-33.
- REXRODE (C. O.), 1974. — Effect of pressure injected oxydemetonmethyl, cacodylic acid and 2,4-D amine on elm bark beetle populations in elms infected with Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 58, 382-384.
- ROBERTS (B. R.), HOCK (W. K.), SCHREIBER (L. R.), 1973. — The effect of benomyl on the growth of american elm seedlings. *Phytopathology*, 63, 85-87.
- SANSOME (E.), BRASIER (C. M.), 1973. — Intercellular spore formation in *Ceratocystis ulmi*. *Transactions of the British Mycological Society*, 61, 588-590.
- SANTAMOUR Jr. (F. S.), 1973. — Resistance to Dutch elm disease in chinese elm hybrids. *Plant Disease Reporter*, 57, 997-999.
- SANTAMOUR Jr. (F. S.), 1974. — Resistance of new elm hybrids to Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 58, 727-730.
- SCHREIBER (L. R.), 1970. — An evaluation of thiabendazole, 2- (4 thiazolyl) benzimidazole for the control of Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 54, 240-241.
- SCHREIBER (L. R.), HOCK (W. K.), ROBERTS (B. R.), 1971. — Influence of planting media and soil sterilisation on the uptake of benomyl by american elm seedlings. *Phytopathology* 61, 1512-1515.
- SCHREIBER (L. R.), TOWNSEND (A. M.), 1976. — Naturally occurring tolerance in isolates of *Ceratocystis ulmi* to methyl 2 — benzimidazole carbamate hydrochloride. *Phytopathology*, 66, 225-227.
- SCOTT (T. M.), WALKER (C.), 1975. — Experiments with insecticides for the control of Dutch elm disease. *Forest Record, Forestry Commission*, 105, 21.
- SINCLAIR (W. A.), WELCH (D. S.), PARKER (K. G.), TYLER (L. J.), 1974. — Selection of american elms for resistance to *Ceratocystis ulmi*. *Plant Disease Reporter*, 58, 784-788.
- SINCLAIR (W. A.), ZAHAND (J. P.), MELCHING (J. B.), 1975 a. — Localization of infection in american elms resistant to *Ceratocystis ulmi*. *Phytopathology*, 65, 129-133
- SINCLAIR (W. A.), ZAHAND (J. P.), MELCHING (J. B.), 1975 b. — Anatomical marker for resistance of *Ulmus americana* to *Ceratocystis ulmi*. *Phytopathology*, 65, 349-352.

- SMALLEY (E. B.), 1971. — Prevention of Dutch elm disease in large nursery elms by soil treatment with benomyl. *Phytopathology* 61, 1351-1354.
- SMALLEY (E. B.), MEYERS (C. J.), JOHNSON (R. N.), FLUKE (B. C.), VIEAU (R.), 1973. — Benomyl for practical control of Dutch elm disease. *Phytopathology*, 63, 1239-1252.
- SMALLEY (E. B.), LESTER (D. T.), 1973. — Sapporo Autumn Gold Elm. *Hortscience*, 8, 514-515.
- STIPES (R. J.), SCHREIBER (L. R.), 1967. — Recent trials of captan and other fungicidal agents in the control of Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 51, 533-536.
- STIPES (R. J.), 1969. — Chemotherapeutic patterns of methyl 1 — (butylcarbamoil) — 2 benzimidazole carbamate and thiabendazole in the control of Dutch elm disease. *Phytopathology*, 59, 1560. (abstract)
- STIPES (R. J.), WEINKE (K. E.), 1972. — Dutch elm disease : control with soil amended fungicides. *Plant Disease Reporter*, 56, 604-608.
- STIPES (R. J.), 1973. — Control of Dutch elm disease in artificially inoculated american elms with soil injected benomyl, captan and thiabendazole. *Phytopathology*, 63, 735-738.
- TAKAI (S.), 1974. — Pathogenicity and Cerato-ulmine production in *Ceratocystis ulmi*. *Nature*, 252, 124-126.
- TOWNSEND (A. M.), 1971. — Relative resistance of Diploid *Ulmus* species to *Ceratocystis ulmi*. *Plant Disease Reporter*, 55, 980-982.
- WESTER (H. V.), 1972. — Investigation of american elm based on physiological vigor for crown resistance to Dutch elm disease. *Plant Disease Reporter*, 56, 725-727.