Cryptococcus fagi (Bärspr.) et dépérissement du hêtre en forêt domaniale de Lyons (départements de l'Eure et de Seine-Maritime (France)

C. B. MALPHETTES

Station de Zoologie forestière, I.N.R.A. Ardon, 45160 Olivet

Résumé

L'auteur décrit le dépérissement du hêtre constaté dans cette forêt depuis 1970. Ce dépérissement revêt les mêmes aspects que ceux déjà décrits dans la littérature. Les attaques de la Cochenille *Cryptococcus fagi* (Bärspr.) sont notées à l'aide d'un barème de notation simple. Il apparaît ainsi que la face est des troncs est la plus attaquée. L'attaque de la Cochenille est homogène dans tout le peuplement. Un inventaire statistique montre qu'il n'y a pas de parties du peuplement plus attaquées que d'autres. Pour l'auteur, la pullulation de la Cochenille pourrait être la conséquence de la sécheresse pendant les mois de septembre et d'octobre. Si les pluies sont insuffisantes pendant ces mois, les larves capables de se déplacer, ne sont pas tuées par le ruissellement de l'eau le long du tronc.

I. — Généralités

C'est vers 1970 que l'Office National des Forêts a été sérieusement alarmé par le nombre des arbres exploités, ou en cours de dépérissement, dans plusieurs forêts de hêtres de Haute-Normandie. Ces forêts sont constituées de peuplement pratiquement purs de *Fagus silvatica* L. La croissance de cette essence y est bonne, bien que l'on puisse y remarquer une densité assez élevée d'où un faible volume des houppiers. Les forêts domaniales d'Eawy (Seine-Maritime) et de Lyons (Eure) surtout étaient alors fortement touchées. Antérieurement, les massifs de hêtre entourant la ville de Rouen avaient aussi été atteints par cette mortalité ; depuis quelques années la situation s'y était considérablement améliorée, pour tendre à nouveau vers la normale. Depuis nous avons également constaté ce dépérissement dans certains massifs de hêtres situés au Nord-Est de Paris, comme la forêt de Villers-Cotterêts (Aisne). Toutefois les dégâts ne paraissent pas y revêtir, tout au moins pour l'instant, l'importance constatée dans les forêts de Haute-Normandie.

Ce phénomène par son ampleur, gêne considérablement le gestionnaire, car la conduite normale de la sylviculture se trouve compromise. L'élimination des sujets en cours de dépérissement, ou morts, dépasse souvent la « possibilité » annuelle de la forêt concernée. S'ajoute un travail technique considérable de recherche, de marquage, de surveillance de l'abattage et de mise en vente. La mortalité frappant

au hasard les arbres, semble-t-il, c'est en fait tout le massif qui doit être « passé au crible », au moins 2 fois dans l'année, car le bois semblant se dégrader encore plus vite que celui de grumes de hêtres sains, de trop longs délais risquent de lui retirer toute valeur marchande.

Le dépérissement revêt, en Haute-Normandie, plusieurs aspects. Certains sujets paraissant normaux au cours de l'hiver, ne débourent pas au printemps ou meurent en cours de débourrement. D'autres, bien que dotés d'un feuillage normal, portent sur le fût des tâches noires ou brunes d'où s'écoule un liquide brun-noir. Enfin certains individus présentent des décollements d'écorce, avec un feuillage d'aspect correct. Ces 2 derniers types de sujets meurent, soit au cours de la saison de végétation, soit l'année suivante. Quoiqu'il en soit, l'examen du fût des arbres abattus, parce que morts du dépérissement, montre toujours que l'écorce est nécrosée sur une plus ou moins grande surface. Cette nécrose peut soit intéresser tout le pourtour du tronc, soit se présenter sous forme de plusieurs plaques non jointives. L'arbre meurt un peu à n'importe quel moment de l'année, faute de circulation de sève : les tissus conducteurs sont morts.

Par ailleurs, il se produit des bris de tronc par vent fort, ce qui n'est pas rare la mer n'étant pas éloignée. La cassure, qui se situe à une dizaine de mètres du sol, n'est pas due à une zone de moindre résistance, induite en cet endroit par les agents du dépérissement. L'arbre casse au point où les forces antagonistes exercées par le vent dans la couronne d'une part, et par la résistance à cette poussée due à l'ancrage des racines dans le sol d'autre part, sont égales mais dirigées en sens inverse. C'est un phénomène purement mécanique.

Cette manifestation morbide a été constatée à plusieurs époques dans différents pays. Schindler (1951) rapporte que, dès 1909, en Allemagne, on mentionne des hêtres qui périssent de cette façon, la date de 1880 étant apparemment la plus ancienne. Une forte attaque en Basse-Saxe a été le point de départ, en 1914, d'une étude volumineuse de Rhumbler (1931). Au Danemark, Thomsen *et al.* (1949) ont étudié un dépérissement qui s'est étendu de 1939 à 1943. Ces symptômes sont aussi relevés en Angleterre, en Suisse, en Pologne (*in* Schindler, 1951).

Il en est de même en Amérique du Nord, depuis la fin du siècle dernier : Ehrlich (1934) le premier, dans une longue étude met en cause l'introduction d'un champignon, *Nectria coccinea* (Pers.) sous l'écorce. La succession dans le temps, d'une attaque de la Cochenille (*Cryptococcus fagi* Bärsp.), puis d'une attaque du champignon est selon lui nécessaire. Ce dernier aurait besoin des blessures faites par la Cochenille pour pénétrer et se développer dans le tissu vasculaire. Bien que ce processus n'ait pas été effectivement démontré toutes ses observations, dont la majorité semble très pertinentes, le conduisent à émettre cette conclusion.

Ce dépérissement est donc connu depuis longtemps, et, si peu de conclusions pratiques ont pu être apportées jusqu'à présent, c'est que finalement, après des ravages qui sont souvent très importants, le phénomène disparaît spontanément au bout de quelques années.

Nos études ont été conduites dans le massif forestier de Lyons, à 30 kilomètres à l'est de Rouen. C'est un très vieux massif, où le hêtre représente 70 p. 100 des peuplements. La sylviculture y est, depuis 1856, conduite en fonction de cette essence, les autres espèces n'apparaissant que dans des zones ne lui convenant pas. Il présente la particularité d'être très morcelé : pour 10 600 hectares, le périmètre total

est de 326 kilomètres. De ce fait, un point quelconque au cœur de la forêt n'est jamais très loin, à vol d'oiseau, des terres cultivées. Le climat n'y est typiquement forestier qu'en peu d'endroits, et la pénétration du vent y est relativement bonne. Le vent dominant est de Sud-Ouest 240 jours par an. La moyenne annuelle des pluies, d'ailleurs régulièrement réparties dans l'année, est de 675 millimètres.

Ces études concernent essentiellement la répartition de *Cryptococcus fagi*, au niveau de l'arbre d'une part, à celui du peuplement et du massif d'autre part. Elles ont été assorties d'observations sur le cycle de l'insecte et sur la mortalité des arbres.

II. — Biologie et données éthologiques sur *Cryptococcus fagi* en Haute-Normandie

2.1. — Le cycle biologique

La femelle pond aux mois de juin et juillet, et meurt. Les œufs sont déposés à côté d'elle, dans un amas de fils cireux qui la recouvrent complètement. Ils sont couleur jaune orangé, et de forme ellipsoïdale. Le revêtement cireux les protège contre les intempéries et en particulier, contre la pluie, mais aussi contre les prédateurs. Ces derniers sont capables d'une recherche active de leurs proies, mais l'amas de filaments cireux constitue une gêne. L'éclosion a lieu en septembre et octobre, et les larves pourvues de pattes, seul stade mobile de la Cochenille, sont très actives et se déplacent à la surface de l'écorce, à la recherche d'un emplacement propice à leur alimentation. Elles se fixent alors à cet endroit définitivement, et tout le reste du cycle de développement s'y déroulera.

La phase de dissémination de *Cryptococcus fagi* est celle de larve mobile. Le vent doit être l'agent principal du transport des larves de la Cochenille d'un arbre à l'autre.

La jeune larve fixée perd l'usage de ses pattes et commence à sécréter des filaments de cire, au moyen des glandes de la partie postérieure de l'abdomen, phénomène fréquent pour ce groupe. Ces filaments recouvrent peu à peu tout le corps de l'insecte et le dissimulent complètement à la vue. L'hiver se passe dans ces conditions et la larve n'effectue sa mue suivante qu'au mois d'avril. Elle donne alors naissance à une larve plus grosse, apode, qui elle-même se transformera, toujours sur place, en une femelle en mai ou en juin. Cette dernière donnera alors naissance à une nouvelle génération avant de mourir. La reproduction est en effet parthénogénétique.

Ces observations sont conformes à celles de nos prédécesseurs, principalement Rhumbler (1914, 1922) et Ehrlich (1934). En forêt de Lyons, la biologie de l'insecte est identique à la description qu'en ont faite ces auteurs. La date d'éclosion des jeunes larves, celle de la mort des femelles, et celle à laquelle les jeunes cochenilles cessent de se déplacer, varient d'une année à l'autre ; les différents auteurs indiquent aussi des dates différentes entre elles.

2.2. — Particularités éthologiques

Nous avons observé en forêt de Lyons que les Cochenilles se fixaient préférentiellement de long de sorte de « lignes lisses », dépourvues semble-t-il de liège, de lichens et d'algues et que nous appelons « microfissures » bien qu'elles paraissent

sans rapport avec les fissures du rhytidome que l'on observe à l'œil nu. Ces sites de fixations linéaires ne sont visibles que sous loupe binoculaire où ils apparaissent de couleur orangé.

La présence de l'insecte se traduit par des points blancs à la surface de l'écorce, formés par les filaments cireux. Au fur et à mesure que le nombre des insectes augmente sur un arbre, la densité des points blancs augmente elle aussi. Tout d'abord, il y a tendance à la formation de lignes blanches plus ou moins verticales. Elles sont l'aboutissement de la coalescence des points blancs le long des « lignes » dont nous avons parlé au paragraphe précédent. L'apparition de plaques blanches a lieu quand la densité des points le long de ces lignes est telle, qu'ils se touchent d'une ligne à l'autre.

Enfin, comme Ehrlich (1934) et d'autres auteurs, nous avons pu constater, que, sur des hêtres greffés (hêtres pourpres ou pleureurs), si le greffon est attaqué, le porte-greffe ne l'est pas ou vice-versa. La structure de l'écorce pourrait donc jouer un rôle dans la sensibilité à l'attaque de l'insecte : ce qui peut être rapproché du fait que certains arbres, même dans un peuplement très attaqué, ne portent pas de Cochenilles depuis plusieurs années. Kunkel (1968) affirme, quant à lui, que certains hêtres sont capables de réactions de défense sous la forme d'une nécrose avec, en-dessous, formation d'une assise subero-phellodermique secondaire dont le fonctionnement aboutit à rejeter la nécrose vers l'extérieur et à la cicatrisation et que d'autre part, la fécondité serait plus élevée sur les arbres très infestés. Certains sujets conviendraient donc mieux au développement de la Cochenille.

2.3. — Répartition de l'implantation de *Cryptococcus fagi* sur les arbres

2.3.1. Méthode et dispositif d'étude.

Les observations ont été effectuées sur 3 placettes, de 4 hectares, délimitées en forêt de Lyons, dénommées « Clos-Saint-Antoine », « Les Calouettes » et « Val-aux-Dames ». Sur chacune d'elles, un certain nombre d'arbres (respectivement 40, 30 et 45) ont été appareillés de façon à permettre une appréciation de la répartition de l'implantation de la Cochenille selon la hauteur et selon l'orientation et en vérifier l'homogénéité. Pour ce faire, des carrés de 20 centimètres de côté ont été délimités sur le tronc à l'aide de punaises, selon 4 directions (Nord, Ouest, Sud et Est) et tous les 50 centimètres, entre 1 et 4 mètres de hauteur. Nous nous sommes limités à cette hauteur bien que les fûts puissent s'élever jusqu'à 10 ou 15 mètres sans départ de grosses branches, car c'était la limite supérieure accessible à l'aide d'une échelle assez aisément portable. En dessous de 1 mètre, le tronc n'est pas cylindrique du fait de l'épaulement au point de départ des racines. Cette morphologie pouvait gêner les comparaisons entre les différentes directions.

Afin de comparer la densité des Cochenilles, ou plus exactement celle des amas blancs, nous avons, nous fondant sur les caractéristiques évoquées plus haut établi une échelle de notation de 0 à 5, dont les degrés sont les suivants :

0 = Pas ou peu de points blancs (soit moins de 15 points blancs pour un carré de 20 centimètres de côté, ou moins de 4 pour un carré de 10 centimètres de côté).

1 = Quelques points blancs isolés (jusqu'à 0,5 par centimètre carré).

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

3 = A partir de 5 points blancs par centimètre carré 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.

La notation a lieu en avril.

Rhumblér (1931) avait lui aussi développé un système de notation.

Son échelle, à 11 notes (dont certaines même subdivisées) est cependant peu adaptée à notre propos et d'utilisation peu aisée par des personnels non entraînés. Si en effet, elle rend très bien compte des différents aspects de la répartition des points blancs sur l'écorce, elle est peu utilisable à l'examen des progrès de la colonisation des troncs, laquelle, d'après nos observations, ne passe pas nécessairement par tous les aspects que définissent les notes. Notre système semble se prêter mieux à une étude dynamique, chaque note représentant un degré de colonisation, nécessairement précédé par tous les degrés symbolisés par les notes inférieures. La note 5 demeure toutefois rarement observée, soit que, souvent, les arbres meurent avant, soit encore parce que les caractères de l'écorce ne permettent pas une colonisation de cette nature, en plaques continues plus ou moins larges. Notre échelle présente de plus l'avantage de pouvoir être rapidement assimilée et les classes qu'elle représente sont, dans la pratique, bien distinctes, de sorte qu'un changement d'observateur n'entraîne aucun biais important : nous avons vérifié sur le terrain que plusieurs personnes, agissant chacune isolément, donnaient la même note à chacun des arbres examinés. L'expérience a d'autre part montré que cette échelle suffisait à rendre compte de l'évolution de l'intensité des revêtements cireux au fil des années.

2.3.2. Résultats des notations sur les carrés.

Nous avons tout d'abord cherché à mettre en évidence une éventuelle différence entre les parcelles étudiées. La base des calculs est constituée, non pas par la note de chaque carré, mais par la somme des notes des 28 carrés de chaque arbre. Cette somme constitue la note conférée à chaque arbre, d'où l'on tire une moyenne par placette. Ces moyennes sont les suivantes :

Val-aux-Dames (45 arbres) : 17,3

Callouettes (30 arbres) : 19,0

Clos-Saint-Antoine (40 arbres) : 21,8.

L'analyse de variance sur ces sommes pour les 3 placettes donne les résultats suivants :

Source de variation	Entre placettes	Dans les placettes
Somme des carrés des écarts...	426,89	35 395,71
Degrés de liberté.....	2	112
Variance	213,44	316,03
Valeur du F		0,67

Le « F » de Snedecor théorique au seuil de 5 p. 100 est de 3,07. Cette valeur est nettement supérieure au « F » calculé qui est de 0,67. Il n'y a donc pas de différence significative entre les 3 parcelles.

Ce point acquis nous avons examiné l'homogénéité des notations en fonction, soit de la hauteur, soit de la direction en vérifiant au passage s'il y avait interaction entre ces 2 sources de variations. Les moyennes par arbre ne faisaient pas apparaître de différence significative entre les placettes, cette étude a été conduite en une seule fois sur l'ensemble des carrés notés de 0 à 5 soit 3 220. Les résultats de cette analyse figurent sur le tableau suivant :

Source de variation	Somme des carrés des écarts	d.d.l. (Degré de liberté)	Variance	F calculé
Entre exposition.....	25,93	3	8,64	14,16
Entre hauteur.....	31,97	6	5,32	8,72
Par interaction.....	7,93	18	0,44	0,72
Résiduelle	1 959,85	3 192	0,61	

Il n'apparaît pas d'interaction entre l'effet hauteur et l'effet exposition. Par conséquent, toutes hauteurs confondues, l'exposition exerce une forte influence : certaines expositions ont une population plus importante que d'autres. D'autre part toutes expositions confondues, la hauteur à laquelle est située le carré noté joue un rôle sur la densité de la population de *Cryptococcus fagi*. Sur l'ensemble des arbres étudiés on a la note moyenne suivante :

1 m : 1,97	3 m : 3,03
1,5 m : 2,45	3,5 m : 3,18
2 m : 2,65	4 m : 3,09
2,5 m : 2,94	

On constate donc que plus on s'élève, plus la note, plus la densité de la population est forte. Cependant, au-delà de 2,5 mètres, la note n'évolue guère.

L'exposition jouant un rôle dans l'importance de la population, il était intéressant de voir la place respective de chaque exposition par rapport aux autres. Le tableau suivant donne les résultats d'une telle analyse. Les moyennes calculées à partir des notes de chacune des faces sont les suivantes : Est : 5,89 ; Nord : 4,62 ; Sud : 4,57 ; Ouest : 4,23 (ces valeurs sont le résultat de la somme des notes des carrés implantés sur une même face de l'arbre).

Comparaison entre	Somme des carrés des écarts	d.d.l. (Degré de liberté)	Variance	F calculé
E et N + O + S.....	24,44	1	24,44	40,06
O et N + S.....	1,46	1	1,46	2,39
N et S.....	0,022	1	0,022	0,04
O et N + S + E.....	7,77	1	7,77	12,73
E et N + S.....	18,14	1	18,14	29,74
Résiduelle	1 959,85	3 192	0,61	

L'examen de ce tableau montre tout d'abord que la moyenne des notes du secteur exposé au Nord et la moyenne des notes du secteur exposé au Sud ne diffèrent absolument pas l'une de l'autre. La comparaison de la valeur de « F » calculé et de celle de « F » théorique à 5 p. 100 (qui est de 3,85) indique que la moyenne des notes sur le secteur Ouest, et celle des notes sur le secteur Est sont chacune significativement différentes de celle des notes des 3 autres directions. Par contre, la moyenne des notes du secteur Ouest ne diffère pas significativement de la moyenne des notes des secteurs Nord et Sud. Par ailleurs, la même analyse pour le secteur Est montre que cette fois la moyenne diffère significativement. Il apparaît donc que la face exposée à l'Est porte une population bien plus forte que celle présente au Nord et au Sud : la population du secteur Ouest étant sans doute plus faible que celle présente au Nord ou au Sud. Sur ce point cependant la différence est beaucoup moins significative.

III. — Le dépérissement du hêtre à Lyons

3.1. — Situation sur les placettes d'observation

Dans les 3 placettes déjà indiquées ci-dessus, tous les arbres avaient été numérotés, afin d'examiner l'évolution du dépérissement. Deux critères ont été pris en considération : l'évolution des notes et celle de la mortalité.

Callouettes.

Evolution des notes

1972	0	1	2	3	4	5	Total pour 1973
1973							
0	52	121	57	11			241
1		4	13	16	1		34
2	1		6	13	2		22
3				10	6		16
4				4	2		6
5				1	4		5
Total pour 1972	53	125	76	55	15		324

3.1.1. Evolution des notes.

A la fin de l'hiver 1971-1972, et à la fin de l'hiver 1972-1973, un observateur a attribué à chaque arbre de chacune des 3 parcelles, une note globale fondée sur la même échelle que celle utilisée pour la notation des carrés. Mille quatre cents arbres ont ainsi reçu une note et il est apparu une évolution d'une année sur l'autre, dans le sens de la diminution de la note : ceci traduit une diminution de l'importance de l'attaque de la Cochenille. Nous matérialisons cette diminution sous la forme des tableaux ci-après, où figurent les notes de 1972 et 1973 (tabl. * pages 165 à 167).

3.1.2. Evolution de la mortalité.

Les observations étant effectuées au début de l'automne il ne nous a pas été possible de situer dans le cours de la saison de végétation, l'époque exacte de la mort des sujets. Le tableau suivant donne pour chaque placette le nombre d'arbres morts chaque années. Toutefois, pour les placettes du Val-aux-Dames et du Clos-Saint-Antoine, les chiffres de 1972 représentent le nombre d'arbres morts non seulement en

Clos-Saint-Antoine.

Evolution des notes

1972	0	1	2	3	4	5	Total pour 1973
1973							
0	51	167	39	6			263
1	1	9	20	14			44
2		1	11	17	1		30
3			9	14			23
4				3	1		4
5							0
Total pour 1972	52	177	79	54	2	0	364

* Ces tableaux se lisent comme suit :

Exemple : Callouettes

— 52 arbres ont eu la même note 0 en 72 et en 73.

— 121 arbres qui ont eu la note 1 en 72 ont eu la note 0 en 73, etc...

Val-aux-Dames.

Evolution des notes

1972	0	1	2	3	4	5	Total pour 1973
1973							
0	116	283	241	24	1		665
1		5	38	12			55
2			32	12			44
3				7			7
4					1		1
5							
Total pour 1972	116	288	311	55	2		772

1972, début de nos observations, mais aussi précédemment ; en revanche, pour les Calouettes, où venait d'être faite une coupe sanitaire, le chiffre ne représente que les arbres effectivement morts en 1972.

	Effectif total sur pied en 1972	Nombre d'arbres morts observés				
		1972	1973	1974	1975	Total
Clos Saint-Antoine...	366	29	1	9	12	51
Calouettes	332	11	2	4	8	25
Val-au-Dames	776	78	3	11	12	104
Totaux	1 474	118	6	24	32	180

Malgré donc cette hétérogénéité dans les bases de l'observation, on n'en constate pas moins qu'en 1975, 3 ans après le début des observations, plus de 15 p. 100 de l'effectif total initial ont été détruits, ce qui provoque de grandes trouées dans le peuplement.

En 1975, encore, la mortalité se trouve relativement forte. Or même si les notations n'ont pas été poursuivies en détail, les observations faites tant par nous-mêmes que par le personnel forestier local, ont établi qu'il y avait eu une très nette diminu-

tion des populations de la Cochenille entre 1972 et 1975. (Ces attaques ont d'ailleurs tendance à nouveau, à progresser à la fin de 1975.) La mort peut donc se trouver assez sensiblement différée par rapport au maximum des infestations de la Cochenille.

Il est par ailleurs intéressant d'examiner les notes données au printemps 1972 aux arbres morts depuis. Le tableau ci-après donne l'effectif de ces arbres par note, lors de cette première notation. (Pour la raison indiquée ci-dessus, nous excluons, de ce tableau, en ce qui concerne les placettes Clos-Saint-Antoine et Val-aux-Dames, les arbres observés morts en 1972.)

Placette	Note					
	0	1	2	3	4	5
Clos Saint-Antoine.....	2	7	2	11		
Callouettes	3	3	2	12	4	1
Val-aux-Dames	1	6	13	6		

Une majorité des arbres morts depuis avaient reçu en 1^{re} notation, la note 3 ou plus. Mais il ne semble pas y avoir de rapport strict entre la mort et la note d'infestation délivrée auparavant, réserve étant faite toutefois que nous ne connaissons pas, avant 1972, les antécédents complets des arbres morts en dépit d'une infestation faible, et dont un certain nombre pourraient avoir été, avant notre 1^{re} notation, justifiablés d'une note plus élevée.

L'effectif total des arbres appelés à mourir semble cependant en rapport avec celui des arbres infestés, une année, au degré 3 ou supérieur. Ainsi, sur l'ensemble des placettes 40 à 42 p. 100 environ des arbres notés 3 en 1972 sont actuellement morts. Il semble possible d'appliquer ces observations à une certaine prévision de l'effectif des arbres appelés à mourir.

3.2. — Etude de l'infestation à l'échelle du massif

En même temps que les observations précédentes, nous avons cherché à examiner ce qui se passait dans le massif de Lyons considéré dans son ensemble.

Dans le but de nous rendre compte si l'attaque présentait des variations d'intensité selon les zones ou les âges, un tiers du massif fut inventorié.

Nous nous sommes limité aux parcelles âgées de 90 à 180 ans. Les parcelles plus jeunes se trouvent, elles aussi attaquées, mais leur densité élevée interdit un inventaire rapide. Elles sont d'autre part soumises à des éclaircies dont l'un des effets sera sanitaire.

Cet inventaire s'appuyait sur des points d'observation répartis selon un maillage de 200 mètres sur 400 mètres, technique déjà utilisée par Eurlich (1934) pour une étude analogue, au Canada.

Quatorze arbres en moyenne par point d'inventaire sont notés, selon l'échelle indiquée plus haut.

L'analyse des résultats laisse apparaître une grande homogénéité du niveau de l'infestation et de la proportion d'arbres infestés sur l'ensemble du massif. En particulier, l'une de nos placettes d'observation se trouvant comprise dans le périmètre

inventorié, nous constatons que le niveau de l'infestation y est identique à ce qu'il est dans l'ensemble du massif. Cette homogénéité apparaît, même si l'on resserre le maillage, à 100 mètres sur 100 mètres. Toutefois, ce maillage plus fin permet, dans une certaine mesure de déceler une répartition en « tâches » de l'infestation dans les parcelles.

Seules les parcelles âgées de 150 à 180 ans, qui sont en voie de régénération, semblent moins attaquées. L'explication en réside probablement dans le fait que la mise en régénération implique l'élimination d'un certain nombre d'arbres et que, naturellement, les arbres attaqués sont éliminés de préférence.

Peut-être aussi, comme le pense Schindler (communication personnelle), la simple ouverture du peuplement suffit-elle à amener une diminution de l'intensité des attaques.

Les résultats de cet inventaire sont comparables à ceux d'Ehrlich, lequel n'observe pas non plus de différence à l'intérieur d'un même massif. Les différences qu'il a pu mettre en évidence apparaissaient entre des massifs situés dans des régions différentes. Nos propres observations nous ont aussi montré que les massifs de hêtres n'étaient tous pas attaqués au même degré. La forêt de Cerisy (Calvados) par exemple, ne l'est absolument pas, alors que, comme Lyons, c'est une hêtraie pratiquement pure.

Dans les hêtraies du Nord de la région parisienne, qui n'étaient que très peu attaquées en 1972, on note depuis peu une progression des symptômes de dépérissement. De là à dire qu'il y a un déplacement de l'Ouest vers l'Est, de ce phénomène, il y a un pas qui ne peut dans l'état actuel de nos connaissances, être franchi, même si, d'autre part on sait que la forêt de Brotonne, située à une cinquantaine de kilomètres, à l'ouest de Lyons est infiniment moins attaquée qu'elle ne l'était il y a une dizaine d'année.

Conclusions discussion et perspectives

Le dépérissement du Hêtre en Haute-Normandie ne diffère en rien des phénomènes semblables déjà écrits en Europe et en Amérique du Nord.

Le fait que les populations de *Cryptococcus fagi* soient statistiquement plus importantes sur le secteur Est des troncs, à Lyons du moins, paraît particulièrement intéressant.

Il nous semble en effet très plausible que l'eau des précipitations, tant celle qui frappe le tronc de plein fouet que l'eau de ruissellement le long du fût après interception par le houppier, puisse par effet de « lavage » ou de « noyade » jouer un rôle antagoniste vis-à-vis de la Cochenille, principalement aux mois de septembre à novembre, lorsque, à l'état de jeune larve, elle n'est pas encore protégée par le revêtement cireux.

Or, d'une part, à Lyons, les pluies sont de secteur Ouest et le secteur Est se trouve donc relativement protégé de l'impact direct des pluies. D'autre part, Aussenac (1975) a montré que l'écoulement le long du tronc, de l'eau interceptée par le houppier pouvait être très important (15 p. 100 des précipitations incidentes, par exemple, soit 3 500 litres par an pour des hêtres dans l'Est de la France). Ce ruissellement est fonction de la surface de la cime. Or les houppiers des arbres sont, en forêt de Lyons, de superficie réduite, probablement par suite de la forte densité de tiges maintenues. Les précipitations sont généralement durables, mais fines, et l'écoulement de l'eau

interceptée par la couronne est peut-être insuffisant dans nombre de cas pour former un film liquide très continu sur le tronc.

Schindler (1951, 1962) et Schwerdtfeger (1961) attribuent l'augmentation considérable des populations de Cochenilles à 2 étés secs, celui de 1947 et celui de 1958, en Allemagne, qui provoquèrent dans les années ultérieures un fort développement du dépérissement. Si on se réfère aux graphiques des précipitations de l'année 1958 on constate que si effectivement, l'été a été fort sec, le déficit en eau est particulièrement prononcé en Septembre, octobre et novembre.

Il est délicat de tenter d'établir une relation semblable dans le cas de la forêt de Lyons, car nous n'avons eu connaissance du Dépérissement qu'en 1970 et 1971. La pullulation de *Cryptococcus fagi* s'était développée antérieurement et nous ignorons la date du début de ce phénomène. Mais tous les forestiers consultés affirment que des étés particulièrement secs ont eu lieu avant l'installation du dépérissement.

Nous pouvons donc être fondé à supposer que nous sommes en présence de relations semblables à celles établies en Allemagne pour 1947 et 1958. Cependant, et contrairement aux 2 auteurs allemands, nous ne pensons pas que l'effet d'un déficit en eau s'exerce par le seul biais d'une déficience physiologique des arbres et une moindre résistance de ceux-ci, mais aussi par celui de l'absence du simple effet « mécanique » que peut avoir un film d'eau de ruissellement sur le tronc, ce qui favorise la survie et l'installation de populations plus nombreuses. Une vérification de cette hypothèse est à entreprendre. Sa confirmation pourrait être de nature à infléchir certaines pratiques sylvicoles.

Le fait par ailleurs que la densité des fixations de Cochenilles soit plus importante à 4 mètres qu'à 1 mètre de la base, trouve peut être son explication dans les variations d'épaisseur de l'écorce. Kunkel (1968) remarque en effet que la survie de l'Insecte est tributaire des possibilités d'implantation de son rostre en des zones où il peut atteindre des tissus vivants, et par là de l'épaisseur de l'écorce. Or les hêtres que nous avons étudiés ont un empattement important à la base, du fait du départ des racines principales, d'où une écorce plus subérifiée et plus épaisse. Le phénomène est encore sensible à 1 mètre du sol et le tronc n'est pas encore absolument régulier. Il ne le devient guère qu'au-delà des 2 premiers mètres et ceci correspond précisément à la limite au-delà de laquelle la densité de population fixée n'augmente plus avec la hauteur.

Le phénomène intervient probablement aussi dans le fait que certains arbres demeurent absolument non attaqués, cas par exemple des hêtres de l'étage dominant des taillis sous futaie, qui ont une écorce à l'épaisse.

Cependant, dans nombre de cas, des arbres, bien que situés à proximité immédiate d'individus attaqués, demeurent indemnes alors même que leur écorce apparaît suffisamment mince pour permettre à la Cochenille de s'installer. La structure même de la surface de l'écorce pourrait alors être en cause. Comme indiqué plus haut, les jeunes larves ne se fixent pas au hasard, mais le long de ces « micro-fissures » de couleur orangée, visibles à la loupe binoculaire seulement, que nous avons décrites. Il est plausible que l'écorce des arbres demeurés indemnes ne présente pas ce caractère à un degré suffisant. Il serait intéressant de déterminer s'il s'agit là d'un caractère induit (par la sylviculture par exemple, ou les conditions édaphiques) ou d'un caractère génétique. A notre avis, à cette seconde hypothèse pourrait correspondre la répartition par petites « tâches » des dégâts dûs au dépérissement. Les peuplements actuels

de la forêt de Lyons sont issus de semis naturels ; il est possible par conséquent que les arbres soient groupés par « familles », certaines vulnérables, d'autres non.

Du point de vue pratique, il est encore difficile d'indiquer des critères permettant de pronostiquer quelques années à l'avance, le devenir des arbres. Sauf dans les rares cas où les colonies sont très importantes (notes 4 et 5) la densité des populations de *Cryptococcus fagi* ne permet pas de préjuger avec certitude de l'avenir de l'arbre. Nous ne disposons pas encore du recul suffisant pour déterminer si, et dans quels délais, tous les arbres recevant la note 3 sont vraiment appelés à mourir. Les observations sur ce point se poursuivent. La méthode de notation proposée permet cependant d'apprécier avec suffisamment d'exactitude l'étendue d'une attaque au niveau d'un peuplement et éventuellement de donner une indication sur la proportion de sujets destinés à mourir dans les années suivantes, et par là, sur l'importance des éclaircies sanitaires à prévoir.

Cependant, l'apparition d'écoulements de sève noirâtre, celle de taches grises qui les précèdent généralement, le décollement de l'écorce constituent des critères certains de mort prochaine. De même que les arbres à très forte densité d'insectes (notes 4 et 5) les sujets présentant ces symptômes sont à abattre tant que la grume possède encore une valeur marchande et avant sa dépréciation totale, notamment par infestation d'insectes xylophages (Scolytides du genre *Xyloterus* et *Lymexylonides* comme *Hylecoetus dermestoides* L.) et de champignons lignivores.

R. Perrin (Station de Pathologie Forestière Nancy) a lui aussi récemment mis en évidence la présence de *Nectria coccinea* chez les arbres dépérissants dans la forêt de Lyons. La mort de l'arbre semble donc effectivement attribuable à la destruction des parties vivantes de l'écorce par cet agent. Il reste à approfondir la question de savoir s'il s'agit bien d'un véritable « enchaînement » et si, en particulier, ce sont bien des lésions provoquées par la Cochenille qui constituent la voie utilisée par le champignon pour s'implanter sous les écorces. Cette hypothèse, admise par de très nombreux auteurs, n'a pas reçu encore de véritable démonstration scientifique, mais le délai très généralement observé entre la forte attaque de l'insecte et la mort effective de l'arbre pourrait s'expliquer comme nécessaire au champignon pour se développer après son introduction, et détruire une quantité suffisante d'écorce pour qu'intervienne cette mort.

Reçu pour publication en janvier 1977.

Summary

Cryptococcus fagi (Barspr.), and the Beech Bark disease in the state forest of Lyons (Normandy, France)

The author describes the Beech Bark Disease which has occurred in this forest since 1970. This dieback shows the same aspects as those described in the literature. The attacks of the scale *Cryptococcus fagi* (Bärspr.) are plotted by means of a very simple notation. It also appears that the Eastern side of the trunks bears the severest attacks. The scale-attacks are distributed homogeneously throughout the stand. A statistic survey shows that there are no parts in the stand more severely attacked than others. According to the author, the population growth of the scale might be a consequence of the water-deficit during September and October. When rainfall is insufficient during those months, the crawling larvae are not killed by water running down the trunks.

Remerciements

Nous tenons à rendre hommage tout particulièrement à MM. Ruchaud et de Groulard, Ingénieurs Civils des Travaux Forestiers, dont les travaux nous ont aidé pour la rédaction de cette publication. Nous remercions aussi l'Office National des Forêts et en particulier la Direction Régionale de Normandie ainsi que le Centre de Lyons qui nous ont aidé tout au long de cette étude.

Références bibliographiques

- AUSSENAC G., 1975. Couverts forestiers et facteurs du climat : leurs interactions, conséquences éco-physiologiques chez quelques résineux. *Thèse de Doctorat es-Sciences, Faculté des Sciences, Université de Nancy*, 234 p.
- EHRlich J., 1934. The beech bark disease — a *Nectria* disease of *Fagus*, following *Cryptococcus fagi* (Bäer.). *Can. J. Res.*, **10**, 593-692.
- KUNKEL H., 1968. Untersuchungen über die Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagi* Bär. (*Insecta, Coccina*), einen Vertreter der Rindenparenchymsauger. *Z. angew. Entomol.*, **61** (4), 373-380.
- RHUMBLER L., 1914. Zur Biologie der Buchenrindenwollaue (*Cryptococcus fagi*). *Deut. Forstztg.*, **29**, 265-273.
- RHUMBLER L., 1922. Die Buchenwollschildlaus (*Coccus (Cryptococcus) fagi* Bär.). In *Forstinsektenkunde*, Berlin : Paul Parey, 3^e éd., 125-139.
- RHUMBLER L., 1931. Über das Schicksal der von Buchenrindenwollaue (*Cryptococcus fagi* Bär.) befallenen Buchen. *Z. angew. Entomol.*, **38**, 590-614.
- SCHINDLER U., 1951. Das Buchensterben. *Forstarchiv.*, **22**, 109-119.
- SCHINDLER U., 1962. Erfahrungen mit der Buchenwollschildlaus. *Forts-u. Holzwirtsch.*, **17** (35).
- SCHWERTFEGER F., 1961. Erscheinung und Auftreten des Buchenrindensterbens in Niedersachsen 1960-1961. *Forst-u. Holzwirtsch.*, **16** (23), 541-545.
- THOMSEN et al., 1949. Angreb af *Cryptococcus fagi*, *Nectria galligena* af andre parasiter paa bog i Danmark 1939-1943. *Det Forstl. Forsøgsves.*, **18**, 93-317.

Mémoires à diffusion limitée

- RUCHAUD F., 1972. Le *Cryptococcus fagi* : sa biologie et mise en place d'un dispositif pour étudier la dynamique des populations de cette Cochenille. *Rapport de stage E.N.I.T.E.F.*
- GROULARD B. (de), 1973. Poursuite des observations faites sur les fluctuations des populations de *Cryptococcus fagi* et mise au point d'une méthode d'inventaire pour étudier la répartition de la Cochenille dans tout le massif de Lyons par extrapolation de la méthode d'inventaire forestier. *Rapport de stage E.N.I.T.E.F.*

Informations sur des publications scientifiques à diffusion restreinte

M. BECKER, J. R. PERRIN

Un intégrateur électronique de températures simple, fiable et bon marché
(An electronic temperature integrator, simple, fiable and inexpensive)

Laboratoire de Phyto-écologie forestière,
Station de Recherches sur la Qualité des Bois I. N. R. A.-C. N. R. F.
Champenoux — 54280 SEICHAMPS

Le montage proposé permet directement la mesure précise (à 0,1 °C près) de la température moyenne entre deux relevés. Le capteur est une thermistance miniature. Un générateur d'impulsions utilisant un transistor unijonction actionne, par l'intermédiaire d'un circuit amplificateur à thyristor, le compteur à relever périodiquement. Un ajustement linéaire de la courbe donnant la fréquence des impulsions en fonction de la température est très satisfaisant dans une plage de 30 à 40 °C, elle même déplaçable à volonté dans l'échelle des températures. De plus, pour la mesure des « sommes de température » au-dessus d'un seuil donné, un petit dispositif additionnel facultatif permet de ne comptabiliser que les impulsions délivrées au-dessus de ce seuil. La simplicité de l'appareil, outre son gage de sécurité de fonctionnement, permet sa construction à un prix de revient très bas (130 à 210 F selon les versions) par tout amateur (les détails pratiques de la réalisation et de l'étalonnage sont fournis).

M. BECKER

Indices de climat lumineux combinant pente et exposition
(Light climate indexes combining slope and exposure)
avec la collaboration technique de Mme R. F. CLAUDE

Laboratoire de Phyto-écologie forestière I. N. R. A.-C. N. R. F.
Champenoux — 54280 SEICHAMPS

Le mésoclimat est parfois un des paramètres décisifs dans le déterminisme des stations, que l'on essaie souvent, à défaut de véritables mesures climatiques, d'appréhender à travers les données de position topographique, d'utilisation malcommode. En application de la notion de « cercle d'illumination totale » de ROUSSEL (1952), des graphiques sont proposés, qui permettent de condenser, en un seul « indice de climat lumineux » l'orientation du site étudié, sa pente et, le cas échéant, la pente de la direction du faite du versant opposé.