



**Le système expert SEPPIR<sup>®</sup>**  
**Système expert pour les plantations de pins rouges**  
**Version CFL 1.0**

Robert A. Allard, Louis Archambault, Gilles Bonneau, Gaston Laflamme et André Lavallée  
Région du Québec • Rapport d'information LAU-X-102



Forêts  
Canada

Forestry  
Canada

Canada

**LE CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES** est un des six établissements régionaux de Forêts Canada. Le Centre collabore avec divers organismes gouvernementaux, avec les intervenants de l'industrie forestière et avec les établissements d'enseignement dans le but de promouvoir, par des travaux de recherche et de développement, un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec.

Au Québec, les activités de Forêts Canada portent sur la recherche dans les domaines des ressources forestières et de la protection des forêts, et sur le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins de divers organismes intéressés à l'aménagement forestier. Les résultats de ces travaux sont diffusés sous forme de rapports techniques et scientifiques, de conférences et autres publications.

**THE LAURENTIAN FORESTRY CENTRE** is one of six regional establishments of Forestry Canada. The Centre cooperates with other government agencies, educational institutions and the forest industry to promote through research and development the most efficient and rational management and use of Quebec's forests.

In Quebec, Forestry Canada's program consists of forest resource and protection research and forest development. Most research is undertaken in response to the needs of the various forest management agencies. The results of this research are distributed in the form of scientific and technical reports, conferences, and other publications.

#### **Robert A. Allard**

Robert A. Allard oeuvre au CFL depuis 1989 à titre d'agent forestier en développement de système expert. Ingénieur forestier de formation, il poursuit des études au niveau de la maîtrise en photogrammétrie forestière et télédétection à l'Université Laval. Après quelques années comme auxiliaire de recherche dans le domaine de la cartographie forestière numérique à l'Université Laval, il se retrouve au sein de l'entreprise privée à titre de professionnel de recherche pour le développement d'un système de cartographie numérique et est responsable du système informatique de l'entreprise. Il a également occupé un poste de chargé de cours à l'Université Laval de 1987 à 1990.

#### **Louis Archambault, Ph.D.**

Louis Archambault est chercheur scientifique au Centre de foresterie des Laurentides de Forêts Canada à Sainte-Foy. M. Archambault détient un B.Sc.A. en génie forestier et une M.Sc. en aménagement forestier de l'Université Laval ainsi qu'un Ph.D. en ressources naturelles du University of Michigan. Avant de se joindre à Forêts Canada, M. Archambault a travaillé pour le Fonds de Recherches Forestières de l'Université Laval et pour le ministère des Forêts du Québec. M. Archambault conduit présentement des recherches portant sur le développement de systèmes d'aide à la prise de décisions pour l'aménagement des plantations en relation avec les ravageurs. De plus, il poursuit des travaux portant sur les relations hôte/insecte/milieu en plantations forestières.

#### **Gilles Bonneau**

Gilles Bonneau est un biologiste de formation; après quelques années consacrées à l'enseignement, il poursuit des études doctorales à l'Université Laval en entomologie forestière. Il assumait ensuite pendant plusieurs années la direction du relevé annuel des insectes forestiers au Québec. Présentement, il met à profit ses vingt années d'expérience aux services des divers intervenants forestiers dans les domaines de la régénération, de l'information et de la formation en entomologie forestière.

#### **Gaston Laflamme, Ph.D.**

Gaston Laflamme travaille au CFL depuis 1981 à titre de chercheur scientifique en pathologie forestière. Ses travaux portent principalement sur la maladie du chancre scléroderrien des conifères. Diplômé de l'Université Laval en génie forestier en 1968, il a obtenu une maîtrise en pathologie forestière de la même institution en 1971. Il a poursuivi ses études à l'École Polytechnique fédérale à Zurich où il a reçu, en 1975, son doctorat en sciences appliquées. Il a aussi travaillé au Centre de foresterie de Terre-Neuve/Labrador et au ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

#### **André Lavallée, Ph.D.**

Les travaux de M. Lavallée portent principalement sur la sélection des sites de plantations, particulièrement du pin blanc, de façon à éviter les problèmes majeurs qui affectent ces plantations. Ses travaux antérieurs ont porté sur de nombreux autres problèmes en plantation et en forêt naturelle. Maintenant à la retraite, André Lavallée a fait partie de l'équipe de recherche du CFL pendant près de 32 ans; il a obtenu son doctorat en pathologie forestière à l'Université Laval en 1969.

**Le système expert SEPPIR<sup>®</sup>**  
**Système expert pour les plantations de pins rouges**  
**Version CFL 1.0**

Robert A. Allard  
Louis Archambault  
Gilles Bonneau  
Gaston Laflamme  
André Lavallée

En collaboration avec  
Robert Blais, Luc Côté et Jacques Morissette

Rapport d'information LAU- X-102  
1993

Forêts Canada  
Région du Québec

**DONNÉES DE CATALOGAGE AVANT PUBLICATION (CANADA)**

Vedette principale au titre:

Le système expert SEPPIR ; système expert pour les plantations de pins rouges, version CFL 1.0

(Rapport d'information ; LAU-X-102)

Publ. aussi en anglais sous le titre: SEPPIR expert system.

Publ. par le Centre de foresterie des Laurentides.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-98028-X

N° de cat. MAS Fo46-18/102F

1. SEPPIR (Fichier informatique) -- Guides, manuels, etc. 2. Pin rouge -- Maladies et fléaux -- Logiciels -- Guides, manuels, etc. 3. Forêts -- Gestion -- Logiciels -- Guides, manuels, etc. I. Allard, Robert A., 1953- . II. Canada. Forêts Canada. Région du Québec. III. Centre de foresterie des Laurentides. IV. Titre: Système expert pour les plantations de pins rouges, version CFL 1.0. V. Coll.: Rapport d'information (Centre de foresterie des Laurentides) ; LAU-X-102.

SD387.M33S46 1993 634.9751 C93-099420-5

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1993

N° de catalogue Fo46-18/102F

ISSN 0835-1589

ISBN 0-662-98028-X

Il est possible d'obtenir sans frais un nombre restreint d'exemplaires de cette publication auprès de:

**Forêts Canada - Région du Québec**  
**Centre de foresterie des Laurentides**  
1055, rue du P.E.P.S.  
C.P. 3800  
Sainte-Foy (Québec)  
G1V 4C7

Des copies ou des microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée  
Place du Portage  
165, rue Hôtel-de-Ville  
Hull (Québec)  
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title "SEPPIR<sup>®</sup> expert system - Expert system for red pine plantations - Version CFL 1.0" (Catalog No. Fo46-18/102E).

Photographies de la couverture: T. Arcand et C. Moffet.



## TABLE DES MATIÈRES

|   | <b>Page</b> |
|---|-------------|
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....   | v           |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....  | vi          |
| <b>RÉSUMÉ</b> .....   | vii         |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | vii         |
| <b>INTRODUCTION</b> .....   | 1           |
| <b>LES COMPOSANTES ET LE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT</b> ..                                  | 1           |
| <b>LA «COQUILLE» LEVEL 5<sup>TM</sup> VERSION 1.3</b> .....   | 4           |
| <b>LE SYSTÈME EXPERT PREDICT<sup>®</sup> AU WISCONSIN</b> .....                                     | 5           |
| <b>Le module diagnostique</b> .....   | 6           |
| <b>Le module d'évaluation du risque</b> .....   | 9           |
| <b>PROCÉDURES D'ADAPTATION DE PREDICT<sup>®</sup> AU QUÉBEC</b> .....                               | 10          |
| <b>Formation d'un groupe d'experts</b> .....  | 10          |
| <b>Sélection des ravageurs</b> .....  | 10          |
| <b>Détermination de l'unité physique territoriale de base</b> .....                                 | 12          |
| <b>Établissement de la fréquence historique des ravageurs</b> .....                                 | 14          |
| <b>Production de la carte territoriale</b> .....  | 14          |
| <b>Extraction des données du RIMA et du SPIM et calcul<br/>des coordonnées géographiques</b> .....  | 16          |
| <b>Intégration des données du RIMA et du SPIM à la<br/>carte territoriale</b> .....                 | 17          |
| <b>Création d'un fichier de fréquences historiques et<br/>validation de leur distribution</b> ..... | 17          |
| <b>Vérification, correction des règles existantes et construction<br/>de nouvelles règles</b> ..... | 18          |
| <b>Validation du système expert SEPPIR<sup>®</sup></b> .....  | 21          |
| <b>Préparation du questionnaire de prise de données</b> .....                                       | 21          |
| <b>Prise de données</b> .....   | 22          |

**TABLE DES MATIÈRES (suite)****Page**

|   |    |
|---|----|
| <b>RÉSULTATS</b> .....  | 22 |
| <b>DISCUSSION</b> .....   | 23 |
| <b>CONCLUSION</b> .....   | 25 |
| <b>REMERCIEMENTS</b> .....  | 26 |
| <b>OUVRAGES CONSULTÉS</b> .....                                     | 27 |
| <b>ANNEXE: Formulaire de prises de données sur le terrain</b> ..... | 29 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  | <b>Page</b> |
|--|-------------|
| <b>Tableau 1.</b> Liste des ravageurs inclus dans SEPPIR <sup>®</sup> utilisé au Québec .....  | 13          |
| <b>Tableau 2.</b> Exemple d'un fichier de sortie après l'intégration des deux<br>fichiers numériques pour les ravageurs <i>Coleosporium</i> spp. ....  | 18          |
| <b>Tableau 3.</b> Fréquences historiques des ravageurs en fonction des<br>régions administratives et des zones écologiques .....   | 19          |
| <b>Tableau 4.</b> Nombre de cas où les résultats de la partie diagnostic de<br>SEPPIR <sup>®</sup> furent identiques ou différents de l'identification par les experts<br>(répartition par ravageur) ..... | 24          |

## LISTE DES FIGURES

|  | Page |
|--|------|
| <b>Figure 1.</b> Composantes principales d'un système expert .....   | 2    |
| <b>Figure 2.</b> Éléments requis et alimentés par la coquille de développement<br>Level 5™ (adapté de Information Builders Inc., 1989) .....   | 5    |
| <b>Figure 3.</b> Structure des règles du logiciel PREDICT® dans le module<br>Diagnostic (adapté de Schmoldt, 1987) .....   | 7    |
| <b>Figure 4.</b> Exemple partiel du fonctionnement des règles de logique<br>permettant de déduire les faits selon l'information disponible (adapté<br>de Schmoldt, 1987) .....   | 8    |
| <b>Figure 5.</b> Étapes à réaliser pour permettre l'adaptation de PREDICT®<br>aux conditions du Québec .....   | 11   |
| <b>Figure 6.</b> Distribution des régions administratives selon les zones écologiques<br>permettant de reconnaître 23 unités de base pour déterminer la fréquence<br>historique des ravageurs .....                    | 14   |
| <b>Figure 7.</b> Utilisation des bases de données du RIMA et du SPIM permettant<br>de créer au moyen du SIG une carte synthèse de la fréquence historique<br>de chacun des problèmes rencontrés sur le pin rouge ..... | 15   |
| <b>Figure 8.</b> Carte de la distribution des fréquences historiques du chancre<br>scléroderrien en fonction des régions administratives et des zones<br>écologiques .....   | 20   |

## RÉSUMÉ

Ce document présente les principales étapes d'adaptation du système expert PREDICT® (*Pinus resinosa* expert diagnostic consultation tool) aux conditions particulières du Québec. La base de données sur les ravageurs forestiers du Québec provenant du RIMA et du SPIM fut d'une grande utilité pour la création d'une carte synthèse de la fréquence historique des ravageurs du pin rouge. La «coquille» Level 5™ qui a servi au développement de PREDICT® fut aussi utilisée pour le développement de SEPPIR®, acronyme de Système expert pour les plantations de pins rouges. Pour valider SEPPIR®, 106 plantations furent retenues dans les régions écologiques des forêts feuillues et mixtes et dans 69 de ces plantations l'agent responsable a pu être traité par le système expert; douze des 21 ravageurs inclus dans SEPPIR® furent validés à partir de cas réels rencontrés sur le terrain. Une ventilation des résultats par ravageur est présentée.

## ABSTRACT

This document presents the main steps in adapting the expert system PREDICT® (*Pinus resinosa* expert diagnostic consultation tool) to the specific conditions found in Quebec. The forest pest database for Quebec from FIDS and SPIM was extremely useful in developing historical frequency maps for red pine pests. The Level 5™ shell used in developing PREDICT® was also used to develop SEPPIR® (Système expert pour les plantations de pins rouges - Expert system for red pine plantations). To validate SEPPIR®, 106 plantations were considered in the hardwood and mixed forest ecological regions; in 69 of these plantations it was possible to handle the pest involved using the expert system. Twelve of the 21 pests included in SEPPIR® were validated on the basis of actual cases encountered in the field. A breakdown of results by pest is included.

## INTRODUCTION

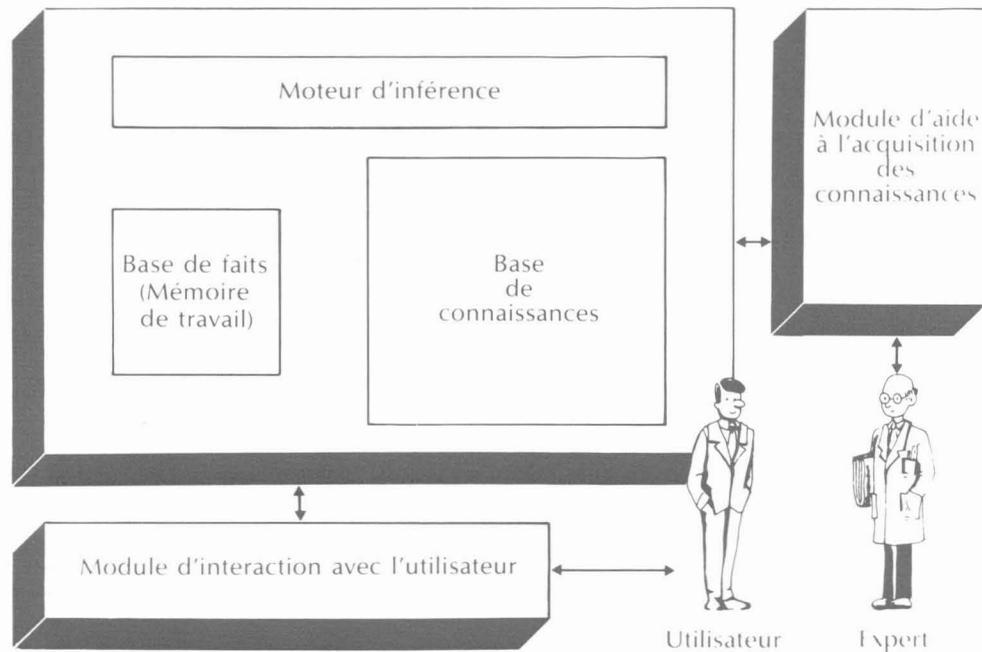
Les systèmes experts sont des programmes informatiques qui simulent le raisonnement d'experts afin de solutionner des problèmes particuliers et complexes. Feigenbaum, expert dans le domaine de l'intelligence artificielle au Stanford University, définit le système expert en ces termes: «*C'est un programme informatique qui utilise des connaissances et des mécanismes d'inférence afin de résoudre des problèmes dont la complexité demande une contribution significative de la part d'un expert*» (Harmon et King, 1985).

Plusieurs secteurs d'activités utilisent les systèmes experts; par exemple, MYCIN a été développé dans le domaine de la médecine (Shortliffe, 1976) et PROSPECTOR dans celui de la prospection minière (Campbell et collab., 1982). À l'exception des travaux effectués à l'Institut forestier national de Petawawa pour le contrôle des feux de forêts (Kourtz, 1987), il y a actuellement au Canada très peu d'applications dans le domaine du diagnostic des ravageurs forestiers (Rauscher et Hacker, 1989). Toutefois, la volonté d'utiliser les systèmes experts s'accroît graduellement (Kourtz, 1990).

Le but de ce travail est d'adapter au Québec le système expert PREDICT® (Pinus Resinosa Expert Diagnostic Consultation Tool), développé au University of Wisconsin (Madison). PREDICT® a été conçu dans le but d'aider les forestiers à diagnostiquer les ravageurs et à évaluer le risque potentiel de pertes à partir des dommages que ceux-ci peuvent causer dans les plantations de pins rouges (*Pinus resinosa* Ait.) (Schmoltdt, 1987).

## LES COMPOSANTES ET LE FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME EXPERT

Tous les systèmes experts se composent d'une base de connaissances, d'un ensemble de faits et d'un moteur d'inférence (figure 1). La base de connaissances provient de la littérature, de l'expérience et des connaissances des experts; la base ou l'ensemble de faits regroupe les phénomènes observés et relatifs aux problèmes à résoudre à l'aide du système expert tandis que le moteur d'inférence construit les raisonnements en utilisant la base de connaissances pour solutionner le problème posé. À ces trois composantes principales peuvent s'ajouter un module d'aide à l'acquisition des connaissances, une base de données et



**Figure 1.** Composantes principales d'un système expert.

un module d'interaction avec l'utilisateur. Ce dernier module peut être soit graphique ou alphanumérique ou une combinaison des deux.

La base de connaissances est propre au domaine traité. Elle rassemble toutes les connaissances qu'utilise un expert du domaine considéré: description des objets et de leurs relations, description des cas particuliers ou d'exceptions, vues diverses d'un même problème et enfin, diverses stratégies de résolution et leurs conditions d'application. Certaines de ces connaissances découlent de principes de base et sont indiscutables ou du moins indiscutées; d'autres sont de nature heuristiques ou traduisent les intuitions, voire les convictions de l'expert.

À la différence du débutant qui, suivant un mode d'emploi page après page et ligne après ligne, se perd parfois dans des considérations fort éloignées du problème qu'il doit résoudre, l'expert va droit à la connaissance utile, guidé par les informations dont il dispose. De même,

le système expert conserve à tout moment dans sa mémoire de travail ou «*base de faits*» une vue précise de la situation courante. Grâce à cette dernière, le moteur utilise, de manière efficace et adaptée au problème posé, les éléments de sa base de connaissances en fonction des nécessités.

Le moteur d'inférence est le programme qui construit les raisonnements à partir de la base de connaissances. Face à une situation donnée, il détecte les connaissances utiles, qu'il utilise, et enchaîne, puis construit un plan de résolution. Indépendamment du domaine, il rassemble les mécanismes de raisonnement qui exploitent la base de connaissances.

La réunion du moteur d'inférence et des programmes d'interface qui lui sont associés forme ce qu'on appelle un «*système essentiel*». Il suffit de le nourrir d'une expertise pour le rendre compétent dans un domaine quelconque. À ce programme essentiel s'ajoutent des modules d'interface indispensables pour assurer le dialogue entre l'utilisateur et l'ordinateur. S'ils n'ont aucune influence directe sur la valeur des raisonnements du système expert, ils jouent néanmoins un rôle indispensable en le rendant accessible à des utilisateurs, spécialistes ou non. Grâce à eux, l'expert peut accéder facilement à la base de connaissances, la modifier en rectifiant une information inutile ou erronée, ou en y ajoutant une précision. L'utilisateur non-expert peut, quant à lui, suivre le raisonnement du système dans un langage qui lui est familier, questionner et demander des explications sans avoir besoin d'acquérir une connaissance approfondie des systèmes experts ou de l'informatique.

La construction d'un système expert comporte deux phases bien distinctes: d'une part, la construction du moteur d'inférence et, d'autre part, la constitution et la mise au point de la base de connaissances du sujet traité. Le moteur d'inférence peut se développer à l'aide des langages de programmation PROLOG ou LISP. Ces langages permettent une très grande flexibilité mais l'effort de programmation est énorme. Une autre approche pour le développement d'un système expert consiste à utiliser des «coquilles» (shells) qui sont des outils complets de développement. Il existe présentement sur le marché une assez grande variété de «coquilles» qui ont plus ou moins les mêmes caractéristiques et dont le prix varie de 100 à 9 500 \$ (Cooney, 1986).

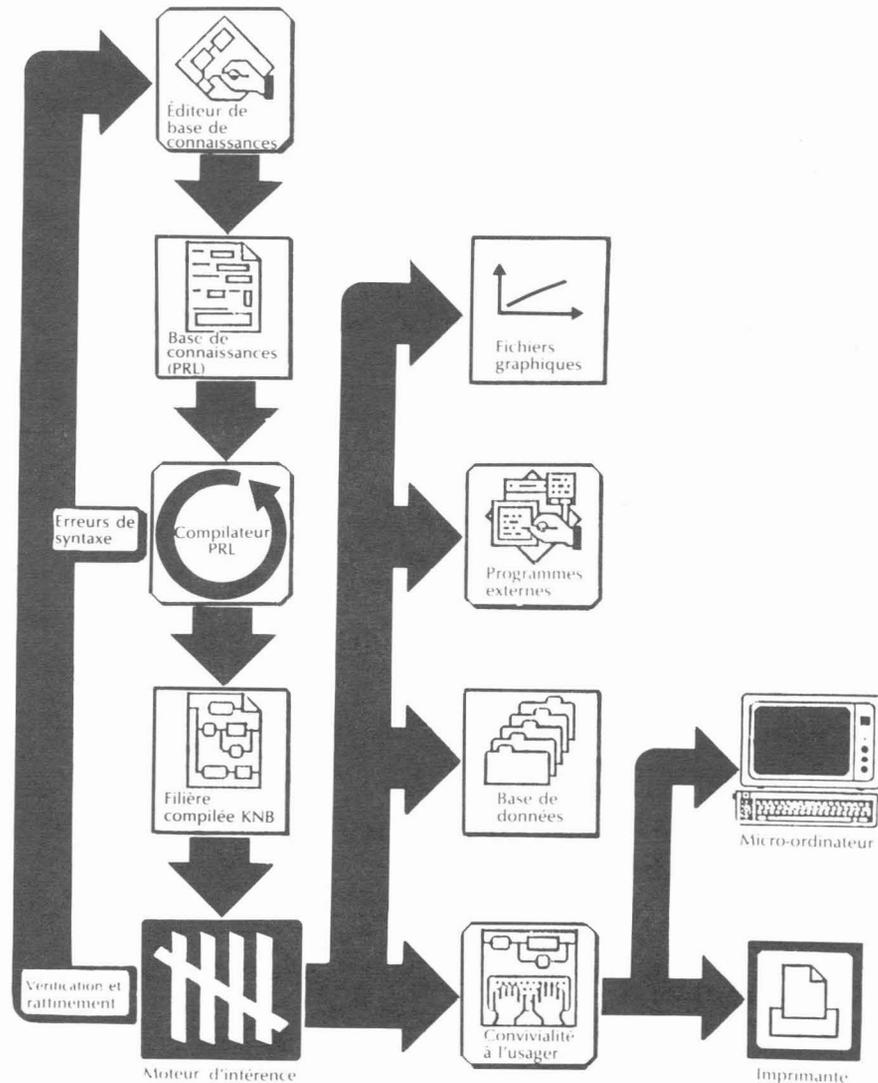
## LA «COQUILLE» LEVEL 5™ VERSION 1.3

La «coquille» Level 5™ version 1.3, fabriquée par la compagnie Information Builders Inc. de New-York, a été utilisée pour ce travail d'adaptation.

La «coquille» de développement comprend un éditeur de texte, un compilateur de base de connaissances, un moteur d'inférence et des logiciels permettant d'accéder à une base de données ou de contrôler en temps réel des instruments de toutes sortes (figure 2). La représentation des connaissances se fait par l'utilisation de règles de production (PRL: Production Rule Language) (Information Builders Inc., 1989) de la forme «SI a ALORS b» (IF a THEN b).

Le moteur d'inférence de la «coquille» Level 5™ permet aussi bien le chaînage avant (raisonnement déductif) que le chaînage arrière (raisonnement régressif). Prenons l'exemple du pathologiste forestier recherchant l'identité d'un champignon dans un tube de culture. Les deux modes de raisonnement exprimés plus tôt correspondent à deux démarches possibles de la part du pathologiste. Il peut examiner le spécimen et déduire de ses observations l'appartenance de celui-ci à un phylum, puis à une classe, puis à une famille, jusqu'à déterminer son espèce. C'est le chaînage avant. Il peut aussi partir d'une hypothèse d'identification pour ensuite chercher les signes spécifiques sur son spécimen. C'est le chaînage arrière.

La «coquille» s'utilise sur un micro-ordinateur IBM PC/AT/XT ou un appareil compatible. La mémoire vive minimum requise est de 256 kilo-octets, ce qui donne accès à toutes les fonctions de la «coquille». Cependant, 640 kilo-octets s'avèrent nécessaires pour tirer le maximum de la «coquille». Au niveau du stockage de masse, le système s'utilise avec deux disques souples de 360 kilo-octets. Le disque rigide est toutefois préférable pour une meilleure performance. Enfin, une version 2.0 ou supérieure du DOS est nécessaire au fonctionnement de la «coquille».



**Figure 2.** Éléments requis et alimentés par la coquille de développement Level 5™ (adapté de Information Builders Inc., 1989).

## LE SYSTÈME EXPERT PREDICT® AU WISCONSIN

Le système expert PREDICT® a été développé dans le cadre d'une thèse de doctorat (Schmoltdt, 1987) au University of Wisconsin (Madison). Ce système expert sur le pin rouge comporte deux volets; un module de diagnostic des ravageurs et un module d'évaluation du risque de dommages éventuels causés par les ravageurs. Dans ses deux modules, le logiciel

reconnait 28 ravageurs du pin rouge au Wisconsin. Les critères de sélection des ravageurs inclus dans le système expert sont: a) l'importance économique des dégâts qu'ils causent, b) la difficulté éventuelle d'identification d'un ravageur par rapport à un autre et c) l'impact visuel des dommages causés dans les plantations.

L'équipe d'experts de Schmoldt se composait d'un pathologiste forestier ayant 24 ans d'expérience, de deux entomologistes forestiers ayant 6 et 28 ans d'expérience et de deux forestiers ayant 5 et 10 ans d'expérience.

### **Le module diagnostic**

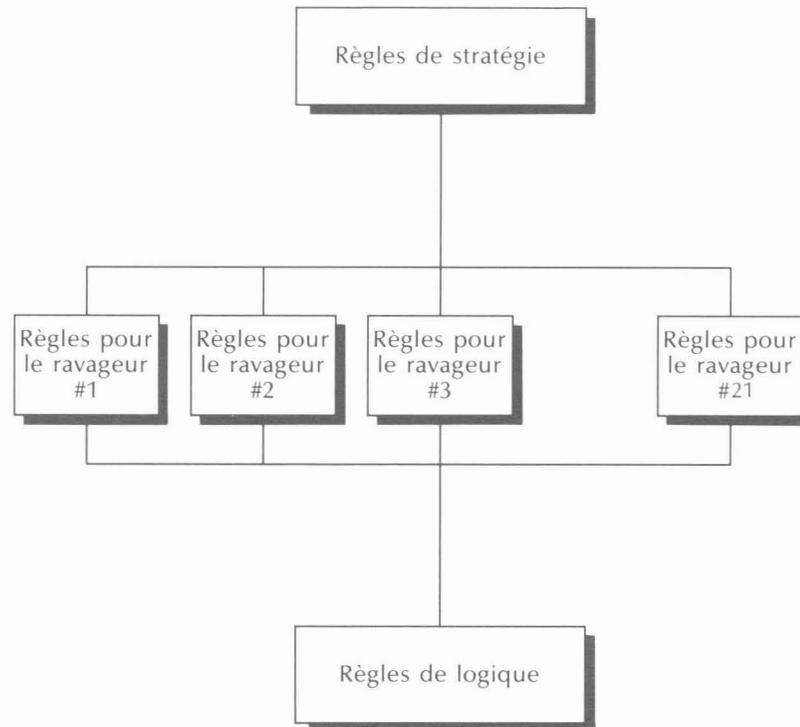
L'utilisateur introduit une série de signes, de symptômes ou d'observations contenues dans un questionnaire (Schmoldt, 1987) et le système diagnostique un ou des ravageurs en fonction des données initiales et des règles établies. Dans ce module, on retrouve des règles de stratégie, des règles de diagnostic qui se subdivisent en trois catégories et finalement des règles de logique (figure 3).

Les règles de stratégie permettent au système expert de sélectionner une ou des catégories de ravageurs pour des fins de diagnostic et ce, en fonction des types de dommages généraux ou spécifiques observés.

Les règles de diagnostic permettent au système expert de comparer les observations introduites avec ce qui constitue la base de connaissances et de déduire des conclusions pour l'identification du ravageur. À chacun des ravageurs correspond un nombre plus ou moins grand de règles de diagnostic. Ces règles se divisent en trois catégories: les règles d'accumulation d'évidence, les règles d'élimination d'évidence et les règles de certitude. Chacune de ces catégories de règles s'exprime par une probabilité que la conclusion de la règle soit bonne ou fautive. Chaque fois qu'une règle assigne une probabilité  $P$  à une conclusion, une nouvelle probabilité  $P_n$  est calculée selon la formule suivante:

$$P_n = P_0 + P(1 - P_0)$$

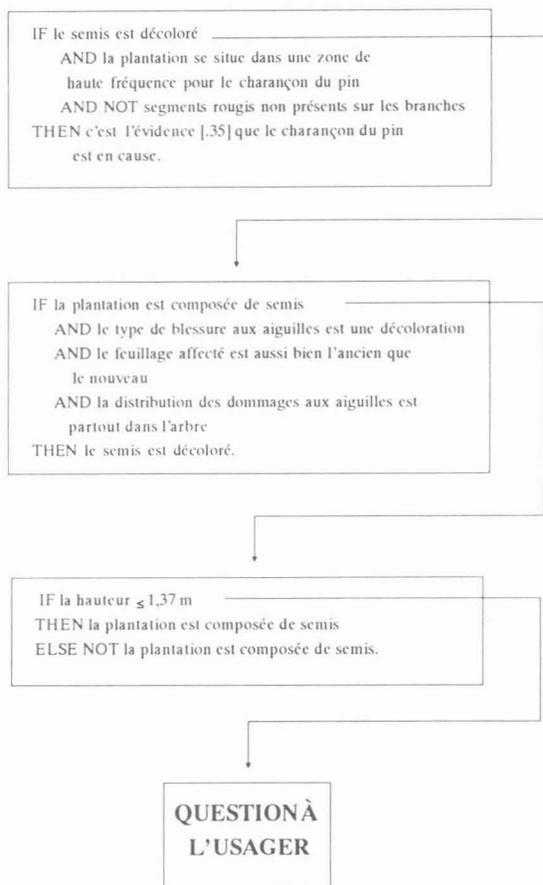
### Structure des règles dans PREDICT®



**Figure 3.** Structures des règles du logiciel PREDICT® dans le module Diagnostic (adapté de Schmoltdt, 1987).

$P_0$  étant l'ancienne probabilité donnée à une conclusion d'une autre règle (Schmoltdt, 1989). Il faut noter ici que, d'après ce dernier, lorsqu'un niveau de confiance se situe en bas de 53 %, le ravageur concerné est éliminé de la réponse. Ce seuil fut gardé pour le présent travail.

Les règles de logique permettent de déduire des faits au fur et à mesure que l'utilisateur introduit de l'information dans le système expert. La figure 4 illustre le processus. Une règle de diagnostic demande si le semis est décoloré afin d'établir si le charançon du pin est en cause. Comme le fait est inconnu, la règle est alors suspendue temporairement. Le système essaie de connaître le fait par une autre règle qui tente d'établir si le semis est décoloré. Cependant, il faut prouver le fait que la plantation est composée de semis; ici encore, le fait



**Figure 4.** Exemple partiel du fonctionnement des règles de logique permettant de déduire les faits selon l'information disponible (adapté de Schmoltdt, 1987).

est inconnu par le système, la règle est donc arrêtée. Le système prend en considération une autre règle qui utilise la hauteur pour prouver que la plantation est composée de semis. N'ayant pas l'information, la règle est suspendue et le système pose une question à l'utilisateur. Lorsque la hauteur est connue le système remet en marche les règles.

## **Le module d'évaluation du risque**

Ce module est plus simple de fonctionnement. L'évaluation du risque s'effectue grâce à une réorganisation de l'information acquise pour fin de diagnostic et à l'aide d'une distribution de la fréquence historique de présence des ravageurs pour chacun des 72 comtés du Wisconsin. La notion de risque est définie comme la probabilité d'accroissement de la population d'un ravageur ou la probabilité des dommages causés aux plantations par les facteurs abiotiques. La fréquence historique se divise en quatre classes: absence de ravageurs, présence de ravageurs, ravageurs à l'état endémique et ravageurs à l'état épidémique. Le risque des dommages causés dans les plantations par les ravageurs s'exprime également sous quatre niveaux: risque nul, faible, modéré et élevé.

La structure des règles dans ce module d'évaluation du risque est relativement simple. Pour chacun des 28 ravageurs, il existe 4 ou 5 règles qui utilisent une combinaison de faits comme par exemple, la fréquence historique combinée à des observations comme un sol sablonneux, la présence d'arbres morts, l'existence de dépression locales, la hauteur des arbres, l'âge de la plantation, la condition générale de la plantation, etc. Contrairement au module diagnostique, le niveau de confiance des réponses fournies par l'utilisateur correspond directement au niveau de confiance de la conclusion de la règle.

Pour valider PREDICT<sup>®</sup>, 20 cas certains furent soumis au système expert et à deux équipes d'experts afin de déterminer le degré de raffinement du système. Chacune des deux équipes était constituée d'un pathologiste, de deux entomologistes et de deux forestiers. Pour résumer les résultats (Schmoldt, 1988), dans la première équipe, le pathologiste et les deux entomologistes se sont déclarés en accord avec le diagnostic réel vérifié en laboratoire dans 16 des 20 cas examinés; les deux forestiers étaient d'accord dans 9 et 12 des 20 cas; enfin PREDICT<sup>®</sup> est arrivé au diagnostic réel dans 17 cas. Les résultats de la deuxième équipe ressemblaient à ceux de la première équipe sauf qu'en moyenne deux cas de moins furent l'objet d'un accord entre l'expert ou le système expert et le diagnostic réel (par exemple, 14/20 pour les entomologistes et pathologistes; 13 et 8/20 pour les forestiers et 15/20 pour PREDICT<sup>®</sup>).

À la lumière des résultats, Schmoldt (1988) conclut que le système expert offre des performances comparables à celles des experts humains. Dans le cas des forestiers leur manque de connaissances et d'expérience en pathologie et entomologie explique leur performance plus modeste.

## **PROCÉDURES D'ADAPTATION DE PREDICT® AU QUÉBEC**

L'adaptation du système expert PREDICT® au Québec a été réalisée en plusieurs étapes (figure 5) décrites ci-après.

### **Formation d'un groupe d'experts**

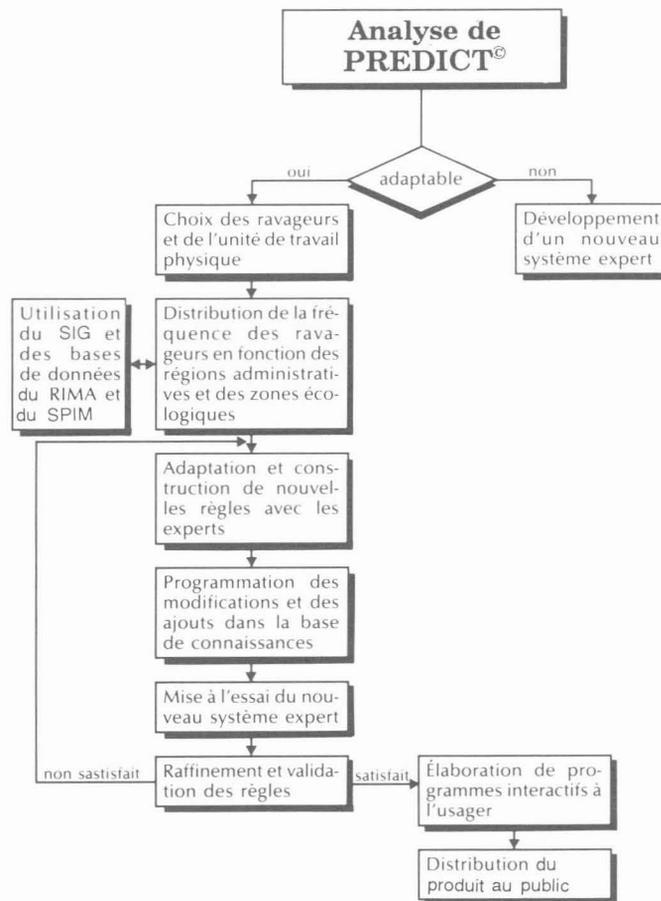
Les critères suivants ont servi à sélectionner les experts pertinents:

- connaissance des insectes ou des pathogènes du pin rouge en plantation;
- bonnes notions de l'écologie des ravageurs du pin rouge;
- connaissances générales des problèmes reliés aux plantations de pins rouges.

En respectant ces critères et pour permettre une bonne progression des travaux, le groupe d'experts était composé de: deux pathologistes, un entomologiste et un écologiste entomologiste. À l'équipe ainsi formée se joint un cogniticien dont le rôle est de transposer en langage informatique la connaissance des experts et d'écrire les programmes nécessaires à la mise en place des différentes composantes du système expert.

### **Sélection des ravageurs**

L'analyse de la liste des ravageurs retenus au Wisconsin fut d'abord effectuée et les ravageurs spécifiques à l'État du Wisconsin furent éliminés. Seulement 15 ravageurs étaient inclus à la nouvelle version du système expert. Les experts furent alors consultés afin de



**Figure 5.** Étapes à réaliser pour permettre l'adaptation de PREDICT® aux conditions du Québec.

déterminer si d'autres ravageurs pouvaient causer des dommages dans les plantations de pins rouges au Québec.

À l'aide des bases de données du Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA) de Forêts Canada et du Service de la protection contre les insectes et les maladies (SPIM) du ministère des Forêts du Québec, nous avons relevé tous les ravageurs rencontrés sur le pin rouge en plantation. La période de temps couverte par cette liste s'échelonne de 1953 à 1990. La banque de RIMA couvre la période de 1953 à 1983 et la banque du SPIM celle des années 1984 à nos jours. Une première épuration des ravageurs non pertinents fut effectuée sans

l'intervention des experts. Le résultat du tri dans les bases de données leur fut soumis pour leur permettre de décider des ravageurs à inclure dans le système expert. À la suite de cette sélection (effectuée sur une base individuelle et sans consultation entre les experts), une liste intermédiaire fut formée selon les critères suivants:

- le ravageur est un choix unanime      CODE 1;
- c'est le choix des experts moins 1      CODE 2;
- c'est le choix des experts moins 2      CODE 3.

Tous les autres ravageurs furent exclus.

De cette liste intermédiaire de ravageurs, les experts procédèrent au choix des ravageurs à inclure dans le système expert. Les critères de sélection de la liste définitive sont les suivants: si le ravageur possède le code 1 et est déjà dans la liste des ravageurs de PREDICT<sup>®</sup>, il est automatiquement inclus dans la nouvelle liste. Par contre, si le ravageur n'est pas dans la liste de PREDICT<sup>®</sup>, mais que c'est un choix unanime (code 1), il doit à ce moment rencontrer les trois mêmes critères de sélection que PREDICT<sup>®</sup>, c'est-à-dire l'importance économique des dégâts, la confusion possible de l'identification et l'impact visuel des dommages causés. En ce qui a trait aux codes 2 et 3, le processus de sélection est le même que celui du code 1. Le tableau 1 présente la liste définitive des ravageurs du nouveau système expert SEPPIR<sup>®</sup>.

### **Détermination de l'unité physique territoriale de base**

Au Québec, plusieurs types de divisions territoriales sont utilisés: les unités de gestion, les municipalités, les municipalités régionales de comté, les régions administratives ou les comtés. Après analyse et consultation auprès des experts et compte-tenu des données disponibles, il a été décidé que l'unité de travail pour l'établissement des fréquences historiques serait la région administrative. Les régions écologiques du Québec furent aussi considérées pour permettre d'inclure l'influence de facteurs écologiques sur la distribution et l'importance des ravageurs. Seules les trois grandes zones écologiques du Québec ont été retenues, soit

les zones boréale, mixte et feuillue. Ainsi, l'unité de base finale est la région administrative en fonction des zones écologiques.

Théoriquement, 27 unités de base sont possibles mais en réalité ce sont 23 unités qui sont retenues car les trois zones écologiques ne se retrouvent pas dans chacune des neuf régions administratives (figure 6). Tout comme dans PREDICT<sup>®</sup>, il faut établir une fréquence historique pour chacun des ravageurs et pour les 23 unités de base. Pour ce faire, un système

**Tableau 1.** Liste des ravageurs inclus dans SEPPIR<sup>®</sup> au Québec

---

Animaux

Petits rongeurs (*Microtus* spp.)  
Porc-épic (*Erithizon dorsatum* L.)

Insectes

Scolyte du pin (*Ips pini* [Say])  
Charançon du pin (*Hylobius pales* [Hbst])

Hanneton (*Phyllophagus* spp.)  
Charançon du collet du pin (*Hylobius radialis* Buch.)  
Diprion de LeConte (*Neodiprion lecontei* ([Fitch.]])  
Cécidomyie du pin rouge (*Thecodiplosis piniresinosae* Kearby)  
Charançon du pin blanc (*Pissodes strobi* [Peck])  
Perce-pousse européen du pin (*Rhyacionia buoliana* [D.& S.]])  
Charançon du tronc des pins (*Pissodes approximatus* Hopk.)  
Scolyte des pousses (*Pityophthorus puberulus* Le Conte)  
Cécidomyie européenne du pin (*Contarinia baeri* [Prell])

Maladies

Chancre scléroderrien (*Gremmeniella abietina* [Lagerb.] Morelet)  
Rouilles des aiguilles (*Coleosporium* spp.)  
Pourridié-agaric (*Armillaria mellea* [Vahl ex Fr.] Kumm)  
Maladie du rond (*Heterobasidion annosum* [Fr.] Bref)

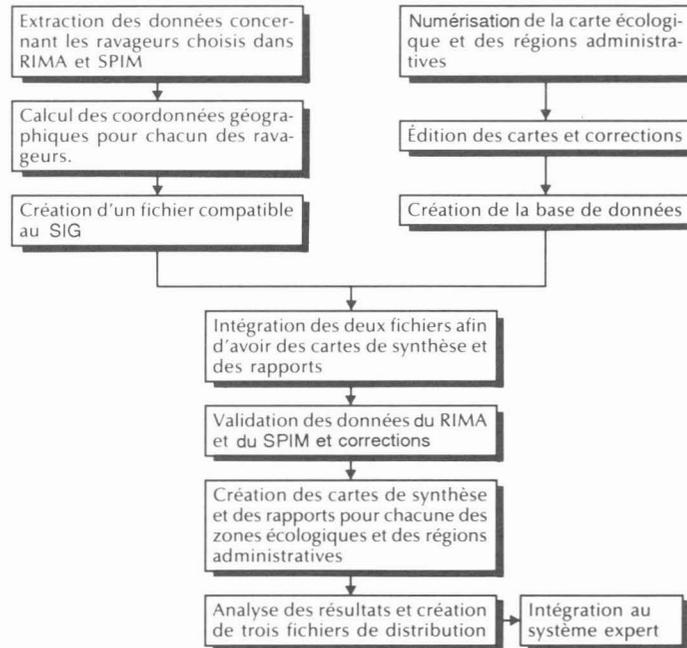
Facteurs abiotiques

Neige et verglas  
Phytocide  
Dessiccation hivernale  
Techniques de plantation

---



## Utilisation des bases de données RIMA, SPIM et SIG



**Figure 7.** Utilisation des bases de données du RIMA et du SPIM permettant de créer au moyen du SIG une carte synthèse de la fréquence historique de chacun des problèmes rencontrés sur le pin rouge.

la Recherche du ministère des Forêts du Québec. Cette carte numérique permet par la suite, en la combinant avec une base de données contenant les informations au sujet de la distribution des ravageurs, d'obtenir une carte numérique et un fichier alphanumérique de fréquence historique pour chacun de ceux-ci.

La première étape pour l'obtention d'une carte numérique est la numérisation de cartes déjà existantes ou l'achat de cartes déjà numérisées le cas échéant. Or, les cartes choisies n'étant pas disponibles sous forme numérique, on a procédé à leur numérisation à l'aide du système d'information géographique (SIG) PC ARC/INFO®.

La phase suivante a été l'intégration des deux cartes numériques pour produire une seule carte indiquant les régions administratives en fonction des zones écologiques. Cette carte synthèse du territoire fut produite à l'aide du module OVERLAY du logiciel PC ARC/INFO®.

### **Extraction des données du RIMA et du SPIM et calcul des coordonnées géographiques**

Lors de l'étape de sélection des ravageurs, on avait procédé à une extraction de données des bases du RIMA et du SPIM. Toutes les informations des deux bases furent placées dans des fichiers sous forme ASCII afin de pouvoir les traiter ultérieurement à l'aide de programmes informatiques.

Le positionnement géographique des relevés pour chacun des ravageurs a nécessité toute une série de programmes. Un premier programme servait à extraire du fichier principal les coordonnées de la position du relevé. Un second programme crée ensuite un fichier d'entrée au programme de conversion des données du système de références géographiques UTM (Universal Transverse Mercator) au système LAMBERT. Enfin, un troisième programme effectue la transformation. Dans le cas du fichier issu du SPIM, un programme supplémentaire fut nécessaire. Il fallait en effet transformer les coordonnées «Modified Transverse Mercator» (MTM) en coordonnées GÉOGRAPHIQUES avant de les produire en coordonnées LAMBERT. Ceci est dû au fait que le programme de conversion ne peut transformer directement MTM à LAMBERT. Finalement, un dernier programme utilisa les fichiers de sortie de la transformation et créa de nouveaux fichiers conformes au format d'entrée de PC ARC/INFO®. Tout au long de cette procédure, des programmes filtrent tous les fichiers d'entrée des données et de sortie des résultats afin de détecter les erreurs grossières et par le fait même valider l'information. La structure finale des fichiers indiquant la position de chacun des relevés est la suivante:

|           | Numéro d'identification | Coordonnées |           |
|-----------|-------------------------|-------------|-----------|
|           |                         | X           | Y         |
| (Exemple) | 101                     | 78244.677   | 26432.030 |
|           | 5101                    | 78400.444   | 25114.659 |

Afin de différencier les deux sources d'information, les données du RIMA furent codifiées par un numéro séquentiel débutant à 101 et les données du SPIM par un numéro commençant par 5001.

### **Intégration des données du RIMA et du SPIM à la carte territoriale**

Les observations extraites des bases de données du RIMA et du SPIM ont ensuite été intégrées au SIG afin de produire une carte numérique localisant chacune de ces observations. Cette carte fut par la suite superposée à la carte synthèse du territoire afin de déterminer le nombre d'observations en fonction des régions administratives et des régions écologiques pour chacun des ravageurs. Le tableau 2 est un exemple de fichier de sortie pour les *Coleosporium spp.*

### **Création d'un fichier de fréquences historiques et validation de leur distribution**

À l'aide de ces fichiers, on calculera quatre classes de fréquences historiques: fréquence nulle, faible, modérée et élevée. Ces fréquences servent principalement à l'évaluation du risque de dommages attribuables aux ravageurs et reposent sur le nombre de relevés des bases de données historiques du RIMA et du SPIM. Lorsque pour une région et une zone écologique aucun relevé n'existe on attribue une fréquence nulle. Pour les autres classes, on divise par trois le plus grand nombre de relevés dans une région; le résultat sert à établir trois classes. Par exemple, si on divise par 3 le plus haut taux de relevés qui est de 53 (tableau 2), le résultat est de 17 en arrondissant; donc, les classes se répartissent comme suit: 0 = nulle; 1-17 = faible; 18-34 = modérée; 35 et plus = élevée.

Ce processus se répète pour chacun des ravageurs retenus et pour lesquels des données historiques existent. Les classes de fréquences historiques sont donc différentes pour chacun des ravageurs. En ce qui concerne les deux ravageurs pour lesquels il n'existe pas de données historiques (la maladie du rond et le scolyte des pousses), une consultation d'experts et de techniciens forestiers ayant une grande expérience a servi à déterminer une fréquence territoriale probable en fonction des conditions écologiques. Une fois cet exercice terminé, un fichier nous indique les fréquences historiques pour chacun des ravageurs en fonction des régions administratives et des zones écologiques (tableau 3). Dans ce tableau, on remarque

**Tableau 2.** Exemple de fichier de sortie après l'intégration des deux fichiers numériques pour les ravageurs *Coleosporium spp.*

| Zone écologique | Région administrative | Nombre de relevés relatifs à <i>Coleosporium spp.</i> |
|-----------------|-----------------------|---|
| Feuillue        | 3                     | 53  |
|                 | 4                     | 46  |
|                 | 5                     | 22  |
|                 | 6                     | 27  |
|                 | 7                     | 31  |
|                 | 8                     | 8   |
|                 |                       | <u>8</u>  |
|                 | F total               |   |
| Mixte           | 1                     | 12  |
|                 | 2                     | 3   |
|                 | 3                     | 27  |
|                 | 4                     | 8   |
|                 | 5                     | 4   |
|                 | 6                     | 1   |
|                 | 7                     | 3   |
|                 | 8                     | 3   |
|                 | 9                     | <u>2</u>  |
| M total         |                       | 63  |
| Résineux        | 1                     | 2   |
|                 | 2                     | 2   |
|                 | 8                     | 3   |
|                 | 9                     | <u>1</u>  |
| R total         |                       | <u>8</u>  |
| Total           |                       | 258   |

une fréquence nulle pour *Phyllophagus* et pour «techniques défectueuses de plantation»; il s'agit de problèmes réels au Québec mais non régulièrement répertoriés dans les relevés d'insectes et de maladies.

Des cartes de distribution historique des ravageurs en fonction de l'unité territoriale retenue (figure 8) furent produites à l'aide du SIG. Ces cartes furent examinées par les experts afin de vérifier l'exactitude des différentes distributions. Une fois la vérification terminée, le fichier de fréquences historiques validé pouvait être utilisé par le système expert.

### Vérification, correction des règles existantes et construction de nouvelles règles

Cette étape est très importante dans le processus d'adaptation du système expert PREDICT® au système expert SEPPIR®. Durant cette phase, de concert avec les experts et

**Tableau 3.** Fréquences historiques des ravageurs en fonction des régions administratives et des zones écologiques

| Rég.+ Zone | Ravageurs |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|            | A         | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U |
| 1 Mixte    | 3         | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 1 Résineux | 1         | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 Mixte    | 2         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 Résineux | 1         | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 3 Feuillus | 3         | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 3 Mixte    | 3         | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 Résineux | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 Feuillus | 2         | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 4 Mixte    | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 4 Résineux | 1         | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 Feuillus | 3         | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 5 Mixte    | 3         | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 6 Feuillus | 2         | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 6 Mixte    | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 Résineux | 1         | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 Feuillus | 2         | 4 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 1 | 4 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 2 |
| 7 Mixte    | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7 Résineux | 1         | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 Feuillus | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 8 Mixte    | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 Résineux | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 9 Mixte    | 1         | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 Résineux | 2         | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

où 1 indique une fréquence nulle; 2 indique une fréquence faible; 3 indique une fréquence modérée; 4 indique une fréquence élevée.

A= *Microtus spp.*

D= Neige et verglas

G= *N. lecontei*

J= *G. abietina*

M= Dessiccation hivernale

P= *P. puberulus*

S= *T. piniresinosae*

B= *Ips pini*

E= *Coleosporium spp.*

H= *Pissodes strobi*

K= *E. dorsatum*

N= Techn. plantation

Q= *P. approximatus*

T= *Phyllophagus*

C= *Hylobius pales*

F= *A. mellea*

I= *R. buoliana*

L= Phytocide

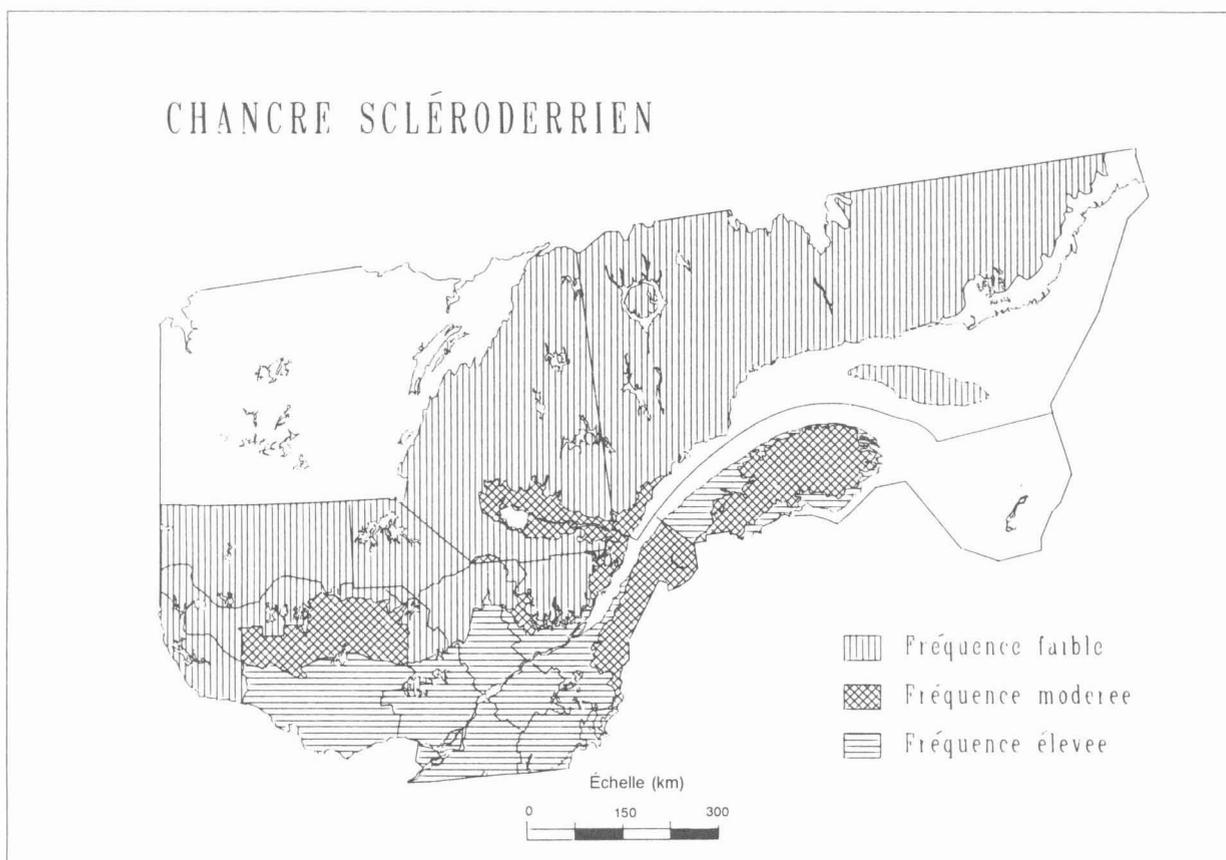
O= *C. baeri*

R= *H. radialis*

U= *H. annosum*

(Voir le tableau 1 pour les noms entiers des ravageurs)

le cognitif, chaque règle est analysée en détails afin de voir si les conditions énoncées sont valables pour le Québec. Lorsqu'une série de règles n'est pas adéquate pour le Québec, les experts corrigent alors cette série de règles. C'est au cognitif de transposer les connaissances et de les inclure dans la série de règles en question. Puisque de nouveaux



**Figure 8.** Carte de la distribution des fréquences historiques du chancre scléroderrien en fonction des régions administratives et des zones écologiques.

ravageurs sont inclus dans le système expert SEPPIR<sup>®</sup> par rapport à PREDICT<sup>®</sup> aucune règle ne permet de traiter ces nouveaux ravageurs. Le cognicien doit alors réunir les experts et extraire toutes les connaissances se rapportant au ravageur en cause. Par exemple dans le cas de la maladie du rond, les experts ont identifié des éléments qui favorisent et des éléments qui défavorisent le diagnostic de la maladie du rond. Parmi les éléments qui favorisent le diagnostic on a: présence d'éclaircie dans la plantation (souches coupées), présence d'arbres morts groupés en cercle (trous de mortalité), champignons à la base des arbres morts ou dépérissants, période de fructification des champignons se situant en septembre ou octobre et finalement feuillage d'arbres entièrement décoloré. Les éléments qui défavorisent le diagnostic sont: présence de rhyzomorphes, éclaircie datant de plus de 4 ans

et souches coupées lors d'éclaircies qui sont traitées au borax. Pour ce ravageur, il existe des éléments qui permettent un diagnostic certain soit: des fructifications au collet des racines et aux racines en dessous de l'humus d'une largeur de 8 à 15 cm de couleur brun chocolat avec une marge de couleur vanille. Les experts ont fait remarquer, lors de la construction des règles, l'importance de ne pas confondre la maladie du rond avec le pourridié-agaric. Ces éléments des connaissances sont analysés et traduits par le cognicien dans le système expert.

Les nouvelles règles s'intègrent à la suite des autres règles dans le système expert. Il faut également tenir compte des nouveaux faits générés par ces règles et modifier la base des faits en conséquence. Lors de la formulation des règles de diagnostic des nouveaux ravageurs, il ne faut pas oublier que, dans la logique de la base de connaissances, les règles sont établies afin qu'un ou des ravageurs soient en opposition avec d'autres ravageurs. Dans le cas de la maladie du rond, les règles sont établies par opposition au pourridié-agaric et vice-versa. Pour chaque règle, il y a un poids relatif à l'énoncé des connaissances et des faits. Ce poids est déterminé par les experts et est utilisé pour augmenter ou diminuer l'évidence d'un ravageur. La formulation mathématique a été décrite précédemment dans le texte. Une fois le tout complété, la validation proprement dite fut réalisée à partir de cas réels.

### **Validation du système expert SEPPIR®**

Cette dernière étape permet de vérifier de façon concrète si l'adaptation du système expert est valable, si la construction des nouvelles règles est bien faite et si tout le système expert donne de bons résultats dans des conditions de situations réelles.

### **Préparation du questionnaire de prise de données**

Un questionnaire fut conçu afin de recueillir le maximum de données lors des visites dans les plantations (voir annexe). Ce questionnaire permet de colliger l'information à peu près de la même manière que lors d'une session de travail avec le système expert. Cette formulation présente l'avantage de recueillir de l'information pertinente au système expert et de déduire d'autres types d'informations qui ne sont pas nécessairement évidentes lors de

la visite de la plantation. La description et le mode d'emploi du questionnaire ainsi qu'une définition des différents termes employés sont présentés dans Allard et collab. (1992).

### **Prise de données**

Le choix des plantations à visiter s'est effectué à partir des relevés des bases de données du RIMA et du SPIM qui, en 1989, signalaient un problème avec un ou des ravageurs inclus dans le système expert. D'autres plantations ont aussi été visitées afin d'augmenter le nombre de relevés pour la validation du système expert. La prise de données en 1990 s'est effectuée en deux étapes. La première étape était la visite de la plantation pour constater si le ravageur causait encore des dommages; dans l'affirmative, le questionnaire était complété. Si le ravageur n'était pas présent, une visite complète de la plantation s'effectuait afin de découvrir si d'autres problèmes affectaient la plantation. La seconde étape consistait à récolter des échantillons pour fins d'analyse et d'identification en laboratoire. Si un ravageur était présent, on recueillait un échantillon de branche ou de feuillage ou de toutes autres parties de l'arbre susceptibles de procurer de l'information au sujet de ce ravageur. Par la suite, le matériel fut remis aux experts en diagnostic pour une identification formelle de l'agent causal.

Lorsque toutes les visites de plantations furent terminées, on a introduit les données dans le système expert afin d'obtenir un diagnostic. Par la suite la réponse du système expert fut comparée à l'identification faite par l'expert en diagnostic à partir du matériel recueilli dans les plantations. Cette comparaison permit de raffiner les nouvelles règles introduites dans le système expert et de vérifier l'ensemble du système expert dans une situation de cas réels.

## **RÉSULTATS**

Sur un total de 190 plantations visitées, 84 plantations furent rejetées pour les raisons suivantes: ravageur rencontré ne faisant pas partie de la liste de ceux inclus dans le système expert, erreur de codification informatique de l'essence plantée (pin gris au lieu du pin rouge), plantation trop âgée, plantation ayant subi un traitement sylvicole ou plantation entièrement récoltée.

Il restait donc 106 plantations pour la validation du système expert. Malgré une bonne répartition de ces plantations dans les régions écologiques des forêts feuillue et mixte, seulement 12 des 21 ravageurs furent rencontrés dans l'une ou l'autre de 69 de ces plantations. Les 69 cas réels (tableau 4) se répartissent comme suit: 55 cas (79,7 %) où l'expert et le système expert font un diagnostic identique et 14 cas (20,3 %) où ils diffèrent.

Pour chacun des neuf autres ravageurs, environ trois cas fictifs furent constitués à partir de symptômes décrits dans la littérature et de l'expérience des experts. Le questionnaire était rempli comme pour un cas réel et introduit ensuite dans le système expert pour l'obtention d'un diagnostic. Ces cas fictifs (22 identiques et 5 différents) se répartissent de façon semblable (81,5 et 18,5 %) aux cas réels.

La proportion des problèmes rencontrés sur le terrain est bien représentée dans le tableau des résultats par ravageur (tableau 4). Dans l'ordre décroissant, le chancre scléroderrien, les mauvaises techniques de plantation, les rouilles d'aiguilles, le charançon du pin blanc et le diprion de Leconte furent les plus souvent rencontrés. Dans sa forme actuelle, deux des éléments du SEPPIR<sup>®</sup> portant a) sur la détermination du niveau de la neige et b) sur la définition du terme «segments rougis» (red flag) rendent difficiles les diagnostics relatifs au chancre scléroderrien, à la neige et verglas et à la dessiccation hivernale. La solution du problème relié à ces deux éléments fera l'objet de recherches ultérieures pour accroître la précision du système expert.

## DISCUSSION

À la lumière des résultats obtenus, on considère que le système expert répond bien à nos attentes même si dans 20 % des cas le système donne une réponse différente de celle de l'expert. Ces cas différents sont tous reliés au type d'information fournie en réponse au questionnaire et on les a regroupé en trois catégories. Le principal facteur qui vient expliquer cette divergence est l'illogisme des réponses fournies au questionnaire. Par exemple, la personne signale que le type de dommages observés sur les arbres de la plantation est simultanément une décoloration partielle et une décoloration totale du

**Tableau 4.** Nombre de cas où les résultats de la partie diagnostic de SEPPIR<sup>®</sup> furent identiques ou différents de l'identification par les experts (répartition par ravageur)

| Ravageur                                   | Nombre de cas  |           |            |          |
|--|----------------|-----------|------------|----------|
|  | Identiques     |           | Différents |          |
|  | R <sup>b</sup> | F         | R          | F        |
| <u>Animaux</u>                             |                |           |            |          |
| <i>Microtus</i> spp.                       | 3              |           | 0          |          |
| <i>Erithizon dorsatum</i>                  | 3              |           | 1          |          |
| <u>Insectes</u>                            |                |           |            |          |
| <i>Ips pini</i>                            | 3              |           | 0          |          |
| <i>Hylobius pales</i> <sup>a</sup>         |                | 2         |            | 0        |
| <i>Phyllophagus</i> spp. <sup>a</sup>      |                | 2         |            | 1        |
| <i>Hylobius radialis</i> <sup>a</sup>      |                | 3         |            | 0        |
| <i>Neodiprion lecontei</i>                 | 4              |           | 0          |          |
| <i>Thecodiplosis piniresinosae</i>         | 2              |           | 0          |          |
| <i>Pissodes strobi</i>                     | 6              |           | 2          |          |
| <i>Rhyacionia buoliana</i> <sup>a</sup>    |                | 3         |            | 0        |
| <i>Pissodes approximatus</i>               | 3              |           | 1          |          |
| <i>Pityophthorus puberulus</i>             | 2              |           | 0          |          |
| <i>Contarinia baeri</i> <sup>a</sup>       |                | 2         |            | 1        |
| <u>Maladies</u>                            |                |           |            |          |
| <i>Gremmeniella abietina</i>               | 9              |           | 5          |          |
| <i>Coleosporium</i> spp.                   | 8              |           | 0          |          |
| <i>Armillaria mellea</i> <sup>a</sup>      |                | 3         |            | 2        |
| <i>Heterobasidion annosum</i> <sup>a</sup> |                | 3         |            | 0        |
| <u>Facteurs abiotiques</u>                 |                |           |            |          |
| Neige et verglas <sup>a</sup>              |                | 2         |            | 1        |
| Phytocide <sup>a</sup>                     |                | 2         |            | 0        |
| Dessiccation hivernale                     | 3              |           | 4          |          |
| Techniques de plantation                   | 9              |           | 1          |          |
| <b>TOTAL</b>                               | <b>55</b>      | <b>22</b> | <b>14</b>  | <b>5</b> |

<sup>a</sup> Cas fictifs générés à partir des symptômes décrits dans la littérature étant donné leur absence dans les plantations visitées.

<sup>b</sup> Les cas Réels ou Fictifs sont présentés séparément pour permettre de comparer les totaux.

feuillage. Le système expert ne peut alors traiter de façon rationnelle la suite des informations. Présentement, aucun mécanisme n'est prévu pour détecter ce genre d'informations contradictoires dans le système expert.

Un autre facteur rencontré à l'occasion est la surabondance des symptômes observés, lorsque des problèmes mineurs sont présents dans la même plantation qui présente un problème plus important; l'individu ne voulant pas perdre de l'information ou ne sachant pas trop quoi observer indique le plus de symptômes possibles (par exemple, bourgeons morts, vrillés, tordus, penchés, etc. Le système expert considère alors une foule de ravageurs qui possèdent ces symptômes et il diagnostique plusieurs ravageurs qui ont un niveau de confiance très bas. Ils sont donc rejetés par le système, car il faut se rappeler que le niveau d'élimination d'un ravageur est de 53 %. Par contre pour ces mêmes cas, si on se concentre sur les symptômes dominants, le système donne alors une réponse valable.

Enfin, un dernier facteur qui explique ce taux d'échec est le manque d'information de la part de l'observateur et de l'utilisateur. Ce manque d'information s'explique lorsque la personne qui remplit le questionnaire ne possède aucune notion de pathologie et d'entomologie forestières et, de plus, ne connaît pas le fonctionnement du système expert. En conséquence, sans être une experte, la personne qui utilise le système expert en tirera davantage de précisions si elle possède quelques notions de pathologie et d'entomologie forestières, car elle pourra mieux décrire les observations faites lors de la visite de la plantation. Il faut se rappeler que le formulaire terrain comporte beaucoup moins de questions que le système expert. Il est donc important de prendre le maximum de notes et de les inscrire dans la section «Remarques» du formulaire.

## CONCLUSION

Le système expert est un outil valable de diagnostic des ravageurs et d'évaluation des dommages potentiels pouvant être causés par des ravageurs dans les plantations de pins rouges au Québec. Pour éviter que les dommages n'atteignent un niveau élevé, on devrait y recourir très tôt lorsque le problème apparaît. Une surveillance continue et rigoureuse s'avère donc primordiale si on veut appliquer des mesures de contrôle appropriées.

Dans un deuxième temps, à titre d'amélioration, on pourrait inclure au système expert actuel des mécanismes de détection des illogismes lors de l'introduction des données

provenant du terrain. De plus, à la suite d'un diagnostic d'un ou de plusieurs ravageurs, on pourrait indiquer le type de dommages auxquels on doit s'attendre et les interventions possibles pour le traitement de la plantation contre ce ravageur (par exemple, élagage, usage d'un fongicide, etc.). Cependant, ces interventions de contrôle seraient plus utiles si on disposait d'abord d'un module pour évaluer l'importance du problème; au delà d'un certain seuil, l'intervention deviendrait à conseiller. L'utilisation d'images graphiques illustrant les différentes parties d'un pin rouge, d'un segment de branche, etc. augmenterait également la compréhension du système par l'utilisateur lors d'une session de travail mais cette dernière amélioration nécessiterait un ordinateur plus puissant qu'un PC.

Par ailleurs, ce système expert peut aussi être un excellent outil d'enseignement, car il permet une révision des principaux symptômes pour chacun des ravageurs du pin rouge. L'élaboration du système expert a également aidé à identifier certaines études à entreprendre pour procéder à un meilleur diagnostic. Par exemple, on devrait pouvoir distinguer davantage entre les symptômes spécifiques au chancre scléroderrien, à la dessiccation hivernale et au bris de neige, tel que mentionné dans les résultats. Ce travail démontre également la nécessité de construire d'autres systèmes experts afin d'inclure et de profiter des connaissances d'autres experts dans différents domaines de la foresterie, pendant que cette connaissance et cette expérience sont encore accessibles.

Un rapport technique détaillé est disponible sur demande au Centre de foresterie des Laurentides (CFL) pour ceux qui seraient intéressés à construire d'autres systèmes experts selon l'approche exposée dans le présent rapport.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs et collaborateurs de ce rapport désirent exprimer leur gratitude à M. Rhéal Angers pour la récolte de données sur le terrain et aux experts en diagnostic, Mmes Thérèse Arcand et Carole Germain ainsi que MM. André Carpentier et René Cauchon, pour leur apport précieux lors de la détermination définitive de l'identité des agents responsable des problèmes rencontrés sur le pin rouge lors de la présente étude.

## OUVRAGES CONSULTÉS

- Allard, R.A.; Archambault, L.; Laflamme, G.; Lavallée, A. 1992. Guide de prise de données sur le terrain - SEPPIR<sup>©</sup> - Version CFL 1.0. For. Can., Région du Québec, Sainte-Foy, Qué. Rapp. inf. LAU-X-99.
- Campbell, A.N.; Hollister, V.F.; Duda, R.O.; Hart, P.E. 1982. Recognition of a hidden mineral deposit by an artificial intelligence program. *Science* 217:927-929.
- Cooney, B.A. 1986. Representing Knowledge Through Expert System. *The Compiler* 3 (4):5-9.
- Harmon, P.; King, D. 1985. *Expert systems*. John Wiley and Sons Inc., New York, NY.
- Information Builders Inc. 1989. *Level 5<sup>™</sup> Expert System Software Users Manual*. New York, NY.
- Kourtz, P. 1987. Expert system dispatch of forest fire control resources. *A.I. applications in natural resource management* 1:1-8.
- Kourtz, P. 1990. Artificial intelligence: A new tool for forest management. *Can. J. For. Res.* 20:428-437.
- Rauscher, M.H.; Hacker, R. 1989. Overview of AI applications in natural resource management. *AI and Growth add Models for Forest Management Decisions Conference*, Vienna, Austria, Sept. 18-22.
- Schmoldt, D.L. 1987. Evaluation of an expert system approach to forest pest management of red pine (*Pinus resinosa*) Ph.D. diss. Univ. Wisconsin-Madison.
- Schmoldt, D.L.; Martin, G.L. 1989. Refining Rule Bases for Classification Knowledge Bases Systems. *A.I. Applications* 3 (3):31-41.
- Shortliffe, E.H. 1976. *Computer-based medical consultations: MYCIN*. Elsevier, New-York, NY.



**ANNEXE**

**FORMULAIRE DE PRISES DE DONNÉES SUR LE TERRAIN**



Aiguilles affectées

Oui ( ) Non ( )

- Si oui: ( ) les anciennes et les nouvelles  
 ( ) celles de l'année  
 ( ) les anciennes aiguilles seulement  
 ( ) les aiguilles de l'année dernière seulement  
 ( ) les aiguilles des deux dernières années seulement

Distribution des dommages aux aiguilles

- ( ) pas de dommages  
 ( ) moitié inférieure  
 ( ) en bas de 2 m  
 ( ) flèche terminale  
 ( ) sous la ligne de neige  
 ( ) au dessus de la ligne de neige  
 ( ) dispersés dans la cime  
 ( ) plus haut que 4,5 m  
 ( ) près des bourgeons  
 ( ) sur des arbres dominants  
 ( ) sur un certain côté  
 ( ) plus particulièrement près du sommet  
 ( ) sur les branches inférieures des arbres dominés

Coloration anormale des aiguilles

Oui ( ) Non ( )

- Si oui: ( ) jaune  
 ( ) rouge  
 ( ) brune

Blessures aux aiguilles

Oui ( ) Non ( )

- Si oui: ( ) mortes  
 ( ) chute des aiguilles  
 ( ) flétrissement mois: \_\_\_\_\_  
 ( ) coloration anormale après flétrissement  
 ( ) vésicules crème de mai à juillet  
 ( ) coloration après courbure et chute  
 ( ) tordues  
 ( ) bien tordues dans la gaine même si elles sont  
 vertes pendant août et septembre  
 ( ) totalement ou partiellement défoliées  
 mois: \_\_\_\_\_

Décrire la défoliation


---



---



---

Pousses affectées

Oui ( ) Non ( )

- Si oui: ( ) recourbées  
 ( ) vrillées  
 ( ) mortes  
 ( ) coloration brune  
 ( ) enduites de résine  
 ( ) tordues  
 ( ) creuses  
 ( ) mortes ou vrillées sur les arbres dominés  
 ( ) dépérissement des latérales après juin et quand:  
 \_\_\_\_\_  
 ( ) chancre résineux sur les pousses de l'année pendant juillet et les mois suivants

Bourgeons affectés

Oui ( ) Non ( )

- Si oui: ( ) croissant à angle  
 ( ) enduits de résine  
 ( ) recourbés  
 ( ) morts  
 ( ) goutte de résine présente à la base  
 ( ) morts plus bas que 2 m  
 ( ) croissance courbée  
 ( ) penchés  
 ( ) écoulement de résine  
 moment des blessures mois: \_\_\_\_\_

SIGNESCocons recouverts de brindilles de bois déchiquetées

Oui ( ) Pas observés ( )

- Si oui: ( ) dans le sol à la surface du bois des souches ou des arbres endommagés  
 ( ) en juillet, sous l'écorce (à la surface du bois) de la flèche terminale de l'année ou de l'année précédente  
 ( ) sous l'écorce (à la surface du bois) de la tige principale

Larves

Oui ( ) Pas observées ( )

- Si oui: ( ) possède une tête brun rougeâtre  
 ( ) possède une tête brun rougeâtre et un corps jaune avec six rangées de petits ronds noirs  
 ( ) de couleur orange se nourrissant sous les paires d'aiguilles de mai à octobre  
 ( ) plusieurs, blanchâtres, comme des vers et présentes sous l'écorce de la flèche terminale de avril à juillet  
 ( ) de 2 à 5, petites, brunes et présentes sous une couche de résine à la base des bourgeons de août à mars  
 ( ) de 2 à 5, petites, brunes et présentes sous les pousses allongées pendant mai et juin  
 ( ) se nourrissent sous l'écorce des racines primaires près du collet

Mode d'alimentation des larves

- ( ) en colonies  
 ( ) seules  
 ( ) groupes de 6 ou moins

Galeries

Oui ( ) Non ( )

Si oui:

- présence ( ) oeufs  
 ( ) larves  
 description ( ) présentes dans la région du collet avec des larves  
 ( ) présentes avec des larves sous l'écorce de la flèche terminale ou des pousses antérieures  
 ( ) présentes au niveau du cambium des pousses  
 ( ) oeufs, disposées en rayon

INFORMATION RELATIVE À LA PLANTATIONCaractéristiques de la plantation

- |   |                 |
|---|-----------------|
| - surface terrière de plus de 12 m <sup>2</sup> /ha   | Oui ( ) Non ( ) |
| - indice de site <= à 4 m à 15 ans                    | Oui ( ) Non ( ) |
| - traitée récemment avec un phytocide (moins d'un an) | Oui ( ) Non ( ) |
| - présence de végétation compétitive arbustive        | Oui ( ) Non ( ) |
| - présence de végétation compétitive herbacée         | Oui ( ) Non ( ) |
| - peuplement d'érable à proximité (0-300 m)           | Oui ( ) Non ( ) |
| - présence de conditions de sécheresse                | Oui ( ) Non ( ) |
| - plantation en état de stress                        | Oui ( ) Non ( ) |

Âge de la plantation: \_\_\_\_\_

Diamètre moyen des arbres: \_\_\_\_\_ cm

Hauteur moyenne des arbres: \_\_\_\_\_ m et cm

Hauteur minimum du feuillage à partir du sol: \_\_\_\_\_ m et cm

Hauteur maximale de la couverture de neige l'hiver précédent: \_\_\_\_\_ m et cm

- blessures récentes aux arbres (1 an) Oui ( ) Non ( )
- située dans l'aire de distribution du pin rouge Oui ( ) Non ( )
- éclaircie récente dans la plantation Oui ( ) Non ( )
- présence de chablis, ou blessures de plus de 4 cm, ou souches de pin rouge non traitées Oui ( ) Non ( )
- présence d'un étage dominant Oui ( ) Non ( )
- présence d'arbres morts dans ou près de la plantation (pin blanc ou rouge) Oui ( ) Non ( )
- type de plantation Coupe vent ( ) Arbres de Noël ( ) Autre ( )
- couverture épaisse de chaume l'année précédente Oui ( ) Non ( )
- présence de pins gris ou sylvestre dans ou près de la plantation Oui ( ) Non ( )
- présence de dépressions locales Oui ( ) Non ( )
- site exposé aux vents Oui ( ) Non ( )
- située sur un site antérieurement (moins de 5 ans) occupé par des feuillus Oui ( ) Non ( )
- indices d'une population de petits rongeurs (mulots, souris etc. ) Oui ( ) Non ( )
- plantes présentes Aster ( ) Verge d'or ( ) Pas observé ( )

REMARQUES:

---



---



---



---



42