

Recherches récentes sur la résistance des arbres envers les insectes phytophages*

par L. NEF

Résumé

Nos recherches récentes en entomologie appliquée portent sur les différences de résistance des arbres ou des groupes génétiques envers les phytophages. Elles visent à quantifier ces différences et à faire une première exploration de leurs relations avec des caractéristiques biologiques, anatomiques ou chimiques de l'arbre-hôte.

Dans un premier temps, plusieurs insectes populicoles ont été étudiés sur 15 clones, durant 7 années, dans plusieurs populets expérimentaux. La résistance diffère en fonction de l'espèce d'insecte, des conditions edaphiques, des caractéristiques de croissance des clones et de leurs teneurs foliaires en éléments minéraux. La population de la mineuse la plus fréquente, *Phyllocnistis suffusella*, très stable d'une année à l'autre pour un endroit donné, est en relation avec le chimisme foliaire; l'étude a encore montré l'influence des polyphénols sur le développement larvaire et celle de l'attaque sur la composition chimique de la feuille.

Les travaux sur *I. typographus*, plus récents, concernent les variations intra- et inter-stationnelles des nombres de galeries de reproduction dans des épicéas appâtés aux phéromones, et leurs relations avec plusieurs caractéristiques des arbres. D'une première phase des recherches, dans deux des 14 stations étudiées, il ressort que ces variations peuvent être mises en corrélation avec des caractéristiques dendrométriques ($R^2=0,67$), avec des structures anatomiques de l'écorce ($R^2=0,75$), et surtout avec la composition minérale de cette dernière ($R^2=0,93$).

Mots-clés: Résistance des plantes - Insectes du peuplier - *Ips typographus*

Summary

Recent research on tree resistance to phytophagous insects

Our recent research in applied entomology was concerned with the differences in resistance of trees to phytophages. The aim is to quantify those differences and to explore their relationships with biological, anatomical or chemical characteristics of the host tree.

In a first period, poplar insects were studied on 15 clones, for 7 years, in several experimental populets. The resistance varies according to the insect species, the edaphic conditions, the growth characteristics of the clones, and their foliar content in mineral elements. The populations of the most frequent leaf miner, *Phyllocnistis suffusella*, is very stable from year to year for a given place, and is related to leaf chemicals. The polyphenols strongly influence their larval development, and the attack modifies the chemical composition of the leaf.

The most recent work, devoted to *Ips typographus*, studied the in- and between-station variation of their reproduction galleries in Norway spruces baited with pheromones. From a first part of the research, concerning 2 of the 14 studied sites, it appears that this variation is correlated with dendrometric characteristics ($R^2=0,67$), with the anatomical structure of the bark ($R^2=0,75$) and with the mineral content of the latter ($R^2=0,93$).

Key-words: Plant resistance - Poplar insects - *Ips typographus*

1. Introduction

Nos recherches entomologiques actuelles se concentrent sur le problème de la résistance des arbres envers les insectes phytophages. Elles visent d'une part à décrire les différences de résistance entre individus ou groupes génétiquement voisins, tels des clones ou des espèces, et d'autre part à faire une première exploration des relations causales entre certaines caractéristiques de la plante-hôte et les résistances observées.

Ces travaux se situent dans le cadre général de la lutte intégrée contre les insectes nuisibles. Dans cette stratégie, l'utilisation des mécanismes de résistance de la plante-hôte constitue une approche particulièrement intéressante tant par son caractère préventif que par son action à long terme.

Le but principal de notre communication sera de présenter les travaux récents ou en cours, les plantes et les insectes étudiés, les méthodes employées; par contre, les résultats, dont certains sont déjà publiés, ne sont cités que fort succinctement.

2. Résistance des peupliers envers divers insectes phyllophages

2.1. Introduction et Buts

Les travaux sur les insectes populicoles se situent dans le cadre des recherches coordonnées par la Commission Nationale Belge du Peuplier (C.N.B.P.), et portant essentiellement sur les nouveaux clones obtenus par la Station de Populiculture de Geraardsbergen (STEENACKERS, 1982). Ces peupliers étaient plantés dans des populets expérimentaux de la C.N.B.P. (DE JAMBLINNE, et al., 1973).

Les buts généraux étaient:

- Classer les résistances des groupes génétiques et des clones sur base des fréquences d'occurrence des divers insectes considérés.

- Mettre en évidence les relations entre le classement précité et certaines caractéristiques biologiques ou chimiques de l'arbre-hôte.

En outre, pour *Phyllocnistis suffusella*, l'espèce la plus

* Recherches subsidiées par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (I.R.S.I.A.).

abondante, les buts furent:

- Décrire les variations de sa densité de population en fonction du temps, des facteurs édaphiques, et des caractéristiques génétiques de l'arbre.
- Préciser les relations entre certaines caractéristiques chimiques et l'abondance ou le devenir de l'insecte.
- Rechercher les conséquences de la présence d'une galerie larvaire sur la chimie de la feuille du peuplier.
- Formuler une synthèse des relations entre l'insecte et l'arbre-hôte, et définir les principales stratégies de défense de ce dernier.

2.2. Etudes générales

2.2.1. Matériel et méthodes

A - Peupliers et populeturns

Nous avons retenu pour ces études 15 clones appartenant à 3 groupes différents, répartis dans 16 populeturns représentatifs de diverses conditions édaphiques. Dans chaque populeturn, et sur 4 arbres par clone, 8 m de branches étaient prélevées; les feuilles y furent dénombrées, de même que les attaques des insectes cités au §B.

Sur ces mêmes clones ont également été mesurés:

- Les teneurs foliaires en polyphénols (tanins)
- Les teneurs foliaires en P, en Mg et en K
- Un coefficient de croissance saisonnière [(croissances en mai + septembre) / (croissances en juillet + août)]
- L'ordre de débourrement printanier

- La vitesse moyenne d'accroissement annuel de la surface terrière.

Au total, la recherche a porté sur 5 années (de 1977 à 1981) et a concerné quelque 135.000 feuilles.

B - Insectes

Ont été pris en considération:

- Trois mineuses: *Phyllocnistis suffusella* Z, *Stigmella trimaculella* Haw (Lépidopt.) et *Zeugophora flavicollis* Marsh. (Coléopt.).

- *Gypsonoma aceriana* Dup., une tordeuse des pousses.

- Les dégâts foliaires dus à des Coléoptères ou à des Lépidoptères.

L'importance des insectes a été quantifiée par la "Sensibilité relative" qui exprime la fréquence avec laquelle la densité de population sur un clone est supérieure à celle sur les autres clones (NEF, 1983).

2.2.2. Résumé des conclusions

Des résultats, dont la plupart ont été publiés précédemment (NEF, 1982 et 1985), il ressort:

- Les "Sensibilités relatives" varient très nettement d'un clone à l'autre, comme le montrent les exemples des figures 1 et 2. D'une façon générale, il existe des correspondances très discriminantes entre le classement des insectes et celui des clones (fig. 3).

- Les conditions édaphiques influencent les densités de population; ainsi, *G. aceriana* et *Z. flavicollis* sont plus nombreux dans les populeturns sur sols sablonneux et

Fig. 1 et 2. - Sensibilités Relatives (SR) de divers clones des groupes P. deltoïdes x nigra (DN), P. trichocarpa (T) et P. trichocarpa x deltoïdes (TD) pour deux insectes.

Clones : BE= Beaupre ; BO= Boelare ; CR= Columbia River ; FP= Fritzzy Pauley ; GA= Gaver ; GH= Ghoy ; GI= Gibecq ; HU= Hunnegem ; IS= Isieres ; OG= Ogy ; PR= Primo ; RA= Raspalje ; RO= Robusta ; TR= Trichobel ; UN= Unal.

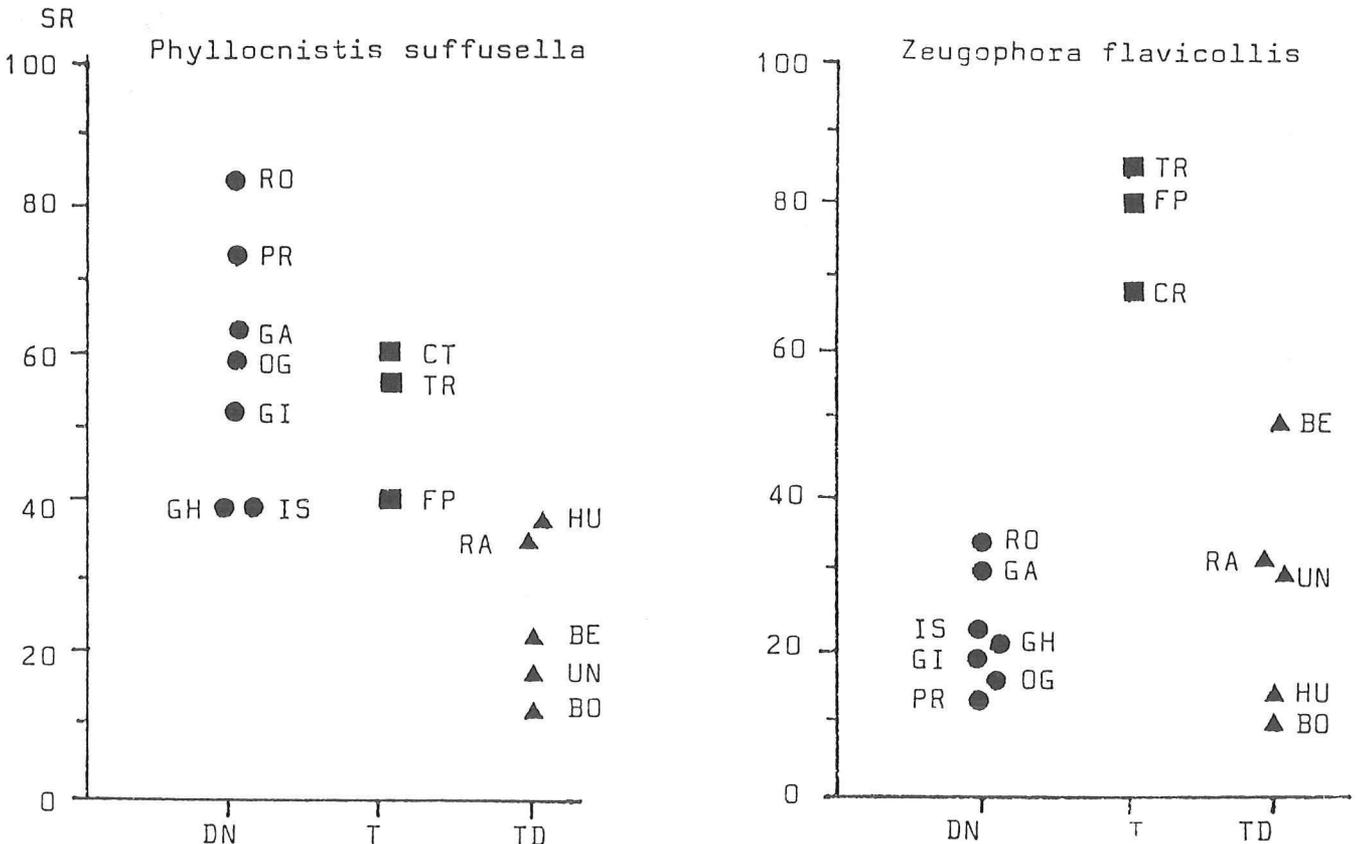
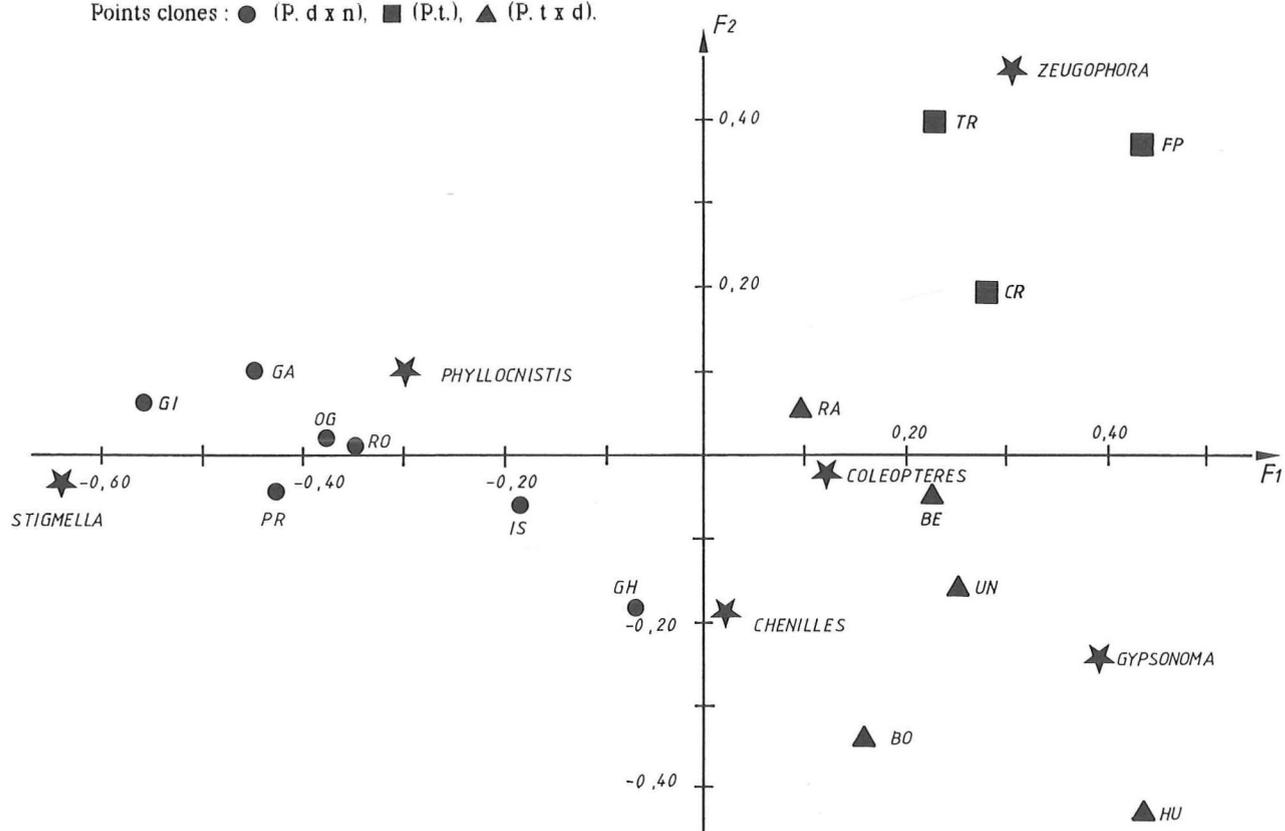


Fig. 3 - Analyse des correspondances. Points - insectes : ★
Points clones : ● (P. d x n), ■ (P.t.), ▲ (P. t x d).



peu humides, tandis que *Ph. suffusella* peut abonder sur sol limoneux. La relation entre sol et insecte semble se faire par l'intermédiaire de la composition chimique de l'arbre.

- Il existe des corrélations significatives entre les "Sensibilités relatives" et les caractéristiques biologiques ou chimiques explorées.

En conclusion, les réactions des insectes s'avèrent correspondre aux affinités taxonomiques - et donc biochimiques - des groupes et des clones de peupliers. Mais les relations insecte-plante diffèrent d'une espèce à l'autre: les peupliers ont donc des stratégies de défense différentes envers les divers phytophages. Ceci implique qu'il ne sera pas aisé d'obtenir des clones ayant simultanément une résistance élevée envers divers insectes; en tout cas, dans cette perspective, les clones situés le plus marginalement à la fig. 3 sont les plus favorables à des proliférations de déprédateurs. Une autre source de danger a été révélée par cette étude: les variations quantitatives des populations diffèrent nettement d'après l'espèce; ainsi, *Z. flavicollis* est beaucoup moins stable que *Ph. suffusella* et présente un plus grand risque de pullulation.

2.3. Recherches sur *Ph. suffusella*

2.3.1. Matériel et méthodes

Cette étude détaillée de la mineuse la plus abondante, effectuée dans 7 de nos champs d'expérience, a duré 7 années. Les arbres, âgés de 2 à 7 ans, avaient entre 4 et 15 m de haut. Dans les grandes lignes, l'échantillonnage s'est déroulé comme celui cité au point 2.2. Il a permis entre autres de calculer le nombre moyen de feuilles attaquées par mètre de branche, ainsi que le pourcentage de feuilles attaquées.

Les premières analyses chimiques ont porté sur les teneurs en polyphénols (tanins) et en éléments minéraux dans les feuilles avant l'attaque par l'insecte, ceci devant permettre une approche des relations causales entre composition chimique et sensibilité à l'insecte. D'autres analyses réalisées après le développement larvaire de l'insecte ont mis en évidence les conséquences de l'attaque sur la chimie de la feuille; en particulier, les teneurs en polyphénols ont été analysées dans la moitié attaquée de certaines feuilles et comparées à celle des moitiés indemnes.

Enfin, ont encore été mesurées les surfaces des feuilles

attaquées ou non, les longueurs des galeries larvaires et les vitesses de formation et poids des chrysalides.

2.3.2. Résumé des conclusions

Ici également, des informations plus détaillées, les méthodes et les résultats des analyses statistiques peuvent être trouvés dans d'autres publications, en particulier: BOUYAICHE & NEF (1987), NEF (1983 et 1988a et 1988b).

A - Variations des densités de population et leurs causes

On a trouvé *Ph. suffusella* dans quelque 25% des feuilles de notre échantillonnage où sa population moyenne est de 3,8 insectes par mètre de branche. Il pourrait donc avoir un effet marqué sur la croissance des peupliers, d'autant plus que la surface des feuilles attaquées est de 25% inférieure à celle des indemnes. L'influence du sol, déjà citée au §2.2.2., se traduit par les différences assez sensibles entre les moyennes, par populeturns, dont les extrêmes sont dans le rapport de 4,3 à 1.

Tant les groupes de peupliers que les clones influencent les densités de population de *Ph. suffusella*; ainsi, les *trichocarpa* et les *trichocarpa x deltoides* sont moins attaqués que les hybrides *deltoides x nigra*. Parmi ceux-ci, l'ancien clone Robusta, datant d'environ 150 ans, s'avère le plus vulnérable. Le facteur génétique, quoique très significatif, n'a qu'une influence quantitative encore moindre que celle du sol: le Robusta n'est attaqué que 2,4 fois plus que le Beaupré, le clone le plus résistant. Enfin, nous avons étudié l'effet du temps, par comparaison des moyennes annuelles de densité. L'ensemble de nos résultats démontre la grande stabilité temporelle des populations de *Ph. suffusella*, aussi bien pour les populeturns où nous avons étudié, d'une année à l'autre, les mêmes arbres d'âge croissant, que pour la pépinière de Rotem où l'étude portait sur des plants de 2 ans renouvelés d'année en année. A Borgloon et à Paal, et sur une période de 4 ans, les moyennes annuelles (nombre de larves par mètre de branche) variaient respectivement entre 1,3 et 1,7 et entre 2,7 et 3,2. A Rotem, les extrêmes pour 5 années étaient 5,5 et 8,0. Pour ces divers cas, les maxima ne valent qu'environ 1,3 fois les minima: les mécanismes de régulation temporelle de ces populations s'avèrent donc très précis.

B - Corrélation entre caractéristiques chimiques des feuilles et population

Les analyses minérales foliaires faites dans le populeturn de Louvain-la-Neuve ont porté sur les Ca, P, K, Mg, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Ni, Mo, B et Cr. Nous avons trouvé les corrélations significatives suivantes entre ces teneurs et les pourcentages de feuilles attaquées:

P $r=0,730^{**}$

Mn $r=0,663^{**}$

K $r=0,575^*$

Zn $r=0,663^{**}$

Fe $r=0,516^*$

La détermination des éléments minéraux dans des nouveaux clones permettrait donc de prédire leur sensibilité envers *Ph. suffusella*.

C - Influence de l'insecte sur la composition chimique de la feuille

La comparaison de feuilles indemnes et attaquées a montré des augmentations significatives des teneurs minérales en K, et des diminutions significatives pour les Ca, Zn, Cu et surtout Mo qui est réduit de moitié. De son côté, la teneur en polyphénols augmente dans la partie de la feuille où se trouve la galerie; cette augmentation est très fortement et négativement corrélée avec le taux normal de polyphénols dans le clone considéré: elle atteint environ 75% dans les clones pauvres en ces composés, mais seulement 25% dans ceux qui en sont abondamment pourvus.

D - Influence de la composition chimique sur le développement larvaire

Plus les feuilles sont riches en polyphénols, plus les galeries larvaires sont longues, plus le développement larvaire est lent, plus le poids de la chrysalide est faible, et moins il y a d'attaques. Ces composés contrôlent donc très nettement des éléments primordiaux de la dynamique de population de *Ph. suffusella*.

2.3.3. Synthèse

L'ensemble de nos résultats a permis d'établir un schéma des relations entre l'arbre-hôte et *Ph. suffusella* (voir fig. 4) et ensuite d'esquisser les caractéristiques des principaux types de stratégies défensives des *Populus* envers cet insecte (tableau 1).

Tableau 1 - Principaux types de stratégies défensives

Caractéristiques	Stratégie de défense	
	"préventive" ou "préformée"	"répressive" ou "induite"
Teneur foliaire en polyphénols	élevée	faible
Croissance de l'arbre :	rapide	moindre
Effet du clone sur le développement de l'insecte :	défavorable	favorable
Placés dans des conditions identiques, ces clones sont attaqués	moins	plus fréquemment
En cas d'attaque, - la quantité de polyphénols secondaires formés est : - la croissance foliaire est :	faible plus réduite	importante moins réduite
Cette stratégie est meilleure si le risque d'attaque est	élevé	faible

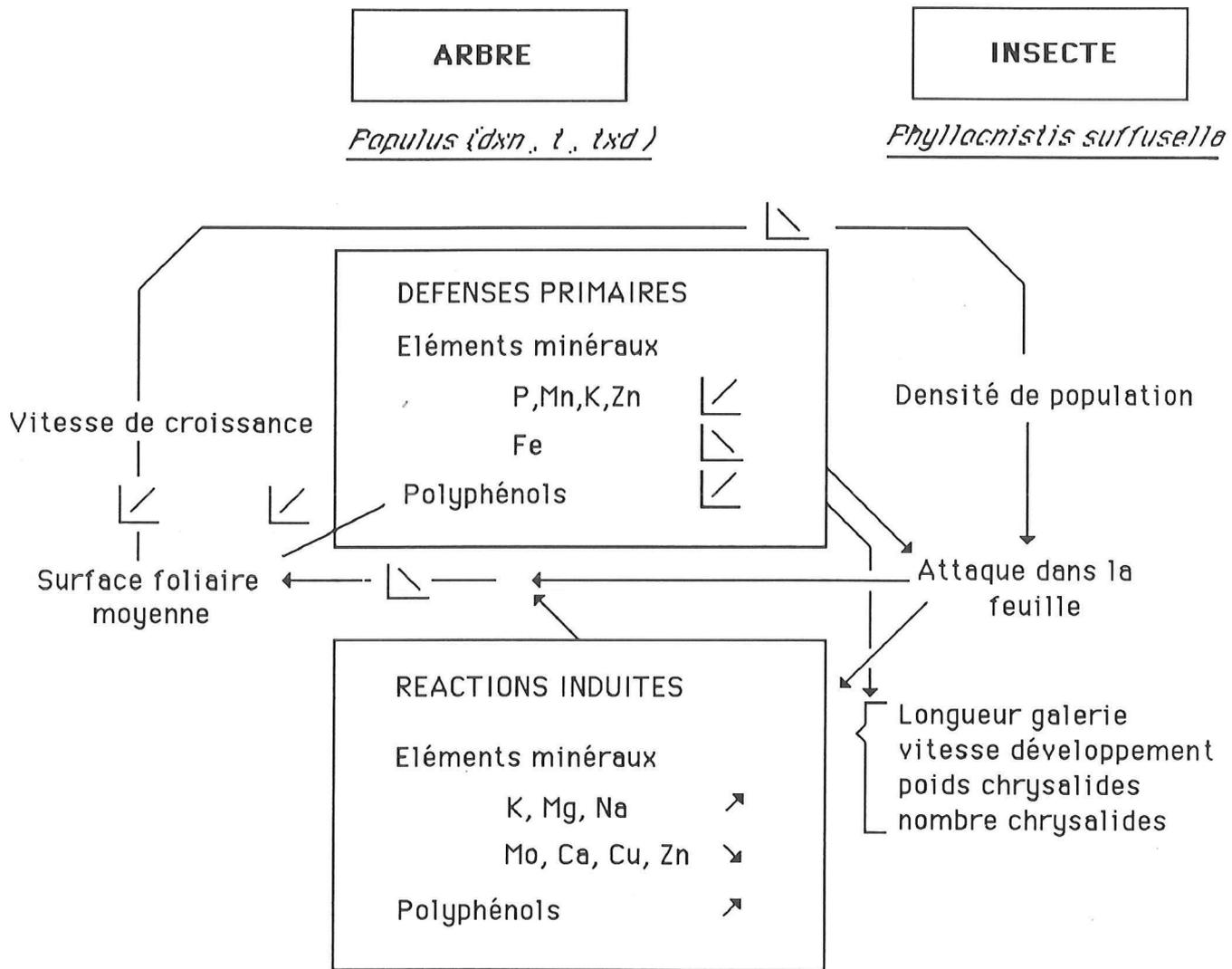


Fig. 4 - Relations observées entre *Ph. suffusella* et son arbre-hôte.

3. Résistance de l'épicéa commun envers *Ips typographus* L.

3.1. Introduction et Buts

La recherche sur *I. typographus* est nécessitée par l'importance économique majeure prise récemment par cet insecte suite à l'augmentation des chablis et du "déperissement des forêts", deux facteurs favorisant la multiplication de cet insecte qui, en Europe, aurait tué 6 à 7 millions d'épicéas en 1978-1979 (BAKKE, 1981). Cette importance explique que, à côté de l'I.R.S.I.A., la Région Wallonne et la Communauté Européenne interviennent dans les travaux de notre laboratoire et que ceux-ci soient ainsi inclus dans un effort international.

Les buts plus particuliers furent:

- Mettre au point une méthode de quantification des attaques dans les écorces.
- Rechercher des corrélations entre l'index d'attaque,

expression de la sensibilité de l'arbre, et des mesures dendrométriques, la structure anatomique et la composition chimique de l'écorce, laquelle constitue le milieu de reproduction de l'insecte.

Ce travail, commencé plus récemment que celui sur les insectes populicoles, fournit actuellement de premiers résultats.

3.2. Matériel et méthodes

Les parcelles expérimentales sont toujours des pessières équiennes d'au moins 50 ans, âge minimum pour que les arbres soient attaquables. Deux en 1986 et 12 pour 1987-1988 ont été sélectionnées pour représenter les principaux types de "Territoires écologiques" (DELVAUX et al., 1962) favorables ou marginaux pour *Piceca abies* Karst.

Sur dix arbres choisis aléatoirement dans chaque parcelle, on place un sachet de phéromones d'agrégation spécifiques d'*I. typographus* à environ 4 m de hauteur,

et des échantillons d'écorce sont prélevés pour les études anatomiques et chimiques. Les diamètre et hauteur de l'arbre et de la cime, l'état sanitaire et les distances aux voisins les plus proches sont mesurés. Enfin, deux pièges relevés hebdomadairement durant un mois échantillonnent la population locale d'*I. typographus*.

Après que les ipides aient eu le temps de se reproduire dans les arbres, ceux-ci sont abattus et des échantillons d'écorce y sont prélevés pour quantifier les attaques par dénombrement des orifices d'entrée et par estimation du développement des galeries de reproduction.

3.3. Premiers résultats

Jusqu'à présent, seules les données de 1986 ont été exploitées: les conclusions ci-dessous sont donc provisoires.

Pour la mise en évidence et la quantification des attaques, la radiographie des écorces préalablement traitées au BaCl₂ a donné toute satisfaction. Sur les plaques obtenues, il est aisé de dénombrer les orifices d'entrée des adultes, l'état de développement de leur descendance, ou la longueur des galeries. La comparaison des divers paramètres quantitatifs dérivés de ces mesures montre qu'ils donnent des informations fort semblables: lors des travaux ultérieurs, la préférence pourra donc aller à celui ou ceux qu'il est le plus aisé d'obtenir (voir NEF, 1989).

Malgré la présence de phéromones, certains arbres

n'ont subi aucune attaque, ou très peu. D'autre part, le degré de développement des galeries varie tant à l'intérieur des épicéas qu'entre eux. Tout ceci suggère l'hypothèse d'une variabilité importante d'une part dans la résistance des arbres, d'autre part dans la faculté individuelle d'attaque des insectes.

L'ensemble des données dendrométriques pour les deux stations réunies permet d'expliquer 67% de la variabilité observée entre les intensités d'attaques par arbre.

Les caractéristiques anatomiques, étudiées par NIHOUL (1987), permettent d'expliquer 75% de cette variabilité. Les deux paramètres ayant le plus de poids dans cette corrélation sont l'épaisseur du rhytidome et celle du parenchyme et/ou du liber mort. Par contre, le développement du système résinifère, souvent cité dans la littérature, n'a ici qu'une importance modérée.

Enfin, les teneurs minérales de l'écorce ont été déterminées par JANSSENS (1987). Le calcul de leur corrélation canonique avec les indices d'attaque fournit un coefficient de détermination de 93%. Ces teneurs fournissent donc, actuellement, l'estimateur le plus précis de la résistance individuelle des épicéas envers *I. typographus*. Parmi ces éléments, le Fer montre la relation la plus constante et la plus significative. Pour le praticien, ces résultats d'une part suggèrent la grande probabilité de mise en évidence d'arbres résistants, et d'autre part soulignent l'influence de la méthode de gestion de la forêt sur la résistance des arbres envers les insectes déprédateurs.

Bibliographie

BAKKE, A., 1981. Massenfang des grossen Fichtenborckenkäfers *Ips typographus* im Rahmen einer integrierten Bekämpfung. - *Mitteilung der deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie*, 2: 339-342.

BOUYAICHE, M. & NEF, L., 1987. Relation entre les attaques de *Phyllocnistis suffusella* Zell, la croissance et la composition minérale des feuilles de peuplier. - *Mededelingen Fakulteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent*, 52 (2a): 259-266.

DE JAMBLINNE DE MEUX, A., VELDEMAN, R. & STEENACKERS, V., 1973. Le groupe de travail des champs d'essais de la Commission Nationale du Peuplier. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique*, 80/3: 85-102.

DELVAUX, J. & GALOUX, A., 1962. Les territoires écologiques du Sud-Est belge. Travaux hors-série, Surveys écologiques régionaux. 2 volumes, 311 pp.

JANSSENS, R., 1987. Lutte intégrée contre *I. typographus*, facteur de résistance chez l'épicéa. Rapport final Convention Université Catholique de Louvain/Région Wallonne: 46 pp.

NEF, L., 1982. Influence de facteurs génétiques et environnementaux sur la résistance des peupliers aux attaques de *Phyllocnistis suffusella* Z. - *Mededelingen Fakulteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent*, 47/2: 597-606.

NEF, L., 1983. Estimation non paramétrique de la sensibilité

de plantes envers des déprédateurs phytophages. *Biométrie-Praximétrie*, 23: 73-82.

NEF, L., 1985. Relations entre certaines caractéristiques des peupliers et l'abondance d'insectes phytophages. - *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 99 (.2): 160-170.

NEF, L., 1988/a. Interactions between het leaf miner *Phyllocnistis suffusella* and Poplars. In: MATTSON W.J., LEVIEUX J. and BERNARD-DAGAN C. (Editors), Springer Verlag, New-York, pp. 239-251.

NEF, L., 1988/b. Etude quantitative de populations de *Phyllocnistis suffusella* Z. (Lepidoptera - Lithocolletidae) en Belgique. - *Annales des Sciences Forestières*, 3: 255-263.

NEF, L., 1989. Quantification des attaques d'*Ips typographus* sur *Picea abies*. (en préparation).

NIHOUL, Ph., 1987. Caractéristiques anatomiques de l'écorce de *Picea abies* (L) Karst. et relations avec l'intensité d'attaque par l'*Ips typographus* L. Mémoire de fin d'études. Université Catholique de Louvain, Unité des Eaux et Forêts: 174 pp.

STEENACKERS, V., 1982. Le travail d'amélioration du peuplier en Belgique. *Forêt-Entreprise / Bulletin de vulgarisation forestière*, 82 (2): 4-9.

Université Catholique de Louvain,
Unité des Eaux et Forêts
Place Croix-du-Sud, 2, B.P. 4
B-1348 Louvain-la-Neuve (Belgique)