

# Recherche du déterminisme géographique et écologique de la maladie chancreuse du pin d'Alep

## Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

par Nathalie MARTINEZ

**Cette étude menée dans le cadre d'un stage au Centre régional de la propriété forestière concerne le chancre du pin d'Alep, une maladie largement répandue en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Elle tente de répondre à la question du déterminisme géographique et écologique de ce champignon.**

### Introduction

Voilà plus de quarante ans que le pin d'Alep a mauvaise mine : houppier clair, aiguilles qui rougissent anormalement. Ces symptômes sont les effets les plus remarquables d'une maladie découverte en région Provence-Alpes-Côte d'Azur par MORELET en 1969. Il s'agit d'une maladie chancreuse des rameaux de ce pin, provoquée par un champignon : *Crumenulopsis sororia* (Karst.) Groves (MORELET M., 1971).

Depuis les premières constatations de MORELET, aucune étude n'a permis de connaître l'état de l'évolution géographique de cette maladie, la manière dont elle évolue, les conditions écologiques et biologiques de cette évolution, les conséquences qu'elle peut avoir sur la production... En 1995, une nouvelle vague d'attaque alerte (MIRAUT J. et REGAD J., 1995), sans suite. Aujourd'hui, elle inquiète !

C'est pourquoi le Centre régional de la propriété forestière de Provence-Alpes-Côte d'Azur (P.A.C.A.) se préoccupe de mieux connaître cette maladie, son importance dans la région et le déterminisme de son développement.

## Systématique du pathogène

Champignon-  
Ascomycète-  
Discoascomycète  
inoperculé-  
Derméacée-  
Cénangioïdée à ascospores unicellulaires  
fusoïdes-  
*Crumenulopsis sororia*  
Groves var. meridionale Morelet  
Lanier et al., 1978

## Systématique de l'hôte

Pinacées-Abétacées  
Pinus  
Pinus Halepensisoides  
Halepensis  
Pinus halepensis Mill  
Gaussen, 1960

Photo 1 :

Chancré actif sur un rameau de pin d'Alep

Photo N. Martinez

## Présentation de la maladie L'agent pathogène

*Crumenulopsis sororia* est un pathogène nécrotrophe, causant des chancres sur les branches et tiges de ses hôtes. Les infections s'effectuent par des ascospores (sexuées) en suspension dans l'air (le vent). Après germination, le mycélium envahit le liber et le bois permettant une croissance continue du chancre (Cf. Photo 1). Les pycnides (masse mycélienne creuse abritant des filaments producteurs de conidies) produites sur sa surface libèrent des conidies multicellulaires (asexuées) dispersées par l'eau de pluie et colonisent ainsi d'autres tissus un peu plus loin (ENNOS R. A. et SWALES K. W., 1991)

## L'hôte

Le pin d'Alep est une essence pionnière de lumière, thermophile, très colonisatrice et écologiquement très plastique. Elle occupe une très grande part de la surface régionale (QUÉZEL P., 1985). Elle constitue des structures préforestières paraclimaciques, nécessaires à l'installation de la forêt sclérophylle et caducifoliée (QUÉZEL P. & MÉDAIL F., 2003).

Le champignon a d'autres hôtes conifères qui présentent des degrés différents de sensibilité. D'après HAYES A. J. et al. (1977), *Crumenulopsis sororia* s'attaque à *Pinus sylvestris* L., *Pinus contorta* Dougl. (pin de Murray), *Pinus nigra* Arn. v. *laricio*, *Pinus*

*nigra* Arn. ssp. *nigra*, *Pinus griffithii* (pin pleureur de l'Himalaya), *Pinus cembra* (pin cembro ou Arolle) et provoque l'apparition des mêmes symptômes.

Pour ces pins, la présence et l'intensité de la maladie varient en fonction des conditions écologiques du milieu et des caractéristiques biologiques de l'hôte et du pathogène. En ce qui concerne le pin d'Alep, les modalités d'existence du champignon n'avaient pas encore été étudiées.

## Les symptômes de la maladie

Les premiers symptômes sont des zones déprimées en forme de bouton résinant au niveau de cicatrices foliaires ou d'autres blessures du rameau. Ces zones évoluent en chancre, rompent l'écorce alentour, desquamant ainsi le rameau et pouvant aboutir à sa strangulation (Cf. Fig. 1).

Le développement des chancres entraîne le dessèchement progressif des rameaux (en commençant par la base du houppier) dont les aiguilles rougissent par bouquets.

La chute des aiguilles sèches confère aux arbres malades une transparence anormale (Cf. Photo 2).

Lorsqu'il est infecté, l'arbre lutte contre l'invasion du champignon en élaborant des barrières biologiques telles que le saut d'un cerne (cerne d'hiver resserré ou moins fonctionnel), l'émission de molécules antifongiques, l'élaboration de tissus bloquant la progression de l'infection.

Ces réactions aboutissent à la "mise en quarantaine" de la zone infectée et parfois à la mort du champignon puis à la cicatrisation du chancre (Cf. Photo 3).

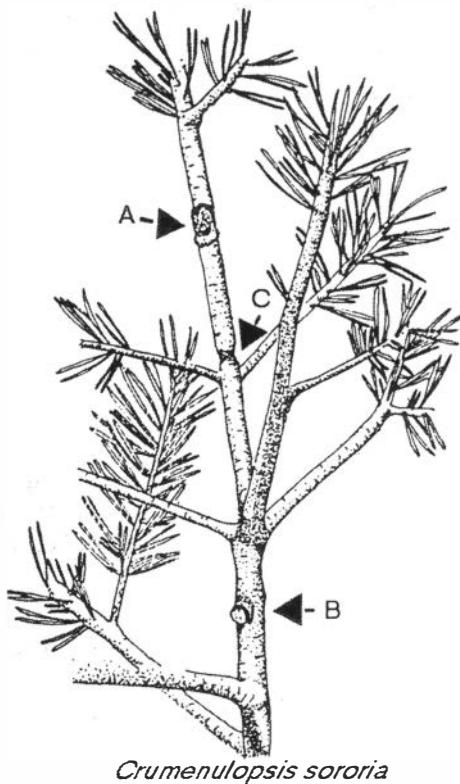
## Dispositif d'étude de la maladie chancreuse en Provence-Alpes-Côte d'Azur

L'étude a d'abord porté sur l'étendue et l'intensité de la maladie sur la région par l'observation de ses symptômes sur les pins d'Alep, puis sur son comportement en fonction des facteurs écologiques du milieu.

## Données préexistantes

Un choix de placettes de pin d'Alep a été effectué sur la région. Il s'est appuyé sur le fichier des placettes créées et étudiées par le





*Crumenulopsis sororia*  
Divers stades de la maladie sur un jeune sujet :  
A : chancre jeune avec résinose  
B : chancre se désquamant  
C : strangulation de l'organe attaqué (Dessin Cemagref)



**Fig. 1 (à gauche) :**  
Schéma des divers stades de la maladie  
Dessin Cemagref

**Photo 2 (ci-dessus) :**  
Pins d'Alep présentant une perte foliaire supérieure à 75 %.  
L'indice d'attaque (IA) de la placette est compris entre 8 et 10/10  
Photo N. M.

**Tab. I (ci-contre) :**  
Liste des variables utilisées

Cemagref lors de l'une de ses études concernant le pin d'Alep.

Les facteurs -ou variables- écologiques relevés sur ces fiches, qui ont servi à échantillonner les placettes parmi les sept cents préexistantes, sont exposés au tableau I.

### Placettes échantillonnées

Un dispositif de 91 placettes de peuplements de pins d'Alep adultes, d'âge et de composition diverse a été prise en compte dans notre étude, ainsi que 11 placettes en régénération (naturelle ou plantée) (Cf. Fig. 2).

### Les observations relevées

Sur chaque placette de peuplement adulte, les observations suivantes ont été relevées sur 8 à 12 arbres dominants et co-dominants (pour éviter l'effet de la concurrence intraspecifique) :

- estimation du pourcentage de perte foliaire sur chaque houppier, comparé à la référence d'un guide photographique (LIN-

#### Variables quantitatives

Pmoy	pluviométrie moyenne annuelle (mm)
H70	fertilité des stations pour le pin d'Alep <sup>1</sup>
IKR	indice lumineux de Becker
tmoy	température moyenne annuelle (°C)
dmer	distance minimale à la mer (m)
alt	altitude (m)
amasq	altitude du masque à la mer (m)
prof	profondeur de sol (cm)

#### Variables qualitatives

PRN	petite région naturelle
topG	topographie générale
dens	densité du peuplement

NEA ambiente), sous forme de classes de perte foliaire : 1= 0 à 10% ; 2= 11 à 25% ; 3= 26 à 50% ; 4= 51 à 75% et 5= 76 à 100% de perte foliaire.

- estimation du rougissement des aiguilles sur chaque houppier, sous forme de classes de rougissement : 1= 1 à 10% ; 2= 11 à 25% etc. La cause chancreuse du rougissement est difficilement discernable d'une autre cause.

1 – NDLR : H70 est la hauteur des arbres à 70 ans, elle représente un bon indice de la fertilité de la station, selon la loi de Eichhorn.

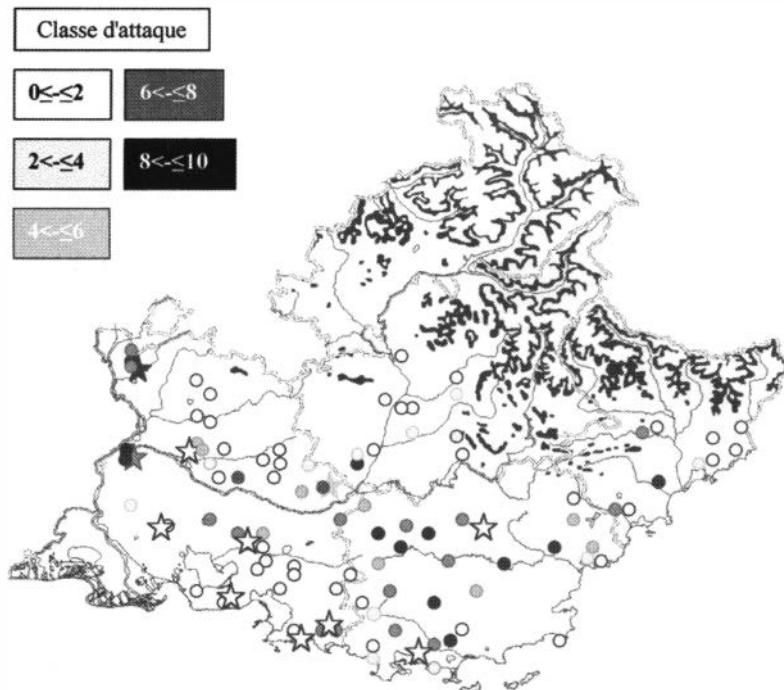


**Photo 3 :**  
Chancres cicatrisés  
et en cours de cicatrisation  
*Photo N. M.*

**Fig. 2 :**  
Carte de la localisation des placettes et leur indice d'attaque

- observation de chancres actifs sur les rameaux. Cinq points ont été observés, dispersés dans chaque houppier, au moyen d'une longue-vue. A partir de ces cinq points, on a extrapolé le degré d'attaque de la placette en élaborant un indice d'attaque : IA.

Les mêmes observations ont été relevées sur onze jeunes peuplements de régénération mais sur 20 arbres dominants et co-dominants.



## Elaboration d'un indicateur sanitaire des pins d'une placette

### Indice d'attaque (IA)

Afin de connaître les fluctuations de l'intensité de la maladie dans l'espace, on a essayé de la quantifier en élaborant un indice d'attaque.

Pour les placettes de pins adultes (icônes rondes sur la figure 2), l'indice d'attaque est une note sur dix prenant en compte le pourcentage d'arbres atteints (8 à 12 pins) sur la placette et l'intensité de l'attaque du champignon par arbre. Cette intensité a été déterminée en observant sur chaque arbre la présence de chancres actifs (pour les cinq points d'observation, comme décrit ci-dessus).

Pour les placettes de régénération (icônes étoilées sur la figure 2), l'observation est réalisable à l'œil nu et la note d'attaque prend en compte 20 arbres.

Sur la carte de localisation des placettes (Cf. Fig. 2), l'indice d'attaque a été divisé en cinq classes : du blanc ( $0/10 \leq IA \leq 2/10$ ) au noir ( $8/10 \leq IA \leq 10/10$ ), d'intensité d'attaque croissante.

### Corrélation entre l'IA et la perte foliaire

Le résultat précédent avait déjà été observé par de nombreux forestiers qui se basaient sur l'observation d'un des effets de la maladie : la perte foliaire (Cf. Photo 2). L'étude a montré qu'il existe effectivement une bonne corrélation entre l'indice d'attaque et la transparence des houppiers (Cf. Fig. 3).

## Relations entre l'état sanitaire et les facteurs écologiques

### Statistiques

Grâce au logiciel statistique du Cemagref, on a pu mener, en se basant sur l'ensemble des données relatives aux variables écologiques (citées précédemment) caractéristiques des 91 placettes et sur l'IA de chacune, deux types d'étude complémentaires, afin d'essayer de répondre à la question suivante : dans quels écosystèmes le champignon trouve-t-il ses conditions d'existence optimales ?

## Régression PLS

L'analyse statistique en régression PLS (Partial Least Squares) permet de mettre en évidence l'existence de composantes principales dans la répartition des indices d'attaque des placettes, c'est-à-dire l'existence d'un ou plusieurs axes autour desquels le nuage de points (représentant les placettes) semble réparti. Ces composantes principales sont donc des axes issus de la combinaison des variables initiales.

Le programme teste ensuite la solidité explicative des composantes principales en les comparant à une distribution aléatoire des attaques : 5000 permutations des variables face aux indices d'attaque sont alors réalisées lors d'un test de "randomisation".

Le logiciel statistique ADE utilisé détermine ensuite l'importance de chaque variable dans la définition de ces composantes : un coefficient de régression est calculé pour chacune (Cf. Tab. II). Le signe du coefficient indique le sens de la relation entre l'indice d'attaque et la variable. Les axes principaux –ou composantes principales- autour desquels le nuage de points semble le mieux réparti sont donc plus ou moins expliqués par les variables prises en compte.

Plusieurs filtrages des données ont été effectués pour obtenir le plus de renseignements possible sur l'influence des facteurs écologiques dans la forme du nuage de points.

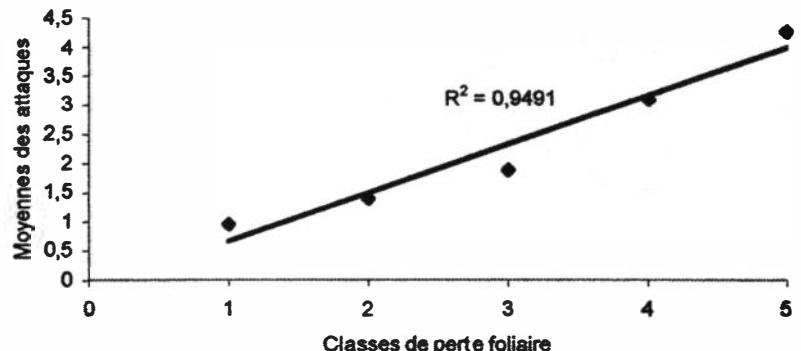
Sont exposées ici des exemples d'opérations proposées au programme PLS :

- 1 - Prise en compte de toutes les variables.
- 2 - Prise en compte de toutes les variables sauf profondeur (prof) et fertilité globale (H70).

3 - Suppression de la variable géographique PRN afin de vérifier l'influence des variables écologiques, ici toutes sont d'ordre climatique ou topographique.

4 - Suppression des variables les moins importantes dans l'explication de la variance (H70, tmoy, alt, amasq, prof et dens).

On a pu ainsi mettre en évidence l'importance décroissante des variables dans l'explication des intensités d'attaque des placettes mais également leur interdépendance puisque leur stabilité (variation de leur coefficient de régression) dans les différents modèles de régression dépend des ajouts ou des suppressions de variables prises en compte dans ces modèles.



Pour les situer les unes par rapport aux autres, on a procédé à une Analyse en composantes principales (A.C.P.) des variables écologiques et de l'indice d'attaque.

**Fig. 3 :**  
Relation  
IA / Perte foliaire

## Analyse en composantes principales

Cette méthode permet de représenter les données relatives aux variables et à l'IA, à l'aide d'un nuage de points représentant les placettes, dans un espace géométrique. Son objectif étant de trouver des sous espaces (droites, plans) qui représentent au mieux le nuage initial.

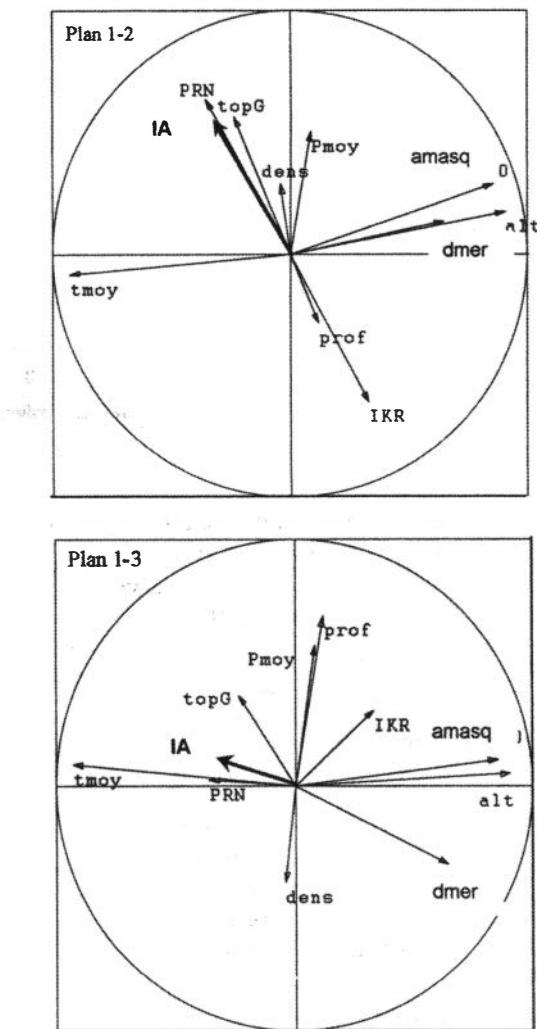
La figure 4 présente sur un plan (construit sur deux axes principaux ou composantes principales du nuage de points) le poids des facteurs écologiques et de l'indice d'attaque, dans l'explication de la position spatiale des points.

C'est-à-dire que, sur ces cercles de corrélations, chaque flèche représente chacune des

**Tab. II :**  
Résultats des différentes manipulations du programme de régression PLS

Opérations proposées au programme	1	2	3	4
% de variance expliquée par les composantes principales	56 (2 comp.)	56 (2 comp.)	23 (1 comp.)	59 (2 comp.)
Variables et coefficients de régression décroissant en valeur absolue	PRN 0,49 topG 0,19 IKR -0,15 Pmoy 0,11 dmer 0,10 H70 0,10 Tmoy 0,10 amasq 0,06 alt -0,05 dens 0,05 Prof 0,01	PRN 0,51 topG 0,21 IKR -0,16 Pmoy 0,13 tmoy 0,10 dmer 0,10 alt -0,06 amasq 0,05 dens 0,04	topG 0,19 IKR -0,17 tmoy 0,15 alt -0,12 Pmoy 0,10 amasq -0,05 dens 0,04	PRN 0,61 topG 0,22 tmoy 0,16 dmer 0,14 Pmoy 0,08 dens 0,04 dmer -0,01
(Résultats Cemagref)				

**Fig. 4 :**  
Cercles de corrélation  
Source Cemagref



## 2 – L'IKR ou indice lumineux de Becker

correspond à l'ensoleillement d'une placette, prenant en compte son exposition et sa pente. La courbe représentant l'IA en fonction des valeurs initiales de l'IKR avait une forme en cloche, mais pour être intégrées dans le logiciel statistique, les valeurs d'IKR devaient être ordonnées. On les a donc symétrisées par rapport à la valeur maximale 1 (c'est-à-dire qu'on a calculé pour chaque valeur d'IKR :  $1 - \text{IKR}$ ).

Le signe négatif du coefficient de régression et le sens contraire de la flèche représentant l'IKR, par rapport à l'IA, découle de cette transformation.

variables intégrées dans le programme statistique. Leur longueur et leur direction illustrent leur importance relative dans la définition des axes principaux. Ces axes principaux (axes de construction des cercles) sont ceux qui représentent au mieux le nuage de points.

## Résultats

Les résultats des deux types d'analyses statistiques utilisés sont complémentaires.

Les régressions PLS ont montré un classement des facteurs écologiques qui expliquent, le mieux, la variation de l'intensité de l'attaque du champignon. La variable géographique reste toujours la plus influente, en revanche, le classement est plus fluctuant pour les facteurs écologiques.

Il faut noter que la variance n'est expliquée qu'à moins de 60% par les variables prises en compte dans le traitement statis-

tique du fait de la multitude des facteurs, sans doute importants, qui n'ont pas été relevés dans cette étude.

L'analyse ACP a permis quant à elle, de mettre en évidence, à l'échelle de l'étude (91 placettes étudiées), les relations plus ou moins fortes existant entre toutes les variables intégrées dans l'analyse, y compris l'intensité d'attaque (IA).

Ainsi, les résultats suivants ont été mis en évidence après interprétation des cercles de corrélation et des données qui résultent des régressions PLS, les variables étant présentées de la plus influente à la moins influente sur l'intensité d'attaque.

- L'intensité des attaques est fortement corrélée à la situation géographique des placettes (PNR) : on a pu observer deux noyaux d'attaque forte, un dans le Haut-Var (Cf. Fig. 2) et l'autre à la limite nord-ouest de la région (Vallée du Rhône). Et, entre les deux, il semble apparaître un couloir d'attaque moyenne ( $4 \leq \text{IA} \leq 8$ ) qui lie ces deux zones, le long de la Basse-Durance (Cf. Fig. 2).

- La topographie générale (topG) apparaît également comme une variable très explicative de l'état sanitaire des pins. Les positions topographiques montrant les pins d'Alep les plus atteints sont les plateaux et, un peu moins, les bas de pente et les vallons ; les replats, hauts de pente, mi-versants et croupes présentant des pins en meilleure santé.

- L'indice lumineux de Becker<sup>2</sup> (flèche de même direction, même longueur mais en sens contraire à celle de l'IA dans les cercles de corrélation) est bien corrélé (négativement) à l'IA. La courbe représentant l'IA en fonction des valeurs initiales de l'IKR a une forme en cloche : les placettes de pente faible ou nulle (valeurs d'IKR  $\approx 1$ ), sont les plus atteintes. Ce résultat confirme le résultat précédent puisque les plateaux, les bas de pente et les vallons sont des positions topographiques assez plates. Pour cette variable, on ne dissocie pas les replats de l'entité "versant".

Lorsque les pentes sont plus importantes, orientées au nord comme au sud, les pins sont moins attaqués par le champignon.

- La pluviométrie moyenne annuelle (Pmoy) varie dans le même sens que l'intensité d'attaque des pins.

- La température moyenne annuelle (tmoym) est liée à l'altitude et à la distance à la mer, son poids dans l'explication de la variance n'est donc pas évident à détermi-

ner. Cependant, il semble exister un seuil de température ( $11,5^{\circ}\text{C}$ ) en deçà duquel l'indice d'attaque reste faible (IA < 4/10).

- De la même manière, l'altitude (alt) est liée à d'autres variables (topographie, température, distance à la mer, altitude du masque, IKR) et il est difficile de déterminer son influence spécifique sur les attaques du pathogène. Au seuil de la température semble correspondre un seuil d'altitude ( $\approx 550$  m) au delà duquel les IA sont inférieurs à la note 4/10.

- La distance à la mer (dmer) apparaît bien corrélée à l'IA. Elle est considérée comme une variable climatique car elle intervient dans l'effet de continentalité mais c'est également une variable géographique car elle est très liée à la variable PRN.

- La fertilité globale (H70) des placettes est bien corrélée à l'IA. Plus elle est importante, plus l'attaque est lourde. Ce résultat est intéressant en production car il est facile de déterminer la fertilité d'une station à partir de la hauteur des arbres. Cependant il s'agit là d'une variable synthétique de nombreuses autres telles que : la pluie, l'humidité du sol et de l'air, l'ensoleillement, la quantité et la qualité des nutriments assimilables par les racines, etc... Cette variable est descriptive et ne pourrait être considérée comme explicative qu'après une étude approfondie.

- L'altitude du masque (amasq), la densité du peuplement (dens) et la profondeur du sol (prof) sont interdépendantes y compris des variables les plus explicatives. Leur rôle respectif est difficile à déterminer mais leur influence combinée est indéniable.

De nombreuses autres variables du milieu, telles que les microclimats existant sous les peuplements, celles relatives au sol ou celles relatives à la biologie des pins et du pathogène n'ont pas été relevées lors de l'étude et doivent avoir également leur rôle respectif ou combiné sur l'existence et le développement du champignon.

## Discussion

La maladie chancreuse est présente sur toute l'aire régionale du pin d'Alep mais son intensité est variable. Cette variation semble être partiellement expliquée par les variables prises en compte ici.

La plus explicative est la variable géographique (PNR) résultant sans doute de l'influence de l'ensemble des autres facteurs écologiques étudiés<sup>3</sup>.

Les attaques, plus virulentes dans le Haut-Var, semblent décroître dans toutes les directions sauf vers l'ouest de la région où les pins sont aussi très atteints.

Existerait-il deux foyers d'infections qui se répandent là où les conditions écologiques le permettent ? Dans certains départements comme dans les Alpes de Haute-Provence, la maladie n'a été observée que récemment. Il faudrait connaître l'âge et la localisation de la première infection par *Crumenulopsis sororia*, dans la région, pour connaître son évolution dans le temps et dans l'espace.

Une des hypothèses souvent avancée, à propos de l'IA est qu'elle serait favorisée par l'humidité et la chaleur, comme pour beaucoup de champignons. Or, d'après les résultats obtenus, il paraît évident que le Var, plus humide (896 mm/an) et plus chaud (en aval de l'isotherme  $12^{\circ}\text{C}$  d'après les données climatiques recueillies par M. PANINI, C.R.P.F., de 1961 à 1996) soit plus atteint par la maladie fongique du pin d'Alep que le reste de la région. Par contre, l'intensité des attaques du champignon dans le couloir rhodanien, asséché par le Mistral, contredit ces hypothèses. Le vent serait-il finalement favorable au développement de la maladie ou du moins, non limitant ? Ceci serait confirmé par les résultats concernant les plateaux qui présentent des pins très atteints et qui sont en général dans des positions topographiques ventées, ainsi que par l'importance des attaques le long de la vallée de la Durance également ventée.

Ainsi, le gradient d'humidité issu du climat n'est pas aussi lié au gradient d'attaque par le champignon qu'on aurait pu le penser. Il en est de même pour le gradient d'humidité du sol. En effet, le plateau est une position topographique où le bilan hydrique, moins favorable que celui des vallons et bas de pente, ne devrait pas autant favoriser la présence du champignon, or les plateaux présentent des pins d'Alep plus atteints par la maladie que les vallons.

Il est donc impératif de considérer ces résultats avec précaution du fait de :

- l'extrapolation des données moyennes annuelles à partir des stations météorologiques (pour les températures et pluies) ;

- le déséquilibre de l'échantillonnage initial notamment au niveau des positions topogra-

3 – NDLR Situation géographique : on ne peut pas s'empêcher de penser, à ce propos, à l'éventualité d'une synergie avec un facteur de sensibilisation plus insidieux, tel, par exemple, qu'une pollution atmosphérique, notamment par l'ozone, dont l'importance sur les résineux (et surtout le pin d'Alep), n'est plus à démontrer (voir les articles de L. Dalstein dans *Forêt Méditerranéenne* T.XVII n°2, avril 1996 et d'autres depuis).

phiques (pas assez de placettes en plaine, vallée, sommet et croupe et trop en mi-pente) ;

- la non exhaustivité des facteurs environnementaux étudiés, spécifiques à chaque placette et qui doivent avoir leur part d'explication dans la variance de l'intensité de l'attaque.

Les relevés qui ont été effectués pendant cette étude ont été, initialement, limités aux individus dominants ou codominants, afin d'écartier l'effet de la concurrence sur le dessèchement et la perte des aiguilles des arbres dominés et pour ne prendre en compte que l'influence du pathogène. Or, il s'est avéré, par la suite, que les individus dominés semblaient visuellement plus attaqués que les arbres sus-jacents. Cependant, cette supposition est à démontrer car il pourrait s'agir simplement d'un artefact dans la méthode d'observation. En effet, les pins de petite taille sont plus facilement observables, à l'œil nu, que les grands pins, même lorsqu'on utilise une longue-vue.

Des études similaires menées sur un autre hôte (*Pinus contorta* Dougl., Craig et Hayes, 1981) du pathogène *Crumenulopsis sororia* ont montré que le statut social des pins avait une influence sur leur degré d'atteinte : dans les zones les plus attaquées, il y a une plus grande proportion d'arbres codominants et dominés qui sont infectés.

Ainsi, une étude plus approfondie pourrait permettre de savoir si le champignon a une part de responsabilité dans la dégradation de la régénération de pins d'Alep sous couvert d'arbres adultes, peut-être plus résistants à la maladie.

giques des peuplements de pin d'Alep existants.

Cette étude a malgré tout permis de mettre en évidence certains éléments intéressants du déterminisme géographique et écologique des attaques de la maladie.

Ainsi on a constaté que la maladie était globalement présente sur toute l'aire du pin d'Alep en P.A.C.A. à des degrés d'intensité variables. Certains facteurs, tels que la position géographique, la topographie générale, l'ensoleillement, la pluviométrie paraissent clairement corrélés à la variabilité de l'intensité de la maladie. D'autres tels qu'une température inférieure à 11,5°C et une altitude supérieure à 550 m semblent être seulement limitants. D'autres encore semblent très peu corrélés avec la maladie (continentalité, densité du peuplement, profondeur du sol).

En réalité, toutes ces variables agissent en synergie mais ne sont pas les seules responsables de l'état sanitaire des pins. D'autres conditions, que nous n'avons pas mesurées ou que nous ne maîtrisons pas (nommées aléas), doivent y être ajoutées.

On a pu également mettre en évidence la corrélation positive entre l'intensité de l'attaque du champignon (c'est-à-dire le nombre de chancres, actifs ou non, sur l'arbre) et son impact sur la perte foliaire (Cf. Fig. 3).

Les résultats de cette étude doivent être considérés comme les prémisses à de futures recherches, plus poussées et plus exhaustives, sur la maladie chancreuse du pin d'Alep, notamment au sujet des questions restées en suspens : sur l'éventuelle influence du vent, sur l'extension des observations à l'ensemble de l'aire du pin d'Alep française et circum-méditerranéenne, l'influence de certaines conditions climatiques au moment de l'infection et au niveau des individus, l'évolution de la maladie au cours du temps sur les peuplements adultes et la régénération, la conséquence de la maladie sur la production de bois, l'influence des statuts sociaux, la génétique de *Pinus halepensis* et plus particulièrement les possibles résistances à différentes souches de *Crumenulopsis sororia*...

## Conclusion

L'ensemble des facteurs du milieu mesurés sur chacune des 91 placettes a une influence, plus ou moins importante, sur la présence des chancres et le niveau d'atteinte des pins d'Alep par la maladie chancreuse.

Malgré l'ampleur restreinte de l'échantillonnage, il a été possible d'appliquer des traitements statistiques rigoureux aux données mesurées, mais il faut rester prudent si l'on veut généraliser les conclusions. En effet, elles reposent sur un échantillonnage initial qui ne représente qu'une partie de la très grande variabilité des situations écolo-

Nathalie MARTINEZ  
Etude effectuée  
en 2002, dans le cadre  
d'un stage  
au Centre régional de  
la propriété forestière  
de Provence-Alpes-  
Côte d'Azur  
7 impasse Ricard-  
Digne 13004 Marseille

N.M.

## Bibliographie

- Craig M., et Hayes A. J. 1981. Distribution of *Crumenulopsis sororia* (Karst) Groves in relation to site and crop factors in some stands of Lodgepole pine of Alberta provenance. *Forestry*, vol. 54, n°1. p.75-88.
- Ennos R. A. et Swales K. W. 1991. Genetic variability and population structure in the canker pathogen *Crumenulopsis sororia*. *Mycol. Res* 95 (5). p. 521-525.
- Gaussin H. 1960. Les gymnospermes actuelles et fossiles (généralités, genre *Pinus*). *Fasc. VI*, chap. XI. p. 1-272.
- Hayes A. J. 1977. Incidence and importance of *Crumenula sororia* on Lodgepole pine - Distribution of infection in individual trees. *Eur. J. For. Path.* 7. P. 105-119.
- Hayes A. J. et al. 1981. The prediction of *Crumenulopsis sororia* (Karst.) Groves. Incidence on lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) using multiple reegression techniques. *Eur. J. For. Path.* 11. p. 396-411.
- LanierL. Joly P., Bondoux P., Bellemere A. 1978. Mycologie et pathologie forestières.
- Tome I, mycologie forestière. Ed. Masson. p. 241.
- LINNEA ambiente. Guide photographique élaboré par un groupe de travail d'experts méditerranéens.
- Mirault J. 1995. Importante attaque de la maladie du chancre des rameaux du pin d'Alep. *Les cahiers du DSF* 1-1996, La santé des forêts-1995. P.20-22.
- Morelet M. 1971. La maladie chancreuse du pin d'Alep. Inventaire des champignons associés aux chancres. *Bull. mens. Soc. Linn. Lyon*. p. 265-269.
- Quézel, P. 1985. Pins du groupe *halepensis* : écologie, végétation, écophysiologie. Séminaire sur le pin d'Alep et pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne, Tunis, 15-19 avril 1985.
- Quézel P. & Médail F. 2003. Que faut-il entendre par forêts méditerranéennes ? *Forêt Méditerranéenne*, tome XXIV n°1 pp. 11-31.

## Résumé

Des recherches sur le déterminisme géographique et écologique des attaques de *Crumenulopsis sororia*, agent de chancre sur pin d'Alep, ont été menées sur 91 placettes réparties sur l'aire de ce pin en région P.A.C.A.

La maladie chancreuse du pin d'Alep est répandue sur toute la région mais présente des variations dans son intensité. Une étude statistique a permis de définir l'influence de la situation géographique (maximum d'atteinte dans le Haut-Var et l'ouest du Vaucluse) et de nombreuses variables du milieu, notamment : la position topographique, l'ensoleillement, la pluviométrie pour les plus influentes ; la température et l'altitude apparaissent limitantes ; la distance à la mer, l'altitude du masque, la densité des peuplements sont les moins explicatives.

Ces variables n'expliquent pas l'intégralité de la variance de l'intensité des attaques du champignon. Des études supplémentaires permettraient d'affiner ces résultats, d'étendre la liste des facteurs influents, de connaître les modalités de l'évolution de la maladie à petite et grande échelles sur le long terme.

## **Summary**

---

Research into the critical geographic and ecological factors determining attacks of the Aleppo pine canker, *Crumenulopsis sororia*, in the Provence-Alpes-Côte d'Azur region (S.-E. France)

Research into the geographical and ecological determinism of the attacks of *Crumenulopsis sororia*, the agent of canker on *Pinus halepensis*, has been implemented on ninety-one sites scattered throughout the pine's growth area in the P.A.C.A. region.

The canker disease of *P. halepensis* is widespread in the region but displays variations in intensity. A statistical survey has enabled us to define the influence of the geographical situation (the maximum damage being found in Haut-Var and west Vaucluse) and of the many environmental factors, notably : the topographical position, Becker's luminosity index, rainfall being the most influential ; temperature and altitude seem to be limiting ; the distance from the sea, the height of the screening relief to the sea and the density of trees have the least effect.

These factors do not account for the whole variance of the intensity of the attack of the fungus. Further study would make it possible to improve those results, to extend the list of the causal factors and to know the ways the disease evolves, on both a small and large scales, over the long term.

## **Riassunto**

---

Ricerca del determinismo geografico e ecologico della malattia cancrosa del pino d'Aleppo  
Regione Provenza, Alpi, Costa Azzurra

Ricerche sul determinismo geografico e ecologico degli attacchi di *Crumenulopsis sororia*, agente di cancro su pino d'Aleppo, sono state condotte su 91 posti ripartiti sull'area di questo pino in regione P.A.C.A.

La malattia cancrosa del pino d'Aleppo è diffusa su tutta la regione ma presenta variazioni nella sua intensità. Uno studio statistico ha permesso di definire l'influenza della situazione geografica (massimo di danno nel Var alto e l'ovest Vaucluse) e di numerose variabili dell'ambiente, in particolare : la posizione topografica, soleggiamento, la pluviometria per quelle di maggiore influenza ; la temperatura e l'altitudine appariscono limitative ; la distanza del mare, l'altitudine dello schermo, la densità dei popolamenti sono le meno esplicative.

Questi variabili non spiegano l'interesse della varianza dell'intensità degli attacchi del fungo. Studi supplementari permetterebbero di affinare questi risultati, di allungare l'elenco dei fattori influenti, di conoscere le modalità dell'evoluzione della malattia a piccola e grande scala sul termine lungo.

## **Kurzfassung**

---

Die Studie über die geografische und ökologische Ursache des Befalles von *Crumenulopsis sororia*, Auslöser der Krankheit bei der Alep-Kiefer, wurde an 91 Standorten, verteilt über den gesamten Bereich dieser Kiefer in der Region P.A.C.A., durchgeführt.

Diese Pilzkrankheit bei der Alep-Kiefer ist in der gesamten Region verbreitet, allerdings mit Variationen, was die Intensität anbelangt. Eine statistische Studie hat gezeigt, dass der Einfluss der geografischen Lage bestimmt ist (Maximaler Befall im Haut-Var und im Westen des Départements Vaucluse) und dass zahlreiche ökologische Umweltfaktoren, insbesondere die topografische Lage, die Licht- und Sonneneinstrahlung (*indice lumineux de Becker*) und die Niederschlagsmengen zu den einflussreichsten gehören. Temperatur und Höhenlage üben nur einen begrenzten Einfluss aus. Was sich am wenigsten erklären lässt sind folgende Faktoren : die Entfernung zum Meer, die Abschirmung des Standortes zum Meer hin durch die Höhenzüge sowie die Dichte der Bepflanzung.

Diese Ursachen erklären allerdings nicht die unterschiedliche Intensität des Angriffs dieses Pilzes. Ergänzende Studien würden ermöglichen, genauere Ergebnisse zu erzielen, die Liste der Beeinflussenden Faktoren zu erweitern und Kenntnis über die Art und Weise der Entwicklung dieser Krankheit im kleinen und grossen Rahmen auf längere Sicht zu erhalten.