

La cochenille du pin maritime *Matsuccoccus feytaudi* : nouvelles données épidémiologiques et perspectives de lutte

par Hervé JACTEL et Pierre MENASSIEU

La cochenille Matsuccoccus feytaudi fait son apparition en Corse en 1994. Depuis, un réseau de surveillance a été mis en place, qui a permis de suivre efficacement l'évolution de la maladie. Même si les résultats en terme de mortalité ne sont guère encourageants, des solutions de lutte préventive semblent se profiler : lutte biologique, éclaircie préventive, sélection d'arbres résistants...

Après avoir provoqué dans les années cinquante le dépérissement des forêts de pin maritime des massifs des Maures et de l'Estérel, où près de 120 000 ha de peuplements auront été détruits (SCHVESTER and FABRE 2001), puis ravagé les massifs du nord de l'Italie (FABRE 1980 ; BINAZZI and COVASSI 1989 ; COVASSI et BINAZZI 1992), la cochenille *Matsuccoccus feytaudi* (Homoptera : Margarodidae) développe actuellement une large épidémie en Corse (JACTEL *et al.* 1998). En 1994, notre équipe met en place un réseau de surveillance à l'aide de pièges à phéromone (JACTEL *et al.* 1994) et découvre pour la première fois le ravageur dans l'île de Beauté (JACTEL *et al.* 1996a). Depuis, nous suivons l'extension du foyer d'infestation, analysons les causes du dépérissement et recherchons des moyens de lutte. Ces dix années d'étude nous permettent maintenant de donner un éclairage nouveau sur l'épidémiologie de *M. feytaudi* après les travaux fondateurs sur la biologie de l'insecte de nos collègues de l'Institut national de la recherche agronomique (I.N.R.A.) à Avignon (CARLES 1974, RIOM *et al.* 1977, 1979, 1994 ; SCHVESTER et FABRE 2001).

Développement spatio-temporel du dépérissement

En collaboration avec le Département de la santé des forêts (D.S.F.), la surveillance du foyer d'infestation est réalisée en Corse depuis 1995 à l'aide d'un réseau de pièges à phéromone. Elle permet de mesurer l'extension de la zone contaminée et de reconstituer la dynamique de colonisation des forêts de pin maritime par *M. feytaudi*. Au début centrée sur la forêt domaniale de Pineto et le bas de la Vallée de l'Asco, la zone colonisée par la cochenille s'est étendue de façon centrifuge à l'ensemble des massifs de pin maritime du sillon Cortenais. Dès 1996, les forêts de la Castagniccia étaient atteintes ; en 2000, le foyer s'étendait des peuplements littoraux au sud de Bastia jusqu'à la vallée de la Restonica et gagnait aussi l'Altiani. Cette évolution traduit une progression de l'ordre de 5 km par an, due essentiellement au transport par le vent des larves de premier stade qui assurent la dispersion de l'espèce. L'étendue géographique de l'épidémie est ensuite restée stable entre 2001 et 2003. Pendant ce temps, une augmentation des niveaux de population de la cochenille a été repérée à la périphérie du foyer, notamment à Olmi-Capella, au col de Prato et dans la Scala de la Santa Regina. Une évolution majeure a enfin été observée en 2004 avec le franchissement de la ligne de crête au dessus de la forêt territoriale de Tartagine, se traduisant par la colonisation de la forêt territoriale de Bonifatu. Le caractère irrégulier de l'extension en surface semble donc devoir être attribué à la structure morcelée de l'aire de présence du pin maritime en Corse et à l'existence d'obstacles naturels à la dispersion de l'insecte, tels que les cols en altitude. Les observations de 2004 démontrent cependant que ces obstacles ne sont pas infranchissables par les larves de la cochenille emportées par le vent. Elles confirment que la contamination de l'ensemble des massifs de pin maritime de Corse est inéluctable, probablement accomplie dans les vingt prochaines années. A plus court terme, l'attention doit désormais porter sur la colonisation prochaine des boisements de pin maritime entre Calvi et Porto Vecchio (Calanques de Piana) et des forêts au sud de Corte comme les grands massifs de Bavella, Tova, Ospedale etc.

L'évolution temporelle des symptômes de dépérissement et des mortalités d'arbres a été suivie dans des placettes permanentes d'observation afin de connaître et d'expliquer le niveau potentiel d'arbres survivants en forêt de pin maritime dans le contexte corse. Elle a été réalisée sur 10 placettes permanentes d'observation mises en place en forêt territoriale de Pineto (100 arbres) et sur deux placettes de 30 arbres établies dans la zone initialement contaminée. Dans ces placettes, tous les arbres ont été mesurés et notés pour le niveau d'infestation et de dégâts depuis 1996. L'analyse de huit années de mesures montre une augmentation régulière, à la fois en nombre d'arbres touchés, et en intensité de dégâts. Considérant une date initiale de colonisation en 1993 (premiers insectes piégés en 1994), il apparaît que les premiers symptômes de dépérissement (couées de résine sur le tronc, décoloration du houppier) interviennent au bout de 5 ans, que 100% des arbres sont contaminés et que les premières mortalités sont enregistrées au bout d'environ 7 ans, et enfin que 100% des arbres présentent des densités fortes de larves de cochenille 10 ans après la première infestation. En 2003, plus de 80% des arbres présentent des symptômes de dépérissement. Ce constat indique donc que le dépérissement du pin maritime lié aux attaques de la cochenille *M. feytaudi* est un processus se déroulant sur plus d'une décennie en Corse. Il pourrait cependant être plus rapide en cas de brusque pullulation des ravageurs secondaires, comme les scolytes ou pissodes. L'étude confirme aussi l'intérêt du piège à phéromone qui permet la détection de l'arrivée de la cochenille dans un peuplement de pin maritime environ 5 ans avant les premiers signes de dépérissement et 10 ans avant des mortalités significatives, autorisant ainsi le gestionnaire à mettre en place les mesures préventives de contrôle de la maladie, ou à prévoir un programme de conversion de la forêt. Utilisant les observations de ces placettes permanentes nous avons pu également retracer la courbe d'évolution des mortalités. En ajustant un modèle de type logistique à ces données observées, il apparaît une stabilisation du pourcentage de mortalité vers 33% de la population initiale. Ce niveau correspond au taux maximal enregistré en 2003 dans les placettes de suivi du D.S.F. en Corse. En forêt de la basse vallée de l'Asco, le pourcentage de mortalité atteignait 44% en 2002 et n'a pas progressé

depuis. Il semble donc que le taux de mortalité attendu en Corse soit de l'ordre de 50% de la ressource, loin donc d'un risque d'éradication de l'espèce Pin maritime. Une prolongation de ce suivi est néanmoins nécessaire pour valider ce modèle et prévoir avec plus de sûreté le risque final de mortalité.

Mécanismes de résistance du pin maritime à *M. feytaudi*

En octobre 2000, 268 arbres appartenant à neuf provenances (Vivario et Zonza, Plan Pinet et Cannebières, Navaleno et Cazorla, Leiria, Médoc et Tamjout) issues de six origines (respectivement Corse, Provence, Espagne, Portugal, Aquitaine et Maroc) ont été sélectionnés sur le dispositif I.N.R.A. de La Môle (Maures). Sur chacun de ces arbres, nous avons estimé les densités d'infestation (JACTEL *et al.* 1996b), mesuré diverses variables dendrométriques, ainsi que l'épaisseur d'écorce. En juin 2001, des prélèvements de liber sain et réactionnels ont été effectués sur tous ces arbres. L'arbre réagit en effet aux lésions du liber consécutives à l'action de bio-agresseurs en formant une réaction nécrotique autour des cellules endommagées afin de circonscrire l'élément étranger dans une zone impropre à son développement, notamment grâce à la présence de métabolites secondaires (terpène et phénols) toxiques.

L'analyse des densités moyennes de cochenilles par dm³ d'écorce du tronc, analysée à mi-hauteur du tronc c'est-à-dire au centre de la distribution des larves de second stade (à l'origine des principaux dégâts), permet de confirmer le classement de sensibilité des provenances de pin maritime à *M. feytaudi*, établi jusque là par comparaison des taux de mortalité (SCHVESTER et UGHETTO 1986). Il apparaît ainsi que les provenances de la partie occidentale de l'aire du Pin maritime, la provenance marocaine (Tamjout) en tête, sont significativement plus résistantes que celles du centre de l'aire (Landes), les provenances orientales (Provence et Corse) se révélant les plus sensibles. Ce gradient de sensibilité permet de mettre en évidence trois groupes de provenances : un groupe maghrébin, un groupe atlantique (Portugal, Espagne et Aquitaine) et un groupe méso-géen (Provence et Corse). Cette partition cor-

respond remarquablement avec les trois groupes de mitotypes ayant permis de caractériser la phylogéographie du pin maritime (BURBAN *et al.*, 1999). Elle confirme l'hypothèse d'une origine génétique de la résistance du pin maritime à *M. feytaudi*, résistance acquise par co-adaptation au ravageur dans les zones refuges de l'essence forestière (zone ibérique) ou de recolonisation ancienne (Maroc, Aquitaine) et encore non sélectionnée dans les régions indemnes (centre Italie) ou récemment colonisées par la cochenille (Provence et Corse).

La recherche de marqueurs de résistance par corrélation entre la variable de sensibilité du pin maritime (densité de cochenilles par unité de surface d'écorce) et les variables dendrométriques ou biochimiques a été menée tant au niveau de l'arbre individuel que de la provenance ou de la zone géographique. A ces trois échelles, la première variable corrélée positivement avec la résistance à *M. feytaudi* est l'épaisseur d'écorce du tronc. Des études complémentaires ont montré qu'une forte épaisseur d'écorce sur le pin maritime s'accompagne généralement d'une plus faible fissuration du rythidome. Cette relation sensibilité – épaisseur d'écorce semble donc correspondre à un mécanisme de résistance de type "non préférence", préalable à l'infestation, et se traduisant par une barrière mécanique à l'installation des jeunes larves de cochenille au fond des fissures de l'écorce du tronc. L'analyse des don-

Photo 1 :
Dépérissement du pin maritime en Corse
Photo INRA





Photo 2 :
Dépérissement du pin
maritime en Corse, forêt
de Popolasca
(Haute-Corse)
Photo INRA

nées recueillies sur un test de descendance comprenant 61 familles de plein-frères (1845 arbres mesurés) et situé en Aquitaine montre une relation positive et significative entre l'épaisseur d'écorce moyenne et le diamètre à 1m30. Ce résultat confirme que l'augmentation de la vigueur des arbres (par fertilisation ou éclaircie) pourrait contribuer à améliorer la résistance phénotypique du pin maritime à *M. feytaudi*.

Les trois autres variables corrélées significativement et négativement avec la sensibilité à *M. feytaudi* (une augmentation de leur concentration se traduisant par une moindre densité de cochenille) sont trois composés phénoliques présents dans le liber sain, c'est-à-dire avant toute infestation. Il s'agit de l'ester d'acide paracoumarique, du glycoside d'acétophénone et du glycoside d'acide paracoumarique. Ce dernier se révèle toujours le mieux corrélé avec la résistance. Il apparaît également que la concentration de ces trois phénols dans la réaction de défense (liber endommagé) est très bien corrélée (négativement) avec la densité moyenne de cochenille. Là encore, la meilleure corrélation est obtenue avec le glycoside d'acide paracoumarique. Enfin les analyses de variance montrent un effet significatif de la zone d'origine sur la concentration moyenne de cet acide phénolique, indiquant sans doute un fort contrôle génétique. Ce faisceau de résultats semble bien confirmer l'implication des composés phénoliques dans la résistance du pin

maritime à *M. feytaudi*. Elle correspondrait à une résistance de type "antibiose", les phénols étant connus pour leur toxicité vis-à-vis des insectes. La corrélation très significative observée entre densités de cochenilles et concentrations en phénols dans le liber sain indiquerait alors une résistance dite constitutive, c'est-à-dire préexistante à l'infestation.

Perspectives de lutte contre la Cochenille du Pin maritime

Lutte génétique

Sur le test de descendance aquitain, l'héritabilité au sens strict de l'épaisseur d'écorce corrigée de l'influence du diamètre s'établit à 0,33 alors qu'à titre de comparaison l'héritabilité de la hauteur est de l'ordre de 0,4 pour le pin maritime. La corrélation génétique de ce caractère avec le diamètre est de -0,16 soit une faible corrélation négative indiquant qu'une sélection pour une écorce épaisse se traduirait par une réduction négligeable du diamètre des arbres. Il apparaît donc que la sélection génétique du pin maritime pour la résistance à *M. feytaudi* sur la base du caractère "épaisseur d'écorce" est possible et probablement efficace.

Indépendamment de la démonstration de son effet biologique direct, la concentration en glucoside de l'acide para coumarique dans le liber apparaît aussi comme un marqueur de sélection prometteur pour la résistance du pin maritime à *M. feytaudi* : il est corrélé négativement à la densité de cochenilles, il est probablement sous fort contrôle génétique comme la plupart des composés phénoliques chez les pins, et il peut être mesuré sur les arbres avant même leur infestation (liber sain).

Dans ce contexte nous proposons de privilégier le couple "épaisseur d'écorce" et "concentration en glucoside d'acide paracoumarique" pour estimer la sensibilité du pin maritime à *M. feytaudi*. La combinaison de ces deux facteurs permet en effet une très bonne discrimination des zones d'origine du pin maritime et d'établir des valeurs seuils de niveau de résistance. Sur le dispositif de La Môle, une épaisseur maximale d'écorce (à 1 m 30) fixée à 1,5 cm permettrait d'obtenir un niveau de résistance équivalente à celle des provenances atlantiques alors que, combinée

à une concentration en glucoside d'acide p-coumarique de 170 mg/g de liber de sain, elle permettrait d'obtenir le niveau de résistance maximal représenté par la provenance marocaine. Appliqué à l'échantillon mesuré de 53 arbres d'origine corse, ces critères de résistance auraient conduit à la sélection de 11 arbres (20%) pour obtenir un niveau comparable aux provenances atlantiques, et de 2 arbres (4%) pour atteindre le niveau maximal de résistance. Ce taux est faible mais il démontre la possibilité réelle d'identifier des arbres potentiellement très résistants, même au sein des provenances sensibles comme celles de Corse.

Lutte sylvicole

Une expérimentation a été mise en place en 1999 en forêt domaniale de Pineto, afin de tester en pratique l'intérêt d'une lutte sylvicole fondée sur l'éclaircie préventive des arbres présentant l'écorce la plus fine et la vigueur la plus faible. Son objectif est de prévenir le développement épidémique des populations de cochenille en les privant de leur ressource privilégiée, c'est-à-dire les arbres les plus sensibles sur lesquels elles peuvent facilement se reproduire. Deux parcelles de 120 arbres présentant différents niveaux d'infestation ont été identifiées dans chacune de ces forêts. Chaque parcelle a été divisée en trois placettes de 40 arbres où trois modalités d'éclaircie ont été pratiquées : une modalité témoin, où l'ensemble des 40 arbres est laissé en place pour observer l'évolution des dégâts en l'absence de toute intervention ; une modalité de référence, où les 40 arbres sont soumis à dépressage ou éclaircie selon des critères classiques liés à la dendrométrie et l'espacement ; une modalité de coupe sanitaire préventive, où 13 arbres (1/3) supposés les plus résistants selon les critères d'épaisseur d'écorce et de vigueur sont préservés et les 27 autres sont coupés. Cinq ans après la mise en œuvre des traitements sylvicoles, il apparaît clairement, dans les deux parcelles de la forêt de Pineto, que le dépressage sanitaire a permis une évolution plus lente du dépérissement que le dépressage strictement sylvicole, ce dernier ne permettant pas de gain significatif de protection par rapport au témoin non traité (GAULIER *et al.* 2001).

La comparaison entre les notes moyennes d'infestation sur les treize arbres qui

auraient été sélectionnés sur la base des mêmes critères dans les trois types de placettes avec celles obtenues sur le reste des arbres (non sélectionnés) permet de mesurer l'effet de la sélection sans l'effet de l'éclaircie. Il apparaît que les arbres qui auraient été sélectionnés sont toujours en moyenne moins attaqués par la cochenille que les non sélectionnés mais la réduction d'infestation est faible ; elle ne suffit pas à expliquer l'écart entre le niveau moyen d'infestation dans les mêmes 13 arbres des trois types de placettes. Si l'on compare maintenant la moyenne des accroissements en circonférence entre 1999 et 2004 dans les trois modalités, on constate un gradient corrélé à la densité finale, les placettes les plus éclaircies manifestant un plus grand accroissement. La vigueur des arbres a donc réagi positivement à l'éclaircie. L'accroissement moyen est toujours supérieur de plus de 1 cm dans la modalité d'éclaircie sanitaire (la plus dynamique) par rapport aux autres modalités. Cet écart semble expliquer une part importante du différentiel de niveau d'infestation dans les trois modalités.

Lutte biologique

Dans son aire naturelle, la cochenille du pin maritime présente un certain nombre d'ennemis naturels, notamment des coléoptères (coccinelles), des hémiptères (punaises) et des neuroptères (hémérobès). Mais, comme cela a été montré lors de la dernière épidémie en Provence (Fabre *et al.* 2001), ces prédateurs sont souvent incapables d'empêcher les pullulations de leur proie, la dynamique de leurs populations étant décalée dans le temps. Ce retard de développement serait lié soit à la difficulté de repérer suffisamment tôt les premières proies disponibles dans le milieu forestier, soit au décalage phénologique entre le cycle annuel des prédateurs et celui des proies.

Le développement des phéromones sexuelles de synthèse de *M. feytaudi* nous a permis de montrer que les prédateurs de cette cochenille, comme la punaise *Elatophilus nigricornis* et l'hémérobe *Hemerobius stigma*, étaient capables d'utiliser ce signal olfactif (appelé alors kairomone) pour repérer leur proie (BRANCO *et al.* 2005). En 2001, nous avons alors utilisé les pièges à kairomone pour étudier la répartition de la punaise prédatrice dans et hors du foyer

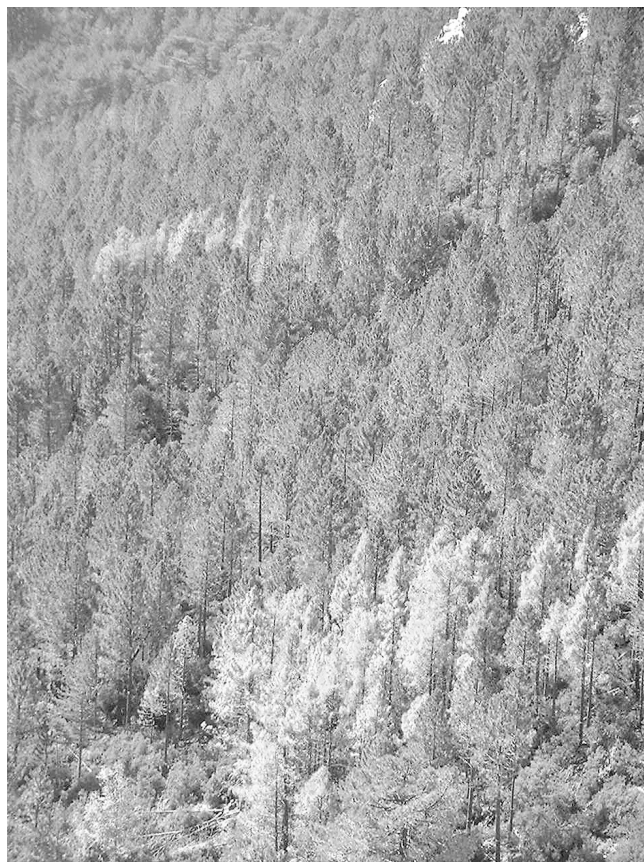


Photo 2 :
Dans la région
de Popolasca en Corse
Photo INRA

d'infestation par *M. feytaudi* en Corse. Nous avons pu ainsi constater que les plus fortes densités de *E. nigricornis*, en dehors de la zone contaminée par la cochenille du pin maritime, étaient localisées dans les peuplements purs de pin laricio de Corse. Cette espèce endémique est en effet l'hôte principale d'une autre cochenille, *Matsucoccus pini*, qui sert également de proie à la punaise *E. nigricornis*. Ce prédateur est également présent, mais en moins grand nombre dans les peuplements mélangés de pin laricio et de pin maritime. Dans les peuplements purs de pin maritime, l'abondance de *E. nigricornis* est, avant tout, dépendante de la distance aux plus proches forêts de pin laricio, aucune punaise n'étant présente lorsque cette distance est supérieure à 15 km. Ces résultats indiquent que *E. nigricornis* la principale espèce prédatrice de *M. feytaudi*, était bien présente en Corse avant même l'arrivée de la cochenille du Pin maritime, car inféodée aux autres cochenilles ou pucerons des pins, comme sur *M. pini* sur Pin laricio. Ils montrent également que cette punaise prédatrice présente sans doute de

fortes capacités de dispersion et qu'elle a été naturellement capable de passer d'une proie locale à une nouvelle proie d'origine exogène.

Il existe donc un fort potentiel de transfert des populations du prédateur sur la cochenille introduite *M. feytaudi*, dès lors que les peuplements de pin maritime atteints se trouveraient à proximité de pins laricio. Si ce contrôle biologique de *M. feytaudi* par les prédateurs présents sur pin laricio est réel, il est alors probable que des pins maritimes en mélange avec le pin laricio soient moins infestés qu'en peuplement pur. Cette hypothèse est testée depuis 2002, en comparant les densités de larves de la cochenille du pin maritime dans cinq paires de peuplements purs ou mélangés. Dans ces dispositifs, les niveaux d'infestation se sont révélés significativement plus faibles sur les pins maritimes mélangés au pin laricio, aussi bien en 2002 que en 2003. La diminution des densités de cochenille dans le peuplement mélangé par rapport au peuplement pur de la même paire augmente significativement avec la proportion de pins laricio dans le mélange. Des piégeage kairomonaux effectués dans les mêmes placettes montrent également des abondances toujours plus grandes de *E. nigricornis* dans les peuplements mélangés.

Dans une autre expérience réalisée dans quatre peuplements purs de pin maritime récemment colonisés par *M. feytaudi*, nous avons disposé des diffuseurs de kairomone fortement dosés sur certains arbres. En comparant les densités de larves de cochenille avant et après traitement sur les arbres traités et le même nombre d'arbres témoins, nous avons constaté que le taux d'accroissement des populations de *M. feytaudi* était significativement réduit sur les pins équipés d'attractifs. Il apparaît donc que la prédation par *E. nigricornis* est un facteur de régulation de la dynamique des populations de la cochenille du Pin maritime.

Conclusions

Le dépérissement du pin maritime en Corse, près de 10 ans après l'introduction de la cochenille *Matsucoccus feytaudi*, montre donc une évolution continue, certes relativement lente puisque les premières mortalités significatives ne sont apparues qu'environ

sept ans après le début de l'épidémie, mais toujours alarmante. Il apparaît en effet que les obstacles naturels – morcellement de la pinède et barrières montagneuses – ne suffisent pas à bloquer l'extension géographique de l'infestation. Après la forêt de la Restonica puis celle de la Tartagine, c'est maintenant celle de Bonifatu qui est contaminée.

Face à ce risque sanitaire majeur pour les forêts de pin maritime de l'île, le dispositif de surveillance mise en place s'avère efficace. Les pièges à phéromone permettent une détection très précoce de l'insecte ravageur dans une nouvelle forêt colonisée, environ cinq ans avant les premiers signes de dépérissement. Les placettes permanentes suivies depuis 1996 représentent un dispositif indispensable pour suivre et prédire l'évolution de la mortalité des arbres. À ce terme de l'étude, elles indiquent un taux de mortalité final de l'ordre de 50%.

Nos études montrent également que trois méthodes de lutte préventives pourraient être mise en œuvre pour limiter ces dégâts. La première, applicable sur les peuplements de pin maritime actuels, au début de leur infestation, consisterait en une éclaircie ou un dépressage dynamique ne laissant que les arbres les plus résistants à la cochenille. Elle se fonde sur une désignation des arbres à éclaircir à partir des critères de vigueur et d'épaisseur d'écorce. La seconde méthode est celle de la lutte biologique, utilisant le potentiel local, endémique, de punaises anthocorides prédatrices (*Elatophilus nigricornis*) présentes dans les peuplements de pin laricio. Deux options sont alors possibles : soit favoriser le mélange pin laricio – pin maritime, soit effectuer des lâchers inoculatifs de punaises sur le front de progression de l'épidémie, là où les populations de proies (*M. feytaudi*) sont suffisamment nombreuses pour nourrir le prédateur, mais suffisamment faible pour que son action prédatrice soit efficace. La troisième méthode enfin vise à permettre la reforestation en pin maritime après dépérissement pour les sites où la fonction de production de bois est économiquement rentable, mais également pour ceux dont la valeur écologique ou patrimoniale doit être conservée. Elle consiste en la sélection des arbres les plus résistants à la cochenille dans les provenances corses de pin maritime, sur la base du marqueur phénolique (glucoside d'acide para coumarique).

Ces ressources génétiques pourraient alors être pour partie conservées *ex situ* (afin de garantir leur survie) et testées *in situ* afin de constituer à terme des vergers à graines permettant de produire la ressource nécessaire à la reforestation.

H.J., P.M.

Hervé JACTEL
Pierre MENASSIEU
Equipe entomologie
forestière
& biodiversité
UMR BIOGECO INRA
69 route d'Arcachon
33612 Cestas
herve.jactel@
pierroton.inra.fr

Références

- Binazzi, A.; Covassi, M. (1989) [*Matsucoccus feytaudi* Ducasse in Western Ligurian pine forests.] *Convegno sulle avversità del bosco e delle specie arboree da legno, Firenze, 15-16 ottobre 1987*, 197-222.
- Branco M, Jactel, H, Silva, E.B., Binazzi, A, and Mendel, Z. 2004. Effect of trap design, trap size and pheromone dose on male capture of two pine bark scale species (Homoptera: Matsucoccidae): implications for monitoring and mass-trapping. *Agricultural and Forest Entomology*, **6**: 233-239.
- Burban, C.; Petit, R.; Jactel, H. (1999) Rangewide variation of the maritime pine bark scale *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Mastucoccidae) in relation to the genetic structure of its host. *Molecular Ecology* **8**, 1593-1602.
- Carle, P. (1974) The decline of *Pinus pinaster* in Provence. Role of insects in changing the biological equilibrium of forests invaded by *Matsucoccus feytaudi*. *Annales des Sciences Forestières* **31**, 1-26.
- Covassi, M.; Binazzi, A. (1992) [New records of *Matsucoccus feytaudi* Ducasse from Eastern Liguria (Homoptera, Margarodidae)]. *Redia* **75**, 453-466.
- Fabre, J.P. (1980) Mortalité dans les peuplements de pin maritime à la suite de l'introduction de *Matsucoccus feytaudi* Duc. en Italie. *Italia Forestale e Montana* **35**, 40-42.
- Fabre, J.P.; Menassieu, P.; Foing, J.; Chalon, A. (2000) Biology and ecology of *Elatophilus nigricornis* (Homoptera: Anthocoridae) predator of *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Matsucoccidae) in the south-east of France. *Annals of Forest Sciences* **8**, 763-778.
- Gaulier, A.; Menassieu, P.; Hoguet, F.; Jactel, H. (2001) Towards a silvicultural method of pest control for *Matsucoccus feytaudi*, the Maritime pine bark scale. *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*. **33**, 455-465.

- Jactel, H.; Menassieu, P.; Lettere, M.; Mori, M.; Einhorn, J. (1994) Field response of the Maritime pine bast scale, *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Margarodidae) to synthetic sex pheromone stereoisomers. *Journal of Chemical Ecology* **20**, 2159-2170.
- Jactel, H.; Menassieu, P.; Burban, C. (1996) Découverte en Corse de *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Margarodidae), cochenille du pin maritime. *Annals of Forest Sciences* **53**, 145-152.
- Jactel, H.; Perthuisot, N.; Menassieu, P.; Raise, G.; Burban, C. (1996) A sampling design for within-tree larval populations of the Maritime pine bast scale *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Margarodidae) and the relationship between larval population estimates and male catch in pheromone traps. *The Canadian Entomologist*, **128**, 1143-1156.
- Jactel, H.; Menassieu, P.; Ceria, A.; Regad, J.; Burban, C. (1998) Une pullulation de la cochenille *Matsucoccus feytaudi* provoque un début de dépérissement en Corse. *Revue Forestière Française* **1**, 33-45.
- Mendel, Z.; Zegelman, Z.; Hassner, A.; Assael, F.; Harel, M.; Tam, S.; Dunkelblum, E. (1995) Outdoor attractancy of males
- Riom, J. (1977) Etude biologique et écologique de la cochenille du pin maritime *Matsucoccus feytaudi*, Ducasse, 1942 (Coccoidea, Margarodidae, Xylococcinae) dans le Sud-Est de la France. III. Structure des populations sur l'arbre. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale* **9**, 709-732.
- Riom, J.; Fabre, J.P. (1977) Etude biologique et écologique de la cochenille du pin maritime *Matsucoccus feytaudi*, Ducasse, 1942 (Coccoidea, Margarodidae, Xylococcinae) dans le Sud-Est de la France. II. Régulation du cycle annuel, comportements des stades mobiles. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale* **9**, 181-209.
- Riom, J.; Gerbinot, B. (1977) Etude biologique et écologique de la cochenille du pin maritime *Matsucoccus feytaudi*, Ducasse, 1942 (Coccoidea, Margarodidae, Xylococcinae) dans le Sud-Est de la France. I. Biologie générale et phénologie. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale* **9**, 11-50.
- Riom, J. (1979) Etude biologique et écologique de la cochenille du pin maritime *Matsucoccus feytaudi*, Ducasse, 1942 (Coccoidea, Margarodidae, Xylococcinae) dans le Sud-Est de la France. IV. Potentiel biotique et dynamique des populations. *Annales de Zoologie, Ecologie Animale* **11**, 397-456.
- Riom, J. (1994) Le dépérissement du pin maritime dans le Sud-Est de la France au cours des années 1960-1970 : le rôle de la cochenille *Matsucoccus feytaudi* (Homoptera: Margarodidae). *Revue Forestière Française* **XLVI** 437-445.
- Schvester, D.; Fabre J.P. (2001) Le dépérissement du pin maritime des Maures et de l'Estérel provoqué par *Matsucoccus feytaudi*, connaissances acquises de 1964 à 1990. *Forêt Méditerranéenne*, t. XXII, N°3, 213-234 & N°4, 303-317
- Schvester, D.; Ughetto, F. (1986) Différences de sensibilité à *Matsucoccus feytaudi* Duc (Homoptera: Margarodidae) selon les provenances de pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.). *Annales des Sciences Forestières* **43**, 459-474.

Résumé

En 1994, une mission de l'INRA a, pour la première fois, détecté la présence de la cochenille du pin maritime en Corse. Des études génétiques ont confirmé l'hypothèse d'une introduction récente à partir du continent. En 1995, la surface contaminée représentait environ 800 km²; en 2004, elle s'étend sur environ 4000 km². Les peuplements de pin maritime dans cette zone subissent actuellement un dépérissement analogue à celui qu'ont connu les pinèdes des Maures et l'Estérel, puis du Nord de l'Italie. Le suivi de l'épidémie et les expérimentations mises en place en Corse permettent de jeter un regard nouveau sur les processus épidémiologiques en cause, et de proposer des pistes de lutte contre ce dangereux ravageur.

L'analyse du dépérissement du pin maritime en Corse montre une évolution relativement lente mais régulière à la fois en nombre d'arbres touchés et en intensité de dégâts. Tous les arbres d'un peuplement contaminé finissant par être atteints au bout de 6 à 7 ans, et 10 années après l'introduction de la cochenille le niveau de mortalité varie entre 20 et 50%.

L'analyse des niveaux d'infestation sur le dispositif INRA de La Mole, dans les Maures, permet de confirmer le classement de sensibilité des provenances de pin maritime à *M. feytaudi*, établi jusque là par comparaison des taux de mortalité. Il apparaît ainsi que les provenances de la partie occidentale de l'aire du Pin maritime, la provenance marocaine (Tamjout) en tête, sont significativement plus résistantes que celles du centre de l'aire (Landes), les provenances orientales (Provence et Corse) se révélant les plus sensibles. Ce gradient de sensibilité fonde l'hypothèse d'une origine génétique de la résistance du pin maritime à *M. feytaudi*, résistance acquise par pression de sélection ancienne du ravageur dans les zones refuges de l'essence forestière mais encore non sélectionnée dans les régions indemnes (centre Italie) ou récemment colonisées par la cochenille (Provence et Corse). D'un point de vue biologique, cette résistance apparaît positivement corrélée à une écorce épaisse et une concentration importante en certains composés phénoliques présents dans le liber. Ces deux caractères étant sous contrôle génétique, il pourrait être envisagé, à long terme, une sélection du pin maritime pour la résistance à *M. feytaudi*.

La lutte au moyen de produits insecticides ou par piégeage de masse ayant révélé leurs limites en terme de coût et d'efficacité, nous testons actuellement deux méthodes de prévention du risque de dépérissement. La première consiste en une lutte sylvicole fondée sur la coupe préventive des pins maritimes les plus sensibles à la cochenille afin de prévenir le développement épidémique des populations du ravageur. Trois modalités sont comparées : une éclaircie sanitaire vigoureuse ne préservant que les arbres présentant la plus grande vigueur et l'écorce la plus épaisse, une éclaircie sylvicole classique et un témoin non éclairci. Quatre années après la mise en place de cet essai il apparaît que l'éclaircie sanitaire a pu significativement ralentir l'évolution du dépérissement. La deuxième approche se fonde sur le constat que le pin laricio de Corse abrite des populations endémiques d'une autre cochenille, *Matsuccoccus pini*, dont deux des prédateurs naturels, *Elatophilus nigricornis* et *Hemerobius stigma*, sont capables de s'alimenter sur *M. feytaudi*. En comparant des peuplements purs de pin maritime et des peuplements mélangés au laricio sur cinq sites différents, nous avons constaté des niveaux d'infestation de la cochenille systématiquement plus faibles et des densités de prédateurs plus élevées sur les pins maritimes mélangés au pin laricio. Ces résultats indiquent que le maintien ou la restauration de peuplements mixtes de pins maritime et laricio pourrait permettre un contrôle biologique des épidémies de *M. feytaudi*.

Summary

The maritime pine bast scale *Matsuccoccus feytaudi* (Duc.) : new epidemiological data and perspectives for protection

In 1994, a research party from INRA detected for the first time in Corsica the maritime pine bast scale. Genetic studies confirmed the hypothesis of a recent introduction from the continent. In 1995 the infestation extended over 800 km² ; in 2004 it covered 4,000 km². The maritime stands are presently undergoing a decline similar to that seen in the Maures and Esterel massifs in S-E France and in Northern Italy. The monitoring and the experiments carried out in Corsica enable us to see in a new light the epidemiological process involved and to suggest lines of defence against this pest. Analysis of the decline of the maritime pine in Corsica shows that the evolution of the decline is slow but regular, both in the number of trees affected and in the severity of the damage. In any stand, all trees become infected 6 or 7 years after the arrival of the bast scale and 10 years after its arrival mortality reaches between 20-50%.

An analysis of the levels of infestation of the INRA stands at La Mole in the Maures enable us to class the different provenances according to their level of sensitivity to *Matsuccoccus feytaudi* judged by comparing mortality rates. Thus, provenances from the maritime pine's western habitats, headed notably by the Tamjout strain, are significantly more resistant than provenances from the central zone (Landes region, S-W France) whereas the eastern provenances (Provence, Corsica) turn out to be the most sensitive. This gradient of sensitivity tends to confirm the hypothesis of a genetic origin to the pine's resistance to *M. feytaudi*. This resistance has been acquired through the longstanding selective pressure from the pest in the maritime pine's areas of refuge, a selective pressure as yet inoperative in unaffected (Central Italy) or recently infested (Provence and Corsica) areas. From a biological point of view, the resistance appears to be positively correlated to the thickness of the bark and the concentration of certain polyphenolic compounds in the phloem. Since these two factors are gene-dependent, a long-term solution could be the selection of maritime pine on the basis of resistance to *M. feytaudi*.

Given the limited effect, as well as the cost, of insecticides and large-scale trapping, we are presently testing two methods for reducing the threat of decline. The first, silvicultural, is based on preventive felling of the most sensitive trees in order to prevent the insect attacks from reaching epidemic proportions. Three degrees of intervention have been monitored for comparison : a major culling of affected specimens to leave only the most healthy trees with the thickest bark ; a classic silvicultural thinning ; and an untouched control plot. Four years on, it would appear that felling of unhealthy trees has significantly reduced decline.

The second approach is based on the observation that the Laricio pine in Corsica is host to an endemic population of another bark scale, *M. pini*, whose two natural predators, *Elatophilus nigricornis* and *Hemerobius stigma*, can feed on *M. feytaudi*. By comparing pure maritime pine stands and mixed maritime and Laricio pine stands on five different sites, it can be stated that, in the mixed stands, the level of infestation by the scale is systematically lower and the density of predators higher. Such results indicate that maintaining or restoring mixed maritime and Laricio pine stands may offer a means of biological control of the onslaught of *M. feytaudi*.

Riassunto

La cocciniglia del pino marittimo, *M. feytaudi* : nuovi dati epidemiologici e prospettive di lotta

Nel 1994, una missione della nostra squadra ha, per la prima volta, rivelato la presenza della cocciniglia del pino marittimo in Corsica. Studi genetici hanno confermato l'ipotesi di un'introduzione recente a partire dal continente. Nel 1995 la superficie contaminata rappresentava circa 800 km² ; nel 2004 si stende su circa 4 000 km². I popolamenti di pino marittimo in questa zona subiscono attualmente un deperimento analogo a quello che hanno conosciuto le pinete dei Maures e dell'Estérel poi del nord dell'Italia. Il seguire dell'epidemia e le sperimentazioni messe in posto in Corsica permettono di buttare uno sguardo nuovo sui processi epidemiologici in causa e proporre piste di lotta contro questo pericoloso devastatore. L'analisi del deperimento del pino marittimo in Corsica mostra un'evoluzione relativamente regolare alla volta in numero di alberi toccati e intensità dei danni. Tutti gli alberi di un popolamento contaminato finiscono coll'essere colpiti in capo a 6 o 7 anni, e 10 anni dopo l'introduzione della cocciniglia il livello di mortalità varia tra 20 e 50 %.

L'analisi dei livelli d'infestazione sul dispositivo dell'INRA di La Mole, nei Maures, permette di confermare la classifica di sensibilità delle provenienze di pino marittimo a *M. feytaudi*, stabilito fin là dal confronto dei tassi di mortalità. Appare così che le provenienze della parte occidentale dell'area del pino marittimo, la provenienza marocchina (Tamjout) in testa, sono significativamente più resistenti di quelle del centro dell'area (Landes), le provenienze orientali (Provenza, Corsica) si rivelano le più sensibili. Questo gradiente di sensibilità fonda l'ipotesi di un'origine genetica della resistenza del pino marittimo a *M. feytaudi*, resistenza acquisita dalla pressione d'antica selezione del devastatore nelle zone rifugi dell'essenza forestale ma non ancora selezionata nelle regioni indenni (centro Italia) o recentemente colonizzate dalla cocciniglia (Provenza, Corsica). D'un punto di vista biologico, questa resistenza appare positivamente correlata a una corteccia spessa e una concentrazione importante di certi composti fenolici presenti nel libro. Questi due caratteri essendo sotto controllo genetico, potrebbe essere progettato, a lungo termine, una selezione del pino marittimo per la resistenza a *M. feytaudi*.

La lotta al mezzo di prodotti insetticidi o dalla cattura di massa avendo rivelato i loro limiti in termine di costo e di efficacia, proviamo attualmente due metodi di prevenzione del rischio di deperimento. La prima consiste in una lotta silvicola fondata sul taglio preventivo dei pini marittimi più sensibili alla cocciniglia allo scopo di prevenire lo sviluppo epidemico delle popolazioni del devastatore. Tre modalità sono paragonate : una radura sanitaria vigorosa preservando soltanto gli alberi che presentano il più grande vigore e la corteccia la più spessa, una radura silvicola classica e una parte senza radura. Quattro anni dopo la messa in posto di questa prova appare che la radura sanitaria ha potuto significativamente rallentare l'evoluzione del deperimento. Il secondo approccio si fonda sulla constatazione che il pino laricio di Corsica ripara popolazioni endemiche di un'altra cocciniglia, *Matsucoccus pini*, di cui due tra gli iperparassiti naturali, *Elatophilus nigricornis* e *Hemerobius stigma*, sono capaci di alimentarsi su *M. feytaudi*. Confrontando popolamenti puri di pino marittimo e popolamenti misti col laricio su cinque siti differenti, abbiamo constatato livelli di infestazione della cocciniglia sistematicamente più deboli e densità di iperparassiti più alte sui pini marittimi incrociati al pino laricio. Questi risultati indicano che il mantenimento o il rinnovamento di popolamenti misti di pini marittimo e laricio potrebbe permettere un controllo biologico delle epidemie di *M. feytaudi*.