

La pollution soufrée limite-t-elle le développement de la maladie de l'écorce du hêtre ? (*Cryptococcus fagi*, *Nectria coccinea*)

N. DECOURT *, C. B. MALPHETTES **, R. PERRIN *** et D. CARON *

* Station de Recherches sur la Forêt et l'Environnement

** Station de Zoologie et de Biocoenotique Forestières
Centre de Recherches forestières d'Orléans, I.N.R.A.,
Ardon 54160 Olivet

*** Laboratoire de Pathologie Forestière
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.,
54280 Seichamps

Résumé

Des comptages d'arbres malades en zone plus ou moins polluée et en zone témoin montrent que la maladie de l'écorce du hêtre se développe d'autant moins que la pollution est plus forte. Le développement des deux agents de la maladie est perturbé. Le *Nectria* est nettement freiné. La répartition des pullulations de *Cryptococcus* est modifiée de façon plus complexe.

Différentes hypothèses sont suggérées pour expliquer ces faits. Leur vérification nécessite de nouvelles recherches.

Introduction

Le dépérissement du Hêtre est attribué à l'action conjuguée d'une cochenille (*Cryptococcus fagi*) et d'un champignon (*Nectria coccinea*). Cette maladie a fait l'objet de nombreuses études récentes, en raison de la menace qu'elle représente, surtout pour les hêtraies de l'Ouest de la France (Perrin, 1977, 1979 ; Malphettes, 1977 ; Malphettes et Perrin, 1974). On se reportera à ces travaux pour une bonne description de l'état actuel des connaissances en la matière.

Le présent travail a son origine dans une étude détaillée des effets de la pollution atmosphérique par le dioxyde de soufre et le fluor, sur le massif forestier de Roumare (Decourt, 1977 ; Aureau et Bedeneau, 1974). Lors des inventaires effectuées, il nous a semblé que d'une part la pullulation du *Cryptococcus* n'était pas liée à la pollution atmosphérique et que d'autre part le hêtre était presque indemne d'attaque de *Nectria* dans les zones les plus polluées de la forêt.

La bibliographie confirme par ailleurs qu'une certaine dose de dioxyde de soufre dans l'atmosphère empêche parfois le développement de champignons parasites des arbres forestiers. Heagle (1973) fait une bonne mise au point sur ces questions et cite

notamment le cas du pin Weymouth, souvent indemne de rouille dans les zones polluées par le dioxyde de soufre.

Dans le cas du pin sylvestre, Lanier (comm. pers.) signale une limitation analogue du *Lophodermium pinastri* dans les régions polluées en Pologne. Le traitement de cette maladie par la bouillie bordelaise avait du reste été envisagé il y a déjà longtemps (Bartet et Vuillemin, 1888).

Cette étude rapide propose une vérification plus systématique de nos premières impressions.

Méthodes

On s'est appuyé sur le réseau de points inventoriés en forêt de Roumare une première fois en 1973 et une seconde fois en 1977, à raison d'un point sur quatre (Decourt, 1977, 1978).

Quinze points de ce réseau ont été choisis *a priori*, sur carte, dans quatre zones de pollution croissante :

- Zone 1 : témoin réputé non pollué en forêt de Bord ;
- Zone 2 : zone peu polluée en forêt de Roumare ;
- Zone 3 : zone moyennement polluée en forêt de Roumare ;
- Zone 4 : zone polluée en forêt de Roumare.

Ces points étant, dans chaque zone, voisins les uns des autres, le parcours effectué entre les points constitue un transect d'environ 3 km, le long duquel l'observation d'arbres infectés par *Nectria* a permis de confirmer les observations faites en chaque point, mais n'a pas apporté d'éléments nouveaux.

En chacun des points d'observation, on a visité les cinq arbres les plus proches dans quatre quadrants correspondant aux quatre points cardinaux, soit vingt arbres par point, trois cents arbres par zone, mille deux cents arbres en tout. Chaque arbre examiné a reçu une note pour le *Nectria* et une pour le *Cryptococcus*. L'échelle de notation figure dans l'annexe 1.

Un prélèvement foliaire a été réalisé sur l'arbre le plus atteint par le champignon, ou en son absence, sur l'arbre le plus envahi par la cochenille. Une analyse foliaire effectuée dans les mêmes conditions que lors des inventaires précédents a permis de déterminer pour chaque prélèvement les concentrations en *fluor* et en *soufre total*.

En chaque point, d'autres données ont été recueillies caractérisant la station, le peuplement forestier, la présence de prédateurs de cochenilles, etc... ; nous ne les utiliserons pas dans ce court compte rendu.

Le recueil des données ci-dessus décrites a été fait dans la seconde quinzaine de juillet 1978.

Résultats

Les résultats des analyses chimiques se trouvent dans les tableaux 1 et 2. On y trouve ceux des inventaires de 1973 et de 1977, ainsi que ceux effectués en 1978 lors de cette étude.

Le tableau 3 donne les effectifs d'arbres visités par zone de pollution et par note de gravité d'attaque par le *Nectria*.

Le tableau 4 donne les effectifs d'arbres visités par zone de pollution et par note de pullulation du *Cryptococcus*.

1. — Comparaison des zones d'égale pollution choisies

Il faut tout d'abord se demander si nos zones d'égales pollutions sont réellement distinctes les unes des autres. Bien que l'établissement de ces zones s'appuie sur de nombreuses observations faites lors des inventaires de 1973 et de 1977 et notamment sur d'autres indicateurs que ceux retenus ici (lichens, anomalies foliaires, etc...), nous avons utilisé les données des tableaux 1 et 2 pour comparer les zones par analyse de variance.

Cas du dioxyde de soufre.

L'analyse des quatre séries de quinze mesures faites en 1978 montre qu'effectivement ces séries ne sont pas comparables globalement ($F = 9,14^{**}$), mais qu'il n'y a pas lieu de distinguer (1) de (2), ni (3) de (4).

L'analyse sur les trois séries mesurées en 1973 (3, 4 et 2) montre qu'à cette époque, ces trois séries étaient globalement distinctes ($F = 41,95^{***}$) et, de plus, que chacune d'elles pouvait être considérée comme distincte des deux autres. Les quelques données disponibles alors pour la zone 1 suggèrent par ailleurs de ne pas distinguer (1) de (2).

Les analyses de 1977, trop peu nombreuses pour une analyse statistique confirment surtout le caractère nettement plus pollué de la zone (4).

Sur les cinq dernières années, ces résultats conduisent à regrouper les zones (1) et (2) sous le terme « faiblement polluée » et à distinguer (3) comme moyennement polluée et (4) comme fortement polluée, ce que nous écrivons ainsi :

$$(1) = (2) < 3 < 4 .$$

Cas du fluor.

Pour le fluor, les résultats sont comparables.

En 1973 : (2) < (3) < (4) ($F = 18,03^{***}$)

En 1974 : (1) = (2) < (3) = (4) ($F = 18,47^{***}$).

Ce qui conduit, en tenant compte également des quelques mesures de 1977, à retenir les mêmes distinctions que pour de dioxyde de Soufre :

$$\begin{array}{ccccc} (1) = (2) & < & (3) & < & (4) \\ \text{faiblement ou} & & \text{moyennement} & & \text{très} \\ \text{non polluées} & & \text{polluée} & & \text{polluée} \end{array}$$

Ce classement, identique pour les deux polluants, est évidemment gênant dans la mesure où, si un effet est constaté sur la maladie, on ne saura pas le relier à la pollution fluorée ou à la pollution soufrée, ou éventuellement à l'action conjuguée des deux polluants.

TABLEAU 2

Concentrations foliaires en soufre *
Sulfur content of the leaves

Zones	Années	Concentrations (p. 100)															Moyennes	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	1973	2,15	1,00	1,40	1,65	1,70	2,35	1,67	2,75	1,60	2,05	2,10	1,60	2,30	2,35	1,25	1,90	1,97
	1977	2,73	2,73		2,37	1,65			2,69	2,62	2,62	1,36	1,77				2,10	2,16
	1978	2,14	2,31	2,39	2,03	2,11	2,73	1,75	1,75	2,55	2,29	2,07	1,97	2,52	1,82	2,31		2,18
2	1973	2,15	1,00	1,40	1,65	1,70	2,35	1,67	2,75	1,60	2,05	2,10	1,60	2,30	2,35	1,25	1,90	1,86
	1977	2,73	2,73		2,37	1,65			2,69	2,62	2,62	1,36	1,77					2,28
	1978	2,55	2,00	2,42	2,39	3,12	3,01	2,25	2,07	2,46	1,82	2,06	2,14	2,39	1,97	2,11		2,31
3	1973	2,90			2,70	2,50	2,30	2,20	2,70	3,00	3,45	3,47	2,10	2,90	2,80	3,20		2,78
	1977	1,95			2,09	3,39	3,20	1,50				2,60	2,33		1,82	1,43		2,25
	1978	2,78	2,71	2,69	2,60	2,73	2,38	2,56	2,84	2,86	2,50	3,40	2,59	2,70	2,89	2,39		2,70
4	1973	4,20	4,00	4,30	4,40	3,95	4,55	3,15	2,30	4,20	4,00	4,40	4,55	5,35	2,00	4,50		3,99
	1977				2,69				3,38		3,30			4,50	3,25			3,42
	1978	2,03	2,70	2,78	2,71	3,08	2,70	2,63	2,48	2,48	2,43	2,88	2,46	2,42	2,18	2,33		2,55

* Mesures effectuées en chacun des quinze points retenus pour chaque zone 1, 2, 3, 4 de 1973 à 1978.

TABLEAU 3

Répartition par zone et par note des arbres atteints par *Nectria* (cf. Barème de notation : annexe 1B)
 Zone and notation distribution of *Nectria*-affected trees. (See notation scale. Appendix 1B)

Nectria

Note	Zone				
	1	2	3	4	
0	281	276	292	296	1 145
1	1	8	2	2	13
2	0	1	0	0	1
3	9	3	3	0	15
4	7	8	3	2	20
5	2	4	0	0	6
	300	300	300	300	1 200

TABLEAU 4

Répartition par zone et par note des arbres colonisés par *Cryptococcus* (cf. Barème de notation : annexe 1A)
 Zone and notation distribution of *Cryptococcus*-colonized trees. (See notation scale. Appendix 1A)

Cryptococcus

Note	Zone				
	1	2	3	4	
0	17	12	20	8	57
1	64	36	100	48	248
2	60	75	81	66	282
3	76	114	66	110	366
4	68	58	32	67	225
5	15	5	1	1	22
	300	300	300	300	1 200

2. — Répartition du champignon

Le tableau 3 doit être lu, en regroupant les zones (1) et (2). La note zéro (0) correspond à l'absence de trace de *Nectria*. La note zéro pointé (0.) figurant dans le barème

(cf. annexe 1B) n'a pratiquement jamais été observée, non seulement sur les mille deux cents arbres visités, mais également le long des transects et lors de plusieurs reconnaissances effectuées à Roumare et à Bord. Ce fait est du reste commun à d'autres forêts de l'Ouest de la France. Si on s'en tient alors aux cinquante cinq arbres atteints, on constate qu'on a trouvé quarante trois arbres atteints à des degrés divers en zone (1) + (2), huit en zone (3), et quatre seulement en zone (4). Six cents arbres ayant été visités en zone (1) + (2) et trois cents dans chacune des deux autres, les cinquante cinq arbres atteints devraient se répartir théoriquement comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Zones	Effectifs	
	Observés	Théoriques
1 + 2	43	27,50
3.....	8	13,75
4.....	4	13,75
	55	55

$\chi^2 = 18,05$ (2 d.1) ***.

Les différences observées sont très significatives.

La considération du tableau 3 montre également qu'au moment des comptages, les stades (3) et (4) de la maladie étaient plus fréquemment observés que les autres.

On notera également que, compte tenu des répartitions marginales dont nous venons de parler, la répartition à l'intérieur du tableau peut être considérée comme aléatoire. En regroupant les stades 1 et 2 et 4 et 5 de la maladie pour avoir des effectifs théoriques suffisants, dans chaque case, on obtient le tableau suivant où les effectifs théoriques figurent entre parenthèses, à côté des effectifs observés.

<i>Nectria</i>	Zones			Total
	(1 + 2)	(3)	(4)	
(1 + 2)	10 (11,0)	2 (2,0)	2 (1,0)	14
(3)	12 (11,7)	3 (2,2)	0 (1,1)	15
(4 + 5)	21 (20,3)	3 (2,8)	2 (1,9)	26
	43	8	4	55

$\chi^2 = 2,53$ (4 d.1) N.S.

On constate finalement qu'à tous les stades, le *Nectria* est d'autant plus présent que la pollution est moins forte.

3. — Répartition de la cochenille

La même analyse faite sur les effectifs de *Cryptococcus* montre d'abord que 95 p. 100 des arbres observés sont plus ou moins colonisés par l'insecte, mais que cette colonisation est également répartie entre les zones de pollution croissante*.

Zones	Effectifs	
	Observés	Théoriques
1 + 2	571	571,50
3	280	285,75
4	292	285,75
	1 143	1 143

$\chi^2 = 0,25$ N.S.

Le tableau suivant, où les effectifs théoriques figurent entre parenthèses, à côté des effectifs observés, montre par contre que la répartition à l'intérieur du tableau n'est pas aléatoire. La répartition entre zones est très différente selon les niveaux de pullulation.

<i>Cryptococcus</i>	Zones			
	1 + 2	3	4	Total
0	29 (28,5)	20 (14,25)	8 (14,25)	57
1	100 (124)	100 (62)	48 (62)	248
2	135 (141)	81 (70,5)	66 (70,5)	282
3	190 (183)	66 (91,5)	110 (91,5)	366
4	126 (112,5)	32 (56,25)	67 (56,25)	225
5	20 (11)	1 (5,5)	1 (5,5)	22
Total	600	300	300	1 200

$\chi^2 = 78,24$ (10 d.l) ***.

Ce tableau est une image de la répartition des pullulations à l'époque des observations.

Discussion et conclusion

Une liaison nette existe entre la pollution atmosphérique et l'importance des attaques de *Nectria*. La pullulation du *Cryptococcus* prend également des intensités et des formes différentes selon le niveau de la pollution. D'une façon générale, plus la pollution est forte, moins la maladie est développée.

* Lors de l'inventaire de 1973, le *Cryptococcus* était beaucoup moins abondant qu'en 1978, et la pullulation était également indépendante de la pollution.

Cette liaison correspond-elle réellement à un effet de la pollution sur un ou sur les deux composants de la maladie ? Est-ce le Soufre et le Fluor, ou encore leur action conjuguée qui sont en cause ? Quels sont les mécanismes en cause ?

On peut imaginer plusieurs modes d'action des polluants tant sur la cochenille que sur le champignon, de façons directes ou indirectes :

- Baisse de fécondité de la cochenille sous l'influence directe de la pollution.
- Barrière chimique extérieure au tronc et limitant les possibilités d'infection, en agissant par exemple sur la production des spores ou sur leur germination et la pénétration du mycélium de *Nectria coccinea*.
- Modification de l'écorce, gênant l'insecte ou rendant celle-ci impropre au développement du champignon.
- Des effets indirects sont également possibles. On connaît l'influence de la pollution atmosphérique, notamment par le dioxyde de soufre sur la flore épiphytique. La modification de cette flore pourrait être plus ou moins favorable à l'installation des deux agents de la maladie. Par exemple, le développement de certains épiphytes pourrait maintenir une plus grande humidité du tronc et offrir ainsi de meilleures conditions à une germination des spores du champignon. Ainsi également, Houston (1976) a montré que la présence de *Dichaema rugosa*, champignon noir épiphyte, commun sur l'écorce du Hêtre, s'opposait à la colonisation de l'écorce par *Cryptococcus fagi*.

Caractériser la pollution, comme nous l'avons fait ici, par des analyses foliaires, donne bien une idée de la teneur moyenne de l'air en polluant, mais ne renseigne pas sur l'accumulation éventuelle de polluant au niveau de l'écorce.

La complexité des phénomènes en cause apparaît également lorsqu'on remarque que c'est justement le stade 5 de développement de la cochenille qui est limité par la pollution. Ce stade de forte pullulation est le plus favorable au champignon, d'une part en multipliant les portes d'entrée de la maladie, d'autre part en raison des perturbations physiologiques qu'il entraîne pour l'arbre (Perrin, 1979).

Ces éventuels effets bénéfiques peuvent être attribués, sur la base de nos observations, au soufre, au fluor, ou à l'action conjuguée de ces deux polluants. Le Soufre semble cependant spécialement en cause. Son action est connue sur d'autres champignons pathogènes et nous avons vu que l'action de la pollution atmosphérique par le dioxyde de Soufre sur certaines maladies des arbres est signalée dans la bibliographie.

On ne peut bien entendu répondre à ces diverses questions après une étude aussi sommaire. Des recherches complémentaires sont nécessaires, aussi bien sur le terrain qu'au laboratoire, en milieu plus contrôlé. L'intérêt de ces premières observations nous semble justement de suggérer une direction de recherche, qui pourrait éventuellement déboucher sur des méthodes de traitement ou de prévention, à base de composés soufrés par exemple.

En raison de la gravité actuelle des dépérissements de hêtraies, aucune piste ne doit être négligée. C'est pourquoi nous avons voulu, sans attendre, verser cette pièce au dossier.

Reçu pour publication en août 1979.

Summary

Does sulfur-pollution limit the development of beech bark disease ?

Observations of affected trees in more or less severely polluted areas and in a non-polluted control area have shown that the development of Beech barkdisease decreases with increasing pollution levels. The development of both disease agents is modified. *Nectria* development is clearly slowed down. The distribution of *Cryptococcus* outbreak is modified in a more complex manner.

Several hypotheses are suggested to explain these observations ; further research is necessary for their confirmation.

Références bibliographiques

- AUREAU F., BEDENEAU M., 1974. La pollution atmosphérique en forêt de Roumare. Essai de Cartographie de la Pollution à l'aide des Epiphytes. (R. F. F., XXVI, 5, pp. 353-360).
- BARTET S. et VUILLEMIN G., 1888. Recherches sur le rouge des feuilles de Pin sylvestre et sur le traitement à lui appliquer. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 106, 628.
- DECOURT N., 1977. Premier inventaire des effets de la pollution atmosphérique sur le massif forestier de Roumare. (R. F. F., XXIX, 6, pp. 435-447).
- DECOURT N., 1978. Etude du dépérissement des peuplements forestiers de l'agglomération rouennaise. Comparaison d'indices de pollution entre 1973 et 1977. (Doc. Station Forêt-Environnement 78/28).
- HEAGLE A. S., 1973. Interactions between air pollutants and plant parasites. (*Phytopathology*, 11, pp. 365-387).
- HOUSTON D. R., 1976. Protection against Beech scale, *C. fagi*, by *Dichaena rugosa*, a bark fungus of European and American Beech trees. (Proceedings of the american phytopathological society, vol. 3, 1976, p. 306).
- MALPHETTES C. B., 1977. *Cryptococcus fagi* et dépérissement du hêtre en forêt domaniale de Lyons (Ann. Sc. forest., vol. 34, n° 2, pp. 159-172).
- PERRIN R., MALPHETTES C. B., 1974. Le dépérissement du hêtre en France. (*Europ. Journ. of Forest Path.*, 4, vol. 4, pp. 249-251).
- PERRIN R., 1977. Le dépérissement du hêtre. (R. F. F., XXIX, 2, pp. 101-126).
- PERRIN R., 1979. Contribution à la connaissance de l'étiologie de la maladie de l'écorce du hêtre : I. Etat sanitaire des hêtraies françaises. Rôle de *Nectria coccinea*. (*Europ. Journ. of Forest Path.*, sous presse).

Annexe I

A. — *Cryptococcus fagi*

Echelle de notation.

0. Pas ou peu de points blancs (soit moins de quinze points blancs pour un carré de 20 cm de côté ou moins de quatre pour un carré de 10 cm de côté).

1. Quelques points blancs isolés (jusqu'à 0,5/cm²).

2. 0,5 à 5 points blancs au cm², isolés ou formant quelques fines petites lignes verticales.

3. A partir de 5 points blancs/cm² et jusqu'à l'apparition de petites masses floconneuses, ou bien nombreuses petites lignes verticales sur l'écorce.

4. Masses floconneuses nombreuses ou fissures garnies d'une quantité abondante de filaments cireux.

5. Plaque blanche continue à un endroit du tronc.

B. — *Nectria coccinea**Echelle de notation des suintements.**Suintement.*

Il n'indique la présence de *N. coccinea* dans les tissus de l'écorce du hêtre qu'en présence (concomitante ou antérieure) de *C. fagi*.

Il apparaît en mai-juin et parfois à l'automne.

Son ampleur peut être plus ou moins importante, elle varie du petit point au grand épanchement.

Ne pas confondre avec les suintements sur fissure et les suintements (secs) résultant d'attaques de scolytes souvent associés avec un trou de forage en leur centre. Sur l'arbre, lorsqu'ils sont en grand nombre, ils ont l'aspect d'une grêle de pomb.

Barème utilisé.

0. Plaque blanche cochenille devenant par place noirâtre.

1. Suintement réduit à un point.

2. Plusieurs suintements réduits à des points disséminés sur l'écorce (non rapprochés).

3. Plusieurs suintements par points très rapprochés ou un gros suintement.

4. Deux (ou plus) gros suintements.

5. Stade décollement d'écorce (stade ultime pour l'arbre).
