

**MODÉLISATION DE LA
CROISSANCE ET DU
RENDEMENT DES
PEUPLEMENTS
D'ÉRABLE À SUCRE**

par J.-P. Carpentier

recherche

JEAN-PIERRE CARPENTIER est bachelier en foresterie de l'Université Laval depuis 1968. Du Service de la restauration du ministère de l'Énergie et des Ressources, il est passé à la Recherche forestière, à titre de chargé de recherches en rendement des forêts. En 1987, l'Université Laval lui décerne le diplôme de Maître ès Sciences en foresterie.

Depuis de nombreuses années, chacun des *Mémoires* et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique fédérale ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère de l'Énergie et des Ressources.

**MODÉLISATION DE LA CROISSANCE ET DU
RENDEMENT DES PEUPELEMENTS D'ÉRABLE À SUCRE***

par

JEAN-PIERRE CARPENTIER, ing. f.

Mémoire n° 91

**SERVICE DE LA RECHERCHE APPLIQUÉE
DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT
MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE ET DES RESSOURCES
1987**

- * Thèse présentée à l'École des gradués de l'Université Laval comme exigence partielle pour l'obtention du grade de maître ès Sciences (foresterie) sous la direction du professeur Jacques Bélanger du département des Sciences forestières de la Faculté de foresterie et de géodésie. Quelques modifications mineures ont été apportées au texte en vue de cette publication.

ERRATA

page - paragraphe - ligne

2	équation	$Y_2 :: b_1 Y_1^{b_2}$	Remonter b_2 , c'est un exposant
23-2-8		érable s à sucre	enlever le s
25 - 1 - 8		leur _ reproduction	espace
36 - 3 - 6		Cependant _ l'utilisateur	espace
44 - 2 - 2		érable s à sucre	pas d's
77 - 4 - 2		<u>prédite</u>	enlever le mot
77 - 4 - 6		station s	pas d's
79 formule a_1		$a_1 :: 1,0397$	il y a un zéro de trop
98 - 2 - 2		érable s	pas d's
98 dernière ligne		même chose	
108 - 2 - 2		même chose	

ISBN 2-550-17627-8

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec

AVANT-PROPOS

En tout premier lieu je tiens à remercier M. Jacques Bélanger. Au cours des trois dernières années, j'ai bénéficié de ses conseils avisés et de son encouragement. Ceux-ci m'ont permis de réaliser le présent travail de recherche.

Je remercie également M. Huor Ung et ses collaborateurs, MM. Robert Lagüe et François Bertrand du Centre de foresterie des Laurentides (C.F.L.) qui ont bien voulu me faire profiter de leur expertise en m'initiant à la modélisation mathématique des différents phénomènes de croissance forestière.

Je remercie également la mathématicienne Mme Carmelle Beaulieu et les mathématiciens MM. Gilles Désaulniers et Yves Bourgault du Service de la recherche appliquée (S.R.A.) qui m'ont assisté au cours de mes travaux de recherche. Leur présence m'a été indispensable pour solutionner les complexités mathématiques survenues lors de la mise au point du modèle de prédiction qui fait l'objet essentiel du présent mémoire.

Le traitement de milliers de données a été rendu possible grâce à la compétence des informaticiens MM. Jean de Bellefeuille, Charles-Auguste Morin et Louis Lacombe. Ce dernier a particulièrement contribué à la mise au point définitive des différentes fonctions du modèle ERS proposé.

Je tiens également à souligner la collaboration de mes confrères forestiers MM. Zoran Majcen, Yvon Richard, Léon Carrier et Robert Landry du S.R.A. Leurs conseils éclairés m'ont été utiles pour discuter des résultats obtenus au cours des différentes étapes des travaux. La collaboration de M. Landry a particulièrement été appréciée lors de l'élaboration des équations concernant les indices de qualité de station.

Je tiens finalement à remercier les aménagistes forestiers MM. Dennis Walsh et Émilien Dion du Service des plans d'aménagement forestier (S.P.A.F.) qui m'ont exprimé avec précision leurs attentes en vue de l'application d'un tel modèle de prédiction de la croissance et du rendement.

RÉSUMÉ

Les aménagistes forestiers ont besoin de prédire le rendement et la croissance en matière ligneuse des érablières. Les outils de prédiction disponibles actuellement sont les tables normales de Plonski. Ces tables de production ont été établies sur la base d'un échantillonnage de données recueillies seulement dans des peuplements à densité optimale croissant dans la province de l'Ontario.

Ces tables sont utiles, mais elles présentent plusieurs inconvénients lors de leur emploi au Québec. Comme premier inconvénient, nous observons que l'évolution dendrométrique des peuplements forestiers d'érable à sucre au Québec ne suit pas réellement les patrons de croissance identifiés dans la province de l'Ontario. Même si les peuplements ont tendance à se normaliser en termes de densité, notre échantillonnage de données indique une très grande variation à ce sujet. Comme deuxième inconvénient de l'application des tables de Plonski nous notons que l'aménagiste doit connaître l'âge de chaque peuplement concerné. Or, cette variable dendrométrique n'est pas recueillie dans nos inventaires forestiers. L'aménagiste ne peut qu'estimer l'âge du peuplement et il n'obtient alors que des résultats approximatifs. Un troisième inconvénient provient du fait que les équations de prédiction de Plonski sont aussi basées sur un indice de qualité de station. Or les données d'inventaires forestiers du Québec ne permettent pas de déterminer avec exactitude laquelle des trois tables publiées par Plonski doit être utilisée. En effet nous ne pouvons pas identifier nos classes de qualité de station, qui reposent essentiellement sur la hauteur et l'âge réel du peuplement, car ce dernier n'est pas échantillonné lors de l'inventaire forestier des strates feuillues.

Par conséquent, nous avons cru nécessaire d'établir, à partir de données dendrométriques recueillies systématiquement au Québec, un modèle de prédiction du rendement qui permettrait d'éviter les trois inconvénients énumérés. A cette fin nous avons utilisé les données provenant du réseau des placettes échantillons permanentes (p.é.p.) du ministère de l'Énergie et des Ressources (M.E.R.) établies au début des années 1970 et remesurées entre 6 et 8 ans plus tard selon les zones d'inventaire. Ce nouveau modèle repose essentiellement sur l'évolution dendrométrique observée au cours de cette période.

Il a d'abord fallu classifier les effets du dynamisme ou les changements d'état des peuplements où se situent les arbres des placettes selon trois grandes classes de diamètre. Pour chacune des classes retenues, nous avons ensuite cherché à expliquer l'accroissement en diamètre des tiges, leur passage d'une classe de diamètre à une autre et leur mortalité de même que l'arrivée des recrues. Le travail principal fut de rechercher les variables dendrométriques qui expliquent le mieux les phénomènes observés.

Comme les prises de données ont été sélectionnées aléatoirement, il a été possible de relier les phénomènes observés à des variables qui représentent toutes les conditions probables d'évolution. Ainsi, l'étendue de prédiction peut couvrir toute la vie de ce type de peuplement. Le modèle ERS permet donc la construction de tables de rendement applicables à l'évolution d'un peuplement sur une longue période. Ces tables peuvent être qualifiées à la fois de normales ou d'empiriques car le modèle peut accepter une grande gamme d'états initiaux de peuplement. Il suffit que ceux-ci se situent entre les extrêmes observés dans notre échantillonnage de base.

Afin d'en faciliter l'utilisation, le modèle a été informatisé sous la forme d'un logiciel interactif. L'utilisateur éventuel n'a pas besoin de connaissances informatiques pour s'en servir adéquatement. Il peut ainsi obtenir rapidement les prédictions désirées.

Des prédictions de la croissance à long terme d'un peuplement, obtenues à l'aide du modèle ERS, se comparent avantageusement avec celles que l'aménagiste peut obtenir avec les modèles publiés aux États-Unis et en Ontario.

ABSTRACT

Forest managers need to predict the yield of maple tree stands. The prediction tools currently used are Plonski's yield tables. These yield tables are based on a data sample collected solely from optimal density stands in the province of Ontario.

There are certain drawbacks in using these tables to predict the dendrometrical evolution of stands in the province of Quebec because it is reasonable to assume that sugar maple stands in this province do not necessarily follow the same growth pattern than those in other provinces. First, Plonski's yield tables are designed for a single optimal density, while our samples show great variations in that domain, although stands tend to normalize themselves with age. Secondly, age is the main predictor variable of conventional yield tables, and this dendrometrical value was not recorded in our inventory; so we have to guess an age for each of our sample plots. Thirdly, site class is also a major predictor variable in Plonski's yield tables, while there is no way for us to determine which site class a given plot belongs to because this value depends upon the age of the plot and we do not have this data.

To overcome these three drawbacks, we have developed our own predicting model using data collected in the province of Quebec. The data used are a subset of the permanent sample plot data base of the Ministère de l'Énergie et des Ressources (M.E.R.). The first data collection was made in the early seventies and the plots were measured again 6 to 8 years later, depending on the inventory zone. Therefore the model is based on the dendrometrical evolution observed during that period of time.

The evolution of the plots has been quantified and schematized for three major diameter classes. For each class, we have tried to predict these values: increase in diameter of the stems, number of ingrowth stems or stems that pass from one diameter class to another, and mortality rate. The main work was to find the proper dendrometrical variables to best predict a given phenomenon.

Observations in the field being randomly distributed among plots of all ages and developing stages, it is legitimate for us to assume that our data represents a fairly good sample of all probable evolutionary conditions. Our model, which we have called ERS, can thus be considered to be valid for a very wide period of time. Furthermore, tables obtained with it can be considered both empirical and normal because they can be initiated by a very large range of initial conditions, including optimal ones, as long as these conditions lie between the extremes observed in our initial sampling.

For ease of use, our model has been programmed into an interactive forest growth simulation software. The user needs no knowledge in computer science to operate it and obtain quickly the predictions he or she desires.

Predictions using the ERS forest growth simulator are coherent with other predictions obtained from other models and simulators developed and published in the United States and Ontario.

TABLE DES MATIÈRES

	page
AVANT-PROPOS	iii
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES FIGURES	xv
LISTE DES ANNEXES	xvii
INTRODUCTION	1
 CHAPITRE I - REVUE DE LA LITTÉRATURE	 7
1.1 Historique de la modélisation du rendement	7
1.2 Évolution des méthodes	8
1.3 Catégorisation des modèles de prédiction du rendement forestier	11
1.3.1 Modèles par arbre individuel	11
1.3.2 Modèles par peuplement entier	15
1.3.3 Modèles de succession écologique	15
1.4 Résumé des principaux modèles déjà publiés	19
1.5 Conclusion de la revue de la littérature	20
 CHAPITRE II - MATÉRIEL ET MÉTHODE	 21
2.1 Spécification du champ d'application	21

	page
2.1.1 Type de couvert	21
2.1.2 Groupement d'essences	23
2.2 Provenance et caractéristiques des placettes échantillons permanentes	23
2.2.1 Situation au début du travail de recherche	23
2.2.2 Plan de sondage	25
2.2.3 Localisation des placettes	28
2.2.4 Forme et dimensions des placettes	30
2.2.5 Implantation d'une placette	30
2.2.6 Modification de l'identification de l'essence d'un arbre	32
2.2.7 Diamètres non comparables	32
2.3 Catégories de placettes échantillons permanentes	32
2.3.1 Stade de développement	32
2.3.1.1 Peuplement en régénération	32
2.3.1.2 Peuplement jeune	33
2.3.1.3 Peuplement mûr	34
2.3.2 Situation sylvicole des placettes de base	34
2.3.2.1 Placettes sans coupe partielle (S.C.P.)	35
2.3.2.2 Placettes avec coupe partielle (C.P.)	35
2.4 Définition des grandes classes de diamètre	36
2.5 Phénomènes étudiés concernant les tiges	37
2.5.1 Phénomène des recrues	37
2.5.2 Phénomène de la mortalité	38
2.5.3 Les équations d'état du système concernant les tiges	39
2.6 Phénomènes étudiés au niveau de la surface terrière	42
2.6.1 Équation d'état du système au niveau de la surface terrière	42
2.6.2 Signification des symboles des variables d'état	42
2.6.3 Signification des symboles des variables de changement	42
2.7 Statistiques relatives aux placettes échantillons retenues	44
2.7.1 Nombre de tiges	44
2.7.2 Données initiales moyennes	44
2.7.3 Distribution du nombre de placettes en fonction du diamètre moyen et du nombre de tiges par hectare	46

	page
2.7.3.1 Distribution pour les placettes "coupe partielle" et "sans coupe partielle"	46
2.7.3.2 Distribution pour les placettes sous les appellations "jeunes" et "mûres".	50
2.8 Méthodes de régression	53
CHAPITRE III - RÉSULTATS	55
3.1 Présentation du modèle ERS	55
3.2 Équations de changement du modèle de prédiction sans coupe partielle	57
3.2.1 Accroissement annuel des survivants	57
3.2.2 Équations de prédiction du nombre de recrues	60
3.2.3 Surface terrière des recrues des classes de DHP 1, 2 et 3	63
3.2.4 Équations de prédiction du nombre annuel de tiges mortes	64
3.2.5 Détermination de la surface terrière annuelle des tiges mortes	67
3.3 Équations de changement du modèle de prédiction avec coupe partielle	72
3.4 Méthodes d'entrée des conditions initiales	72
3.4.1 Entrée globale	72
3.4.2 Entrée par une table de peuplement	72
3.5 Équations complémentaires du modèle ERS	74
3.5.1 Équations exprimant le volume comme une fonction de la surface terrière par classe de DHP	74
3.5.1.1 Volume en classe de DHP 1	74
3.5.1.2 Volume en classe de DHP 2	75
3.5.1.3 Volume en classe de DHP 3	75
3.5.2 Détermination de la surface terrière totale	76
3.5.3 Détermination des classes de fertilité et de l'indice de qualité de station	77
3.5.4 Prédiction de la hauteur par classe de qualité de station en fonction de l'âge	79
3.5.5 Prédiction de l'âge en fonction du DHP moyen et de la classe de qualité de station	80
3.6 Formation des tables de production empiriques	81

	page
3.6.1 Évolution des caractéristiques du peuplement par classe de DHP	85
3.6.2 Évolution du nombre de tiges à l'hectare en fonction de l'âge	85
3.6.3 Évolution de la surface terrière à l'hectare en fonction de l'âge	98
3.6.4 Évolution du volume par hectare en fonction de l'âge	98
3.7 Résultats de la fonction <i>COUPE PARTIELLE</i>	102
CHAPITRE IV - DISCUSSION	105
4.1 Principes et généralisations découlant des résultats. . .	105
4.2 Limitations du modèle <i>ERS</i> et améliorations futures . . .	107
4.3 Comparaison avec les travaux déjà publiés	108
4.3.1 Tables de Love et de Plonski	108
4.3.2 Modèles américains pour des peuplements jeunes et équiennes	109
4.3.3 Modèles américains pour des peuplements mûrs et inéquiennes	112
4.4 Implications théoriques et applications pratiques	114
CONCLUSION GÉNÉRALE	117
BIBLIOGRAPHIE	119
ANNEXE A Copie des fonctions composant l'ensemble du modèle de prédiction <i>ERS</i>	125
ANNEXE B Exemple d'utilisation du modèle <i>ERS</i>	145

LISTE DES TABLEAUX

	page
Tableau 1.1 Classification des modèles de prédiction	16
Tableau 1.2 Classification des modèles de prédiction "arbre individuel"	17
Tableau 1.3 Classification des modèles de prédiction "de succession" et "peuplement entier"	18
Tableau 2.1 Densité d'échantillonnage pour chaque région forestière. .	28
Tableau 2.2 Codes d'états attribués aux arbres à la deuxième mesure. .	31
Tableau 2.3 Évolution des tiges des 89 placettes échantillons	38
Tableau 2.4 Données initiales pour les placettes échantillons permanentes	45
Tableau 2.5 Distribution du nombre de placettes en fonction du DHP moyen et du nombre de tiges par hectare pour toutes les placettes	47
Tableau 2.6 Distribution du nombre de placettes en fonction du DHP moyen et du nombre de tiges par hectare pour les placettes avec coupes partielles	48
Tableau 2.7 Distribution du nombre de placettes en fonction du DHP moyen et du nombre de tiges par hectare pour les placettes sans coupes partielles	49
Tableau 2.8 Distribution du nombre de placettes en fonction du DHP moyen et du nombre de tiges par hectare pour les placettes jeunes	51
Tableau 2.9 Distribution du nombre de placettes en fonction du DHP moyen et du nombre de tiges par hectare pour les placettes mûres	52
Tableau 3.1 Table de production pour l'érable à sucre, classe de qualité de station 1	82

	page
Tableau 3.2 Table de production pour l'érable à sucre, classe de qualité de station 2	83
Tableau 3.3 Table de production pour l'érable à sucre, classe de qualité de station 3	84
Tableau 3.4 Évolution pour la classe de DHP 1, classe de qualité de station 1	86
Évolution pour la classe de DHP 2, classe de qualité de station 1	87
Tableau 3.6 Évolution pour la classe de DHP 3, classe de qualité de station 1	88
Tableau 3.7 Évolution pour l'ensemble du peuplement, classe de qualité de station 1	89
Tableau 3.8 Évolution pour la classe de DHP 1, classe de qualité de station 2	90
Tableau 3.9 Évolution pour la classe de DHP 2, classe de qualité de station 2	91
Tableau 3.10 Évolution pour la classe de DHP 3, classe de qualité de station 2	92
Tableau 3.11 Évolution pour l'ensemble du peuplement, classe de qualité de station 2	93
Tableau 3.12 Évolution pour la classe de DHP 1, classe de qualité de station 3	94
Tableau 3.13 Évolution pour la classe de DHP 2, classe de qualité de station 3	95
Tableau 3.14 Évolution pour la classe de DHP 3, classe de qualité de station 3	96
Tableau 3.15 Évolution pour l'ensemble du peuplement, classe de qualité de station 3	97
Tableau 3.16 Rapport des coupes partielles	103

LISTE DES FIGURES

	page
Figure 2.1 Schéma des types de couvert	22
Figure 2.2 Groupements d'essences des peuplements "FEUILLUS"	24
Figure 2.3 Zones d'inventaire où la 2 ^e mesure des P.E.P. est com- plétée	25
Figure 2.4 Régions forestières du Québec	27
Figure 2.5 Situation géographique des placettes échantillons perma- nentes ayant servi à l'élaboration du modèle ERS	29
Figure 2.6 Dynamique des tiges par classe de diamètre dans le modèle ERS	41
Figure 2.7 Dynamique de la surface terrière par classe de diamètre dans le modèle ERS	43
Figure 3.1 Ordinogramme du programme ERS	56
Figure 3.2 Nombre de tiges par classe de diamètre en fonction de l'âge	99
Figure 3.3 Surface terrière par classe de diamètre en fonction de l'âge	100
Figure 3.4 Volume par classe de diamètre en fonction de l'âge	101
Figure 4.1 Évolution du rendement d'après trois tables de rendement différentes	110
Figure 4.2 Évolution du rendement d'après les modèles FOREST, SHAF et ERS pour des peuplements jeunes	111
Figure 4.3 Évolution du rendement d'après les modèles FOREST, SHAF et ERS pour des peuplements mûrs	113

LISTE DES ANNEXES

	page
Annexe A Copie des fonctions composant l'ensemble du modèle de prédiction <i>ERS</i>	120
Annexe B Exemple d'utilisation du modèle <i>ERS</i>	138

INTRODUCTION

Le développement des arbres et des peuplements implique des processus complexes. Les changements observés varient grandement selon le génotype, le niveau de développement et les facteurs environnementaux. Cependant, il existe plusieurs patrons de développement que tous les arbres suivent dans leur vie. L'analyse de ces processus et leur caractérisation sous forme de modèles mathématiques est le but de la modélisation forestière. Même si l'on reconnaît que les aspects biochimiques de l'évolution des arbres influencent les patrons de développement, les dendrométriciens se limitent habituellement à l'étude des caractéristiques physiques facilement mesurables de l'arbre.

Croissance de l'arbre

Virtuellement toutes les dimensions extérieures d'un arbre se développent d'une manière sigmoïdale, par rapport au temps. Cette relation peut être exprimée sous la forme intégrale de la fonction de Richards (1959) comme :

$$Y = b_1 (1 - e^{b_2 t})^{b_3}$$

où

Y est une dimension dendrométrique, comme la hauteur ou le diamètre,
t est le temps,

b₁, b₂ et b₃ sont des coefficients qui dépendent de l'état initial d'un peuplement particulier.

L'équation peut s'appliquer à une courte période où "t" est exprimé en termes de jours ou de semaines. On peut étudier par exemple l'évolution du diamètre d'un arbre au cours d'une saison de croissance comme l'a fait Kozlowski (1971). Lorsque "t" est exprimé en années, il devient possible de couvrir toute la vie de l'arbre en oubliant qu'il y a quatre saisons par année et s'en tenir uniquement aux mesures de fin d'année.

Même si chaque arbre a son patron propre de développement, il est toutefois possible de relier certaines dimensions entre elles par l'équation allométrique suivante:

$$Y_2 = b_1 Y_1^{b_2}$$

où par exemple:

Y_1 peut être la hauteur

Y_2 peut être le diamètre de la tige

Même si dans plusieurs cas cette équation représente bien les relations entre deux variables différentes, il faut avoir recours à des formes d'équations plus complexes lorsque l'on veut expliquer une caractéristique avec plus d'une variable indépendante. On trouve un exemple intéressant dans Ek (1974):

$$Y_3 = Y_1 e^{-b_1 Y_1^{b_2} (Y_2 + b_3)^{b_4}}$$

où Y_3 est la longueur de la tige sans branche, Y_1 est la hauteur totale de l'arbre et Y_2 est le diamètre.

Croissance du peuplement

Comme l'indique la revue de la littérature, il est possible d'étudier la croissance d'un peuplement, arbre par arbre, et de faire la sommation de ses éléments pour obtenir des statistiques pour l'ensemble du peuplement.

Il est également possible d'oublier complètement chacun des arbres et de s'en tenir à des données représentant l'ensemble de la placette. C'est de cette façon globale que l'on élabore une table de rendement conventionnelle. C'est également ainsi que sont construits les simulateurs de croissance les plus simples comme celui de Moser (1972).

Pour ce travail, nous optons pour un moyen terme en scindant les placettes en trois classes de diamètre. Nous pouvons ainsi tenir compte de la compétition interne à chacune des grandes classes de diamètre et surtout de celle provenant des classes supérieures. La croissance de l'ensemble du peuplement ne sera pas simulée directement; le peuplement existe en termes de la sommation simple de ses trois composantes et non comme une composante matérielle concrète. La seule exception à cette règle est l'accroissement en hauteur qui sera traité au niveau de l'ensemble du peuplement et non pas au niveau de chacune des classes de diamètre.

Choix et caractéristiques de l'essence à l'étude

Le travail porte sur l'érable à sucre parce que c'est une essence très répandue dans le sud du Québec. L'outil de prédiction antérieurement disponible était la table normale de rendement de Plonski (1960) conçue pour l'Ontario. Les aménagistes souhaitaient obtenir une table de rendement empirique à densité variable adaptée aux conditions écologiques du Québec.

Il est bien connu que l'érable à sucre est une essence d'ombre, c'est-à-dire qu'elle peut se reproduire et survivre sous couvert forestier. La moindre ouverture dans la strate arborescente supérieure permet à une tige, qui peut avoir été supprimée de nombreuses années, d'accéder à la classe des dominants et des codominants.

On assiste ainsi, lorsqu'il n'y a pas de perturbations graves, à l'établissement et au maintien de peuplements inéquiennes. On les appelle ainsi car, idéalement, on doit y retrouver des arbres de tout âge ayant subi des périodes de suppression plus ou moins longues. L'âge moyen de la

placette, qui est la variable clef dans l'élaboration des tables de rendement conventionnelles, devient un facteur très nébuleux et très peu explicatif de l'évolution des peuplements inéquiennes.

Approche mathématique retenue

En suivant les traces de Moser et Hall (1969) puis Moser (1972), Ung, Beaulieu et Demers (1982) ont conçu un modèle de prédiction pour mettre à jour les inventaires forestiers qui reposent sur un échantillonnage décennal. Fortin (1984) a travaillé sur un projet semblable, mais au niveau de l'actualisation du nombre de tiges par classe de diamètre de 2 cm. Tous ces chercheurs avaient recours à un même type d'informations de base soit des placettes échantillons permanentes mesurées à au moins deux reprises. Ils se basaient donc sur les différences entre les deux mesures, qui pouvaient s'exprimer par des équations différentielles. C'est également selon cette méthodologie que Moser en 1974 disséqua son système de prédiction en six grandes classes de DHP (diamètre à hauteur de poitrine). On peut lire dans un article de Crow, Jacobs, Oberg et Tubbs (1981) que ce dernier modèle a été appliqué à une variété de niveaux de densité et de structure et il a été considéré comme un outil de prédiction valable. De plus, on peut lire dans Moser, Tubbs et Jacobs (1979) que des prédictions très intéressantes ont été obtenues en simulant la croissance d'un peuplement dont la densité initiale était de 16 mètres carrés à l'hectare. En effet, pour des simulations de l'évolution de 50, 61 et 100 années, on arrive à des états remarquablement près de ceux de peuplements mûrs qui ont atteint une structure stable. Dans ce même article on mentionne que ce modèle conçu à partir de données provenant de forêts feuillues nordiques pourrait s'appliquer particulièrement bien aux érablières.

Étant donné que nous avons pu compter sur l'expertise de M. Ung du Centre forestier des Laurentides (C.F.L.), nous avons voulu bâtir des tables de rendement à partir d'un modèle de prédiction par classe de diamètre, basé sur un système d'équations différentielles.

Expériences acquises au cours des travaux

La modélisation mathématique du phénomène de la mortalité au moyen d'équations déterministes est particulièrement ardue. En effet, des accidents de parcours rendent parfois aléatoire l'apparition de la mortalité et les variables indépendantes sont ainsi moins explicatives. Ce phénomène est aggravé par le fait que les placettes échantillons sont de faibles dimensions, et qu'elles contiennent souvent très peu de gros arbres.

Les prédictions de croissance à court terme d'une érablière qui soient relativement exactes sont faciles à obtenir car les taux de changement annuel des différents phénomènes sont plutôt faibles. Toutefois de petites erreurs d'estimation de la croissance à court terme peuvent conduire à des situations aberrantes dans les prédictions à long terme. En effet, un modèle précis à court terme ne fournira pas nécessairement des prédictions valables ni même plausibles pour une échéance plus longue. Il est essentiel que les comportements extrêmes de chacune des équations soient étudiés en profondeur pour obtenir un système de prédiction fiable.

Un même système d'équations ne peut rendre justice à deux méthodes de traitement sylvicole différentes. Ainsi, les placettes aménagées sous le régime des coupes partielles ont dû être extraites de l'ensemble des données et un deuxième système d'équations de prédiction a été élaboré pour tenir compte de cette situation. Ceci permet à un utilisateur potentiel d'étudier différents choix d'aménagement et d'opter pour le plus avantageux, en terme de production de bois, selon un horizon donné de prédiction.

Le modèle de prédiction repose sur des données recueillies au cours de la période de 1970 à 1980. L'estimation des coefficients des équations représentant les phénomènes de croissance, de mortalité et de régénération est basée sur une évolution qui s'est produite au cours d'une seule décennie. Si des utilisateurs du modèle de prédiction observent que les conditions récentes de croissance ont changé, ils devront apporter des facteurs de correction réalistes ou encore réévaluer les coefficients de certaines équations, à mesure que des données nouvelles deviennent disponibles.

CHAPITRE I

REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 HISTORIQUE DE LA MODÉLISATION DU RENDEMENT

Depuis qu'ils existent, les forestiers ont toujours voulu prédire adéquatement l'évolution des forêts dont la gestion leur était confiée. Depuis plus d'un siècle déjà en Europe, un outil de prédiction est disponible: la table de rendement. Cette dernière est un modèle de développement couvrant une longue période. Les paramètres clefs sont les valeurs dendrométriques observées. Ces paramètres ont été traités graphiquement en fonction de l'âge. Les moyennes obtenues graphiquement pour différents âges sont mises en tableaux pour constituer des tables de rendement. L'idée de représenter la croissance d'une population d'arbres dans un tableau simple et facile à comprendre est une démarche normale et habituelle pour les forestiers. Cependant, dans les disciplines connexes, des approches similaires pour décrire le développement des populations biologiques sont reconnues comme des innovations récentes. Les premières tables de rendement sont en fait des estimés de séries de croissance. On suppose simplement que les jeunes peuplements deviendront, dans le futur, semblables aux peuplements mûrs que l'on peut actuellement observer.

Au début, on a construit des tables normales. Pour y arriver, on n'acceptait comme placettes échantillons que des placettes où la densité en termes de tiges par unité de surface était optimale. On refusait systématiquement toutes les placettes où on pouvait observer visuellement des espaces vides dans la couverture végétale. Les tables construites ainsi devaient représenter le maximum qu'un type de peuplement pouvait produire. Les tables de rendement normales les plus connues au Québec sont celles de Vézina et Linteau (1968) et celles de Plonski (1960). Ces tables sont construites pour des peuplements équiennes et composés habituellement d'une seule essence. On répartit habituellement les rendements probables selon trois indices de qualité que l'on appelle des classes de qualité de station.

Une approche plus récente implique une extrapolation des tables conventionnelles ou normales. Avec cette approche on construit des tables empiriques, c'est-à-dire à densité variable. La table normale est donc le cas extrême supérieur des tables empiriques. Ces dernières ont été conçues pour représenter plus facilement la situation concrète et réelle des peuplements forestiers. En effet, il est plutôt rare que l'on puisse observer sur le terrain des peuplements à densité optimale sur des surfaces de terrain significativement exploitables. Dans l'élaboration de ces tables on accepte toutes les placettes, quel que soit leur niveau de densité au moment de la prise des données. Les tables empiriques actuellement utilisées au Québec sont celles que Boudoux (1978) a construites mathématiquement. On y décrit minutieusement le développement probable des peuplements résineux purs et équiennes. Les meilleurs renseignements concernant les procédés mathématiques de conception des tables de rendement apparaissent dans des publications de Vuokila (1966) et Curtis (1972).

1.2 ÉVOLUTION DES MÉTHODES

Pour construire des tables de rendement réelles, les forestiers auraient dû prendre de nombreuses mesures au cours de toute la vie des types de peuplements qu'ils désiraient étudier. Avec une telle méthode, on aurait obtenu des tables de prédiction basées sur des séries réelles de croissance.

En Amérique du Nord où les traditions forestières sont plus récentes et limitées, on a contourné par un artifice cette longue période de temps pour prendre des données. On a estimé des séries de croissance abstraites en juxtaposant, en fonction de l'âge, l'état d'un grand nombre de placettes temporaires. Les placettes ont été choisies pour couvrir une grande variété de conditions d'âge et de qualité de station. Une telle façon de procéder est acceptable, si trois conditions sont respectées: premièrement, les peuplements sont relativement purs et équiennes; deuxièmement, leur composition floristique ne changera pas au cours de toute leur vie; et finalement, les conditions de croissance qui ont prévalu dans le passé sont identiques aux conditions actuelles. Les forestiers se sont montrés prudents; en même temps qu'ils recueillaient des données dans les nombreuses placettes temporaires, ils ont mis en place des réseaux complets de placettes échantillons permanentes (p.é.p).

Après un premier remesurage des p.é.p., les forestiers avaient en main des données concernant l'évolution des peuplements. On s'est servi de ces données, même si la période de temps entre les deux mesures est relativement courte, comme d'une méthode intermédiaire entre les deux extrêmes précédemment mentionnés. On a ainsi conçu des séries approximatives de croissance. Ayant en main des données concernant deux états, il devient facile de soustraire les données pour obtenir des différences. Ces différences sont dues à l'évolution ou, autrement dit, à la croissance du peuplement entre le moment initial (T_i) et le moment final (T_f). Ces différences sont habituellement ramenées à une base annuelle.

Pour pouvoir prédire ces différences, on les exprime sous forme d'équations différentielles. Les différences deviennent des fonctions de variables explicatives. C'est ainsi que sont apparues les premières équations différentielles. Buckman (1962) et Clutter (1963) ont démontré que des équations différentielles pouvaient servir à obtenir des estimés de rendement valables dans le cas des peuplements forestiers équiennes. Les équations étaient fonction de l'âge, de la qualité de station et de la densité des peuplements.

Pienaar (1965) et Turnbull (1963) ont examiné en détail les aspects biométriques de la croissance et de l'estimation du rendement pour les peuplements purs et les peuplements mélangés. Par la suite, ces mêmes chercheurs ont insisté sur la nécessité de construire des modèles de croissance et de rendement qui sont raisonnables au point de vue biologique. C'est ainsi qu'ils ont suggéré l'utilisation de la fonction *Chapman-Richards* comme modèle souhaitable pour une variété d'applications dans le domaine des forêts équiennes.

Alors que les précédentes tentatives de modélisation de la croissance forestière à l'aide d'équations différentielles portaient sur les peuplements équiennes, Moser et Hall (1969) ont étendu l'application de la théorie aux peuplements inéquiennes. Pour sa part, Leary (1968) a développé un système de dix équations différentielles simultanées pour prédire la croissance des survivants par classe de hauteur. Leary (1970) a développé par la suite un système différent qui, cette fois, prédisait la croissance par classe de diamètre. Leary (1970) puis Leary et Skog (1972) ont publié une discussion intéressante sur les aspects théoriques de tels systèmes simultanés et ils ont présenté un cadre analytique pour l'estimation et la solution des paramètres du système. Moser (1972) a présenté un système d'équations différentielles qui décrit l'évolution des peuplements équiennes à travers ses différentes composantes. Déjà en 1962, Beers avait compris que l'évolution d'un peuplement forestier s'expliquait principalement par trois phénomènes: le recrutement, la mortalité et la croissance des survivants. Moser (1974) a amélioré grandement son système de prédiction en distribuant le nombre de tiges à l'hectare en six grandes classes de diamètre. Dans chacune des classes, on prédisait chacun des trois phénomènes déjà mentionnés. Le système de Moser utilisait 66 équations différentielles pour simuler directement les changements concernant le nombre de tiges, la surface terrière et le volume pour chacune des six classes de diamètre. Après chaque année de croissance, on refaisait le point globalement en procédant à la simple sommation des résultats partiels.

Une approche alternative a été prise par Ek (1974) en modélisant l'évolution des peuplements feuillus inéquiennes. Il a décrit les phénomènes de recrues, de mortalité et de croissance des survivants en terme de nombre de tiges par classe de diamètre de deux *pouces* (cinq cm). Il a utilisé des équations différentielles non linéaires. D'après Bruner et Moser (1973), les modèles de Markov offrent aussi une option intéressante à la simulation du rendement par équations différentielles. De plus, d'après Shifley, Moser et Brown (1982), les modèles de Markov caractérisent le dynamisme des peuplements et peuvent être utiles pour certaines utilisations. Par contre, ils ne procurent pas les mêmes avantages concernant la compréhension des phénomènes que les modèles basés sur les équations différentielles.

1.3 CATÉGORISATION DES MODÈLES DE PRÉDICTION DU RENDEMENT FORESTIER

Depuis une vingtaine d'années, un grand nombre de chercheurs scientifiques ont consacré beaucoup d'énergie à la modélisation forestière. Les résultats de leurs travaux montrent que différentes avenues de recherche ont été explorées. Dans les pages qui suivent, nous avons tenté de définir trois catégories de modèles qui couvrent le champ de la modélisation forestière. Par la suite, nous joignons une série de tableaux qui situent les principaux résultats publiés à l'intérieur de la classification que nous définirons dans les prochaines pages.

1.3.1 Modèles par arbre individuel

Cette première catégorie de modèles de simulation de la croissance forestière prend l'arbre comme unité de base. Dans cette catégorie, le peuplement est décrit par des arbres individuels et non par des caractéristiques abrégées comme le diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP), la surface terrière et le nombre d'arbres. Au niveau de la présentation des résultats définitifs cependant, on combine les arbres individuels pour former des peuplements. Ces modèles procurent des possibilités dont d'autres catégories de modèles basées sur des données abrégées ne disposent pas. Par exemple, on peut plus facilement analyser la croissance des forêts mélangées ou encore

celle des peuplements inéquiennes. On peut également considérer différents schémas d'espacement, grâce aux caractéristiques intrinsèques de cette catégorie de modèles.

Aussi longtemps que l'arbre est représenté comme une entité individuelle ayant une position unique, n'importe quelles conditions de peuplement ou traitements sylvicoles peuvent être examinées. Ainsi Hatch (1971) mentionne que les modèles conçus par arbre individuel peuvent être facilement adaptés pour étudier différents choix d'aménagement.

Munro (1974) identifie deux sous-catégories à l'intérieur de celle dont nous traitons. D'après cet auteur reconnu, il existe deux méthodes pour tenir compte de la compétition entre les arbres. Les modèles au niveau de l'arbre individuel peuvent être classifiés, pour utiliser les termes anglais reconnus, comme *distance-independent* ou comme *distance-dependent*. Dans le premier cas, les modèles nécessitent au moins quelques données individuelles comme intrant, mais contrairement au deuxième, ils ne demandent aucune information concernant la distribution spatiale des arbres impliqués dans le système de prédiction. De leur côté, les chercheurs Shugart et West (1980) préfèrent utiliser les termes "spatial" et "non spatial" et ils s'en servent pour créer des sous-catégories à l'intérieur de chacune des très grandes catégories.

Modèles indépendants de la distance entre les arbres

D'après une publication de Clutter et autres (1983), la plupart des modèles indépendants de l'espacement entre les arbres utilisent une table de peuplement comme intrant, en plus d'informations au niveau du peuplement comme l'âge et l'indice de qualité de station. Les données de la table de peuplement sont le nombre de tiges à l'hectare et la hauteur moyenne par classe de DHP. Les équations du modèle servent à produire d'autres tables de peuplement susceptibles d'être produites, à un moment donné, dans le futur. Le volume total et le volume par classe de DHP sont alors calculés à partir de la table de peuplement prédite ou future.

Plusieurs modèles de ce type ne nécessitent aucun calcul itératif et exigent à peine plus de temps ordinateur que les modèles fonctionnant au niveau du peuplement. Comme exemple typique, nous pouvons mentionner le modèle de croissance du pin de Monterey, développé en Nouvelle-Zélande par Clutter et Allison (1974). Le modèle de croissance pour les plantations éclaircies en Afrique de l'est, développé par Alder (1979), et le modèle pour les plantations de pin d'Elliott développé par Clutter et Jones (1980), appartiennent à cette sous-catégorie de modèles.

Il existe aussi, en particulier, d'autres modèles conçus pour manipuler des peuplements mélangés ou dans des conditions inéquiennes. Ces derniers exigent des calculs itératifs et demandent beaucoup plus de temps ordinateur. Les deux exemples les plus remarquables sont les modèles *FREP* (*Forest Resources Evaluation Program*) (U.S.D.A. 1979), qui a été développé pour une variété de types forestiers des États des Grands-Lacs, et *PROGNOSIS* développé par Stage (1973), qui sert à prédire le rendement de forêts mélangées des États de Washington, de l'Idaho et du Montana.

Modèles dépendants de la distance entre les arbres

Typiquement, ces modèles exigent comme intrants certaines caractéristiques de la série d'arbres dont la croissance doit être projetée. On doit y retrouver pour chacun des arbres le DHP, la hauteur, le diamètre de cime et une paire de coordonnées en X et en Y. Ces coordonnées spécifient la position exacte de chacun des arbres. La projection de la croissance procède comme suit:

1- Un indice de compétition est calculé pour chacun des arbres. La valeur de cet indice est fonction de la dimension, de la classe de dominance et de l'éloignement des arbres voisins compétiteurs.

2- Les probabilités de mortalité sont calculées comme fonction des indices de compétition. Une décision sur la survie est prise à chaque période

fixe de croissance. Cette décision est basée sur la génération d'un nombre aléatoire qui peut être compris dans une zone qui correspond à la probabilité de mortalité. Les arbres morts sont enlevés de l'ensemble des arbres vivants.

3- Après avoir établi le niveau de compétition de chacun des arbres, les accroissements périodiques de chacune des dimensions de chacun des arbres sont calculés et additionnés aux dimensions initiales. La période de projection est habituellement d'un an.

4- Les étapes 1, 2 et 3 sont répétées itérativement jusqu'à ce que la période de projection désirée soit atteinte.

5- Le volume de chacun des arbres est calculé à partir des mesures finales de DHP et de hauteur. Ces volumes sont additionnés pour produire le volume par placette et ce dernier est ensuite exprimé à l'hectare.

L'hypothèse fondamentale qui soutient l'approche des modèles dépendants de la distance veut que la croissance d'un arbre individuel peut être prédite avec plus de précision si la localisation et les dimensions de ses voisins sont connues. En général, cette hypothèse n'a pas été empiriquement validée. Plusieurs études (Beck, 1974; Daniels et Burkhardt, 1975; Tennent, 1980) ont démontré que l'utilisation de différents indices de compétition contribue très peu à la précision des modèles. On obtient d'aussi bons résultats en utilisant simplement la surface terrière à l'hectare comme mesure de compétition.

Les systèmes de prédiction développés pour le douglas [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco.] par Mitchell (1975), pour le pin à l'encens [*Pinus taeda* (L.) D. Don] par Daniels et Burkhardt (1975) et pour le pin de Monterey (*Pinus radiata* D. Don) par Tennent (1980) sont des exemples typiques de modèles opérant au niveau de l'arbre individuel et dépendant de l'espace-ment entre les tiges.

1.3.2 Modèles par peuplement entier

Cette catégorie de modèles considère que le peuplement est l'entité fondamentale à simuler. Ils ne demandent donc comme intrants que des données au niveau du peuplement, entre autres l'âge, la hauteur moyenne, le DHP moyen, le nombre de tiges, la surface terrière, l'indice de qualité de station et le volume. Il n'y a aucune simulation, arbre par arbre, et il s'ensuit d'après Shugart et West (1980) que la simulation du rendement exige peu de temps d'exécution sur ordinateur. Les auteurs des États-Unis ne s'entendent pas sur le nom à donner à cette catégorie de modèles. Ils utilisent indifféremment les termes: *Stand Models*, *Forest Models*, *Whole Stand Models*.

D'après Munro (1974), une caractéristique de cette catégorie de modèle est qu'en général on y utilise des équations mathématiques compliquées pour résoudre les fonctions de croissance. Comme exemple de modèle par peuplement entier, on peut mentionner toutes les tables de rendement et les modèles plus modernes comme *DFIT* conçu par Edminster (1978) et *TRAS* conçu par Alig et autres (1980). Le modèle *ERS* décrit dans le présent document appartient également à cette catégorie.

1.3.3 Modèles de succession écologique

Ce type de modèles est une spécialisation de la catégorie "arbre individuel". Ce sont Shugart et West (1980) dans leur revue de la littérature, qui l'ont reconnu comme une entité différente et l'ont nommé en anglais *Gap models*. Cette catégorie de modèles simule dynamiquement des attributs particuliers de chaque arbre individuel croissant sur une surface de terrain restreinte et bien identifiée.

Cette simulation est réalisée par le calcul des interrelations compétitives parmi les arbres de la placette. Il résulte de cette compétition que des arbres meurent et il apparaît un espace vide (*Gap*) qui est par la suite accaparé par un autre arbre qui peut être d'une autre essence. L'espace peut également être créé par la coupe d'un ou de plusieurs arbres de la strate arborescente.

Tableau 1.1

Classification des modèles de prédiction

Catégorie	Âge-structure	Diversité	Espace
Modèles de croissance	Arbre individuel	Équienne	Spatial
			Non spatial
			Spatial
			Non spatial
		Équienne et inéquienne	Non spatial
	De succession	Inéquienne	Spatial
			Non spatial
			Spatial
			Non spatial
		Inéquienne	Vertical
			Non spatial
Modèles de croissance	Peuplement entier	Équienne	Non spatial
		Équienne et inéquienne	Non spatial
		Inéquienne	Non spatial

Tableau 1.2

Classification des modèles de prédiction "arbre individuel"

Catégorie	Âge-Structure	Diversité	Espace	Référence	Année	Nom du modèle	Essences ou type forestier
Arbre individuel	Équienne	Peuplement pur	Spatial	Newnham	1964	STANDISH	Pseudotsuga menziesii
			Non spatial	Mitchell	1967		Picea glauca
				Lee	1967		Pinus contorta
				Bella	1970		Populus tremuloides
				Lin	1970		Tsuga heterophylla
				Hatch	1971		Pinus resinosa
				Arney	1972		Pseudotsuga menziesii
				Opie	1972		Eucalyptus spp.
				Hegyi	1974		Pinus banksiana
				Ek et Monserud	1974		Picea mariana
				Ek et Monserud	1974		Populus spp.
				Lin	1974		Pseudotsuga menziesii
				Daniels et Burkhardt	1975	PTAEDA	Pinus taeda
				Daniels et aut.	1979		Pinus taeda
				Tennent	1980	TASS	Pinus monterey
				Mitchell	1975		Pinus monterey
				Mitchell et aut.	1982		Tsuga heterophylla
				Mitchell et aut.	1985	TASS III	Pseudotsuga menziesii
				Lemmon et Schumacher	1962	DIADIS	Pinus ponderosa
				Clutter	1963		Pinus taeda
				Curtis	1967		Pseudotsuga menziesii
				Dress	1970		
				Goulding	1972		Pseudotsuga menziesii
				Sullivan			
				et Clutter	1972		Pinus taeda
				Stage	1973		
				Burkart et Strub	1974		Pinus taeda
				Clutter	1974		Pinus radiata
				Elfving	1974		Pinus sylvestris
				Goldsmith	1976		Pinus strobus
	Équienne et inéquienne	Peuplement mêlé	Spatial	Ek et Monserud	1974	FOREST	Forêts mélangées
			Non	Botkin, Janak et Wallis	1970		Feuillus d'ombre
		mêlé	spatial	Solomon	1974		Feuillus d'ombre
		Pur et mêlé	Non	Hahn et autres	1979	FREP STEMS	Forêts du Wisconsin
			spatial	Belcher	1981		Forêts des Grands-Lacs
		Peuplement Pur	Spatial	Adlard	1974		Populus peluta
			Non	Arney	1974		Pseudotsuga menziesii
				Mitchell	1975		Pseudotsuga menziesii
	Inéquienne	Pur	Non	Bosch	1971		Sequoia sempervirens
			spatial	Namkoong et Roberts	1974		Sequoia sempervirens
				Suzuki et Umemura	1974		Chamaecyparis spp.
		Peuplement mêlé	Spatial	Ek et Monserud	1974	FOREST	Feuillus d'ombre
			Non	Leak	1970		Feuillus d'ombre
		mêlé	Non	Forcier	1975		Feuillus d'ombre
			spatial	Horn	1976		Feuillus d'ombre
				Noble and Slatyer	1980		Feuillus d'ombre

Tableau 1.3

Classification des modèles de prédiction "de succession" et "peuplement entier"

Catégorie	Âge-Structure	Diversité	Espace	Référence	Année	Nom du modèle	Essences ou type forestier
De succession	Inéquienne	Peuplement	Vertical	Bolkin et autres	1972		Feuillus d'ombre
				Shugart et West	1977		Feuillus d'ombre
				Mielke et autres	1978		Feuillus d'ombre
				Tharp	1978		Forêts mélangées
				Shugart et Noble	1980		Forêts d'eucalyptus
				Shugart et autres	1980		Forêts tropicales
			Non spatial				
				Waggoner et Stephens	1970		Feuillus d'ombre
Peuplement entier	Équienne	Peuplement	Non spatial				Plusieurs essences croissant en
				Plonski	1960		Ontario
				Vézina	1968		Québec
				Boudoux	1978		Québec
				Page et Van Mostrand	1973		Terre-Neuve
				Bruce et autres	1977	DFIT	Pseudotsuga menziesii
				Curtis et autres	1981	DFSIM	Pseudotsuga menziesii
				Burkhart et autres	1983		Liriodendron tulipifera
				Woolons et autres	1985	NZGS	Pinus radiata
	Équienne et inéquienne	Peuplement pur et mélangé	Non spatial				
				Hann	1980		Pinus ponderosa
				Carpentier	1986	ERS	Acer saccharum
				Alig et autres	1980	TRAS	Forêts du Québec
				Ung	1980		Forêts du Québec
				Fortin	1984		Forêts du Québec
	Inéquienne	Peuplement pur et mélangé	Non spatial				
				Shifley et autres	1980		Ulmus-Fraxinus-Populus
		Peuplement pur et mélangé	Non spatial				
				Hool	1966		Feuillus d'ombre
				Olson et autres	1966		Forêts des Appalaches
				Moser et autres	1974	SNPS	Feuillus d'ombre
				Shugart et autres	1973		Forêts du Michigan
				Johnson et Sharpe	1976		Forêts de Georgie
				Wilkins	1977		Forêts de Tasmanie

Un exemple non spatial (Waggoner et Stephens 1970) utilise la probabilité qu'une placette d'inventaire forestier, classifiée comme un type forestier donné, puisse par la suite changer d'appellation. Ce modèle a une forme mathématique similaire à celle utilisée par Horn (1976) sauf qu'il applique les changements globalement pour tout le peuplement au lieu de procéder à des remplacements arbre par arbre. D'autres modèles de succession simulent, année par année, les changements dans le diamètre de chacun des arbres. Ils ne se préoccupent pas de la position exacte de chaque arbre mais ils utilisent le diamètre des arbres pour déterminer leur hauteur respective et utilisent alors des simulations de profils de surfaces feuillées pour évaluer les relations de compétition pour la lumière. Ces modèles tiennent ainsi compte d'un espacement vertical et non plus linéaire. Cette simplification réduit considérablement les coûts d'ordinateur car on n'a plus à considérer des patrons complexes de compétition entre les arbres. Shugart et West (1980) mentionnent que les modèles verticaux sont bien utilisés dans les méthodologies qui étudient la succession dynamique des peuplements sur de longues périodes de temps.

1.4 RÉSUMÉ DES PRINCIPAUX MODÈLES DÉJÀ PUBLIÉS

En se servant des catégories de modèles présentés précédemment, nous avons regroupé en une série de tableaux la liste des principaux modèles de prédiction.

Le tableau 1.1 présente la structure de la classification des différents modèles de prédiction. Les tableaux 1.2 et 1.3 énumèrent ces modèles dans leur classification respective et donnent un supplément d'information concernant chaque modèle: auteur(s), année, nom de l'essence ou des essences considérées.

1.5 CONCLUSION DE LA REVUE DE LA LITTÉRATURE

Au cours des dernières années, de nombreux chercheurs ont exploré différentes méthodes pour simuler le rendement des arbres ou des peuplements forestiers. Certains forestiers, ayant réalisé des études phytosociologiques, ont modélisé l'évolution des peuplements en cherchant à refléter la complexité du comportement de chacun des arbres. Il en est résulté des modèles très sophistiqués, très complexes et très exigeants au niveau des intrants.

À ce sujet, il est intéressant et approprié de noter une opinion tirée de Boudoux (1976):

"L'approche de type biologique considère un peuplement forestier comme un ensemble dont les éléments sont les arbres pris un à un. On y privilégie la croissance et le développement individuel des tiges en considérant le peuplement comme une simple résultante, sinon une sommation. Dans cette optique le peuplement ne jouit quasiment pas de propriétés propres. Par contre le degré de sophistication est parfois poussé à l'extrême, on bâtit des sous-modèles d'occupation de l'espace aérien, de l'espace sous-terrain colonisé etc. où la complexité des équations n'a souvent d'égale que le manque de données expérimentales."

CHAPITRE II

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SPÉCIFICATION DU CHAMP D'APPLICATION

Le travail de recherche est orienté vers un champ d'application très précis. À partir de la publication de Noël et Rouleau (1979), nous précisons ce champ en employant la nomenclature officielle du Service de l'inventaire forestier (S.I.F.) au ministère de l'Énergie et des Ressources (M.E.R.).

2.1.1 Type de couvert

Au Québec on reconnaît trois types de couvert forestier. La figure 2.1 illustre clairement la situation. Un peuplement doit être considéré comme feuillu, résineux ou mélangé, en fonction de l'importance des résineux dans la composition en essences forestières. Nous nous intéressons dans notre travail au type de couvert "peuplement feuillu". Ce dernier doit être composé principalement d'arbres à feuilles caduques représentant plus de 75 p. 100 de la surface terrière totale.

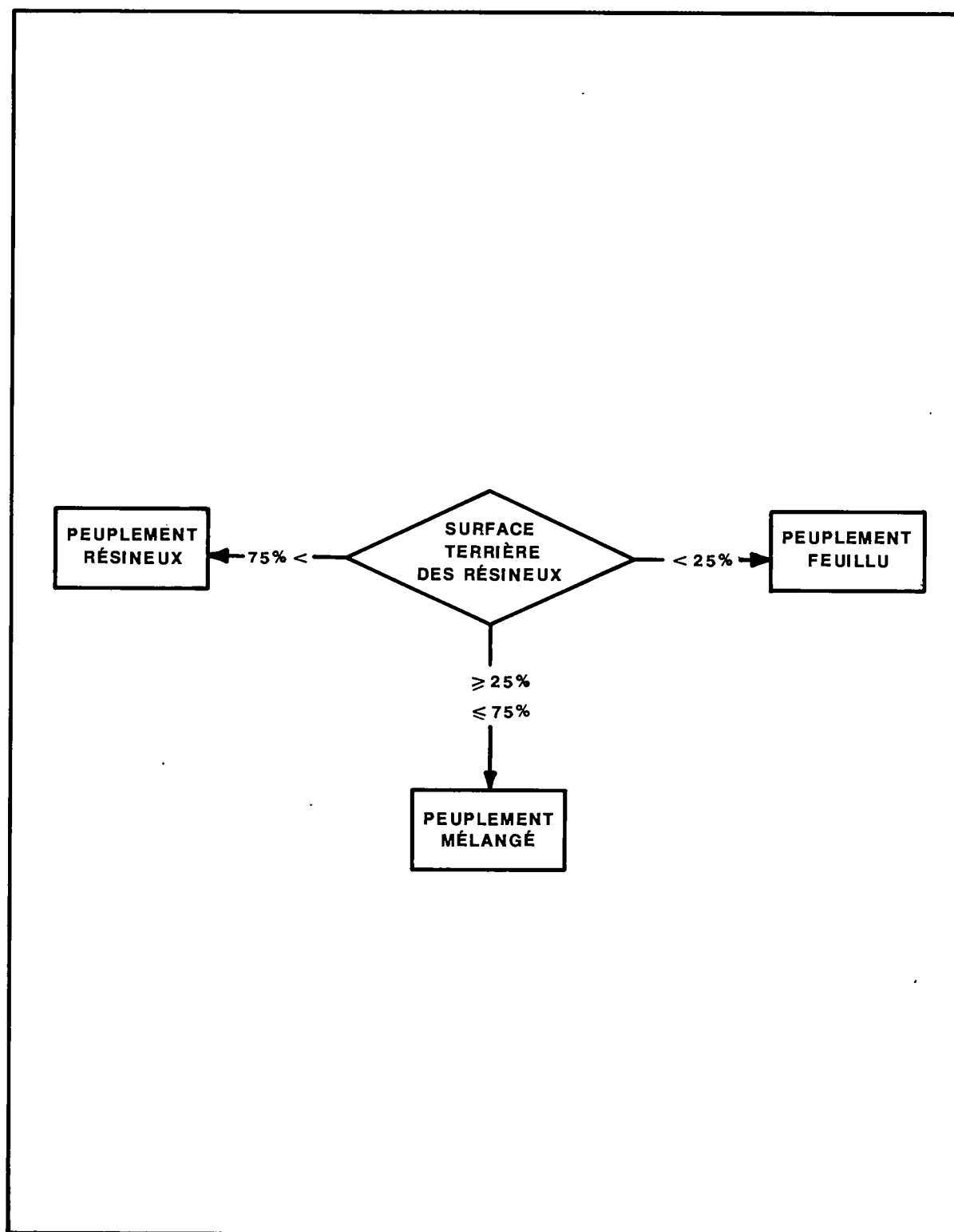


Figure 2.1 Schéma des types de couvert

2.1.2 Groupement d'essences

En ce qui concerne le type de couvert, nous nous sommes orientés vers les peuplements feuillus. Ces derniers peuvent, à leur tour, être subdivisés en peuplements purs ou mélangés. C'est le rôle du groupement d'essences de décrire la composition du peuplement en fonction de la représentation en surface terrière des essences qui le composent. La figure 2.2 nous indique qu'un peuplement feuillu doit appartenir à l'un des treize groupements d'essences reconnus.

Dans notre cas, nous nous intéressons uniquement à l'un de ceux-ci appelé "Érablière". D'après les normes du S.I.F., pour qu'un peuplement soit classé dans ce groupement d'essences, l'érable à sucre doit représenter au moins 66 p. 100 de la surface terrière de la partie feuillue. Rappelons que cette dernière représentait au moins 75 p. 100 de l'ensemble du peuplement. Pour notre étude, nous désirons être plus exigeants et plus sélectifs. Nous n'avons accepté comme placettes de base que celles dont la composition en érables à sucre était supérieure à 75 p. 100 par rapport à la surface terrière totale. Notre choix de placettes a été fait en fonction de la situation qui prévalait au moment de la première mesure.

Nous croyons que nos exigences concernant le choix de placettes selon la composition sont justifiées car M. Boudoux (1978) avait retenu le même critère lorsqu'il a confectionné les tables de rendement empiriques pour les principaux résineux du Québec.

2.2 PROVENANCE ET CARACTÉRISTIQUES DES PLACETTES ÉCHANTILLONS PERMANENTES

2.2.1 Situation au début du travail de recherche

Au cours du dernier programme d'inventaire forestier (1970 à 1977), le S.I.F. a établi un réseau québécois de 7 155 placettes échantillons

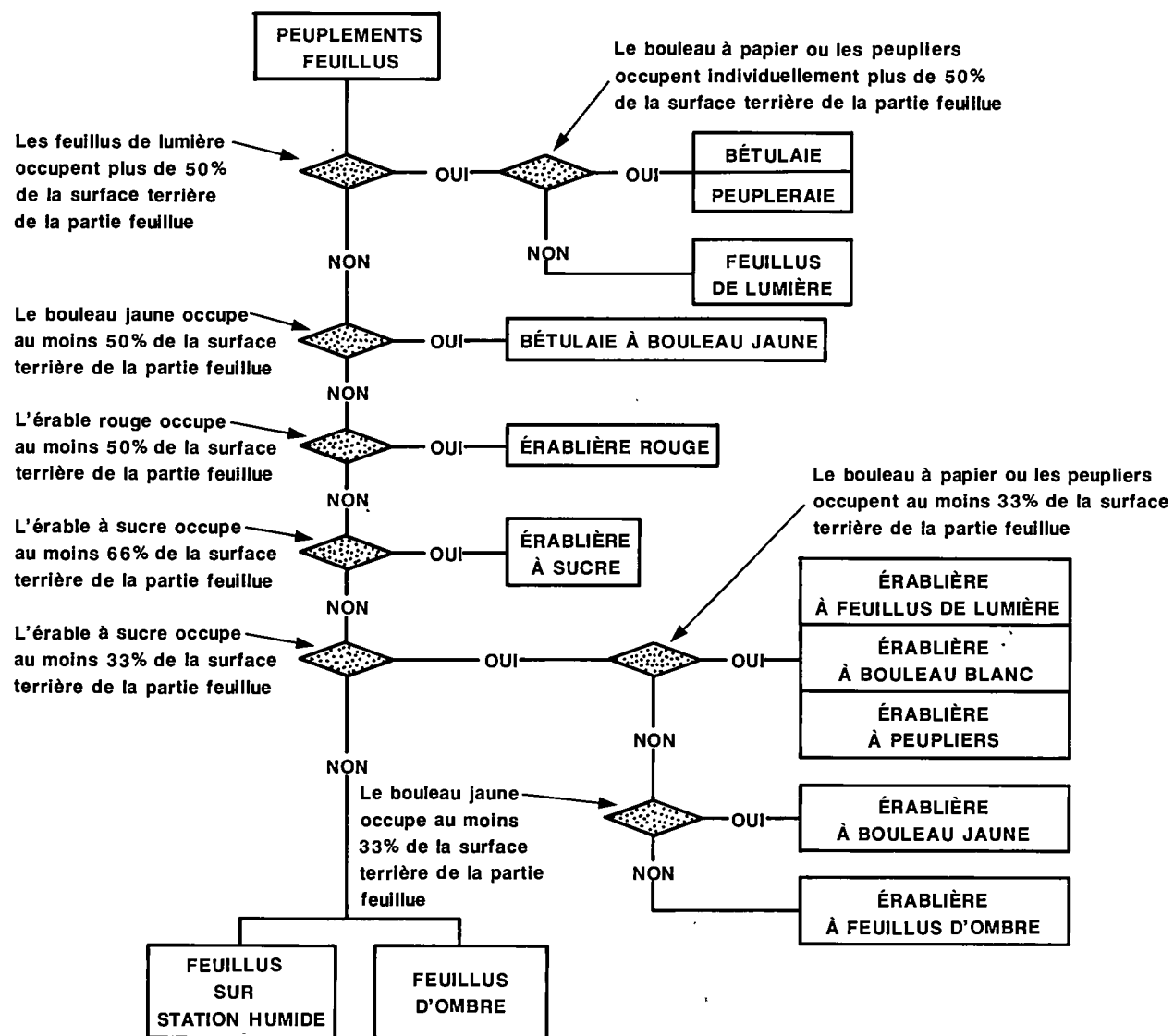


Figure 2.2 Groupements d'essences des peuplements "FEUILLUS"

permanentes (p.é.p). D'après Bard et autres (1975), les p.é.p. sont des unités de sondage ou d'échantillonnage dans lesquelles les changements physiques et écologiques sont suivis. Elles permettent, par comparaison des mesures successives, de suivre leur évolution, leur comportement en divers milieux et leur réaction à diverses interventions humaines, biologiques et physiques. La forêt est un complexe biologique en perpétuel changement, dont les interactions sont reflétées par la composition des peuplements, leur croissance, leur reproduction, la litière et le sol. L'analyse de ces interactions doit être menée à partir de mesures précises et périodiques d'un ensemble d'échantillons représentatifs.

Depuis 1978, on procède au remesurage de ces p.é.p. Dans la figure 2.3, on peut constater qu'environ la moitié du territoire avait fait l'objet de cette deuxième mesure lorsque nos travaux de recherche ont débuté. À ce moment, il y avait précisément 3 407 placettes disponibles pour procéder entre autres à des études de variations dendrométriques.

2.2.2 Plan de sondage

En 1969 et 1970, un comité d'experts forestiers s'est réuni, ayant pour mandat d'étudier tout le système des inventaires forestiers au Québec. Pour le sondage permanent, en 1968 on s'est basé sur le rapport de M. Lafond qui subdivise la forêt commerciale du Québec, selon six zones climatiques et 20 zones biogéographiques. Par la suite, le comité a regroupé ces différentes zones en trois entités géographiques différentes, dans le but de déterminer le nombre de placettes permanentes qu'il était nécessaire d'établir. Dans chacune d'elles, il croit des peuplements ayant en commun certaines caractéristiques écologiques précises. Ces zones, dont nous pouvons visualiser l'étendue et la localisation à la figure 2.4, ont été appelées "régions forestières". Le comité a convenu, en tenant compte de la diversité des peuplements présents dans chaque région et des buts poursuivis par la mise en place des placettes permanentes, que l'intensité d'échantillonnage serait différente entre les régions forestières.

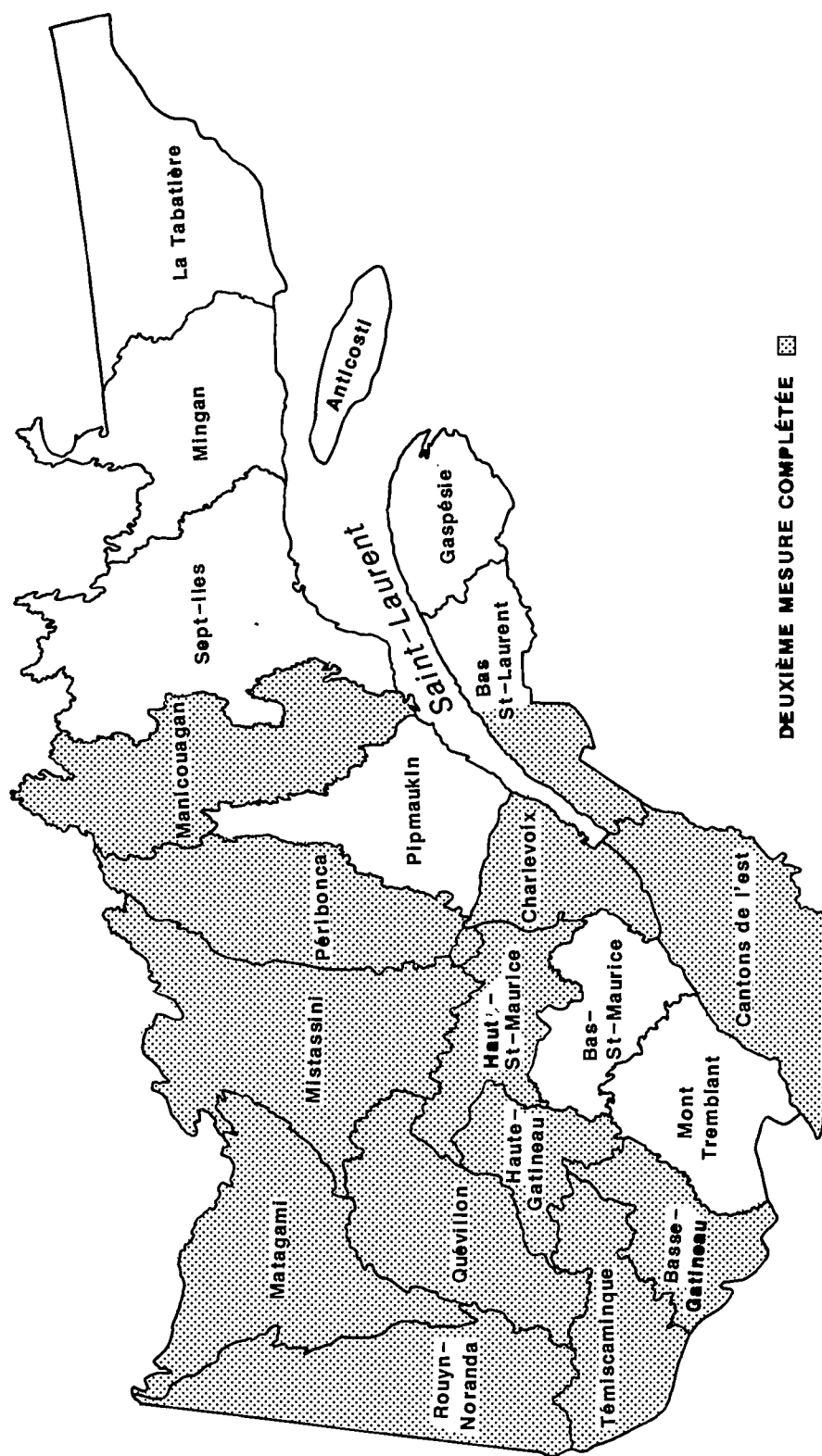


Figure 2.3 Zones d'inventaire où la 2^e mesure des P.É.P. est complétée

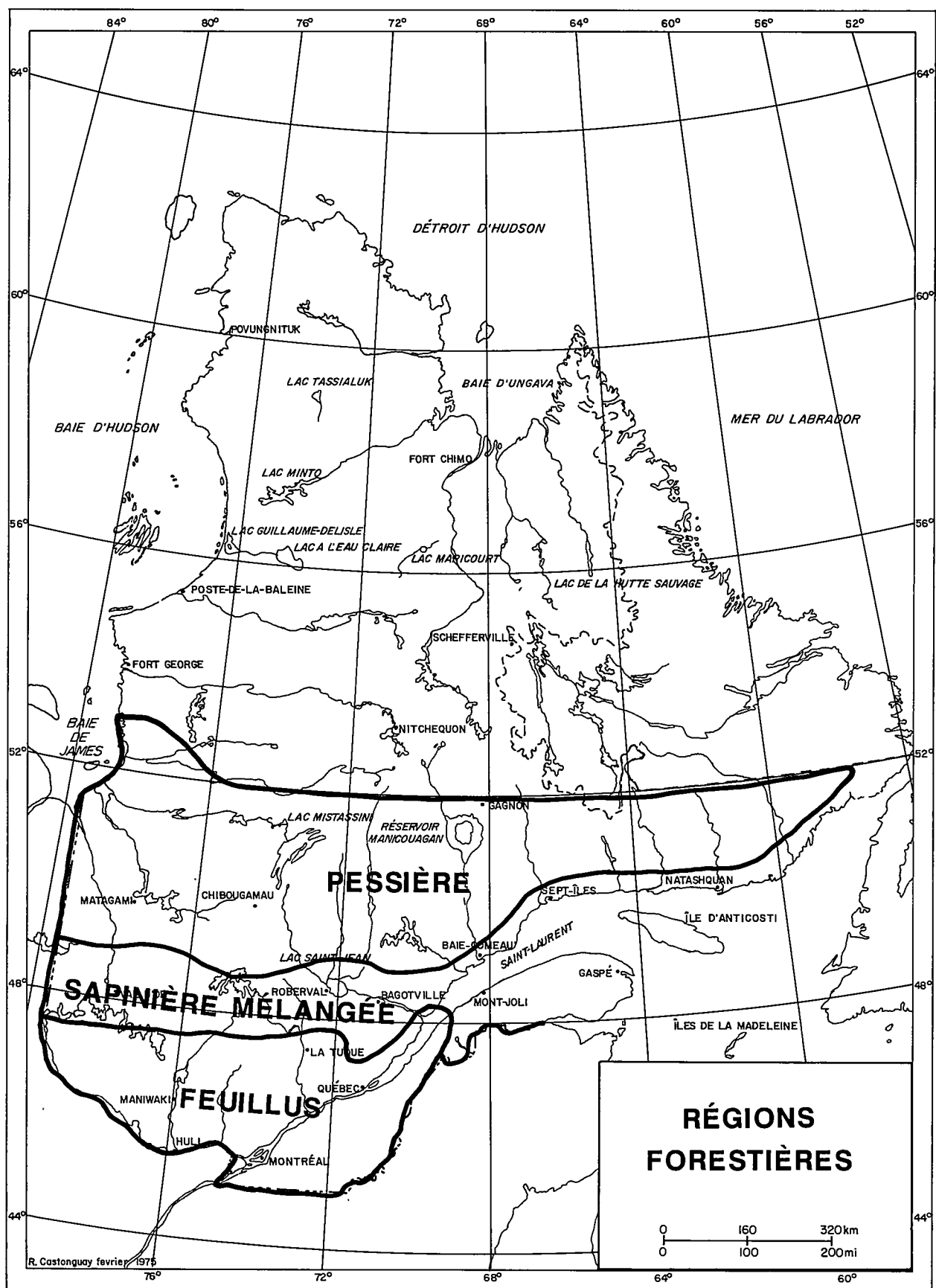


Figure 2.4 Régions forestières du Québec

Dans le tableau 2.1, on constate donc que la région "feuillus" qui nous intéresse plus particulièrement est, par unité de surface, respectivement 4 et 10 fois plus représentée que les régions "sapinière mélangée" et "pessière".

Tableau 2.1

Densité d'échantillonnage pour chaque région forestière

Régions forestières	Superficie représentée par 1 placette		Nombre de placettes
	milles ²	(km ²)	
Feuillus	10	(26)	3 400
Sapinière	40	(104)	1 300
Pessière	100	(259)	1 000

2.2.3 Localisation des placettes

L'emplacement exact d'une placette est le fruit du hasard. On a procédé à un tirage aléatoire, sans remise, au niveau des feuillets des cartes forestières et ensuite au niveau de toutes les intersections des lignes de latitude et de longitude en minutes. Un numéro de feuillet est d'abord tiré au hasard et ensuite, une intersection. Le point ainsi choisi devient le centre de la placette primaire.

Pour diminuer le coût de la prise de données, on a décidé de localiser les placettes en grappe de deux. La placette satellite est distante de 422,45 mètres de la placette principale. Son orientation par rapport à la placette primaire est également aléatoire. On procède au tirage d'un chiffre de 1 à 10 et on le multiplie par 36°. On obtient ainsi l'azimut par rapport au nord astronomique. Cet azimut est l'orientation de la placette primaire à la placette satellite.

Sur la carte ci-jointe (figure 2.5), on peut situer chacune des placettes échantillons permanentes qui ont été retenues pour notre travail.

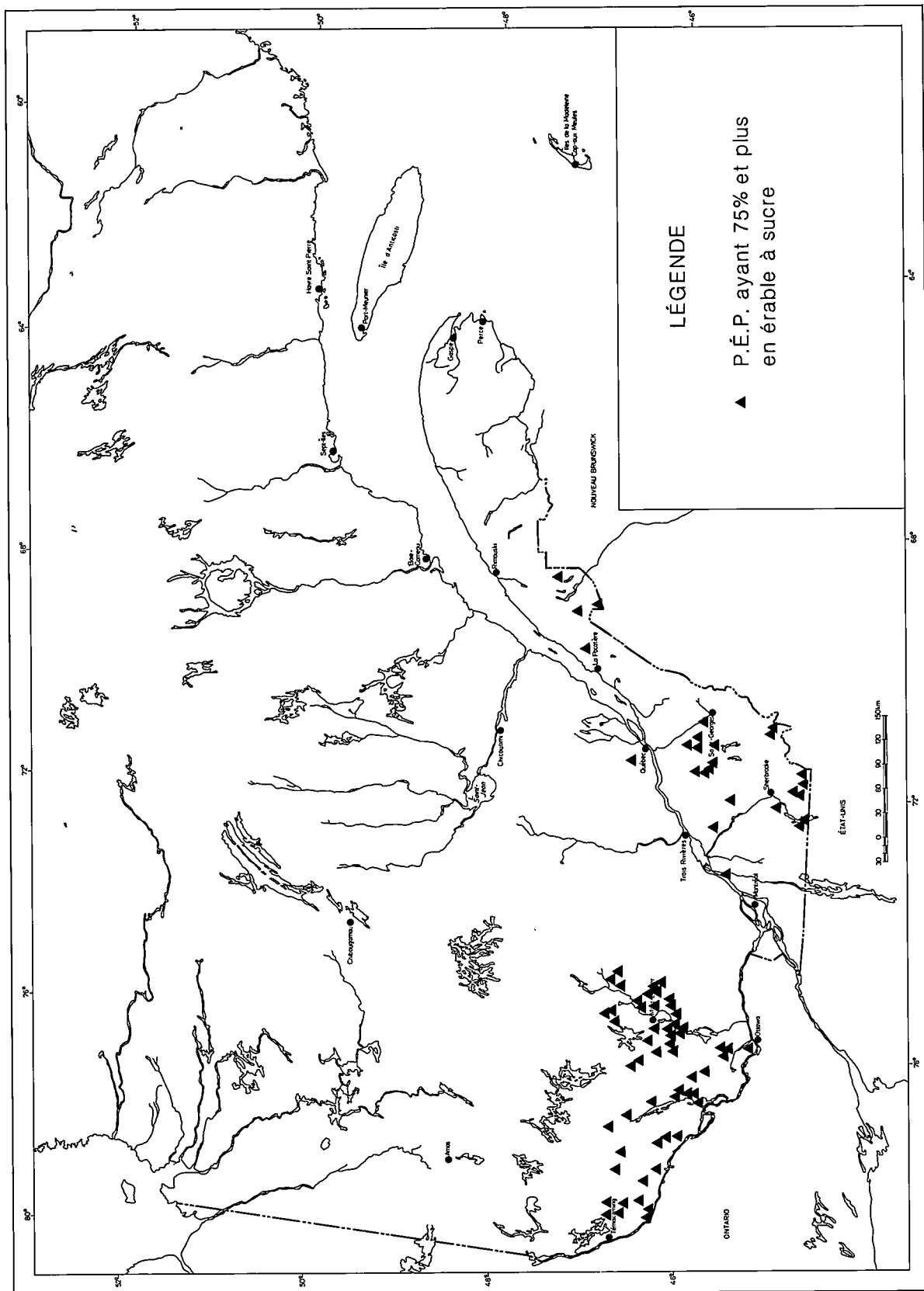


Figure 2.5 Situation géographique des placettes échantillons permanentes ayant servi à l'élaboration du modèle ERS

2.2.4 Forme et dimensions des placettes

Lors de l'établissement des placettes, les mesures étaient prises selon le système anglais. Ce n'est que par la suite qu'il y a eu conversion au système métrique. La placette permanente était la projection au sol d'un plan horizontal circulaire de 37,24 *pieds* de rayon, soit 1/10 d'acre de superficie. Au moment de la deuxième mesure, on a réduit le rayon de la placette de 11,34 mètres à 11,28 mètres, pour obtenir exactement une superficie de 1/25 d'hectare. En pratique il a fallu exclure de la placette, aux deux mesures, un petit nombre d'arbres qui n'étaient plus dans la placette conséquemment à la légère réduction de superficie.

2.2.5 Implantation d'une placette

Au départ, tous les arbres vivants ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) supérieur à .3,56 *pouces* (9,04 cm) et même les arbres morts s'ils sont encore entiers (récupérables ou non), sont numérotés. Pour chacun d'eux, on note, entre autres, le diamètre, l'état et l'essence. Lors des mesurages subséquents, le code d'état d'un arbre doit être l'un de ceux inscrits dans le tableau 2.2. Ce tableau présente deux volets, un premier pour les arbres qui ont été numérotés à la mesure initiale et un second pour ceux qui ne l'ont pas été, pour une raison expliquée par le code lui-même. Dans le cadre de notre travail, les codes 23 et 24 ont été considérés comme équivalents, car on n'a pas tenu compte du fait qu'un arbre mort puisse être récupérable. Les arbres intrus (code 25) ont été enlevés aux deux mesures. Les arbres ayant des codes 26 et 27 ont aussi été regroupés car on n'étudiait pas l'utilisation des bois coupés.

Pour ce qui est des arbres non numérotés, il y a deux cas où nous avons procédé à des regroupements. Les arbres oubliés (codes 30, 31 et 32) ont été regroupés et, de plus, étant donné qu'ils apparaissent très peu fréquemment, on leur a donné à la première mesure un diamètre identique à celui qu'ils avaient à la deuxième mesure. On a donc fait la supposition facile qu'ils n'avaient pas crû entre les deux mesures. Tous les arbres identifiés comme des recrues (codes 40, 41 et 42) ont également été regroupés.

Tableau 2.2

Codes d'états attribués aux arbres à la deuxième mesure

(1) Arbres déjà numérotés		(2) Arbres non numérotés	
Tous les arbres numérotés lors du mesurage précédant doivent être enregistrés. Les codes suivants servent à décrire l'état actuel de l'arbre.		En plus des tiges déjà numérotées, les situations suivantes nécessitent une nouvelle numérotation; celle-ci continue la numérotation déjà existante.	
Code	Description	Code	Description
20	Vivant et debout	30	Oublié, vivant et debout
21	Vivant et penché (celui qui penche à plus de 15° avec la verticale)	31	Oublié, vivant et penché (plus de 15°)
22	Vivant et renversé	32	Oublié, vivant et renversé
23	Mort et récupérable: le tronc est sain même si l'arbre n'est pas entier	40	Recru, vivant et debout
24	Mort et non récupérable (debout ou renversé)	41	Recru, vivant et penché (plus de 15°)
25	Intrus: arbre mesuré par erreur à la mesure précédente	42	Recru, vivant et renversé
26	Coupé: non utilisé (arbre sain)		
27	Coupé: utilisé (au moins une bille a été extraite de l'arbre)		

L'arbre oublié est celui qui n'a pas été mesuré à la mesure 1

L'arbre recru est celui qui n'avait pas encore 9 centimètres de DHP à la mesure précédente, mais qui a dépassé ce diamètre depuis.

Pour les arbres dont l'état est 24, 25, 26, 27, sont inscrits seulement le numéro de l'arbre et l'état. Si l'étiquette de ces arbres est encore présente, elle doit être enlevée.

2.2.6 Modification de l'identification de l'essence d'un arbre

Dans les très rares cas que nous avons rencontrés où l'identification de l'essence d'un arbre était contestée, on donne toujours préséance à l'identification lors de la deuxième mesure. En effet, à ce moment, l'opérateur a dû vérifier sérieusement avant de signaler l'erreur. Nous avons donc corrigé l'identification des incertains avant d'entreprendre les compilations.

2.2.7 Diamètres non comparables

Nous avons fait les hypothèses que le diamètre d'un arbre ne pouvait pas diminuer et que le diamètre mesuré à la deuxième occasion était exact. On a corrigé la première mesure en l'égalant à la deuxième, pour tous les arbres dont la première mesure était supérieure à la deuxième.

2.3 CATÉGORIES DE PLACETTES ÉCHANTILLONS PERMANENTES

Les placettes qui représentent des peuplements forestiers, peuvent être classées en différentes catégories. On peut considérer leur niveau d'évolution dans le temps, ou encore leur situation sylvicole particulière.

2.3.1 Stade de développement

Un peuplement est un système dynamique, il est donc en constante évolution. Tout comme un être humain, un peuplement naît, croît, parvient à maturité et meurt. En foresterie, la naissance d'un peuplement correspond au stade de développement appelé "régénération", la période de maturation correspond au stade "mûr".

2.3.1.1 Peuplement en régénération

La régénération constitue le stade initial, il survient à la suite d'une perturbation majeure. Après une coupe totale, un chablis ou encore une épidémie sévère, un nouveau peuplement s'installe. Les arbres qui le

composent sont des semis, puis des gaules en grande majorité. On peut aussi y retrouver quelques vétérans mais leur importance en termes de surface terrière doit être inférieure à 25 p. 100. On rencontre ici une norme importante. En effet, si un peuplement contient plus de 25 p. 100 d'arbres vétérans, il forme alors un peuplement mûr. Avec moins de 25 p. 100, c'est un peuplement en régénération ou bien un peuplement jeune.

Les peuplements équiennes sont issus d'une perturbation importante qui n'a pas été suivie de perturbations mineures. Dans le cas des érablières, il est rare qu'une telle situation puisse se présenter sur une grande superficie pendant plus d'un demi-siècle. À long terme, les peuplements ont tendance à devenir inéquiennes ou à le rester. À ce sujet on peut lire dans Majcen et autres (1985):

"De façon générale, les espèces sciaphiles possèdent une tendance naturelle à former des forêts inéquiennes grâce à leur possibilité de se régénérer et de se développer sous le couvert des vieux arbres".

2.3.1.2 Peuplement jeune

Aussitôt qu'un nombre suffisant de gaules atteint neuf centimètres de diamètre, le peuplement passe de l'appellation "régénération" à l'appellation "peuplement jeune". D'après Noël et Rouleau (1979), on doit classer sous cette dernière appellation tout peuplement productif qui a un accroissement net ascendant, quels que soient les dimensions des tiges et le volume à l'hectare du peuplement.

Habituellement dans le cas des érablières, ces peuplements comprennent beaucoup de petites tiges mais très peu de tiges dans les classes supérieures de DHP. Au début de ce stade, on observe beaucoup de tiges qui accèdent au groupe des tiges marchandes (9 cm et +) et on constate également très peu de mortalité étant donné la faible compétition entre les tiges. Plus on progresse vers la fin de ce stade, plus la situation tend à s'inverser. Dans le chapitre traitant des résultats, cette situation sera clairement illustrée.

2.3.1.3 Peuplement mûr

Durant la période de maturation, le taux d'accroissement net est stable ou décroissant. Au début du stade, dans le cas de l'érablière, les tiges s'accroissent faiblement en diamètre étant donnée la compétition entre les tiges. Par la suite, il y a de plus en plus de mortalité chez les tiges de diamètre élevé.

Le peuplement conservera l'appellation "peuplement mûr" si les perturbations ne sont que légères. Sinon il passera à l'une ou l'autre des appellations "régénération" ou "jeune". Dans ce dernier cas, on devrait obtenir un peuplement équienne, tandis que dans le précédent, le peuplement prend une structure inéquienne.

Dans notre échantillon, 46 et 54 p. 100 des placettes ont été respectivement classées selon les normes de l'inventaire sous les appellations "peuplement jeune" et "peuplement mûr".

2.3.2 Situation sylvicole des placettes de base

Certaines érablières à sucre localisées près des régions habitées font l'objet d'aménagements jardinatoires très intensifs. Il est important de souligner l'opinion de Majcen et autres (1985) au sujet de telles coupes:

"D'après nos résultats, la structure des érablières se prête très bien aux coupes jardinatoires. La régénération naturelle est constante et la distribution des tiges est proche de celle de Liocourt. Par des coupes appropriées des arbres mûrs ou défectueux, on améliore la structure du peuplement tout en stimulant la croissance des meilleures tiges".

Dans un plus grand nombre d'érablières, on procède autrement. On y pratique des coupes à diamètre limite. Les grosses tiges de bonne qualité sont prélevées pour répondre au besoin de l'industrie du sciage et du déroulage. Malheureusement, on ne récolte pas les tiges défectueuses et on ne

dégage pas efficacement les tiges d'avenir. Dans un troisième cas, d'ailleurs le plus fréquent, on ne pratique aucune coupe depuis un certain nombre d'années. Les peuplements sont abandonnés à leur destin et ils cheminent lentement vers un état stable à structure inéquienne.

2.3.2.1 Placettes sans coupe partielle (S.C.P.)

Environ 70 p. 100 des placettes échantillons permanentes de l'étude ont été classées dans ce groupe par le Service de l'inventaire forestier (S.I.F.). En effet, les techniciens forestiers ont estimé sur le terrain qu'il n'était pas évident que plus de 25 p. 100 de la surface terrière avait récemment été coupée. Il est important de noter que, dans les placettes classées "sans coupe partielle", certaines peuvent avoir été, dans un passé plus ou moins lointain, soumises à des coupes partielles et même totales. Cependant il faut supposer que la croissance actuelle dans ces placettes n'est plus affectée significativement par ces événements passés même si le niveau de densité actuel est peut-être réduit.

2.3.2.2 Placettes avec coupe partielle (C.P.)

D'après les normes du S.I.F., un peuplement est perturbé lorsque plus de 25 p. 100 et moins de 75 p. 100 de la surface terrière a été enlevé ou détruit par l'une des causes suivantes:

- 1- La coupe partielle
- 2- Le chablis partiel
- 3- L'épidémie légère ou moyenne
- 4- Le brûlis partiel.

Pour notre propos, toutes les placettes affectées par l'une ou l'autre des trois dernières causes ont été rejetées car elles ne sont pas assez nombreuses pour justifier des études particulières.

Par contre la première cause se rencontre dans 27 placettes représentant 30 p. 100 de l'échantillonnage. Nous avons considéré que ce

nombre était un minimum pouvant permettre l'élaboration d'un système d'équations reflétant l'évolution de ce type de placettes.

Pour être placée dans ce groupe, une placette devait avoir l'appellation "coupe partielle" au niveau de la strate terrestre au moment de la première mesure. Si l'opérateur l'a classée ainsi, c'est qu'il a vu sur le terrain des souches démontrant qu'il y avait eu une coupe partielle significative. De plus cette coupe devait être plutôt récente car les souches de bois feuillu ont tendance à se décomposer assez rapidement.

Étant donné que les placettes avec coupes partielles se répartissent dans tous âges et dans toutes structures, le système d'équations les représentant reflètera l'évolution d'érablières à sucre aménagées à perpétuité selon le régime des coupes partielles. Cependant, si tel n'est pas le cas, il sera facile lors de l'utilisation du logiciel de prédiction ERS de passer du système d'équations CP au système d'équations SCP. Cependant l'utilisateur devra définir la durée d'influence d'un traitement sylvicole (coupe partielle) qu'il aura utilisé réellement ou dont il voudrait simuler l'effet.

2.4 DÉFINITION DES GRANDES CLASSES DE DIAMÈTRE

Le modèle de prédiction que nous développons est un hybride entre les modèles "individuel" et "peuplement entier" car on scinde chacune des placettes en trois entités qui auront leur propre système d'évolution. Dans chacune des entités on ne considère pas chacun des arbres, mais bien l'agglomération de ces derniers. Au niveau des variables explicatives des phénomènes étudiés, on utilisera des données venant aussi bien de chacune des entités que de l'ensemble des trois en fonction des besoins.

Les grandes classes de DHP retenues et leurs limites sont les suivantes:

Classe 1	de 9 cm à 20 cm
Classe 2	de 20 cm à 30 cm
Classe 3	de 30 cm et plus

2.5 PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS CONCERNANT LES TIGES

Lorsque l'on examine une table de rendement comme celle de Boudoux (1978), on constate, pour le pin gris par exemple, que le nombre de tiges marchandes évolue avec l'âge du peuplement. Ce nombre est en augmentation jusqu'à vers l'âge de 55 ans, puis il diminue. Cela signifie qu'avant cet âge, le nombre de recrues qui arrivent chaque année est supérieur au nombre de tiges qui meurent. Après 55 ans la situation est inversée. Les tables conventionnelles ne peuvent nous en exprimer davantage sur l'évolution du nombre de tiges car elles reposent sur des données ponctuelles. Ces données ne concernent que le nombre net de tiges en fonction de l'âge, de l'indice de qualité de station et de la densité.

Dans le modèle de prédiction ERS, le système reposant sur deux états différents de placettes permanentes, on peut étudier séparément les deux phénomènes "recrues" et "mortalité".

2.5.1 Phénomène des recrues

Dans un peuplement forestier on trouve toujours une certaine distribution des tiges par classe de DHP. Dans les peuplements inéquiennes, cette distribution a une forme en "J" inversé tandis que chez les peuplements jeunes, on trouve un plus grand nombre de tiges dans les classes de DHP inférieures. Chez les peuplements mûrs, le nombre de tiges par classe de DHP est réparti beaucoup plus selon une distribution normale. On trouve des tiges sur une beaucoup plus grande gamme de classes de DHP avec une concentration près du DHP moyen.

Il y a donc une évolution avec le temps. Étant donné que nous sommes obligés de fixer une norme minimale pour définir si une tige est marchande ou non et que la majorité des tiges croissent en diamètre, on assiste au phénomène des recrues. Toutes les nouvelles tiges vivantes qui sont présentes à la deuxième mesure sont des recrues. Dans un système sans classe de DHP, on ne considère comme recrues que les tiges qui passent le cap des 9 cm. Par contre, dans le système de prédiction ERS, on considère aussi comme

Tableau 2.3

Evolution des tiges des 89 placettes échantillons

<u>Classe</u>	<u>Initiales</u>	<u>Mortes</u>	<u>Recrues</u>	<u>Finales</u>	<u>Variation</u>
1	789	39	117	760	-29
2	320	10	107*	374	+54
3	259	12	43*	290	+31
Total	1 368	61	117	1 424	+56

*Ces tiges ne sont pas de véritables recrues. Elles sont déjà présentes à la première mesure et ne font que changer de classe de diamètre. En conséquence, elles ne comptent pas pour le total des recrues.

recrues les tiges qui atteignent 20 et 30 cm pour accéder à l'une des deux classes supérieures. Le tableau 2.3 nous indique le nombre de tiges recrues dans chacune des classes de DHP.

2.5.2 Phénomène de la mortalité

Dans les peuplements forestiers, il existe deux types de mortalité. Un premier type peut être qualifié de catastrophique, d'exceptionnel et d'imprévisible: un feu de forêt, une épidémie d'insectes, un chablis important. Le modèle ERS ignore ce type de mortalité, car le peu de placettes qui en étaient affectées ont été retirées de notre échantillonnage. On doit considérer ces causes de mortalité comme exogènes au système ERS.

Le deuxième type de mortalité, dont nous tiendrons compte cette fois, peut être qualifié de normal ou de naturel. Il provient tout simplement de la compétition pour l'espace vital. Au fur et à mesure que les arbres croissent, les plus faibles doivent mourir. C'est donc parmi les arbres classés comme "supprimés" et "intermédiaires" que l'on retrouvera habituellement les arbres morts dans les peuplements jeunes et mûrs. Dans les peuplements âgés, on trouvera plus de mortalité chez les dominants et les codominants.

À la deuxième mesure, on peut retrouver des arbres qui étaient vivants en première mesure et qui ne le sont plus. C'est ainsi que l'on établit le nombre de tiges mortes. En divisant ce nombre par le nombre d'années entre les deux mesures, on obtient le nombre moyen de tiges mortes par 0.04 hectare et par année. Le tableau 2.3 nous indique que l'on peut retrouver des tiges mortes dans chacune des trois classes de DHP.

2.5.3 Les équations d'état du système concernant les tiges

Globalement, il est très simple d'écrire une équation mathématique qui exprime l'évolution du nombre de tiges d'un peuplement ou d'une placette entre le temps initial (t_i) et le temps final (t_f).

$$N.T.t_f = N.T.t_i + N.R. - N.M.$$

où chacun des termes signifie:

$N.T.t_f$ = Nombre de tiges au temps final

$N.T.t_i$ = Nombre de tiges au temps initial

$N.R.$ = Nombre de tiges recrutées entre le temps initial et le temps final

$N.M.$ = Nombre de tiges mortes entre le temps initial et le temps final.

Dans le cas du programme ERS, on travaille au niveau de trois classes de DHP. On retrouvera donc trois états initiaux, trois états finaux, trois nombres de recrutées et trois nombres de tiges mortes. Il y aura complication au niveau des classes 1 et 2 où il y aura à la fois arrivée et départ de recrutées.

Classe de DHP 1

$$N.T.1_{t_f} = N.T.1_{t_i} + N.R.1 - N.M.1 - N.R.2$$

Classe de DHP 2

$$N.T.2_{tf} = N.T.2_{ti} + N.R.2 - N.M.2 - N.R.3$$

Classe de DHP 3

$$N.T.3_{tf} = N.T.3_{ti} + N.R.3 - N.M.3$$

Ces trois équations peuvent être qualifiées d'instantanées si l'espace de temps entre l'état initial et l'état final est très court et si l'état des variables explicatives n'a pas le temps de changer significativement durant cet intervalle. On notera que l'état retenu pour les variables explicatives est un état mathématique approximatif, étant la moyenne arithmétique entre l'état final et l'état initial.

Explications sur les symboles des variables de changement

$N.T.1_{tf}$ = Nombre de tiges au temps final en classe 1
 $N.T.1_{ti}$ = Nombre de tiges au temps initial en classe 1

$N.T.2_{tf}$ = Nombre de tiges au temps final en classe 2
 $N.T.2_{ti}$ = Nombre de tiges au temps initial en classe 2

$N.T.3_{tf}$ = Nombre de tiges au temps final en classe 3
 $N.T.3_{ti}$ = Nombre de tiges au temps initial en classe 3

$N.R.1$, $N.R.2$ et $N.R.3$ = Nombre de tiges recrues dans les classes 1, 2 et 3

$N.M.1$, $N.M.2$ et $N.M.3$ = Nombre de tiges mortes dans les classes 1, 2 et 3.

Dans la figure 2.6, nous avons illustré l'ensemble des phénomènes impliqués dans l'évolution du nombre de tiges, par classe de DHP.

Dans le prochain chapitre, on traitera des variables explicatives et des paramètres des équations qui régissent l'évolution du peuplement.

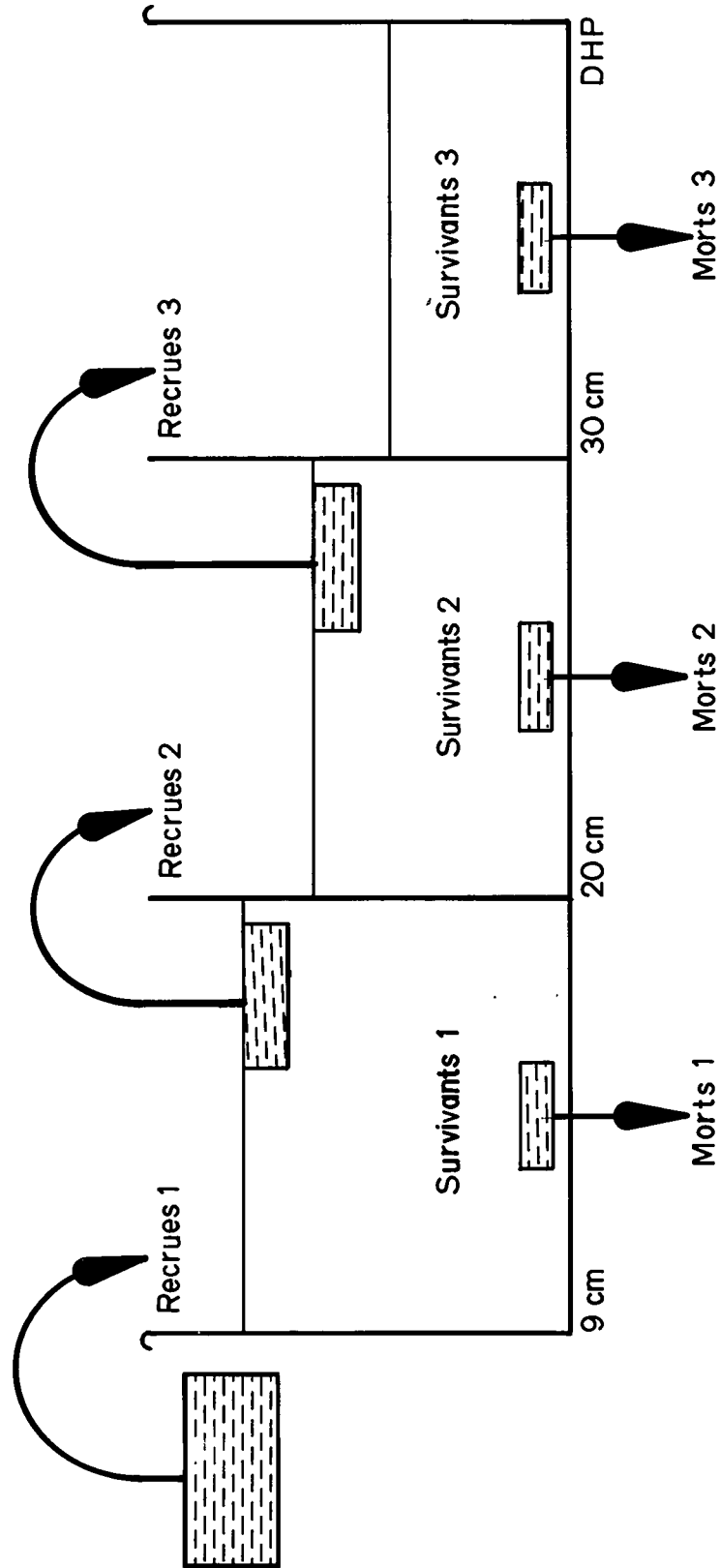


Figure 2.6 Dynamique des tiges par classe de diamètre dans le modèle ERS

2.6 PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS AU NIVEAU DE LA SURFACE TERRIÈRE

2.6.1 Équations d'état du système au niveau de la surface terrière

Ces équations sont très semblables à celles de la section précédente, mais elles vont plus loin. En effet, pour la surface terrière il importe de préciser les dimensions des tiges mortes et des tiges survivantes. De plus, les équations contiennent à droite un membre de plus qui tient compte de l'accroissement des survivants.

Classe de DHP 1

$$S.T.1_{tf} = S.T.1_{ti} + S.T.R.1 - S.T.M.1 - S.T.R.2 + Ac.1$$

Classe de DHP 2

$$S.T.2_{tf} = S.T.2_{ti} + S.T.R.2 - S.T.M.2 - S.T.R.3 + Ac.2$$

Classe de DHP 3

$$S.T.3_{tf} = S.T.3_{ti} + S.T.R.3 - S.T.M.3 + Ac.3$$

2.6.2 Signification des symboles des variables d'état

$S.T.1_{tf}$ = Surface terrière au temps final en classe 1
 $S.T.1_{ti}$ = Surface terrière au temps initial en classe 1

$S.T.2_{tf}$ = Surface terrière au temps final en classe 2
 $S.T.2_{ti}$ = Surface terrière au temps initial en classe 2

$S.T.3_{tf}$ = Surface terrière au temps final en classe 3
 $S.T.3_{ti}$ = Surface terrière au temps initial en classe 3

2.6.3 Signification des symboles des variables de changement

$S.T.R.1$, $S.T.R.2$ et $S.T.R.3$ = Surface terrière des tiges recrues dans les classes 1, 2 et 3

$S.T.M.1$, $S.T.M.2$ et $S.T.M.3$ = Surface terrière des tiges mortes dans les classes 1, 2 et 3

$Ac.1$, $Ac.2$ et $Ac.3$ = Accroissement en surface terrière des tiges survivantes dans les classes 1, 2 et 3

Dans la figure 2.7, nous avons illustré l'ensemble des phénomènes impliqués dans l'évolution de la surface terrière par classe de DHP.

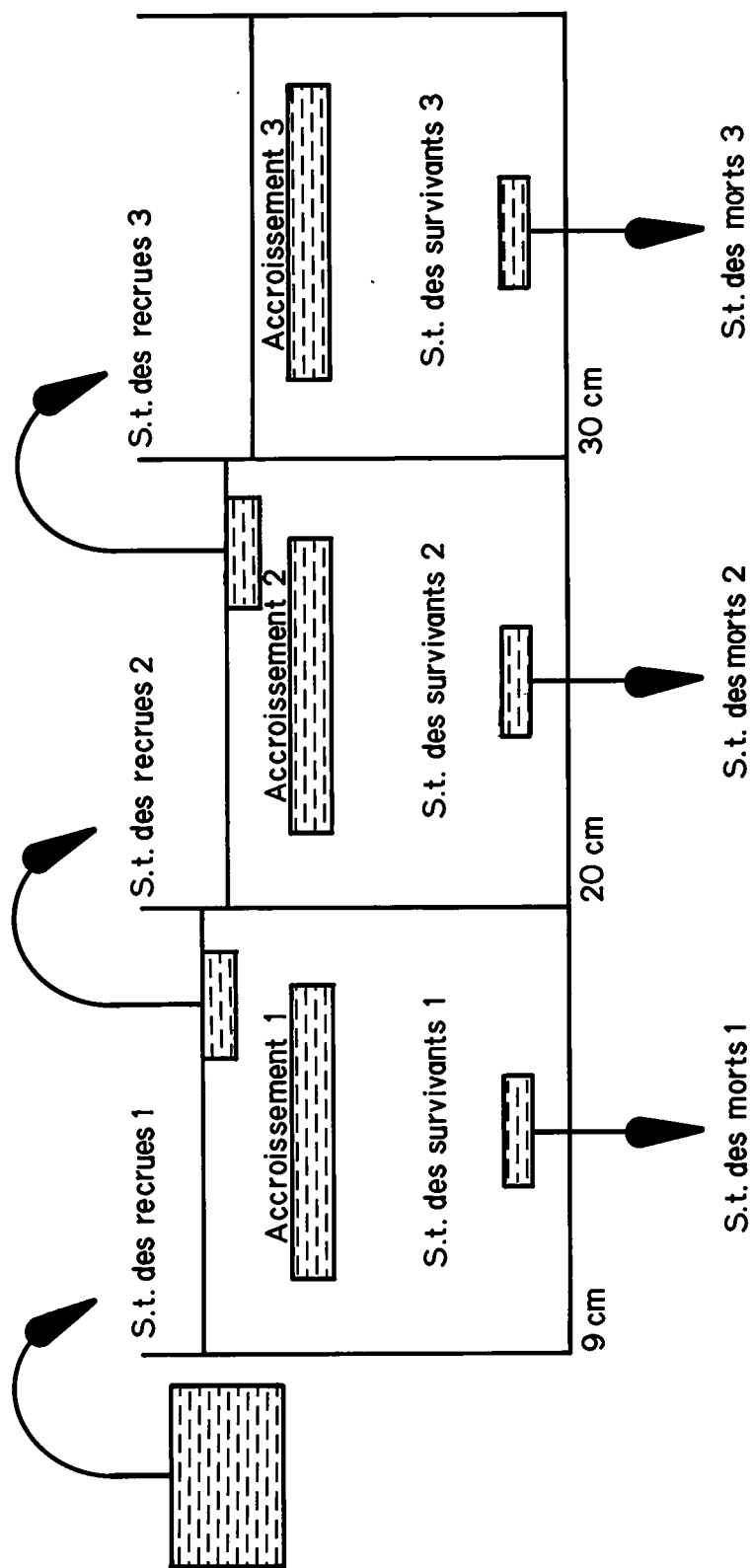


Figure 2.7 Dynamique de la surface terrière par classe de diamètre dans le modèle ERS

2.7 STATISTIQUES RELATIVES AUX PLACETTES ÉCHANTILLONS RETENUES

Dans chacune des placettes échantillons permanentes, on trouve un certain nombre d'arbres de dimensions commerciales variant avec les facteurs du milieu et les différentes interventions antérieures aux prises d'information.

2.7.1 Nombre de tiges

Le tableau 2.3 fournit des renseignements de base pour l'ensemble de notre échantillonnage de 89 placettes d'érables à sucre. Au moment de la mesure initiale, il y avait sur le terrain 1 368 tiges marchandes qui croissaient sur une superficie totale de 3,56 hectares. La densité moyenne était donc de 389 tiges à l'hectare. Ce nombre peut paraître faible, mais il faut mentionner que dans plus de la moitié des placettes, les peuplements étaient "mûrs". De plus, aucune placette n'a été rejetée même si sa densité était inférieure à la normale.

Le même tableau nous indique que pour l'ensemble des trois classes, le nombre de tiges a augmenté de 56 pour atteindre 1 424 au moment des mesures finales. Cette augmentation est attribuable à un faible niveau de mortalité et à l'arrivée de 117 tiges qui ont atteint le seuil des 9 cm.

Le tableau nous laisse voir une maturation de l'ensemble des placettes. On constate en effet une variation positive du nombre de tiges des classes de DHP supérieures. Dans la classe 1, c'est le phénomène inverse qui se produit en dépit du grand nombre de tiges recrues qui y arrivent.

2.7.2 Données initiales moyennes

Le tableau 2.4 nous indique pour l'ensemble des placettes les valeurs moyennes observées et leur écart-type pour les nombres de tiges et les

surfaces terrières. Dans le premier cas on constate un gradient négatif de la classe 1 vers la classe 3. De son côté la surface terrière suit une tendance inverse car en plus du nombre de tiges, le diamètre au carré intervient dans son calcul.

Les écarts-types observés nous indiquent que notre échantillonnage, même s'il est peu abondant, explore une grande gamme de conditions initiales. Ceci est très important car le système de prédiction à son tour pourra s'accommoder de conditions initiales réelles également variables. De plus, il s'adaptera aisément aux changements qui seront simulés après chacune des itérations.

Tableau 2.4

Données initiales pour les placettes échantillons permanentes

Classe	Nombre de tiges par 0,04 hectare					
	Initiales		Recrues		Mortes	
	moy.	S	moy.	S	moy.	S
1	8,865	7,81	1,315	1,77	0,438	0,8
2	3,595	6,19	1,202	1,34	0,112	0,35
3	2,910	4,97	0,483	0,64	0,135	0,34
Classe	Surface terrière des tiges en m ² /0,04 hectare					
	Initiales		Recrues		Mortes	
	moy.	S	moy.	S	moy.	S
1	0,136	0,11	0,011	0,01	0,006	0,01
2	0,167	0,11	0,044	0,05	0,005	0,01
3	0,364	0,29	0,038	0,05	0,023	0,06

2.7.3 Distribution du nombre de placettes en fonction du diamètre moyen et du nombre de tiges par hectare

À partir des conditions initiales des 89 placettes échantillons, nous avons élaboré le tableau 2.5. Il nous indique la répartition de nos placettes dans une grille DHP - nombre de tiges. Cette grille nous montre globalement une distribution diagonale qui est tout à fait plausible. On y observe beaucoup de tiges lorsque le DHP moyen est faible et l'inverse quand le DHP moyen est élevé.

2.7.3.1 Distribution pour les placettes "coupe partielle" et "sans coupe partielle"

Les deux tableaux suivants (tableaux 2.6 et 2.7) nous montrent clairement que dans l'ensemble "coupe partielle", il y a eu effectivement une réduction du nombre de tiges. Dans cet ensemble, il y a seulement une placette où l'on retrouve plus de 750 tiges à l'hectare. Dans le groupe "sans coupe partielle", on constate qu'il y a plus de placettes près de la diagonale principale et cela est surtout évident chez les placettes à DHP moyen extrême. Il convient de noter qu'il existe 11 placettes dans ce groupe où le nombre de tiges, compte tenu du DHP moyen, est très faible. Ceci est peut-être dû au fait que lorsqu'une éclaircie affecte moins de 25 p. 100 de la surface terrière, la placette ne prend pas l'appellation "coupe partielle". Il est peut-être possible que les souches des petites tiges qui auraient été coupées très près du sol aient disparu dans la litière avant le premier passage des équipes d'inventaire.

Tableau 2.5

*DISTRIBUTION DU NOMBRE DE PLACETTES EN FONCTION DU
DHP MOYEN ET DU NOMBRE DE TIGES PAR HECTARE POUR
TOUTES LES PLACETTES*

<i>DHP</i>	<i>NOMBRE DE TIGES DE 9 CM ET + PAR HECTARE</i>									
<i>(CM)</i>	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
10										
12		1								
14	1			2			1			
16				1		1		3	2	
18	1	1		2	2	2	2			
20				2	2	2	2	1	1	
22					2	1	1	2	1	
24							4	2		1
26					1	1	5	4	1	
28							3	4		
30							1	3	4	
32							1	3		
34									2	
36								2	2	
38									1	1
40									3	1

Tableau 2.6

*DISTRIBUTION DU NOMBRE DE PLACETTES EN FONCTION DU
DHP MOYEN ET DU NOMBRE DE TIGES PAR HECTARE POUR
LES PLACETTES AVEC COUPES PARTIELLES*

<i>DHP</i>	<i>NOMBRE DE TIGES DE 9 CM ET + PAR HECTARE</i>									
<i>(CM)</i>	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
10										
12		1								
14				1						
16								2	2	
18				1		1				
20					1					
22								2		
24							1	1		1
26							3	2		
28								1		
30									2	
32										
34									1	
36								1	1	
38									1	1
40										

Tableau 2.7

*DISTRIBUTION DU NOMBRE DE PLACETTES EN FONCTION DU
DHP MOYEN ET DU NOMBRE DE TIGES PAR HECTARE POUR
LES PLACETTES SANS COUPES PARTIELLES*

<i>DHP</i>	<i>NOMBRE DE TIGES DE 9 CM ET + PAR HECTARE</i>									
<i>(CM)</i>	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
10										
12										
14	1			1			1			
16				1		1		1		
18	1	1		1	2	1	2			
20				2	1	2	2	1	1	
22					2	1	1		1	
24							3	1		
26					1	1	2	2	1	
28							3	3		
30							1	3	2	
32							1	3		
34									1	
36								1	1	
38										
40									3	1

2.7.3.2 Distribution pour les placettes sous les appellations "jeunes" et "mûres"

Le groupe des placettes jeunes (tableau 2.8) devrait apparaître dans le haut de la grille et être déporté vers la gauche, là où il y a plus de tiges à l'hectare. Le premier critère est bien respecté car aucune placette n'a un DHP moyen supérieur à 25 centimètres. Le deuxième critère qui positionne les placettes de gauche à droite semble moins bien respecté. Pour un ensemble de placettes appelées "jeunes", on doit s'attendre normalement à observer beaucoup de tiges à l'hectare. Dans le tableau, la répartition devrait être déportée vers la gauche. À l'intérieur de ce groupe, il y a 12 placettes qui semblent ne pas respecter cette règle. Ceci s'explique par le fait que les placettes "jeunes coupes partielles" sont incluses dans le groupe.

De plus, les explications fournies à la section précédente concernant les placettes sans coupes partielles doivent s'appliquer également au cas présent.

La grille de répartition des placettes "mûres" (tableau 2.9) ne présente pas d'anomalies importantes. Les DHP moyens sont tous supérieurs à 21 cm et aucune placette n'a plus de 650 tiges à l'hectare. Comme il faut s'y attendre dans les placettes très mûres, c'est-à-dire à DHP moyen supérieur à 37 centimètres, on observe moins de 250 tiges à l'hectare. On doit mentionner encore une fois que l'échantillonnage contient quelques placettes un peu trop éloignées de la diagonale principale mais dans un échantillonnage empirique, on doit s'attendre à trouver des placettes ayant des densités variables.

Tableau 2.8

*DISTRIBUTION DU NOMBRE DE PLACETTES EN FONCTION DU
DHP MOYEN ET DU NOMBRE DE TIGES PAR HECTARE POUR
LES PLACETTES JEUNES*

<i>DHP</i>	<i>NOMBRE DE TIGES DE 9 CM ET + PAR HECTARE</i>									
<i>(CM)</i>	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
10										
12		1								
14	1			2			1			
16				1		1		3	2	
18	1	1		2	2	2	2			
20				2	2	2	2	1	1	
22					2			2	1	
24							2	1		1
26										
28										
30										
32										
34										
36										
38										
40										

Tableau 2.9

*DISTRIBUTION DU NOMBRE DE PLACETTES EN FONCTION DU
DHP MOYEN ET DU NOMBRE DE TIGES PAR HECTARE POUR
LES PLACETTES MURES*

<i>DHP (CM)</i>	<i>NOMBRE DE TIGES DE 9 CM ET + PAR HECTARE</i>									
	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
10										
12										
14										
16										
18										
20										
22						1	1			
24							2	1		
26					1	1	5	4	1	
28							3	4		
30							1	3	4	
32							1	3		
34									2	
36								2	2	
38									1	1
40									3	1

2.8 MÉTHODES DE RÉGRESSION

Pour obtenir les paramètres des équations qui apparaissent au chapitre des résultats, nous nous sommes servis de deux logiciels statistiques différents. Le premier, appelé *SACADOS*, a été élaboré par MM. Michel Boudoux et François Bonenfant du C.R.F.L. en 1979. Ce logiciel nous a été particulièrement utile pour déterminer les coefficients des équations linéaires multiples. Il nous a également servi pour vérifier les valeurs prédites d'équations non linéaires.

Le deuxième logiciel que nous avons utilisé est *BMDP STATISTICAL SOFTWARE* réédité par Dixon et autres en 1983. Nous nous sommes servis des modules *P3R* et *PAR* pour déterminer les coefficients de toutes les équations non linéaires. Ce dernier logiciel opère à partir d'une programmation *FORTRAN* tandis que le premier, écrit en *APL*, opère sur une base conversationnelle. Le logiciel *SACADOS* est donc beaucoup plus facile d'utilisation. Malheureusement on ne peut y estimer les coefficients des régressions non linéaires.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

3.1 PRÉSENTATION DU MODÈLE ERS

Il est possible de traduire en équations mathématiques les phénomènes forestiers qui expliquent la croissance des peuplements d'érable à sucre. Le système d'équations de prédiction par classe de DHP que nous avons élaboré repose sur les changements observés dans les placettes permanentes.

L'essentiel du travail a été de trouver les variables d'état explicatives des phénomènes de changement. Les changements annuels étant eux-mêmes variables dans le temps, il était nécessaire de retenir comme variables explicatives logiques des variables d'état qui évoluent dans le temps. Le système refaisant le point après chaque année d'évolution, les variables d'état remises à jour procurent pour chaque année subséquente des taux de changement toujours actuels. Il est donc possible de traduire en équations mathématiques les phénomènes qui expliquent la croissance des peuplements d'érable à sucre.

La figure 3.1 indique l'agencement logique des différentes composantes du modèle de prédiction ERS. Après l'observation de ce tableau, le lecteur situera mieux les nombreuses équations du présent chapitre.

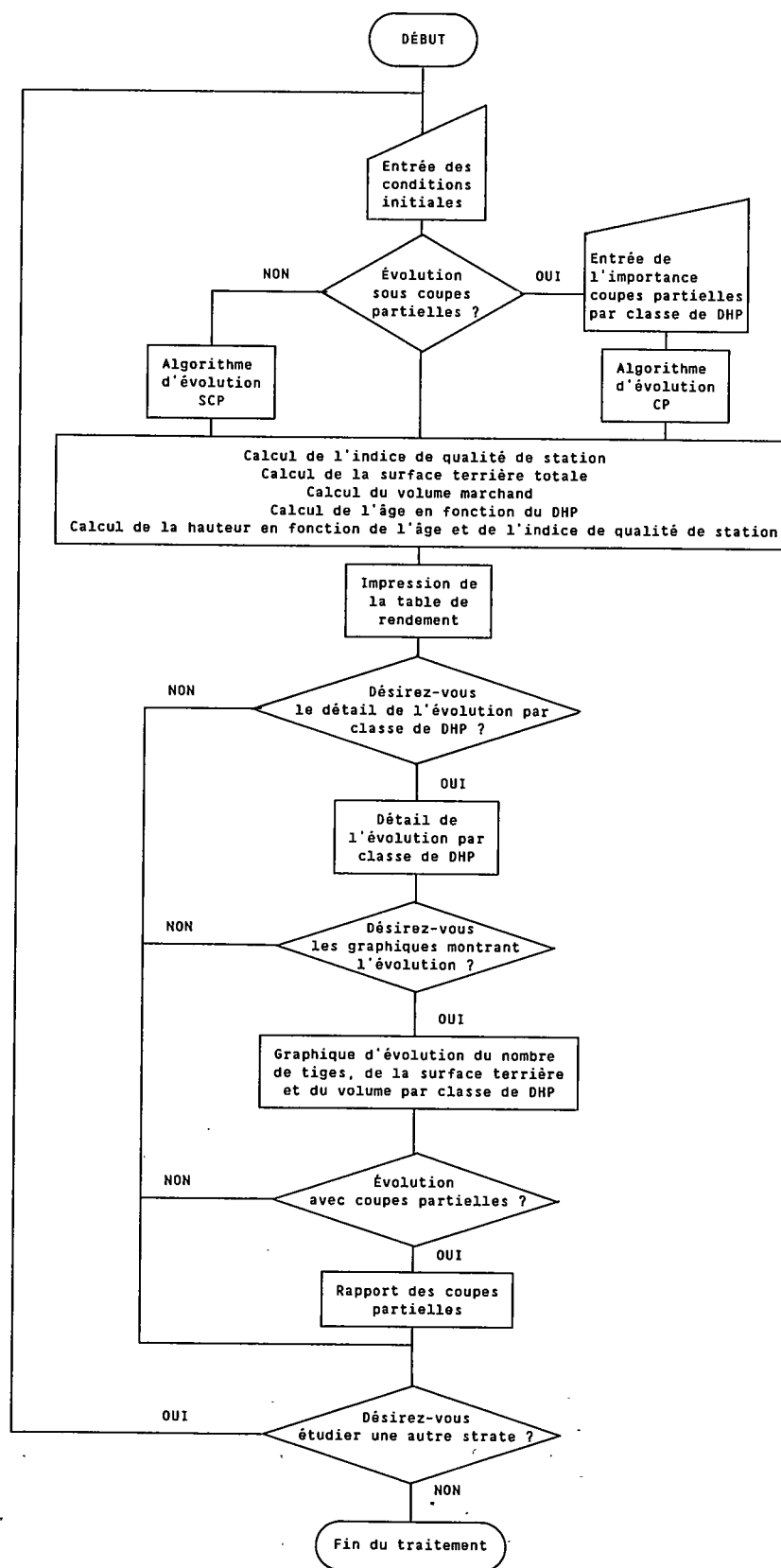


Figure 3.1 Ordinoگرامme du programme ERS

Nous verrons dans les prochains paragraphes le détail de chacune des équations retenues et les résultats obtenus du système de prédiction.

3.2 ÉQUATIONS DE CHANGEMENT DU MODÈLE DE PRÉDICTION SANS COUPE PARTIELLE

3.2.1 Accroissement annuel des survivants

Les survivants comprennent les tiges qui restent toujours vivantes à la fin d'une période de croissance et qui appartiennent encore à la même classe de DHP. Pour qu'une telle définition traduise bien des phénomènes de croissance, il importe que la période de référence soit très courte. Il est facile de concevoir que très peu de tiges pourraient répondre à cette définition si la période de référence était trop longue, par exemple plus de 20 ans, ou encore que la classe de DHP soit trop étroite.

Dans le cas des placettes permanentes, la période entre les deux mesures étant d'environ sept ans, nous avons jugé utile de conserver dans les tiges survivantes celles qui passaient à une classe de DHP supérieure. Dans un but de simplification, toute la croissance de ces tiges a été conservée dans la classe où elles étaient localisées au temps initial.

L'accroissement annuel devient la différence entre la surface terrière finale et la surface terrière initiale de chacune des placettes permanentes, divisée par le nombre d'années entre les deux mesures. Pour une placette donnée, cet accroissement moyen annuel est considéré comme un estimé valable de l'accroissement qui est survenu durant l'année centrale de la période de référence. Ces accroissements moyens annuels sont les variables dépendantes (Y observés) qui doivent être expliquées par des variables d'état aux valeurs qu'elles avaient à l'année centrale de la période de référence respective. Ces valeurs ont été estimées comme étant la moyenne arithmétique entre les valeurs initiales et les valeurs finales.

Classe de DHP 1

$$AC.1 = b_0 \quad N.T.1 \quad b_1 \quad (b_2 \text{ S.T.2} + b_3 \text{ S.T.3})$$

Les coefficients de cette équation non linéaire ont été estimés à l'aide du logiciel *BMDP*, module *P3R* (1983).

b_0 = 0,001668
 b_1 = 0,867454
 b_2 = - 1,447793
 b_3 = - 1,32691
RSS = 0,248423 E-03
DF = 55
RMS = 0,451677 E-05

où:

AC.1 = Accroissement annuel en mètres carrés par 0,04 hectare pour la classe de DHP 1
N.T.1 = Nombre de tiges en classe de DHP 1
e = base des logarithmes naturels ou nombre népérien
S.T.2 = Surface terrière en classe de DHP 2
S.T.3 = Surface terrière en classe de DHP 3
 b_0 à b_3 = Coefficients de l'équation
RSS = (*Residual Sum of Squares*)
Somme des carrés des résidus
DF = (*Degrees of freedom*)
Degrés de liberté
RMS = (*Residual mean square*)
Moyenne des carrés des résidus

Il convient de mentionner que la forme de l'équation et les signes des coefficients sont très logiques. Les coefficients b_0 et b_1 associés au nombre de tiges étant positifs, plus il y a de tiges, plus il y a d'accroissement. Par contre les coefficients b_2 et b_3 négatifs associés à la surface terrière des tiges de classe 2 et de classe 3 tiennent compte de la compétition entre les tiges à partir du moment où elle se fait sentir significativement.

Classe de DHP 2

$$AC.2 = b_0 N.T.2^{b_1} S.T.2^{b_2} e^{b_3} S.T.3$$

Les coefficients de cette équation non linéaire d'accroissement annuel ont été estimés à l'aide du logiciel *BMDP*, module *P3R* (1983).

$$b_0 = 0,000967$$

$$b_1 = 0,979076$$

$$b_2 = - 0,328050$$

$$b_3 = - 0,926218$$

$$RSS = 0,205190 \text{ E-03}$$

$$DF = 53$$

$$RMS = 0,451677 \text{ E-05}$$

où:

AC.2 = Accroissement annuel en mètres carrés par 0,04 hectare pour la classe de DHP 2

N.T.2 = Nombre de tiges en classe de DHP 2

S.T.2 = Surface terrière en classe de DHP 2

S.T.3 = Surface terrière en classe de DHP 3

Comme pour l'équation précédente, il convient de mentionner la justesse des signes des coefficients qui traduisent bien la réalité de la croissance en forêt.

Classe de DHP 3

$$AC.3 = b_0 S.T.3^{b_1} e^{b_2} S.T.M.3$$

Les coefficients suivants ont été estimés comme précédemment.

$$b_0 = 0,021449$$

$$b_1 = 0,662478$$

$$b_2 = - 6,506348$$

$$RSS = 0,447213 \text{ E-03}$$

$$DF = 49$$

$$RMS = 0,912679 \text{ E-05}$$

où:

AC.3 = Accroissement annuel en mètres carrés
par 0,04 hectare en classe de DHP 3

S.T.3 = Surface terrière des tiges de la classe de DHP 3

S.T.M.3 = Surface terrière moyenne obtenue en divisant S.T.3 par
N.T.3

Dans le cas de la croissance en classe 3, la suppression ne peut être occasionnée par des classes supérieures car elles n'existent pas. La suppression vient donc entre les tiges de cet étage supérieur et on en tient compte en faisant intervenir le dernier terme de l'équation. Ce terme est équivalent au carré du DHP moyen en cm multiplié par π et divisé par 40 000.

3.2.2 Équations de prédiction du nombre de recrues

Les recrues sont des tiges qui passent au-dessus d'un certain seuil de DHP grâce à leur croissance. Le nombre de recrues est donc lié à l'importance de la croissance et aussi, d'une part, au nombre de candidats et d'autre part à la position de ces tiges par rapport au seuil.

Classe de DHP 1

$$N.R.1 = c_1 e^{c_2(S.T.1 + S.T.2 + S.T.3)}$$

Les deux coefficients de cette équation non-linéaire ont également été estimés à l'aide du logiciel *BMDP*, module *P3R*.

$C_1 = 0,492246$
 $C_2 = - 1,420295$
 $RSS = 3,37731$
 $DF = 60$
 $RMS = 0,56288 \text{ E-01}$

Les abréviations signifient:

$N.R.1 =$ Nombre de tiges recrues en classe de DHP 1
 $S.T.1 =$ Surface terrière en classe de DHP 1
 $S.T.2 =$ Surface terrière en classe de DHP 2
 $S.T.3 =$ Surface terrière en classe de DHP 3

Cette équation est logique au point de vue forestier, car plus la surface terrière est grande, moins on obtient de recrues. Il est normal d'obtenir beaucoup de recrues dans un peuplement en construction, et très peu lorsque le couvert est fermé. À ce moment la surface terrière de l'ensemble des trois classes est élevée.

Classe de DHP 2

$$N.R.2 = N.T.1 \left[b_0 + b_1 \left[\frac{S.T.1}{N.T.1} \right] + b_2 \left[\frac{AC.1}{S.T.1} \right] \right]$$

Les coefficients de cette équation linéaire multiple ont été estimés à l'aide du logiciel *SACADOS*, module *REGMUL*.

	<u>t Calculé</u>
$b_0 = 0,05344$	
$b_1 = 3,59717$	7,725
$b_2 = 0,41827$	5,476

RSS = 0,0083
 DF = 56
 RMS = 0,000148
 ETE = 0,0122

Les symboles signifient:

N.R.2 = Nombre de tiges recrues par année en classe de DHP 2
 N.T.1 = Nombre de tiges en classe de DHP 1
 S.T.1 = Surface terrière en classe de DHP 1
 AC.1 = Accroissement annuel en classe de DHP 1
 ETE = Écart type de l'estimé.

Cette équation linéaire est très efficace car le nombre de recrues en classe 2 dépend en premier lieu, de la présence de tiges en classe 1, puis de variables explicatives qui intéressent le comportement des tiges de cette classe de DHP. C'est à dire leur dimension relative par rapport au seuil de 20 cm avec le terme (S.T.1./N.T.1) et de la croissance par unité de surface terrière. Dans le présent cas, seules les placettes qui avaient au moins une tige en classe 1 ont été retenues pour estimer les coefficients.

Classe de DHP 3

$$N.R.3 = N.T.2 \left[b_0 + b_1 \left[\frac{S.T.2}{N.T.2} \right] + b_2 \left[\frac{AC.2}{S.T.2} \right] \right]$$

Les coefficients ont été estimés par le même procédé que ceux de la classe de DHP 2.

t Calculé

b ₀	=	-0,1575	
b ₁	=	3,0278	7,969
b ₂	=	1,3527	6,761

RSS = 0,022
DF = 54
RMS = 0,000407
ETE = 0,0202

Les abréviations de l'équation signifient:

N.R.3 = Nombre de tiges recrues par année en classe de DHP 3
N.T.2 = Nombre de tiges en classe de DHP 2
S.T.2 = Surface terrière en classe de DHP 2
AC.2 = Accroissement annuel en classe de DHP 2

Cette équation est conçue exactement comme celle de la classe 2. Toutes les variables explicatives proviennent de l'état physique de la classe 2 et de sa dynamique de croissance. Cette dernière tient compte de la suppression provoquée par les tiges des classes de DHP supérieures.

3.2.3 Surface terrière des recrues des classes de DHP 1, 2 et 3

Dans les placettes échantillons permanentes en deuxième mesure on observe des recrues en classe de DHP 1 qui ont 9,0 9,1 9,2... 12,0 cm de diamètre. Ce diamètre, mesuré au moment de la deuxième prise de données, dépend du taux de croissance annuel en diamètre et du moment depuis lequel le seuil de 9 cm a été franchi. La période peut varier d'une à sept années.

Étant donné que le modèle ERS évolue avec un pas d'itération d'un an et que chaque tige recrue croît en diamètre dès l'année qui suit son arrivée dans le système, nous avons décidé de spécifier aux recrues un diamètre d'arrivée égal aux seuils retenus. Nous avons ainsi négligé les diamètres moyens des recrues observées.

<u>Classe de DHP</u>	<u>DHP</u> <u>moyen</u> <u>des recrues</u>	<u>Seuil</u>	<u>Surface terrière</u> <u>initiale</u>
1	10,25 cm	9 cm	0,0063620 m ²
2	21,58 cm	20 cm	0,0314159 m ²
3	31,57 cm	30 cm	0,0706858 m ²

La surface terrière annuelle des recrues s'obtient en multipliant le nombre annuel de recrues par la surface terrière unitaire équivalente à chacun des trois seuils indiquant la limite inférieure des classes de DHP.

$$S.T.R.1 = 0,0063620 \times N.R.1$$

$$S.T.R.2 = 0,0314159 \times N.R.2$$

$$S.T.R.3 = 0,0706858 \times N.R.3$$

3.2.4 Équations de prédiction du nombre annuel de tiges mortes

Nous avons vu dans le chapitre précédent que le nombre de tiges mortes varie d'une classe de DHP à une autre et aussi d'une placette à une autre. Ces dernières variations sont démontrées par des écarts-types très élevés.

En divisant les nombres de tiges mortes entre les deux mesures par les nombres de tiges vivantes initiales, on obtient des taux de mortalité de 4,9, 3,1 et 4,6 p. 100 respectivement pour les classes de DHP 1, 2 et 3. Notons que ces taux doivent être ramenés sur une base annuelle, si l'on veut les utiliser pour le modèle de prédiction. On aurait pu, comme l'ont fait Moser (1974) tout comme Ung et autres (1982), utiliser ces taux fixes de mortalité. Le nombre de tiges mortes est alors uniquement fonction du nombre de tiges vivantes. Fortin (1984) a innové en utilisant des taux de mortalité ventilés par stades de développement et par régions forestières. Dans les prochains paragraphes, on verra que d'autres variables explicatives ont été trouvées significatives pour rendre les équations de prédiction beaucoup plus puissantes.

Nombre de tiges mortes en classe de DHP 1

$$T.M.1 = b_0 + b_1 S.T.2 + b_2 S.T.3 + b_3 \left[\frac{S.T.1}{N.T.1} \right]$$
$$N.M.1 = N.T.1 \times T.M.1$$

Les quatre coefficients de cette équation linéaire multiple ont été estimés à l'aide du logiciel SACADOS.

	<u>t Calculé</u>
$b_0 = 0,039262$	
$b_1 = 0,033197$	1,388
$b_2 = 0,023999$	2,450
$b_3 = -2,664238$	-3,102
RSS = 0,0221	
DF = 55	
RMS = 0,000418	
ETE = 0,0200	
R ² = 0,21	

Les abréviations de l'équation signifient:

T.M.1	=	Taux de mortalité annuel en classe de DHP 1
N.M.1	=	Nombre de tiges mortes annuellement en classe de DHP 1
N.T.1	=	Nombre de tiges vivantes en classe de DHP 1
S.T.1	=	Surface terrière des tiges vivantes en classe de DHP 1
S.T.2	=	Surface terrière des tiges vivantes en classe de DHP 2
S.T.3	=	Surface terrière des tiges vivantes en classe de DHP 3

Le coefficient de détermination de même que les valeurs de t , de F et de R^2 sont tous très faibles, car la principale variable explicative du nombre de tiges mortes, le nombre de tiges vivantes, n'a pas été incluse lors de la détermination des coefficients de régression. Cependant l'ensemble de l'équation la comprend. En effet, le nombre de tiges mortes annuellement est déterminé par le nombre de tiges vivantes multiplié par un taux de mortalité variable.

Comme le démontrent les signes des coefficients b_1 et b_2 , ce taux de mortalité augmente avec la suppression venant des étages supérieurs. Le coefficient b_3 affectant le rapport S.T.1/N.T.1 est négatif. Ceci reflète bien le fait que chez les jeunes peuplements à faible DHP moyen quadratique, ou son équivalent S.T.1/N.T.1 à une constante près, l'incidence de la mortalité est très faible en dépit d'un nombre souvent élevé de tiges vivantes.

Nombre de tiges mortes en classe de DHP 2

$$\begin{aligned} T.M.2 &= b_0 + b_1 S.T.2 + b_2 (S.T.2 + S.T.3) \\ N.M.2 &= N.T.2 \times T.M.2 \end{aligned}$$

Les coefficients de cette équation ont été estimés comme ceux de la précédente, c'est-à-dire à l'aide du logiciel SACADOS. De nombreuses équations non linéaires et beaucoup plus complexes ont été évaluées mais elles n'améliorent pas du tout l'ensemble du système ni à court terme, ni à long terme.

	<u>t Calculé</u>
$b_0 = - 0,002655$	
$b_1 = 0,010647$	0,809
$b_2 = 0,007291$	1,302
RSS = 0,007	
DF = 55	
RMS = 0,000127	
ETE = 0,0113	
$R^2 = 0,04$	

Les symboles ont déjà tous été définis. Cette équation a été conçue comme la précédente, les signes des coefficients sont très logiques et elle prédit très bien en dépit de son très faible coefficient de détermination.

Nombre de tiges mortes en classe de DHP 3

$$N.M.3 = b_0 + b_1 N.T.3 + b_2 (S.T.1 + S.T.2 + S.T.3)$$

Les coefficients de cette équation linéaire à régression multiple ont également été estimés, à l'aide du logiciel SACADOS.

b0 = - 0,020767
b1 = 0,002378
b2 = 0,041298
RSS = 0,1103
DF = 57
RMS = 0,00193
ETE = 0,044
R² = 0,0951

Les abréviations ont déjà toutes été définies dans les pages précédentes. Dans le cas de cette équation, le nombre de tiges mortes est fonction du nombre de tiges vivantes en classe de DHP 3 et de l'ensemble de la surface terrière. Les signes des coefficients sont cohérents, car plus il y a de tiges vivantes et de compétition, plus il y a de mortalité. Les prédictions à court terme et à long terme sont satisfaisantes en dépit du faible coefficient de détermination. Notre échantillonnage étant faible, il pourrait difficilement en être autrement. En effet, dans les 59 placettes considérées, il n'y a que 6 tiges mortes et la mortalité ne frappe pas toujours là où les modélisateurs le souhaiteraient.

3.2.5 Détermination de la surface terrière annuelle des tiges mortes

On obtient la surface terrière des tiges qui meurent chaque année dans chacune des grandes classes de DHP, en multipliant la prédiction du nombre de tiges mortes par un estimé de la dimension d'une tige morte par classe de DHP.

S.T.M.1 = N.M.1 x D.M.1
S.T.M.2 = N.M.2 x D.M.2
S.T.M.3 = N.M.3 x D.M.3

Certains auteurs ont estimé aisément les termes D.M.1, D.M.2 et D.M.3. Ils ont décidé que les arbres qui mouraient étaient de même dimension que le centre de leur classe de DHP, ou bien qu'ils avaient la dimension moyenne des tiges mortes entre les deux mesures ou encore qu'ils avaient la dimension moyenne des tiges vivantes.

Nous avons retenu la troisième hypothèse qui nous semble la plus plausible. De plus nous avons voulu rendre nos estimés plus précis et flexibles en faisant varier la dimension des tiges mortes en fonction du DHP moyen des tiges vivantes et ceci pour chacune des classes de DHP.

Équation de prédiction de la dimension d'une tige morte en classe de DHP 1

$$D.M.1 = 1 \div (a_0 + a_1 \text{ S.T.U.1})$$

Les coefficients de cette équation linéaire ont été évalués avec le logiciel SACADOS, module MODÈLES.

$$\begin{aligned} a_0 &= 171,229 \\ a_1 &= -5908,119 \\ RSS &= 0,00083 \\ DF &= 23 \\ RMS &= 0,000036 \\ ETE &= 0,006 \\ R^2 &= 0,26 \end{aligned}$$

Les symboles non définis antérieurement signifient:

D.M.1 = Surface terrière en mètres carrés d'une tige morte
en classe de DHP 1

a_0, a_1 = Coefficients de l'équation de prédiction

$$\begin{aligned}
 \text{S.T.U.1} &= \text{S.T.1} \div \text{N.T.1} \\
 " &= ((\text{DHP moyen en cm})^2 \times \pi) \div 40\,000 \\
 " &= \text{Surface terrière unitaire des tiges survivantes en} \\
 &\quad \text{classe de DHP 1 exprimée en mètres carrés.}
 \end{aligned}$$

Avec cette équation, le diamètre des tiges mortes est déterminé indirectement par le diamètre des tiges vivantes. En étudiant le comportement de cette équation, on constate que la surface terrière unitaire des tiges mortes augmente avec la surface terrière moyenne des tiges vivantes. Lorsque le diamètre des tiges vivantes est faible, il existe une différence assez importante entre les surfaces terrières unitaires des tiges mortes d'une part et vivantes d'autre part. D'abord cette différence s'estompe légèrement, puis de plus en plus lorsque l'on approche des diamètres relativement élevés pour cette classe de DHP.

Du point de vue forestier, ceci s'explique par le fait que lorsqu'un peuplement est jeune, donc à faible DHP moyen en classe 1, les tiges qui meurent sont les supprimées. Ces tiges sont toujours plus petites en diamètre que celles des arbres que l'on nomme dominants, codominants et intermédiaires. La différence a tendance à s'estomper lorsque le peuplement parvient à maturité; la suppression provient à ce moment des classes de DHP supérieures et elle frappe indifféremment des tiges dont le diamètre peut être soit inférieur, soit supérieur au diamètre moyen des tiges vivantes. Notre échantillonnage de base, même s'il est très restreint, a permis de déterminer des coefficients qui nous procurent des prédictions très logiques du point de vue forestier.

Équation de prédiction de la dimension d'une tige morte en classe de DHP 2

$$\text{D.M.2} = a_0 + a_1 \text{ S.T.U.2} + a_2 (\text{S.T.U.2})^2$$

Les coefficients de cette équation de régression linéaire ont été estimés à l'aide du logiciel SACADOS, module MODÈLES.

a ₀	=	0,2352
a ₁	=	-9,7790
a ₂	=	119,6978
RSS	=	0,000024
DF	=	6
RMS	=	0,000004
ETE	=	0,002

Les symboles non définis antérieurement signifient:

D.M.2 = Surface terrière en mètres carrés d'une tige morte en classe de DHP 2.

a₀, a₁, a₂ = Coefficients de l'équation de prédiction.

S.T.U.2 = S.T.2 ÷ N.T.2 = ((DHP moyen en cm)² x π) ÷ 40,000

" = Surface terrière unitaire des tiges survivantes en classe de DHP 2 exprimée en mètres carrés.

Les signes de cette équation linéaire du second degré sont très intéressants. Lorsque le DHP moyen des tiges vivantes est inférieur à 25 cm, le DHP des tiges mortes est inférieur à celui des tiges vivantes. Par contre lorsque le DHP moyen des tiges vivantes est supérieur à 25 cm, le DHP des tiges mortes dépasse légèrement celui des tiges vivantes. Au point de vue forestier, ce comportement de l'équation décrit exactement ce qui se passe en forêt lorsqu'un peuplement dans son évolution passe d'un stade jeune à un stade mûr.

Équation de prédiction de la dimension d'une tige morte en classe de DHP 3

$$D.M.3 = a_0 + a_1 S.T.U.3 + a_2 (S.T.U.3)^2$$

Les coefficients de cette équation de régression ont été estimés à l'aide du module *MODÈLES* du logiciel *SACADOS*.

$a_0 = 0,4848$
 $a_1 = -8,3874$
 $a_2 = 43,2556$
 $RSS = 0,0022$
 $DF = 10$
 $RMS = 0,000225$
 $ETE = 0,0150$

Les symboles non définis antérieurement signifient:

$D.M.3$ = Surface terrière en mètres carrés d'une tige morte en classe de DHP 3

$S.T.U.3 = S.T.3 \div N.T.3 = (DHP)^2 \times \pi \div 40\,000$

$S.T.U.3$ = Surface terrière unitaire des tiges survivantes en classe de DHP 3 exprimée en mètres carrés.

Au point de vue forestier, les signes des coefficients et la forme de la prédiction sont appropriés. Le faible DHP moyen en classe 3 signifie que le peuplement est à la fin de son stade de jeunesse. Entre ce moment et celui où il entre en période de sénilité, il est normal que les arbres qui meurent soient ceux qui subissent le plus la suppression c'est-à-dire les arbres de faible hauteur et de faible diamètre. Par contre, au moment de la sénilité, de plus en plus de vétérans succomberont et s'ajouteront aux autres tiges qui meurent plutôt accidentellement. L'équation, telle que formulée, répond bien à cette réalité forestière que nous devons simplifier pour la rendre modélisable.

3.3 ÉQUATIONS DE CHANGEMENT DU MODÈLE DE PRÉDICTION AVEC COUPE PARTIELLE

À partir des placettes échantillons permanentes ayant l'appellation "coupe partielle" (CP), nous avons élaboré un système d'équations quasi semblables à celui du modèle sans coupe partielle (SCP) décrit dans les pages précédentes. Dans le but d'alléger la lecture de ce rapport, nous croyons préférable de ne pas décrire la formulation de chacune des équations et d'inclure une copie de l'ensemble des équations à l'annexe A.

3.4 MÉTHODES D'ENTRÉE DES CONDITIONS INITIALES

Le modèle ERS est programmé en langage informatique APL, mais ce langage est transparent pour l'utilisateur car il fonctionne sur une base interactive. L'utilisateur n'a qu'à répondre, en français, aux questions simples qui lui sont posées. Entre autres, l'utilisateur doit fournir les conditions initiales du peuplement ou de la strate dont il désire obtenir des conditions futures.

Nous avons jugé utile d'inclure dans le système deux possibilités d'entrée pour satisfaire les utilisateurs potentiels.

3.4.1 Entrée globale

Premièrement l'utilisateur doit fournir le nombre de tiges initiales pour chacune des trois classes de DHP par hectare. Ensuite, il doit fournir un vecteur de trois éléments comprenant les surfaces terrières par hectare correspondant aux nombres de tiges.

3.4.2 Entrée par une table de peuplement

La table de peuplement que nous utilisons est une liste de nombres de tiges à l'hectare par classe de DHP de 2 cm.

Exemple:

<u>Classe de DHP</u>	<u>Nombre de tiges/hectare</u>
10	250
12	225
14	50
16	100
18	100
20	100
22	25
24	-
26	-
28	-
30	-
32	-
34	-
36	-
etc.	-

L'utilisateur n'a qu'à fournir un vecteur qui est tout simplement la liste des nombres de tiges marchandes par classe de diamètre.

Le système calculera par programmation les surfaces terrières correspondantes en prenant comme diamètre moyen le centre de chacune des classes de DHP de la table de peuplement.

Dans le cas des tiges de la classe de DHP de 20 cm la moitié sera incorporée dans la grande classe de DHP (9 à 20 cm) et l'autre moitié ira dans la classe de DHP (20 à 30 cm). Pour ce qui est du nombre de tiges dans la classe de DHP de 30 cm de la table de peuplement, la moitié des tiges ira dans chacune des grandes classes de DHP 2 et 3 du système ERS.

3.5 ÉQUATIONS COMPLÉMENTAIRES DU MODÈLE ERS

3.5.1 Équations exprimant le volume comme une fonction de la surface terrière par classe de DHP

Le volume de chacun des arbres a été calculé à partir du tarif de cubage général élaboré par M. Jean-Yves Perron (1983) et d'une équation hauteur-diamètre provenant de notre échantillonnage. Ces volumes initiaux sont regroupés par classe de DHP en fonction du diamètre initial. Étant donné que la forme des arbres des placettes soumises à des coupes partielles pouvait être différente des autres, nous en avons fait un sous-groupe. Afin de ne pas alourdir le texte, nous ne traiterons ici que du groupe le plus important, soit celui des placettes sans coupe partielle. Le lecteur intéressé par cet aspect du travail pourra tout de même trouver les coefficients des équations pour le groupe "coupe partielle" en appendice, dans le programme ERS.

3.5.1.1. Volume en classe de DHP 1

$$\text{Vol.1} = c_1 \text{ S.T.1}^{c_2}$$

Les coefficients de cette équation ont été estimés avec le logiciel BMDP, module P3R.

c_1 = 4,7237
 c_2 = 1,005386
RSS = 0,46027
DF = 60
RMS = 0,7678 E-02
ETE = 0,08758

Cette équation est une équation d'état qui repose sur une situation fixe. On n'a pas jugé utile de produire des équations d'accroissement en volume. Nous nous contentons de prédire un volume nouveau en nous basant sur un calcul d'une nouvelle surface terrière qui, elle, est obtenue à partir des équations prédictrices de l'accroissement, des recrues et des morts.

3.5.1.2 Volume en classe de DHP 2

$$\text{Vol.2} = c_1 \text{ S.T.2}^{c_2}$$

Les coefficients de cette équation ont été estimés comme ceux de l'équation précédente.

$c_1 = 7,20348$
 $c_2 = 1,00333$
RSS = 0,29617
DF = 60
RMS = 0,493615 E-02
ETE = 0,07025

Les commentaires présentés au point précédent s'appliquent intégralement ici aussi.

3.5.1.3 Volume en classe de DHP 3

$$\text{Vol.3} = c_1 \text{ S.T.3}^{c_2}$$

Les coefficients de cette équation ont été estimés par le même procédé que ceux des deux équations précédentes.

$c_1 = 9,62571$
 $c_2 = 1,05933$
RSS = 2,25628
DF = 60
RMS = 0,037604
ETE = 0,193919

Les commentaires présentés aux deux points précédents s'appliquent intégralement à celui-ci. De plus, nous pouvons noter que les coefficients de détermination, c'est-à-dire les valeurs de R^2 , sont supérieurs à 0,99 dans chacune des trois classes de diamètre.

3.5.2 Détermination de la surface terrière totale

Des auteurs comme Plonski (1960) et Ker (1976) ont utilisé dans leurs publications de tables de production, le terme surface terrière totale en plus de la surface terrière marchande. Dans nos travaux, nous avons jusqu'à maintenant utilisé seulement la surface terrière marchande. Afin que nos résultats puissent être plus facilement comparés à ceux de nos confrères, nous avons construit une équation de régression pour prédire la surface terrière totale comme une fonction de la surface terrière marchande.

Nous avons eu recours à notre échantillonnage de base, où les tiges de faibles dimensions ont été dénombrées dans chaque placette sur une superficie de 1/250 d'hectare tandis que les tiges marchandes l'étaient sur l'ensemble de la placette.

$$S.T.T. = a_0 + a_1 S.T.M. + a_2(S.T.M.)^2$$

Les coefficients de cette équation linéaire du second degré ont été estimés grâce à l'utilisation du logiciel SACADOS, module MODÈLES.

a_0	=	0,06115
a_1	=	1,00732
a_2	=	-0,01639
RSS	=	0,4837
DF	=	86
RMS	=	0,0056
ETE	=	0,075
R^2	=	0,93

Les symboles non déjà définis signifient:

S.T.T. = Surface terrière totale: c'est la surface terrière de toutes les tiges ayant un diamètre à hauteur de poitrine supérieur à 1 cm;

S.T.M. = Surface terrière marchande: c'est la surface terrière de toutes les tiges ayant un diamètre à hauteur de poitrine supérieur à 9 cm.

Les signes des coefficients et leur valeur sont très plausibles et s'expliquent bien au point de vue forestier. Lorsqu'un peuplement est jeune, il contient un grand nombre de tiges de faible diamètre et au fur et à mesure qu'il vieillit, ces petites tiges croissent et deviennent marchandes. De plus, une bonne proportion de ces dernières meure par suite d'une suppression de plus en plus intense.

3.5.3 Détermination des classes de fertilité et de l'indice de qualité de station

Il est de pratique courante en dendrométrie de déterminer la fertilité d'une station en se servant d'un indice de qualité de station. Par la suite, cet indice doit se situer dans l'une des trois ou quatre classes potentielles de qualité de station, la classe de qualité de station 1 correspondant aux stations les plus fertiles.

L'indice de qualité de station le plus fréquemment utilisé est l'estimation de la hauteur prédite à 50 ans. Cette hauteur est déterminée à l'aide d'équations prédictives dont les variables explicatives sont l'âge réel, et la hauteur moyenne observée des dominants et des codominants. Ces équations sont construites habituellement à partir de nombreuses études d'arbres représentant toute la gamme des qualités de stations. N'ayant pas les données locales pour estimer les paramètres de notre propre équation, nous nous sommes servis de celle de Carmean (1978). Ce dernier l'a établie à partir de données recueillies dans les régions forestières du nord des états du Wisconsin et du Michigan. Ces régions correspondent à des latitudes semblables à celles des placettes échantillonnées au Québec.

$$I.Q.S.P. = c_1 H.P. \quad c_2 (1 - e^{c_3 A}) c_4 H^{c_5}$$

$$c_1 = 0,1984$$

$$c_2 = 1,2089$$

$$c_3 = -0,0110$$

$$c_4 = -2,4917$$

$$c_5 = -0,2542$$

Pour que cette équation établie dans le système de mesures britannique puisse être utilisée dans le système métrique, on doit la modifier ainsi:

$$I.Q.S. = 0,3048 [(c_1 H + 3,2808) c_2 (1 - e^{c_3 A})^{c_4 (H + 3,2808)} c_5]$$

Les symboles non déjà définis signifient:

- I.Q.S.P. = Indice de qualité de station en *pieds* à 50 ans.
- I.Q.S. = Indice de qualité de station en mètres à 50 ans.
- c_1 à c_5 = Coefficients estimés par Carmean (1978).
- H.P. = Hauteur moyenne observée des dominants et codominants estimée en *pieds*.
- A = Âge moyen observé dans le peuplement.
- H = Hauteur moyenne observée des dominants et des codominants en mètres.

Avec cette équation, un indice de qualité de station (I.Q.S.) a été calculé pour chacune des placettes. Pour le modèle de prédiction ERS nous avons décidé de nous limiter à trois classes de qualité de station, la classe 2 contenant 40 p. 100 des placettes situées le plus près de l'indice moyen de qualité de station de l'ensemble des données de base.

La classe de qualité de station 1 regroupe 30 p. 100 des placettes dont la fertilité est la plus élevée. La classe de qualité de station 3 est à l'autre extrémité; on y retrouve les stations les plus pauvres et cette classe représente aussi 30 p. 100 de l'échantillonnage total. Pour obtenir plus d'informations concernant la détermination des limites des indices de qualité de station, il faut se référer à Landry et Carpentier (1986).

<u>Classe de qualité</u>	<u>I.Q.S. moyen</u>	<u>Limite de la classe</u>
1	18,43 m	17,0128 et plus
2	15,29 m	13,5587 à 17,0128
3	12,14 m	13,5587 et moins

3.5.4 Prédiction de la hauteur par classe de qualité de station en fonction de l'âge

À la section précédente, nous avons présenté une équation permettant de déterminer un indice de qualité de station pour chacune des placettes. Par la suite à l'aide des bornes déterminées pour chacune des classes de qualité de station, nous avons réparti les placettes en trois sous-groupes en fonction de leur classe de qualité de station. Avec les valeurs observées de l'âge et de la hauteur de chacun des sous-groupes, nous avons estimé les coefficients de trois équations de régression reliant la hauteur à l'âge qui est la variable explicative. L'équation retenue pour la classe de qualité de station 1 est la suivante:

$$H = a_0 + a_1 \text{ AGE} + a_2 \text{ AGE}^2$$

Les coefficients de cette équation ont été estimés par la méthode des moindres carrés à l'aide du module *MODÈLES 8* du logiciel *SACADOS*.

$$a_0 = 0,46534$$

$$a_1 = 1,00397$$

$$a_2 = 0,99227$$

$$\text{ETE} = 1,335$$

$$R^2 = 0,912$$

Les coefficients de deux autres équations semblables ont aussi été estimés par le même procédé pour chacun des groupes de placettes de classe de qualité de station 2 et 3. Ces coefficients estimés apparaissent à l'annexe A, dans la description de la programmation du modèle *ERS*.

3.5.5. Prédiction de l'âge en fonction du DHP moyen et de la classe de qualité de station

Lors de l'utilisation du programme *ERS*, il pourrait arriver que l'utilisateur n'ait pas d'information concernant l'âge actuel du peuplement ou de la placette dont il veut obtenir les prédictions de rendement. Si de plus, il ne peut indiquer la classe de qualité de station, le programme sera automatiquement aiguillé sur l'équation de prédiction de la classe de qualité de station 2.

Avec les sous-ensembles de placettes de chacune des classes de qualité de station, nous avons estimé les coefficients de l'équation suivante avec la méthode décrite au point précédent.

$$\text{AGE} = a_0 \text{ DHP}^{a_1} a_2$$

$$a_0 = 2,9799$$

$$a_1 = 0,3569$$

$$a_2 = 1,0044$$

$$\text{ETE} = 12,457$$

$$R^2 = 0,775$$

Les coefficients ont été estimés par le même procédé pour chacun des groupes de placettes de classes de qualité de station 2 et 3. Ces coefficients apparaissent en annexe à l'intérieur de la programmation du modèle *ERS*, nous ne les répétons pas ici afin d'alléger le présent document.

3.6 FORMATION DES TABLES DE PRODUCTION EMPIRIQUES

La fonction principale du programme ERS est de produire des tables de rendement devant prédire la production en bois au cours d'un certain nombre d'années. Les tables produites doivent être considérées comme empiriques car les données de base qui ont servi à construire le modèle étaient elles-mêmes empiriques. Ainsi le programme ERS est apte à produire autant de tables de rendement différentes qu'on lui présentera de conditions initiales différentes. Cependant, il faut mentionner qu'à très long terme, les prédictions en volume de bois convergent vers une solution stable et unique. Il y a donc une tendance légitime vers la normalisation de la densité des peuplements.

Les trois tables qui apparaissent aux tableaux 3.1 à 3.3 correspondent à trois conditions initiales susceptibles d'être retrouvées fréquemment. Ces conditions initiales proviennent de l'échantillonnage de base et chacune correspond à une classe de station différente. La durée de la période de prédiction est fixée à 120 années. Ce nombre d'années est un compromis entre ceux retenus par Love et autres (1972) et par Plonski (1960) qui sont respectivement 65 et 170 ans. Pour aider à la compréhension des tables, il convient de préciser que les symboles "N.T.M., S.T.M. et S.T.T." signifient respectivement "nombre de tiges marchandes, surface terrière marchande et surface terrière totale".

Lors de l'utilisation du modèle ERS, l'utilisateur définit lui-même la durée totale de la prédiction désirée. Les résultats de cette prédiction peuvent être montrés selon un intervalle qui doit être fixé selon les besoins. Cet intervalle doit être égal ou supérieur à 1 an. Par contre, il doit être inférieur à la durée totale de prédiction. On notera que cet intervalle n'est qu'un intervalle de présentation des résultats. Une prédiction de 120 ans avec un intervalle de 5 ans est identique à une autre de même durée dont l'intervalle de présentation est de 20 ans. Seule la longueur des tableaux présentant les résultats diffère car elle est quatre fois plus longue dans le premier cas. Dans les trois exemples qui apparaissent dans les pages suivantes, nous avons retenu un intervalle de cinq ans afin d'obtenir des résultats facilement comparables à ceux publiés en Ontario par Plonski.

Tableau 3.1

TABLE DE PRODUCTION POUR L'ERABLE A SUCRE, CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

AGE	HAUTEUR	DHP	N.T.M.	S.T.M.	S.T.T.	VOLUME	ACCR. ANNUEL COURANT MOYEN	AGE
	M	CM	M*2	M*2	M*2	M*3	M*3	
25	10.9	17.1	500	11.5	13.0	72	0.0	25
30	12.7	18.6	510	13.9	15.4	91	3.9	30
35	14.3	19.9	520	16.2	17.7	110	3.8	35
40	15.8	21.0	527	18.3	19.8	128	3.6	40
45	17.2	22.1	530	20.3	21.7	145	3.4	45
50	18.4	23.0	529	22.0	23.4	161	3.2	50
55	19.6	23.9	523	23.5	24.8	176	2.9	55
60	20.6	24.8	514	24.8	26.1	189	2.7	60
65	21.6	25.6	502	25.9	27.1	202	2.5	65
70	22.4	26.4	488	26.8	28.1	213	2.3	70
75	23.1	27.3	473	27.6	28.9	224	2.1	75
80	23.8	28.1	458	28.4	29.6	234	2.0	80
85	24.4	28.9	442	29.0	30.2	243	1.9	85
90	24.9	29.7	427	29.6	30.8	252	1.8	90
95	25.3	30.5	413	30.2	31.3	261	1.7	95
100	25.7	31.3	399	30.7	31.8	269	1.6	100
105	26.0	32.1	386	31.1	32.3	276	1.4	105
110	26.3	32.8	373	31.5	32.6	282	1.3	110
115	26.5	33.5	361	31.9	33.0	288	1.2	115
120	26.6	34.2	350	32.2	33.3	293	1.0	120
125	26.7	34.9	339	32.4	33.5	298	0.9	125
130	26.7	35.5	329	32.6	33.7	301	0.7	130
135	26.8	36.1	320	32.7	33.8	304	0.6	135
140	26.7	36.6	311	32.8	33.8	306	0.4	140
145	26.7	37.1	303	32.8	33.8	308	0.3	145

TABLEAU 3.2

TABLE DE PRODUCTION POUR L'ERABLE A SUCRE, CLASSE DE QUALITE DE STATION 2

AGE	HAUTEUR	DHP	N.T.M.	S.T.M.	S.T.T.	VOLUME	ACCR. ANNUEL COURANT MOYEN	AGE
	M	CM	M*2	M*3	M*2	M*3	M*3	
50	15.3	20.9	413	14.2	15.7	98	0.0	50
55	16.2	21.9	427	16.1	17.6	115	3.4	55
60	17.1	22.8	437	17.9	19.4	131	3.3	60
65	17.9	23.7	443	19.6	21.0	147	3.1	65
70	18.6	24.6	445	21.1	22.5	162	2.9	70
75	19.3	25.4	444	22.5	23.8	175	2.8	75
80	19.9	26.2	440	23.7	25.0	188	2.6	80
85	20.4	27.0	433	24.8	26.1	200	2.4	85
90	20.9	27.8	425	25.7	27.0	212	2.3	90
95	21.3	28.5	415	26.6	27.9	222	2.1	95
100	21.7	29.3	405	27.4	28.6	232	2.0	100
105	22.1	30.1	395	28.1	29.3	241	1.8	105
110	22.4	30.8	384	28.7	29.9	250	1.7	110
115	22.7	31.6	374	29.3	30.4	258	1.6	115
120	22.9	32.3	364	29.8	30.9	265	1.4	120
125	23.1	33.0	354	30.2	31.3	271	1.3	125
130	23.3	33.6	344	30.5	31.7	276	1.1	130
135	23.5	34.3	335	30.9	32.0	281	1.0	135
140	23.6	34.9	326	31.1	32.2	285	0.8	140
145	23.6	35.4	317	31.3	32.4	289	0.7	145
150	23.7	36.0	309	31.4	32.5	291	0.5	150
155	23.7	36.4	302	31.5	32.6	293	0.4	155
160	23.8	36.9	294	31.5	32.6	294	0.2	160
165	23.7	37.3	287	31.4	32.5	295	0.1	165
170	23.7	37.7	281	31.3	32.4	295	0.0	170

Tableau 3.3

TABLE DE PRODUCTION POUR L'ERABLE A SUCRE, CLASSE DE QUALITE DE STATION 3

AGE	HAUTEUR	DHP	N.T.M.	S.T.M.	S.T.T.	VOLUME	ACCR. ANNUEL COURANT MOYEN	AGE
	M	CM		M*2	M*2	M*3	M*3	
60	13.5	19.2	275	7.9	9.5	50	0.0	60
65	14.1	20.2	311	9.9	11.4	65	2.9	65
70	14.7	21.1	340	11.9	13.4	81	3.2	70
75	15.2	22.1	362	13.8	15.3	97	3.3	75
80	15.7	22.9	379	15.7	17.1	114	3.3	80
85	16.1	23.8	391	17.4	18.8	130	3.2	85
90	16.5	24.6	399	18.9	20.4	145	3.1	90
95	16.9	25.4	402	20.4	21.8	160	3.0	95
100	17.2	26.2	403	21.8	23.1	175	2.9	100
105	17.5	27.0	401	23.0	24.4	188	2.7	105
110	17.8	27.8	398	24.2	25.5	201	2.6	110
115	18.0	28.6	392	25.2	26.5	213	2.4	115
120	18.2	29.4	386	26.2	27.5	225	2.3	120
125	18.4	30.2	378	27.1	28.3	235	2.1	125
130	18.6	31.0	370	27.9	29.1	245	2.0	130
135	18.7	31.7	362	28.6	29.8	254	1.8	135
140	18.8	32.4	353	29.2	30.4	262	1.6	140
145	18.9	33.1	345	29.7	30.9	269	1.4	145
150	19.0	33.8	336	30.2	31.3	275	1.2	150
155	19.1	34.5	327	30.5	31.7	280	1.0	155
160	19.1	35.1	319	30.8	32.0	284	0.8	160
165	19.1	35.6	311	31.0	32.2	287	0.6	165
170	19.2	36.1	304	31.2	32.3	290	0.5	170
175	19.2	36.6	296	31.2	32.3	291	0.3	175
180	19.1	37.0	290	31.2	32.3	292	0.2	180

3.6.1 Évolution des caractéristiques du peuplement par classe de DHP

Afin de décrire les résultats du système de prédiction, nous présentons quatre des tableaux fournis par le programme ERS. Les trois premiers correspondent à chacune des grandes classes de DHP. Le quatrième présente une vue globale de l'évolution du peuplement pour les tiges marchandes.

Dans les tableaux 3.4 à 3.15, on retrouve en première colonne un numéro d'identification de la strate, en deuxième colonne le numéro de la classe de DHP et en troisième colonne, le nombre d'années écoulées depuis le début de la prédiction. La première ligne correspond aux conditions initiales d'où le fait qu'il a zéro (0) année en colonne 3 pour cette ligne. Les valeurs de la colonne 3 sont obtenues en multipliant le numéro de la ligne (la première ligne porte le numéro "0") par le nombre d'années de l'intervalle de présentation. Ainsi, dans les exemples en pages suivantes, si le peuplement a 25 ans initialement, il aura 30 ans au niveau de la deuxième ligne, 35 au niveau de la troisième ligne, etc...

Les colonnes 4, 5 et 6 correspondent au contenu du peuplement dans la classe de DHP indiquée en colonne 2. La surface terrière est exprimée en mètres carrés et le volume en mètres cubes. Ces résultats font l'intégration des changements qui apparaissent dans les dix colonnes suivantes (colonne 7 à 16). La dernière colonne montre l'évolution du DHP moyen des arbres qui composent la classe de DHP indiquée en colonne 2.

3.6.2 Évolution du nombre de tiges à l'hectare en fonction de l'âge

La figure 3.2 montre l'évolution du nombre de tiges par hectare pour chacune des trois grandes classes de DHP. Lorsque le peuplement est jeune, le nombre de petites tiges est très élevé. Dès qu'il commence à y avoir de la compétition pour l'espace vital, on constate une diminution du nombre des petites tiges. Le nombre de tiges de la classe de DHP 2 augmente jusqu'à l'âge de 65 ans puis il régresse pour se retrouver, à la fin du cycle

Tableau 3.4

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 1, CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V		MORTS		RECUTES		MORTS		RECUTES		ST		ST		D.H.P.	
				TIGES	TIGES	TIGES	M+3	CUMUL.PERIOD.	N	CUMUL.PERIOD.	N	CUMUL.PERIOD.	M+2	CUMUL.PERIOD.	M+2	CUMUL.PERIOD.	M+2	CUMUL.PERIOD.	M+2	CUMUL.PERIOD.	CM
13	1	0	25	425	5.6	26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	13.01	
13	1	5	30	393	5.9	27.7	19.8	19.8	30.3	0.223	0.223	0.223	0.223	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	0.193	13.84	
13	1	10	35	363	5.9	27.9	34.6	14.8	56.8	0.411	0.187	0.187	0.187	0.362	0.362	0.362	0.362	0.362	0.362	14.44	
13	1	15	40	334	5.8	27.1	47.4	12.8	80.2	0.588	0.177	0.177	0.177	0.510	0.510	0.510	0.510	0.510	0.510	14.84	
13	1	20	45	305	5.5	25.6	59.9	12.5	100.9	0.773	0.186	0.186	0.186	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	15.10	
13	1	25	50	276	5.0	23.6	73.0	13.1	119.6	0.977	0.204	0.204	0.204	0.761	0.761	0.761	0.761	0.761	0.761	15.25	
13	1	30	55	249	4.6	21.4	87.0	14.0	136.7	1.200	0.223	0.223	0.223	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	0.870	15.31	
13	1	35	60	223	4.1	19.2	101.9	14.8	152.4	1.438	0.237	0.237	0.237	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	15.31	
13	1	40	65	200	3.6	17.1	117.2	15.3	167.1	1.682	0.244	0.244	0.244	1.063	1.063	1.063	1.063	1.063	1.063	15.26	
13	1	45	70	178	3.2	15.1	132.7	15.5	181.0	1.926	0.244	0.244	0.244	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	1.151	15.18	
13	1	50	75	160	2.9	13.3	148.1	15.4	194.2	2.163	0.238	0.238	0.238	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	15.07	
13	1	55	80	143	2.5	11.8	163.2	15.1	206.7	2.391	0.227	0.227	0.227	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	1.315	14.96	
13	1	60	85	129	2.2	10.4	177.9	14.7	218.8	2.606	0.215	0.215	0.215	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	1.392	14.83	
13	1	65	90	117	2.0	9.3	192.0	14.1	230.5	2.808	0.202	0.202	0.202	1.466	1.466	1.466	1.466	1.466	1.466	14.71	
13	1	70	95	106	1.8	8.3	205.6	13.6	241.7	2.998	0.190	0.190	0.190	1.538	1.538	1.538	1.538	1.538	1.538	14.58	
13	1	75	100	97	1.6	7.4	218.6	13.0	252.7	3.176	0.178	0.178	0.178	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	1.607	14.46	
13	1	80	105	90	1.4	6.7	231.0	12.4	263.3	3.342	0.166	0.166	0.166	1.675	1.675	1.675	1.675	1.675	1.675	14.35	
13	1	85	110	83	1.3	6.1	242.9	11.9	273.7	3.498	0.156	0.156	0.156	1.741	1.741	1.741	1.741	1.741	1.741	14.24	
13	1	90	115	77	1.2	5.6	254.4	11.4	283.9	3.645	0.147	0.147	0.147	1.806	1.806	1.806	1.806	1.806	1.806	14.13	
13	1	95	120	73	1.1	5.2	265.4	11.0	293.9	3.784	0.139	0.139	0.139	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	1.870	14.03	
13	1	100	125	69	1.0	4.9	276.0	10.6	303.7	3.916	0.132	0.132	0.132	1.932	1.932	1.932	1.932	1.932	1.932	13.94	
13	1	105	130	65	1.0	4.6	286.2	10.2	313.4	4.042	0.126	0.126	0.126	1.994	1.994	1.994	1.994	1.994	1.994	13.86	
13	1	110	135	62	0.9	4.3	296.1	9.9	323.0	4.162	0.120	0.120	0.120	2.055	2.055	2.055	2.055	2.055	2.055	13.78	
13	1	115	140	60	0.9	4.1	305.7	9.6	332.6	4.277	0.115	0.115	0.115	2.116	2.116	2.116	2.116	2.116	2.116	13.71	
13	1	120	145	58	0.8	3.9	315.1	9.4	342.2	4.388	0.111	0.111	0.111	2.177	2.177	2.177	2.177	2.177	2.177	13.64	

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.5

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 2, CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V		MORTS		RECUTES		ST		MORTS		ST		RECUTES		ST		ACCROISSEMENT		D.H.P.	
				TIGES	N	TIGES	M*2	CUMUL. PERIOD.	N	CUMUL. PERIOD.	N	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.
13	2	0	25	50		22.6	3.2	0.0		0.0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	28.33
13	2	5	30	77		27.7	3.9	0.2		42.7		0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	25.30
13	2	10	35	105		34.9	4.9	0.8		84.2		0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047	24.31
13	2	15	40	133		43.3	6.0	1.7		124.0		0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	24.08
13	2	20	45	157		51.7	7.2	2.9		161.4		0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	0.223	24.16
13	2	25	50	177		59.2	8.3	4.3		195.5		0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	0.390	24.60
13	2	30	55	191		65.2	9.1	5.7		225.9		0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	0.616	24.84
13	2	35	60	199		69.3	9.6	6.9		252.4		0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	0.901	25.08
13	2	40	65	201		71.3	9.9	7.7		275.3		1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	1.234	25.28
13	2	45	70	198		71.4	9.9	8.2		294.8		1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	1.604	25.47
13	2	50	75	191		69.9	9.7	8.4		311.3		1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	1.996	25.63
13	2	55	80	182		67.2	9.4	8.2		325.1		2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	2.394	25.77
13	2	60	85	170		63.6	8.9	7.9		336.8		2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	25.88
13	2	65	90	158		59.5	8.3	7.4		346.6		3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	3.166	25.98
13	2	70	95	145		55.0	7.7	6.8		354.8		3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	3.523	26.07
13	2	75	100	132		50.5	7.0	6.2		361.8		3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	3.855	26.14
13	2	80	105	119		46.0	6.4	5.6		367.7		4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	4.160	26.21
13	2	85	110	108		41.6	5.8	5.0		372.8		4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	4.437	26.26
13	2	90	115	97		37.5	5.2	4.4		377.1		4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	4.686	26.31
13	2	95	120	86		33.6	4.7	3.9		380.9		4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	4.909	26.36
13	2	100	125	77		30.0	4.2	3.4		384.2		5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	5.107	26.40
13	2	105	130	68		26.7	3.7	3.0		387.1		5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	5.283	26.44
13	2	110	135	60		23.7	3.3	2.6		389.7		5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	5.438	26.48
13	2	115	140	53		20.9	2.9	2.3		392.0		5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	5.573	26.52
13	2	120	145	47		18.5	2.6	2.0		394.1		5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	5.692	26.52

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.6

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 3, CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V		MORTS		RECUES		MORTS		RECUES		ST		ST		D.H.P.
				TIGES	N	TIGES	N	CUMUL.PERIOD.	N	CUMUL.PERIOD.	N	CUMUL.PERIOD.	N	CUMUL.PERIOD.	M*2	M*2	M*2	M*2		
13	3	0	25	25	2.7	22.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	CM	
13	3	5	30	40	4.1	35.7	0.4	0.4	15.6	15.6	0.028	0.028	0.028	1.104	1.104	0.354	0.354	37.10		
13	3	10	35	52	5.4	47.3	1.4	1.0	28.0	28.0	0.109	0.109	0.080	1.983	1.983	0.879	0.803	36.15		
13	3	15	40	61	6.5	57.9	2.9	1.6	38.7	38.7	0.238	0.238	0.129	2.734	2.734	0.751	1.319	36.40		
13	3	20	45	68	7.6	68.2	5.1	2.1	48.5	48.5	0.416	0.416	0.178	3.428	3.428	0.694	1.884	36.96		
13	3	25	50	76	8.7	78.5	7.6	2.6	58.4	58.4	0.646	0.646	0.229	4.130	4.130	0.701	1.884	37.60		
13	3	30	55	83	9.8	89.3	10.6	3.0	69.1	69.1	0.927	0.927	0.281	4.887	4.887	0.608	2.492	38.19		
13	3	35	60	92	11.0	100.8	14.0	3.4	81.0	81.0	1.260	1.260	0.333	5.728	5.728	3.139	0.647	38.66		
13	3	40	65	101	12.3	113.3	17.8	3.7	94.2	94.2	1.641	1.641	0.381	6.558	6.558	3.828	0.689	39.02		
13	3	45	70	112	13.6	126.7	21.9	4.1	108.4	108.4	2.067	2.067	0.426	7.662	7.662	4.561	0.733	39.27		
13	3	50	75	122	15.1	140.6	26.2	4.4	123.3	123.3	2.536	2.536	0.469	8.718	8.718	5.342	0.781	39.46		
13	3	55	80	133	16.5	155.0	30.9	4.7	138.6	138.6	3.048	3.048	0.511	9.797	9.797	6.172	0.830	39.63		
13	3	60	85	143	17.9	169.4	35.9	4.9	153.8	153.8	3.601	3.601	0.554	10.874	10.874	7.050	0.878	39.79		
13	3	65	90	153	19.4	183.7	41.1	5.2	168.7	168.7	4.199	4.199	0.598	11.927	11.927	7.974	0.925	39.98		
13	3	70	95	162	20.7	197.5	46.5	5.4	183.1	183.1	4.844	4.844	0.644	12.940	12.940	8.942	0.968	40.20		
13	3	75	100	170	22.1	210.7	52.1	5.6	196.7	196.7	5.537	5.537	0.693	13.901	13.901	9.948	1.006	40.44		
13	3	80	105	176	23.3	223.2	58.0	5.8	209.4	209.4	6.283	6.283	0.746	14.804	14.804	10.989	1.040	40.70		
13	3	85	110	182	24.4	234.7	64.0	6.0	221.3	221.3	7.084	7.084	0.801	15.645	15.645	12.058	1.069	40.99		
13	3	90	115	187	25.4	245.2	70.1	6.1	232.4	232.4	7.942	7.942	0.859	16.424	16.424	13.150	1.093	41.29		
13	3	95	120	191	26.4	254.6	76.4	6.3	242.5	242.5	8.861	8.861	0.918	17.142	17.142	14.262	1.111	41.60		
13	3	100	125	194	27.2	263.0	82.7	6.4	251.8	251.8	9.840	9.840	0.979	17.801	17.801	15.387	1.125	41.91		
13	3	105	130	196	27.9	270.2	89.2	6.4	260.4	260.4	10.881	10.881	1.041	18.405	18.405	16.522	1.135	42.23		
13	3	110	135	198	28.5	276.3	95.6	6.5	268.2	268.2	11.983	11.983	1.102	18.957	18.957	17.663	1.141	42.54		
13	3	115	140	198	29.0	281.3	102.2	6.5	275.3	275.3	13.144	13.144	1.161	19.461	19.461	18.807	1.144	42.85		
13	3	120	145	198	29.4	285.2	108.7	6.5	281.8	281.8	14.363	14.363	1.218	19.921	19.921	19.951	1.143	43.14		
																	21.091	1.140	43.43	

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

EVOLUTION POUR L'ENSEMBLE DU PEUPEMENT. CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS. CLASSE + = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.8

EVOLUTION POUR LA CLASSE-DE DHP 1, CLASSE DE QUALITE DE STATION 2

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		TIGES	V	MORTS		N		ST		ST		ST		D.R.P.	
				TIGES	TIGES			COMMUL. PERIOD.	RECRUES	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	RECRUES	CUMUL. PERIOD.	M*2	ACCROISSEMENT		ST
				M*2	M*3														
222	1	0	50	263	4.3	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.3	14.3	
222	1	5	55	249	4.2	19.8	9.4	9.4	26.3	26.3	0.0	0.128	0.128	0.168	0.168	0.872	0.872	14.71	
222	1	10	60	235	4.1	19.2	18.9	9.5	50.0	23.7	0.0	0.265	0.136	0.318	0.150	1.619	0.747	14.91	
222	1	15	65	220	3.9	18.2	29.0	10.1	71.4	21.4	0.0	0.415	0.151	0.454	0.136	2.257	0.637	15.02	
222	1	20	70	205	3.6	17.0	40.0	11.0	90.9	19.5	0.0	0.582	0.166	0.579	0.124	2.800	0.543	15.07	
222	1	25	75	189	3.4	15.7	51.9	11.8	108.9	18.0	0.0	0.761	0.180	0.693	0.114	3.263	0.464	15.06	
222	1	30	80	174	3.1	14.4	64.4	12.5	125.6	16.7	0.0	0.951	0.189	0.799	0.106	3.661	0.397	15.02	
222	1	35	85	160	2.8	13.1	77.4	13.0	141.3	15.6	0.0	1.145	0.195	0.899	0.099	4.003	0.343	14.95	
222	1	40	90	147	2.6	11.9	90.8	13.3	156.0	14.7	0.0	1.341	0.196	0.992	0.094	4.301	0.297	14.86	
222	1	45	95	136	2.3	10.8	104.1	13.4	170.0	14.0	0.0	1.534	0.193	1.081	0.089	4.560	0.260	14.77	
222	1	50	100	125	2.1	9.8	117.4	13.3	183.3	13.3	0.0	1.723	0.188	1.166	0.085	4.789	0.229	14.66	
222	1	55	105	115	1.9	8.9	130.6	13.1	196.1	12.8	0.0	1.905	0.182	1.248	0.081	4.992	0.203	14.56	
222	1	60	110	107	1.8	8.2	143.4	12.8	208.4	12.3	0.0	2.080	0.175	1.326	0.078	5.174	0.182	14.46	
222	1	65	115	99	1.6	7.5	155.9	12.5	220.3	11.9	0.0	2.247	0.167	1.402	0.076	5.337	0.164	14.36	
222	1	70	120	92	1.5	6.9	168.0	12.1	231.9	11.5	0.0	2.407	0.160	1.475	0.073	5.486	0.149	14.27	
222	1	75	125	87	1.4	6.4	179.8	11.8	243.1	11.2	0.0	2.559	0.153	1.547	0.071	5.622	0.136	14.18	
222	1	80	130	82	1.3	5.9	191.2	11.4	254.1	11.0	0.0	2.705	0.146	1.616	0.070	5.748	0.126	14.09	
222	1	85	135	77	1.2	5.5	202.3	11.1	264.8	10.8	0.0	2.844	0.139	1.685	0.069	5.865	0.117	14.01	
222	1	90	140	73	1.1	5.2	213.1	10.7	275.5	10.6	0.0	2.978	0.133	1.752	0.067	5.975	0.110	13.93	
222	1	95	145	70	1.1	4.9	223.5	10.4	285.9	10.5	0.0	3.106	0.128	1.819	0.067	6.079	0.104	13.86	
222	1	100	150	67	1.0	4.7	233.7	10.2	296.3	10.4	0.0	3.229	0.123	1.885	0.066	6.178	0.099	13.79	
222	1	105	155	65	1.0	4.5	243.6	9.9	306.6	10.3	0.0	3.348	0.119	1.951	0.066	6.274	0.095	13.73	
222	1	110	160	63	0.9	4.3	253.3	9.7	316.9	10.3	0.0	3.463	0.115	2.016	0.066	6.366	0.092	13.67	
222	1	115	165	62	0.9	4.2	262.8	9.5	327.2	10.3	0.0	3.576	0.112	2.082	0.066	6.456	0.090	13.62	
222	1	120	170	60	0.9	4.1	272.1	9.3	337.6	10.3	0.0	3.685	0.109	2.148	0.066	6.545	0.089	13.57	

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 2, CLASSE DE QUALITE DE STATION 2

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.10

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 3, CLASSE DE QUALITE DE STATION 2

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		MORTS		N		RECUTES		ST		ST		ST		ST		D.H.P.
				TIGES	M*2	TIGES	M*3	TIGES	M*2	TIGES	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CM
222	3	0	50	44	4.8	41.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	37.24
222	3	5	55	56	6.1	53.8	1.1	1.1	1.1	13.1	13.1	0.090	0.090	0.927	0.927	0.472	0.472	0.472	0.472	37.24
222	3	10	60	67	7.4	65.9	2.7	1.6	1.6	25.6	12.5	0.226	0.136	1.808	0.881	1.808	1.016	0.544	0.544	37.50
222	3	15	65	77	8.7	78.2	4.7	2.1	2.1	37.8	12.3	0.408	0.182	2.674	0.866	3.548	1.620	0.605	0.605	37.87
222	3	20	70	87	10.0	90.8	7.3	2.5	2.5	50.2	12.4	0.636	0.229	3.548	0.874	4.444	2.279	0.659	0.659	38.25
222	3	25	75	96	11.3	103.6	10.2	3.0	3.0	62.9	12.7	0.913	0.277	4.444	0.885	5.363	3.747	0.710	0.710	38.61
222	3	30	80	106	12.6	116.8	13.6	3.3	3.3	75.9	13.0	1.238	0.325	5.363	0.920	6.303	4.551	0.804	0.804	38.95
222	3	35	85	116	14.0	130.3	17.3	3.7	3.7	89.2	13.3	1.611	0.374	6.303	0.940	7.253	5.399	0.848	0.848	39.27
222	3	40	90	125	15.4	143.9	21.3	4.0	4.0	102.6	13.4	2.034	0.423	7.253	0.950	8.200	6.288	0.889	0.889	39.57
222	3	45	95	134	16.7	157.4	25.6	4.3	4.3	116.0	13.4	2.506	0.472	8.200	0.947	9.133	7.215	0.927	0.927	40.16
222	3	50	100	143	18.1	170.8	30.2	4.6	4.6	129.2	13.2	3.029	0.523	9.133	0.933	10.040	8.178	0.962	0.962	40.46
222	3	55	105	151	19.4	183.7	35.1	4.9	4.9	142.0	12.8	3.604	0.575	10.040	0.907	10.911	9.170	0.993	0.993	40.76
222	3	60	110	158	20.6	196.2	40.1	5.1	5.1	154.4	12.3	4.233	0.628	10.911	0.871	11.741	10.190	1.019	1.019	41.07
222	3	65	115	164	21.8	207.9	45.4	5.3	5.3	166.1	11.7	4.916	0.683	11.741	0.830	12.525	11.232	1.042	1.042	41.38
222	3	70	120	170	22.9	218.9	50.9	5.5	5.5	177.2	11.1	5.656	0.740	12.525	0.784	13.261	12.292	1.060	1.060	41.69
222	3	75	125	175	23.9	229.1	56.5	5.6	5.6	187.6	10.4	6.455	0.798	13.261	0.736	14.058	13.367	1.075	1.075	42.00
222	3	80	130	179	24.8	238.3	62.3	5.8	5.8	197.3	9.7	7.313	0.858	14.058	0.687	14.918	14.453	1.086	1.086	42.31
222	3	85	135	182	25.6	246.5	68.2	5.9	5.9	206.4	9.0	8.230	0.918	14.918	0.639	15.727	15.546	1.093	1.093	42.61
222	3	90	140	184	26.3	253.7	74.1	6.0	6.0	214.7	8.4	9.207	0.977	15.727	0.592	16.643	16.643	1.097	1.097	42.90
222	3	95	145	186	26.9	260.0	80.2	6.0	6.0	222.5	7.7	10.243	1.036	16.643	0.548	17.521	17.521	1.099	1.099	43.18
222	3	100	150	187	27.4	265.2	86.3	6.1	6.1	229.6	7.2	11.336	1.093	17.521	0.505	18.440	18.440	1.098	1.098	43.45
222	3	105	155	188	27.8	269.5	92.4	6.1	6.1	236.2	6.6	12.484	1.148	18.440	0.466	19.335	19.335	1.095	1.095	43.71
222	3	110	160	188	28.1	272.8	98.5	6.1	6.1	242.3	6.1	13.683	1.199	19.335	0.429	20.225	20.225	1.090	1.090	43.96
222	3	115	165	187	28.4	275.3	104.6	6.1	6.1	247.9	5.6	14.930	1.247	20.225	0.394	21.108	21.108	1.083	1.083	44.20
222	3	120	170	186	28.5	276.9	110.7	6.1	6.1	253.0	5.1	16.221	1.291	21.108	0.363	22.108	22.108	1.083	1.083	44.20

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.11

EVOLUTION POUR L'ENSEMBLE DU PEUPELEMENT, CLASSE DE QUALITE DE STATION 2

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V		MORTS		RECUTES		MORTS		RECUTES		ACCROISSEMENT		D.H.P.
				TIGES	ST	TIGES	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	CUMUL. PERIOD.		
222	+	0	50	413	14.2	98.2	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	20.90
222	+	5	55	427	16.1	115.1	12.0	12.0	0.282	26.3	26.3	0.282	0.168	0.168	0.168	2.061	2.061	21.91
222	+	10	60	437	17.9	131.3	25.4	13.4	0.649	50.0	23.7	0.649	0.318	0.318	0.318	4.093	4.093	22.84
222	+	15	65	443	19.6	146.9	40.7	15.3	1.109	71.4	21.4	1.109	0.461	0.454	0.454	6.086	6.086	23.72
222	+	20	70	445	21.1	161.5	58.2	17.4	1.669	90.9	19.5	1.669	0.559	0.579	0.579	8.034	8.034	24.56
222	+	25	75	444	22.5	175.3	77.6	19.4	2.323	108.9	18.0	2.323	0.654	0.693	0.693	9.934	9.934	25.38
222	+	30	80	440	23.7	188.3	98.5	21.0	3.065	125.6	16.7	3.065	0.742	0.799	0.799	11.787	11.787	26.18
222	+	35	85	433	24.8	200.4	120.7	22.2	3.884	141.3	15.6	3.884	0.819	0.899	0.899	13.592	13.592	26.98
222	+	40	90	425	25.7	211.7	143.7	23.0	4.769	156.0	14.7	4.769	0.884	0.992	0.992	15.352	15.352	27.77
222	+	45	95	415	26.6	222.2	167.0	23.3	5.708	170.0	14.0	5.708	0.939	1.081	1.081	17.071	17.071	28.55
222	+	50	100	405	27.4	232.1	190.4	23.4	6.693	183.3	13.3	6.693	0.985	1.166	1.166	18.750	18.750	29.32
222	+	55	105	395	28.1	241.3	213.6	23.2	7.718	196.1	12.8	7.718	1.025	1.248	1.248	20.392	20.392	30.08
222	+	60	110	384	28.7	249.7	236.5	22.9	8.779	208.4	12.3	8.779	1.061	1.326	1.326	22.001	22.001	30.83
222	+	65	115	374	29.3	257.5	258.9	22.4	9.874	220.3	11.9	9.874	1.095	1.402	1.402	23.579	23.579	31.56
222	+	70	120	364	29.8	264.6	280.7	21.8	11.001	231.9	11.5	11.001	1.128	1.475	1.475	25.126	25.126	32.27
222	+	75	125	354	30.2	270.9	301.9	21.3	12.163	243.1	11.2	12.163	1.162	1.547	1.547	26.646	26.646	32.96
222	+	80	130	344	30.5	276.5	322.6	20.7	13.359	254.1	11.0	13.359	1.196	1.616	1.616	28.140	28.140	33.63
222	+	85	135	335	30.9	281.3	342.7	20.1	14.592	264.8	10.8	14.592	1.232	1.685	1.685	29.609	29.609	34.26
222	+	90	140	326	31.1	285.4	362.2	19.5	15.861	275.5	10.6	15.861	1.269	1.752	1.752	31.053	31.053	34.86
222	+	95	145	317	31.3	288.7	381.2	19.0	17.167	285.9	10.5	17.167	1.306	1.819	1.819	32.474	32.474	35.43
222	+	100	150	309	31.4	291.3	399.6	18.5	18.511	296.3	10.4	18.511	1.344	1.885	1.885	33.872	33.872	35.96
222	+	105	155	302	31.5	293.1	417.6	18.0	19.891	306.6	10.3	19.891	1.380	1.951	1.951	35.248	35.248	36.45
222	+	110	160	294	31.5	294.2	435.2	17.5	21.306	316.9	10.3	21.306	1.415	2.016	2.016	36.603	36.603	36.90
222	+	115	165	287	31.4	294.7	452.3	17.1	22.755	327.2	10.3	22.755	1.448	2.082	2.082	37.936	37.936	37.30
222	+	120	170	281	31.3	294.5	469.1	16.8	24.233	337.6	10.3	24.233	1.479	2.148	2.148	39.249	39.249	37.67

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.12

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 1. CLASSE DE QUALITE DE STATION 3

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		ST		V		MORTS		N		RECRUES		ST		MORTS		ST		RECRUES		ST		ACCROISSEMENT		D.H.P.	
				TIGES	TIGES	M*2	M*3	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2
59	1	0	60	150	12.1	2.6	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.86	
59	1	5	65	162	13.0	2.8	13.0	0.9	0.9	37.5	0.013	0.013	37.5	0.013	0.013	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	0.239	14.78	
59	1	10	70	170	13.6	2.9	13.6	3.8	2.9	71.0	0.054	0.041	71.0	0.054	0.041	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	0.452	14.78	
59	1	15	75	172	13.8	3.0	13.8	8.4	4.6	100.9	0.120	0.066	100.9	0.120	0.066	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	0.642	14.79	
59	1	20	80	172	13.8	2.9	13.8	14.6	6.2	127.8	0.210	0.090	127.8	0.210	0.090	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	14.79	
59	1	25	85	168	13.5	2.9	13.5	22.3	7.7	152.2	0.320	0.110	152.2	0.320	0.110	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	0.968	14.80	
59	1	30	90	163	13.1	2.8	13.1	31.3	9.0	174.3	0.448	0.128	174.3	0.448	0.128	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	14.79	
59	1	35	95	157	12.5	2.7	12.5	41.3	10.0	194.6	0.591	0.143	194.6	0.591	0.143	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	1.238	14.77	
59	1	40	100	150	11.8	2.5	11.8	52.2	10.9	213.3	0.745	0.154	213.3	0.745	0.154	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	1.357	14.74	
59	1	45	105	142	11.1	2.4	11.1	63.8	11.6	230.7	0.907	0.162	230.7	0.907	0.162	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	1.468	14.69	
59	1	50	110	134	10.4	2.2	10.4	75.8	12.0	246.9	1.074	0.167	246.9	1.074	0.167	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	1.571	14.64	
59	1	55	115	126	9.7	2.1	9.7	88.1	12.3	262.1	1.243	0.169	262.1	1.243	0.169	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	1.668	14.61	
59	1	60	120	119	9.1	1.9	9.1	100.6	12.5	276.5	1.412	0.169	276.5	1.412	0.169	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	1.759	14.51	
59	1	65	125	111	8.4	1.8	8.4	113.1	12.5	290.1	1.579	0.167	290.1	1.579	0.167	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	1.846	14.44	
59	1	70	130	105	7.8	1.7	7.8	125.5	12.4	303.1	1.742	0.164	303.1	1.742	0.164	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	1.928	14.41	
59	1	75	135	98	7.3	1.6	7.3	137.7	12.2	315.5	1.902	0.159	315.5	1.902	0.159	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	14.37	
59	1	80	140	93	6.8	1.5	6.8	149.7	12.0	327.5	2.056	0.154	327.5	2.056	0.154	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	2.083	14.30	
59	1	85	145	87	6.3	1.4	6.3	161.4	11.7	339.0	2.205	0.149	339.0	2.205	0.149	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	2.157	14.24	
59	1	90	150	83	5.9	1.3	5.9	172.8	11.4	350.3	2.349	0.144	350.3	2.349	0.144	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	14.17	
59	1	95	155	78	5.6	1.2	5.6	183.8	11.1	361.2	2.487	0.138	361.2	2.487	0.138	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298	14.10	
59	1	100	160	75	5.3	1.1	5.3	194.6	10.8	372.0	2.621	0.133	372.0	2.621	0.133	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367	14.04	
59	1	105	165	71	5.0	1.1	5.0	205.1	10.5	382.6	2.749	0.128	382.6	2.749	0.128	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	2.434	13.97	
59	1	110	170	69	4.8	1.0	4.8	215.4	10.2	393.2	2.873	0.124	393.2	2.873	0.124	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	2.501	13.91	
59	1	115	175	66	4.6	1.0	4.6	225.4	10.0	403.6	2.993	0.120	403.6	2.993	0.120	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	2.568	13.85	
59	1	120	180	64	4.4	0.9	4.4	235.1	9.8	414.1	3.109	0.116	414.1	3.109	0.116	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	2.634	13.79	
																												13.73	
																												13.68	

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE 4 = 30 CM ET PLUS

Tableau 3.13

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 2, CLASSE DE QUALITE DE STATION 3

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		STIGES	M*2	MORTS		RECRUES		ST		ST		ST		D.H.P.
				TIGES	M*3			CUMUL.PERIOD.	N	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	CUMUL.PERIOD.	M*2	
59	2	0	60	125	5.3	38.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	23.31
59	2	5	65	134	6.1	43.4	1.0	1.0	24.1	24.1	0.036	0.036	0.758	0.758	0.968	0.968	0.968	23.95
59	2	10	70	141	6.6	47.5	2.6	1.6	47.7	47.7	0.097	0.097	1.499	1.499	0.741	0.741	0.951	24.42
59	2	15	75	146	7.0	50.3	4.8	2.2	70.3	70.3	0.187	0.187	2.210	2.210	0.710	0.710	0.917	24.77
59	2	20	80	147	7.3	52.1	7.5	2.8	91.7	91.7	0.305	0.305	3.708	3.708	0.872	0.872	0.820	25.04
59	2	25	85	147	7.4	52.8	10.8	3.2	111.5	111.5	0.449	0.449	4.528	4.528	0.624	0.624	0.764	25.24
59	2	30	90	145	7.4	52.8	14.3	3.6	129.8	129.8	0.615	0.615	5.293	5.293	0.574	0.574	0.600	25.40
59	2	35	95	142	7.3	52.0	18.2	3.9	146.5	146.5	0.798	0.798	6.000	6.000	0.707	0.707	0.650	25.53
59	2	40	100	137	7.1	50.7	22.2	4.0	161.5	161.5	0.994	0.994	7.245	7.245	0.595	0.595	0.544	25.63
59	2	45	105	131	6.8	49.0	26.3	4.1	175.0	175.0	1.198	1.198	8.284	8.284	0.495	0.495	0.450	25.72
59	2	50	110	125	6.5	46.9	30.4	4.1	187.0	187.0	1.405	1.405	9.143	9.143	0.409	0.409	0.372	25.79
59	2	55	115	118	6.2	44.6	34.5	4.1	197.7	197.7	1.613	1.613	10.162	10.162	0.338	0.338	0.26.00	25.85
59	2	60	120	111	5.9	42.1	38.4	3.9	207.2	207.2	1.818	1.818	11.443	11.443	0.281	0.281	0.256	25.91
59	2	65	125	104	5.5	39.5	42.2	3.6	215.5	215.5	2.017	2.017	12.699	12.699	0.256	0.256	0.26.12	25.96
59	2	70	130	97	5.2	36.9	45.8	3.6	222.9	222.9	2.208	2.208	13.934	13.934	0.235	0.235	0.26.18	26.00
59	2	75	135	90	4.8	34.3	49.2	3.4	229.4	229.4	2.391	2.391	14.149	14.149	0.215	0.215	0.26.21	26.04
59	2	80	140	83	4.4	31.8	52.4	3.2	235.2	235.2	2.563	2.563	15.346	15.346	0.198	0.198	0.26.27	26.08
59	2	85	145	76	4.1	29.3	55.3	3.0	240.4	240.4	2.724	2.724	16.528	16.528	0.182	0.182	0.26.30	26.12
59	2	90	150	70	3.8	26.9	58.1	2.7	244.9	244.9	2.874	2.874	17.789	17.789	0.168	0.168	0.26.32	26.15
59	2	95	155	64	3.4	24.6	60.6	2.5	249.0	249.0	3.012	3.012	18.951	18.951	0.155	0.155	0.26.33	26.18
59	2	100	160	58	3.1	22.5	62.8	2.3	252.7	252.7	3.138	3.138	20.198	20.198	0.144	0.144	0.26.34	26.21
59	2	105	165	53	2.9	20.5	64.9	2.1	256.1	256.1	3.254	3.254	21.528	21.528	0.136	0.136	0.26.35	26.24
59	2	110	170	48	2.6	18.6	66.7	1.9	259.1	259.1	3.359	3.359	22.829	22.829	0.127	0.127	0.26.36	26.27
59	2	115	175	43	2.4	16.8	68.4	1.7	261.9	261.9	3.453	3.453	24.168	24.168	0.116	0.116	0.26.37	26.30
59	2	120	180	39	2.1	15.2	69.9	1.5	264.5	264.5	3.539	3.539	25.539	25.539	0.105	0.105	0.26.38	26.32

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 3, CLASSE DE QUALITE DE STATION 3

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE 4 = 9 CM ET PLUS

Tableau 3.15

EVOLUTION POUR L'ENSEMBLE DU PEUPELEMENT, CLASSE DE QUALITE DE STATION 3

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V		MORTS		RECRUES		MORTS		RECRUES		ST		ST		D. H. P.
				TIGES	TIGES	TIGES	M*2	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	M*2	CUMUL. PERIOD.	M*2	
59	+	0	60	275	7.9	50.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	19.17	
59	+	5	65	311	9.9	65.0	1.9	1.9	37.5	0.049	0.049	0.049	0.239	0.049	0.239	0.000	0.000	1.783	20.16	
59	+	10	70	340	11.9	81.0	6.4	4.5	71.0	0.153	0.153	0.104	0.452	0.153	0.452	0.239	1.783	3.674	21.13	
59	+	15	75	362	13.8	97.5	13.6	7.3	100.9	0.346	0.346	0.194	0.642	0.346	0.642	0.452	1.783	5.604	22.05	
59	+	20	80	379	15.7	113.8	23.6	10.0	127.8	0.637	0.637	0.290	0.813	0.637	0.813	0.642	1.783	7.540	22.93	
59	+	25	85	391	17.4	129.7	36.1	12.5	152.2	1.015	1.015	0.379	0.968	1.015	0.968	0.813	1.783	9.462	23.77	
59	+	30	90	399	18.9	145.3	50.8	14.6	174.3	1.473	1.473	0.458	1.109	1.473	1.109	0.968	1.783	11.357	24.59	
59	+	35	95	402	20.4	160.2	67.2	16.5	194.6	2.001	2.001	0.528	1.238	2.001	1.238	1.109	1.783	13.220	25.40	
59	+	40	100	403	21.8	174.6	85.2	17.9	213.3	2.592	2.592	0.591	1.357	2.592	1.357	1.238	1.783	15.046	26.21	
59	+	45	105	401	23.0	188.2	104.3	19.1	230.7	3.238	3.238	0.647	1.468	3.238	1.468	1.357	1.783	16.834	27.01	
59	+	50	110	398	24.2	201.2	124.2	20.0	246.9	3.937	3.937	0.698	1.571	3.937	1.571	1.468	1.783	18.585	27.81	
59	+	55	115	392	25.2	213.4	144.8	20.6	262.1	4.684	4.684	0.747	1.668	4.684	1.668	1.571	1.783	20.298	28.61	
59	+	60	120	386	26.2	224.8	165.7	20.9	276.5	5.479	5.479	0.795	1.759	5.479	1.759	1.668	1.783	21.975	29.40	
59	+	65	125	378	27.1	235.5	186.7	21.0	290.1	6.323	6.323	0.844	1.846	6.323	1.846	1.759	1.783	23.617	30.19	
59	+	70	130	370	27.9	245.2	207.7	21.0	303.1	7.218	7.218	0.894	1.928	7.218	1.846	2.007	1.783	25.225	30.96	
59	+	75	135	362	28.6	254.1	228.6	20.9	315.5	8.164	8.164	0.946	2.007	8.164	1.928	2.007	1.783	26.800	31.71	
59	+	80	140	353	29.2	262.0	249.2	20.6	327.5	9.163	9.163	1.000	2.083	9.163	2.007	2.083	1.783	28.345	32.44	
59	+	85	145	345	29.7	269.0	269.5	20.3	339.0	10.218	10.218	1.055	2.083	10.218	2.083	2.083	1.783	29.860	33.15	
59	+	90	150	336	30.2	275.0	289.3	19.9	350.3	11.2	11.2	1.111	2.228	11.2	2.157	2.228	1.783	31.347	33.82	
59	+	95	155	327	30.5	280.1	308.8	19.4	361.2	12.497	12.497	1.167	2.298	12.497	2.157	2.298	1.783	32.806	34.46	
59	+	100	160	319	30.8	284.2	327.8	19.0	372.0	13.720	13.720	1.222	2.367	13.720	2.298	2.367	1.783	34.240	35.06	
59	+	105	165	311	31.0	287.5	346.3	18.6	382.6	14.995	14.995	1.276	2.434	14.995	2.367	2.434	1.783	35.648	35.62	
59	+	110	170	304	31.2	289.8	364.5	18.1	393.2	16.321	16.321	1.326	2.501	16.321	2.434	2.501	1.783	37.032	36.14	
59	+	115	175	296	31.2	291.4	382.2	17.7	403.6	17.693	17.693	1.372	2.568	17.693	2.501	2.568	1.783	38.394	36.61	
59	+	120	180	290	31.2	292.2	399.5	17.3	414.1	19.108	19.108	1.415	2.634	19.108	2.568	2.634	1.783	39.733	37.04	

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE 4 = 9 CM ET PLUS

de prédiction, à un niveau semblable à celui de la classe de DHP 1. Le nombre de tiges de la classe de DHP 3 est très faible au départ. Il progresse lentement puis tend à se stabiliser à un maximum de 200 tiges par hectare vers l'âge de 120 ans.

3.6.3 Évolution de la surface terrière à l'hectare en fonction de l'âge

La figure 3.3 montre l'évolution de la surface terrière pour chacune des classes de DHP au cours de la vie d'un peuplement d'érables à sucre.

La surface terrière des tiges de la classe de DHP 1 reste toujours faible étant donné la dimension réduite des tiges impliquées. Au cours de la période de 25 à 50 ans, la surface terrière demeure relativement stable autour de 5 mètres carrés par hectare. Par la suite, elle diminue de moins en moins rapidement jusqu'à un niveau minimum d'un mètre carré par hectare.

La surface terrière des tiges de la classe de DHP 2 augmente constamment au cours des 45 premières années d'évolution. Elle culmine à environ 10 mètres carrés par hectare vers l'âge de 70 ans. Par la suite, elle décline lentement au fur et à mesure que les tiges de cette classe de DHP accèdent à la classe supérieure.

La surface terrière de la classe de DHP 3 augmente continuellement au cours des 120 ans de prédiction. Dans l'exemple présenté en figure 3.3, au départ la surface terrière des tiges de la classe de DHP 3 représente 23 p. 100 de la surface terrière marchande. Après 60 ans d'évolution, la proportion est rendue à 62 p. 100. Elle atteint 89 p. 100 total à la fin de la période d'évolution.

3.6.4 Évolution du volume par hectare en fonction de l'âge

La figure 3.4 montre, par classe de DHP, l'évolution du volume de bois en mètres cubes au cours d'une certaine période dans la vie d'un peuplement d'érables à sucre.

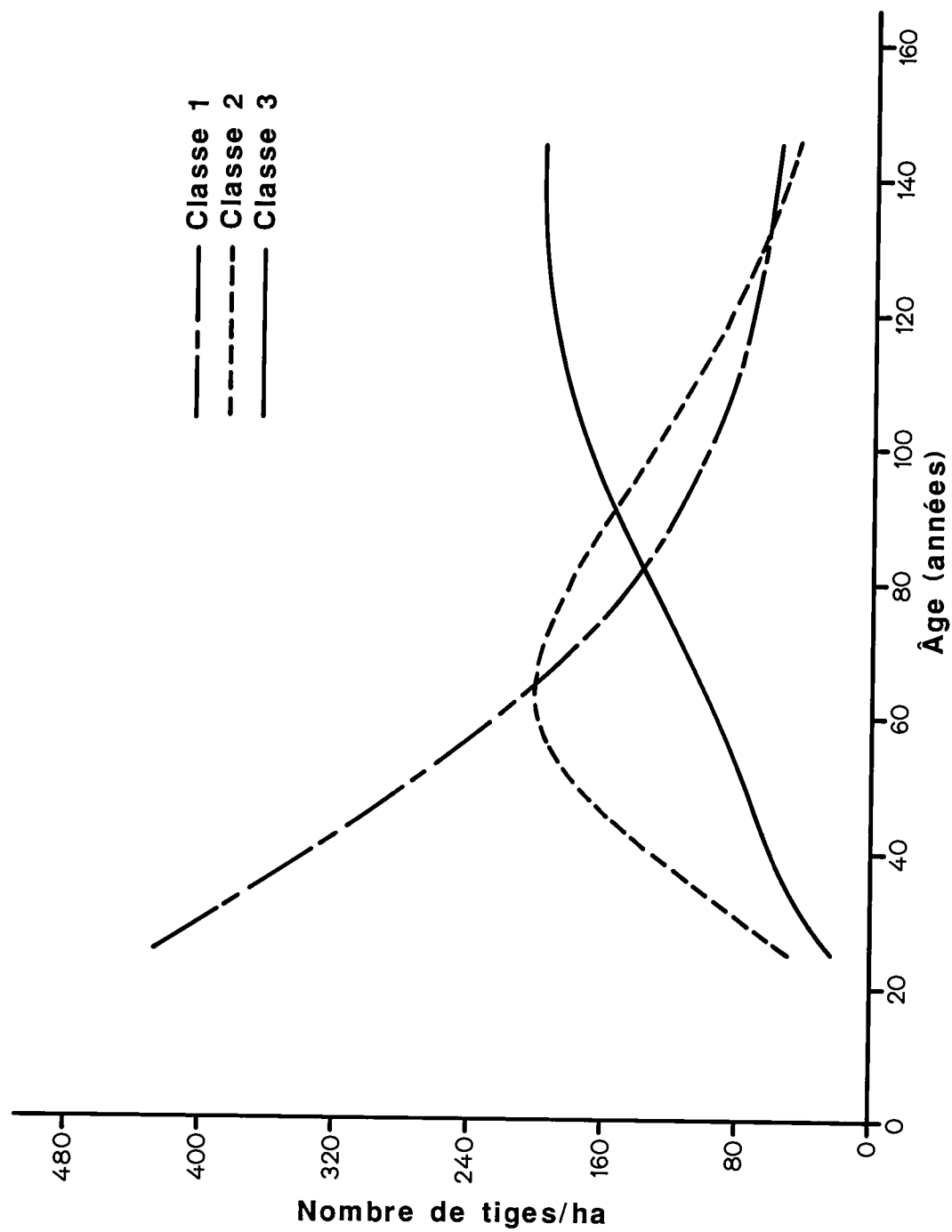


Figure 3.2 Nombre de tiges par classe de diamètre en fonction de l'âge

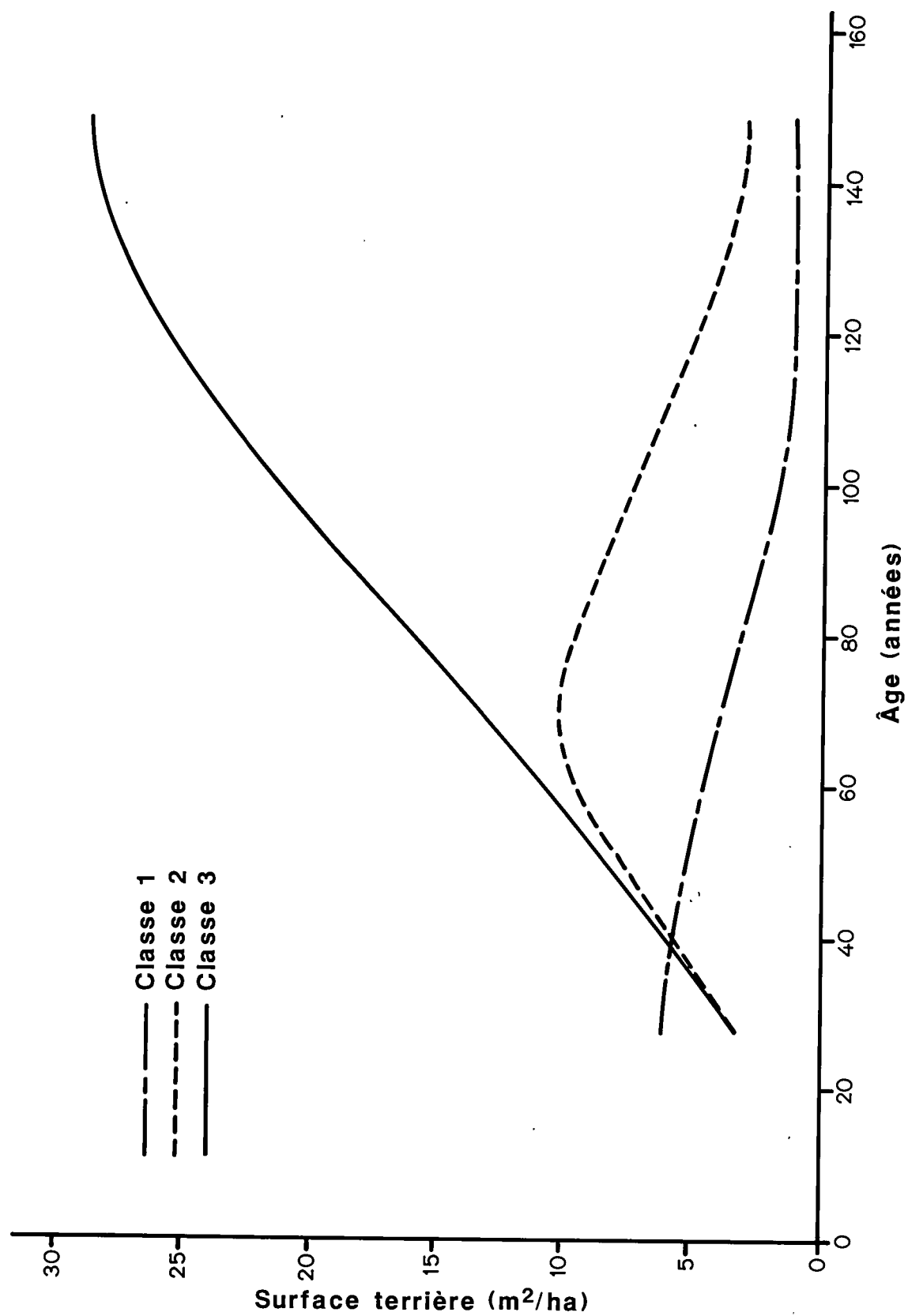


Figure 3.3 Surface terrière par classe de diamètre en fonction de l'âge

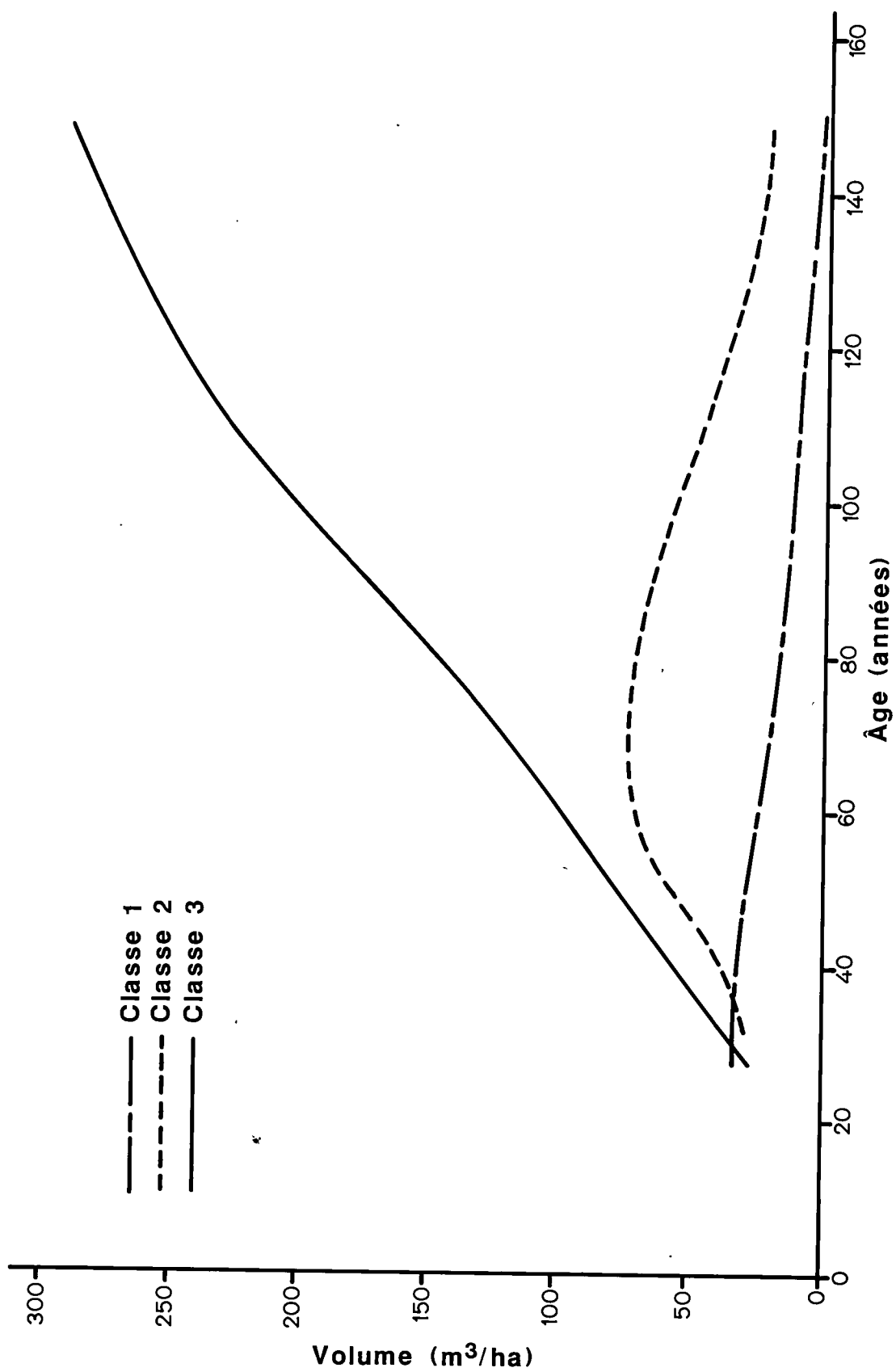


Figure 3.4 Volume par classe de diamètre en fonction de l'âge

Étant donné qu'il existe une relation assez directe (relation allométrique) entre la surface terrière et le volume, il est normal que les courbes d'évolution du volume soient semblables à celles de la surface terrière. La seule différence détectable provient du fait que les arbres de faible diamètre sont également de faible hauteur. Ces derniers présentent donc de très faibles volumes comparativement aux arbres de fort diamètre.

3.7 RÉSULTATS DE LA FONCTION COUPE PARTIELLE

Avec la fonction *COUPE PARTIELLE*, l'utilisateur a le choix du nombre d'années entre chaque coupe et de l'intensité de la coupe dans chacune des classes de DHP. L'option *COUPE PARTIELLE* du programme *ERS* présentera les mêmes extrants que l'option *SANS COUPE PARTIELLE* avec, de plus, un rapport de coupe. Le tableau 3.16 nous illustre d'ailleurs l'un de ces rapports de coupe.

Aux colonnes 1 et 2, on retrouve respectivement le nombre d'années écoulées depuis le début des prédictions et l'âge du peuplement au moment des interventions. Les colonnes 3, 4 et 5 fournissent les nombres de tiges coupées dans les grandes classes de DHP 1, 2 et 3 respectivement. La surface terrière des tiges coupées par classe apparaît dans les trois colonnes suivantes et le volume par classe, dans les trois dernières. À la dernière ligne du tableau, nous présentons un résumé de l'ensemble des coupes partielles surveillées, lors de l'horizon de simulation.

Tableau 3.16

RAPPORT DES COUPES PARTIELLES

ANNEE	AGE	TIGES COUPEES			ST. COUPEE			VOLUME COUPE		
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CL. 1 M*2	CL. 2 M*2	CL. 3 M*2	CL. 1 M*3	CL. 2 M*3	CL. 3 M*3
0	25	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	30	38	5	0	0.578	0.181	0.000	2.741	1.516	0.001
10	35	33	9	0	0.568	0.341	0.001	2.695	2.766	0.004
15	40	29	11	0	0.523	0.468	0.020	2.487	3.744	0.133
20	45	25	12	1	0.463	0.551	0.067	2.207	4.373	0.475
25	50	21	13	2	0.400	0.591	0.137	1.916	4.675	1.004
30	55	18	13	3	0.342	0.596	0.221	1.642	4.714	1.656
35	60	15	12	4	0.290	0.577	0.310	1.397	4.566	2.365
40	65	13	11	5	0.245	0.542	0.398	1.187	4.303	3.076
45	70	11	10	6	0.207	0.503	0.481	1.007	4.007	3.748
50	75	9	9	6	0.176	0.458	0.558	0.857	3.667	4.383
55	80	8	8	7	0.150	0.412	0.628	0.734	3.316	4.962
60	85	7	7	7	0.129	0.368	0.689	0.634	2.974	5.476
65	90	6	7	8	0.112	0.326	0.743	0.553	2.656	5.922
70	95	6	6	8	0.099	0.289	0.788	0.489	2.366	6.304
75	100	5	5	8	0.088	0.256	0.826	0.438	2.107	6.624
80	105	5	5	8	0.080	0.227	0.857	0.397	1.877	6.885
85	110	4	4	8	0.073	0.201	0.882	0.366	1.675	7.091
90	115	4	4	7	0.068	0.179	0.899	0.341	1.499	7.242
95	120	4	3	7	0.065	0.160	0.911	0.323	1.346	7.336
100	125	4	3	7	0.062	0.143	0.915	0.310	1.214	7.374
105	130	4	3	7	0.060	0.130	0.913	0.301	1.102	7.354
110	135	4	2	6	0.059	0.118	0.904	0.297	1.008	7.278
115	140	4	2	6	0.059	0.109	0.888	0.295	0.931	7.148
120	145	4	2	6	0.059	0.101	0.868	0.297	0.870	6.971
TOTAL :		280	166	125	4.953	7.828	13.904	22.301	54.723	128.528

CHAPITRE IV

DISCUSSION

4.1 PRINCIPES ET GÉNÉRALISATIONS DÉCOULANT DES RÉSULTATS

Les résultats obtenus lors de la conception du système de prédiction ERS nous permettent de tirer des conclusions intéressantes.

Toute la complexité de la croissance forestière annuelle d'un peuplement d'érable à sucre peut être traduite dans un système complet d'équations mathématiques. Ce système est en partie constitué d'équations différentielles. Par exemple, le nombre de tiges recrues (N.R.i) et le nombre de tiges mortes (N.M.i) pour une classe donnée caractérisent la variation du nombre de tiges ($d N.T./dt$) pour cette classe. On peut de la même manière caractériser la variation en surface terrière par un quotient différentiel. Ce qui donne, par substitution, un système de la forme:

$$d S.T.j/dt = F_j (S.T.i, N.T.i), i = 1,2,3$$

et

$$d N.T.j/dt = G_j (S.T.i, N.T.i), i = 1,2,3$$

pour chacune des grandes classes de DHP ($j = 1,2,3$),

Évidemment, ce système se résout par intégration numérique. La croissance du peuplement est ainsi reconstituée année par année.

On remarque tout d'abord que ce système différentiel est autonome; l'augmentation annuelle du nombre de tiges ou de la surface terrière ne dépend pas du temps ou de l'âge mais seulement du nombre de tiges, de la surface terrière et de la structure du peuplement. Cette propriété fait que mathématiquement, deux peuplements qui possèdent les mêmes caractéristiques devront suivre le même profil de développement. De plus, deux peuplements qui, à un même âge, ne présentent pas les mêmes caractéristiques ne devraient pas dans un avenir rapproché présenter la même évolution. Cette propriété rend le modèle potentiellement capable de tenir compte des différences de qualité de station, de densité et de structure initiale.

La forme du modèle retenu introduit une certaine cohérence dans l'évolution des placettes. Même si l'échantillonnage de base présente une diversité de conditions initiales pour les placettes, l'approche choisie dégage les lois strictes qui quantifient la productivité pour chacun de ces états. L'utilisation de l'âge comme variable explicative de la structure des peuplements nous confronterait à ce problème de variabilité des peuplements pour un âge donné. Mais les variables explicatives utilisées (S.T.i, N.T.i et leurs combinaisons) sont précisément celles sur lesquelles il y a variation. Justement, la valeur du système vient du fait que les variables explicatives de chacune des équations représentent un échantillonnage assez complet des différents états que prend une érablière au cours de son évolution normale.

En examinant les résultats d'une prédiction à long terme, on constate que la croissance de la forêt prend une allure sigmoïdale comme celle de tous les organismes vivants. Le peuplement s'installe lentement. Sa croissance nette s'accélère au cours des premières décennies puis se stabilise. Par la suite, elle décroît pour devenir nulle. En effet, lors de la période de vieillissement, on assiste à un plafonnement de la production. L'accroissement brut devient même, un certain temps, inférieur aux pertes dues à la mortalité.

Le système contient donc ses propres mécanismes de régularisation et ne peut conduire à des résultats aberrants même si on l'utilise abusivement avec de très longues périodes de prédiction. Une analyse plus détaillée du système d'équations utilisé montre bien que c'est l'effet combiné de l'accroissement, des recrues et des morts qui confère de la stabilité au système.

Il est aussi très intéressant de constater qu'à très longue échéance le modèle ERS tend vers une solution unique pour toutes conditions initiales à l'intérieur du domaine de la définition de l'échantillonnage (région couvrant les S.T.i et les N.T.i utilisés pour la détermination par régression des coefficients des équations du système). On doit cependant noter que cette région d'échantillonnage couvre la majeure partie des conditions réelles observées dans un peuplement d'érable à sucre. Il en résulte qu'à longue échéance, le modèle tend à normaliser la densité des peuplements. D'ailleurs ce niveau d'équilibre en termes de surface terrière et de volume de bois est très semblable à celui que l'on peut observer dans les érablières vierges qui n'ont jamais subi de perturbations importantes.

Comme l'a démontré Hann (1980) en construisant un simulateur de croissance semblable pour *Pinus ponderosa*, la structure du simulateur le rend potentiellement utile pour répondre aux questions qui confrontent l'aménagement équiennne et inéquiennne.

En utilisant le modèle avec des placettes équiennes, on constate que le modèle explique la transformation à longue échéance de la structure équiennne en une structure inéquiennne.

4.2 LIMITATIONS DU MODÈLE ERS ET AMÉLIORATIONS FUTURES

Nous avons vu précédemment que le modèle de prédiction est souple dans ses intrants et robuste au niveau des extrants. Par contre, il possède des limites. Il faudrait interpréter avec parcimonie les résultats que l'on obtient après l'introduction, comme état initial, de niveaux de densité de peuplement s'écartant trop de ceux habituellement observés dans les érablières du Québec.

Au niveau de la qualité des stations, le modèle pourrait présenter des sous-estimations ou des surestimations du rendement si on lui présente des peuplements croissant sur des stations exceptionnellement riches ou pauvres. Dès que plus d'information de base sera disponible à l'intérieur du réseau des placettes échantillons permanentes, il sera possible d'estimer les coefficients de deux systèmes d'équations supplémentaires pour rendre justice aux classes de fertilité 1 et 3. Il sera peut-être possible de vérifier si des différences régionales existent au niveau de la croissance, puis d'établir un nouvel ensemble d'équations par région écologique ou de tenter d'expliquer ces différences par les classes de qualité de station.

Le modèle a été conçu spécialement à partir des placettes contenant 75 p. 100 et plus d'érables à sucre. Il faudrait être prudent si l'on s'en sert pour simuler le rendement de peuplements feuillus d'ombre composés différemment au niveau des essences. Le modèle ERS ne peut prédire adéquatement le rendement d'érablières croissant dans des conditions extrêmes de stress comme celles qui prévalent dans la région de la Beauce depuis le début de la présente décennie.

Il faudrait être prudent avec l'option coupe partielle, car ce sous-système d'équations repose sur un petit nombre de placettes permanentes. L'intensité et la nature de la coupe qui est survenue avant la prise des mesures initiales ne sont pas disponibles. Nous ne savons pas également quand a eu lieu cette coupe. Cette option pourra être améliorée de beaucoup quand une troisième mesure des placettes permanentes sera disponible, car on pourra alors plus facilement identifier le moment, l'intensité et la nature de cette intervention sylvicole qu'est la coupe partielle.

4.3 COMPARAISON AVEC LES TRAVAUX DÉJÀ PUBLIÉS

4.3.1 Tables de Love et de Plonski

On peut comparer les courbes de rendement fournies par le modèle

ERS avec les résultats obtenus par Love et par Plonski. Dans la figure 4.1 on trouve les courbes de rendement en surface terrière pour les trois classes de qualité de station telles que prédites par ERS, Love et autres (1972) et Plonski (1960).

On remarque tout d'abord que le rendement prédit par ERS n'est pas aussi fulgurant à court terme que celui prédit par Love. Mais il faut mentionner que, lorsqu'on soumet au système des peuplements de forte densité, nos résultats approchent ceux de Love que l'on devrait qualifier d'optimistes.

Les courbes de rendement d'ERS se comparent bien à celles de Plonski à court terme. Mais à long terme, les nôtres sont plus conservatrices et semblent plus réalistes. Dans la phase jeune du peuplement, ERS présente une plus grande étendue au niveau des surfaces terrières prédites d'une classe à l'autre que le modèle de Plonski. Ceci tient au fait qu'ERS fournit des tables de rendement à densité variable tandis que les tables de Plonski sont construites pour prédire le rendement de peuplements à densité optimale. Pour les peuplements mûrs, on observe une normalisation de la densité telle que discutée précédemment pour le modèle ERS. Ceci explique bien pourquoi les différences en surface terrière prédite d'une classe à l'autre sont moins importantes pour ERS que pour les courbes de Plonski, dans les peuplements mûrs évidemment.

4.3.2 Modèles américains pour des peuplements jeunes et équiennes

On s'attardera principalement aux modèles SHAF, FOREST I et FOREST II. Le premier est un modèle non itératif par classe de DHP tandis que les deux autres sont des modèles itératifs arbre par arbre. Le modèle ERS présente une caractéristique commune avec chacun de ces modèles. On peut voir, à la figure 4.2, l'évolution de la surface terrière en fonction de l'âge, prédite par chacun de ces modèles.

On considérera tout d'abord l'évolution prédite pour les peuplements jeunes. En général, on peut dire que ERS est plus conservateur que

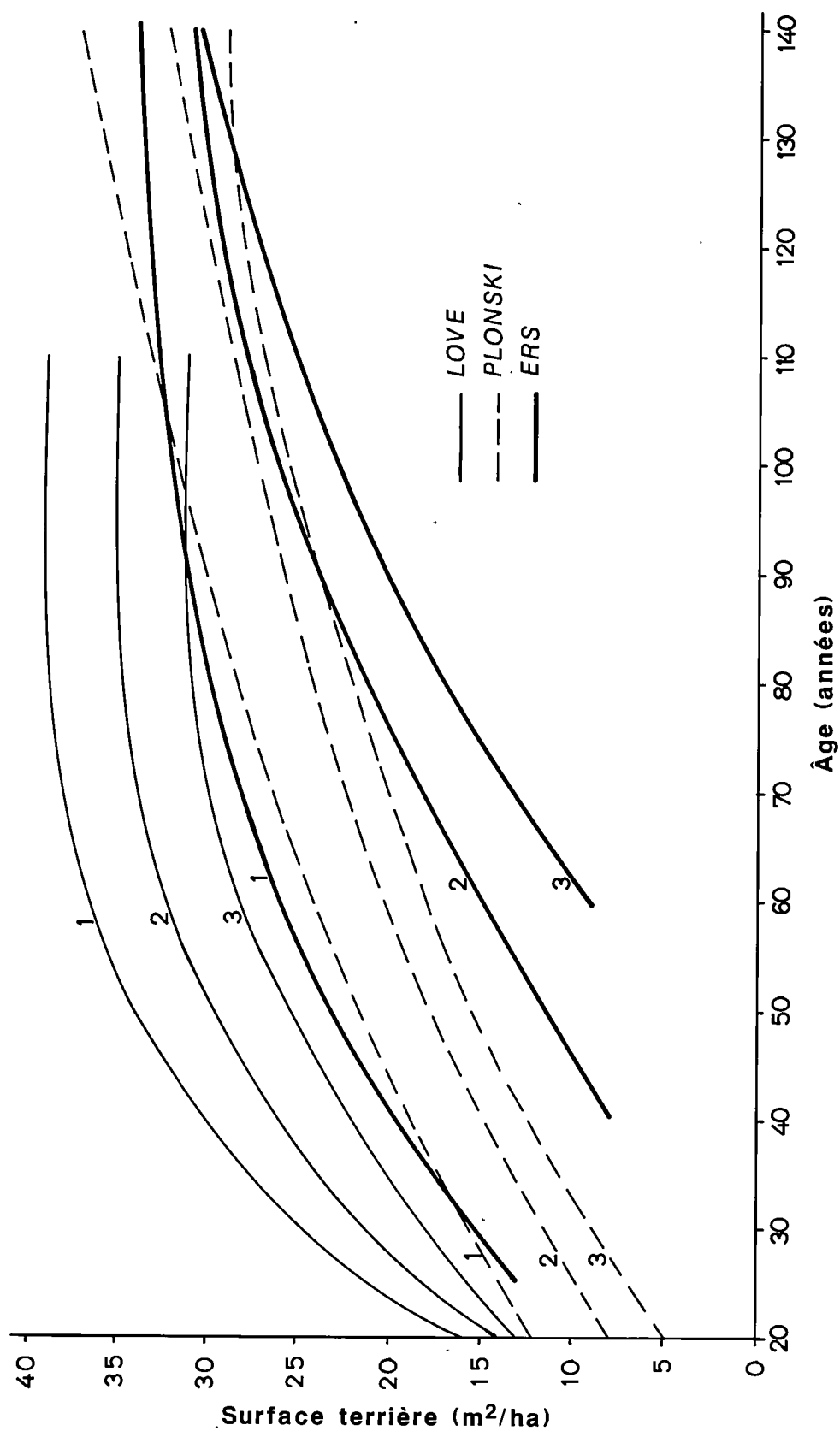


Figure 4.1 Évolution du rendement d'après trois tables de rendement différentes

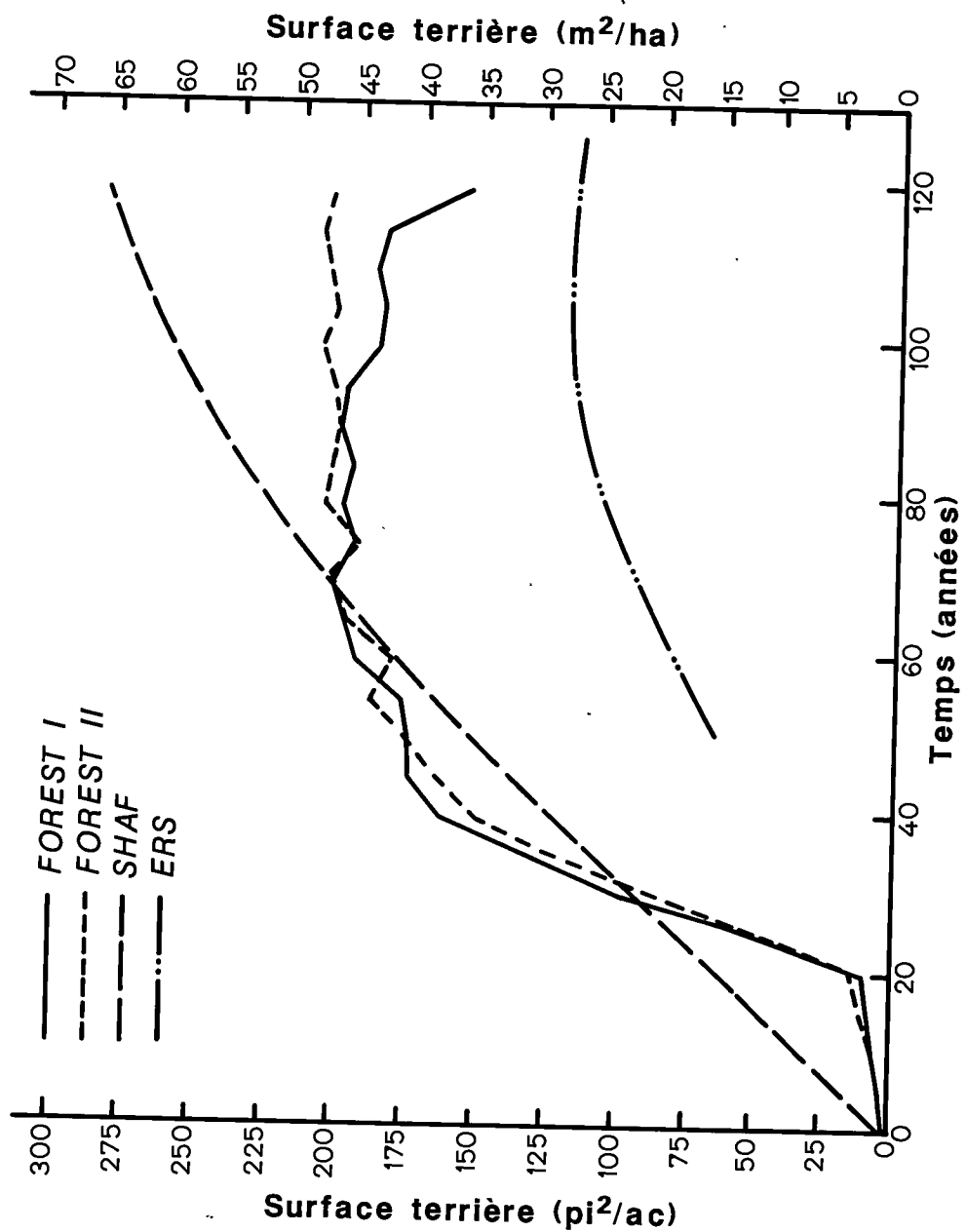


Figure 4.2 Évolution du rendement d'après les modèles FOREST, SHAF et ERS pour des peuplements jeunes

SHAF, *FOREST I* et *FOREST II*. Cette différence est plus marquée entre *SHAF* et *ERS* pour les parcelles plus âgées. Il faut dire que *SHAF* semble un peu trop optimiste dans les prédictions à long terme dans les parcelles équiennes.

SHAF et *ERS* ont en commun le fait d'être stables, c'est-à-dire peu sujets aux variations brusques, comparativement aux modèles *FOREST I* et *FOREST II* qui présentent une augmentation en surface terrière très forte pour un peuplement jeune. Par contre lorsque le peuplement équienne vieillit, *FOREST* de même que *ERS* ont tendance à plafonner en surface terrière. Cette dernière caractéristique prend plus de temps à se manifester avec *SHAF*.

Une augmentation modérée au début fait que *ERS* est aussi fiable que *SHAF* pour les prédictions à court terme. De même, une tendance à limiter l'accroissement en surface terrière pour les peuplements plus âgés rend *ERS* aussi utile que *FOREST* pour la prédiction à long terme. Ainsi, *ERS* présente les avantages des deux modèles cités auparavant en termes de qualité des prédictions.

4.3.3 Modèles américains pour des peuplements mûrs et inéquiennes

La figure 4.3 de la page suivante nous montre l'évolution de la surface terrière en fonction du temps, prédite par les modèles *ERS*, *FOREST I*, *FOREST II* et *SHAF*, pour des peuplements mûrs et inéquiennes. On remarque tout de suite la consistance des prédictions fournies par chacun des modèles; l'écart des valeurs prédites d'un modèle à l'autre dépasse rarement 10 m²/ha.

Encore une fois, les modèles *FOREST* sont instables comparative-ment aux modèles *SHAF* et *ERS*. Le modèle *ERS* a de plus la particularité de minimiser la trop forte augmentation en surface terrière qui caractérise le passage du stade équienne au stade inéquienne, ce qui est moins évident pour le modèle *SHAF*.

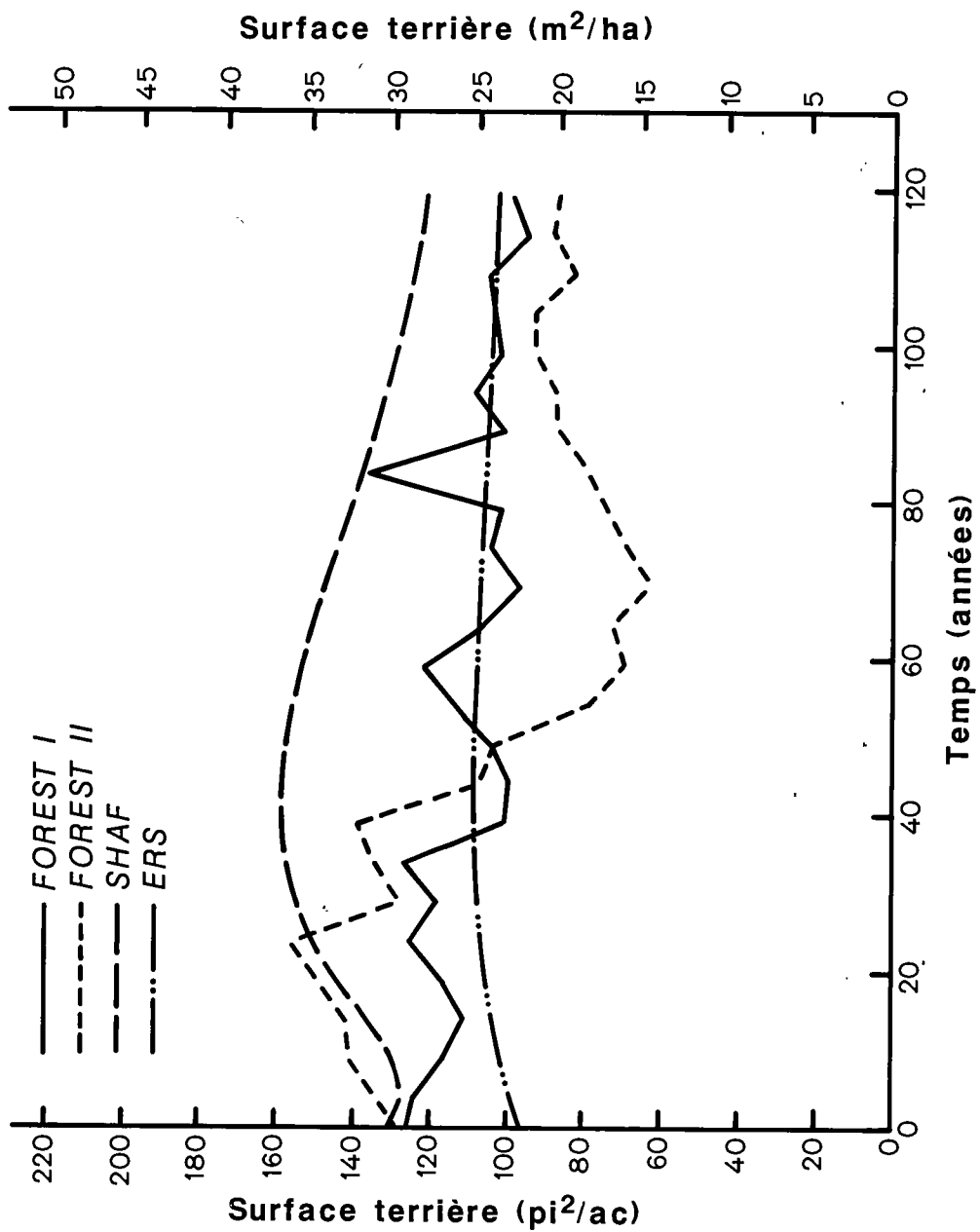


Figure 4.3 Évolution du rendement d'après les modèles FOREST, SHAF et ERS pour des peuplements mûrs

Un peu comme pour les parcelles jeunes, ERS est légèrement moins optimiste que SHAF dans ses prédictions. L'utilisation d'ERS écarte donc la possibilité de surévaluation du rendement des peuplements mûrs comme le ferait SHAF.

4.4 IMPLICATIONS THÉORIQUES ET APPLICATIONS PRATIQUES

Le but premier visé lors de la conception du modèle ERS est la production de tables de production pour toute la gamme des densités observées dans les peuplements. En somme, prédire l'état futur de tout peuplement d'érable à sucre, quels que soient son âge, sa structure et sa densité. En simulant le rendement des forêts, les aménagistes pourront déterminer le moment optimal de la coupe finale puis connaître l'importance et les caractéristiques de celle-ci.

Le modèle vise aussi à simuler le rendement des peuplements soumis à un régime de coupes partielles. Ainsi, malgré le fait que les régimes de coupe (fréquence et intensité) à l'étude doivent ressembler à ceux observés dans les p.é.p., les aménagistes pourront rechercher les meilleures stratégies de coupe pour satisfaire un critère d'optimalité. La stabilité du peuplement ou le rendement maximum sont deux exemples de critères d'optimalité utilisables. Une façon d'obtenir de telles stratégies optimales serait de simuler directement à l'aide du modèle différentes fréquences et intensités de coupe. Par la suite, on pourrait installer sur le terrain un dispositif expérimental pour tester réellement les options retenues théoriquement par simulation.

Étant donné que l'élaboration du modèle repose sur un échantillonnage fait durant la période 1970-80, la simulation sur divers peuplements du Québec permettra de vérifier dans quelques années, si des différences significatives peuvent être observées au niveau des phénomènes forestiers quantifiés par le modèle. Parmi ces phénomènes, notons le nombre de recrues par classe de DHP, la mortalité et aussi la croissance par classe de DHP.

Si le modèle *ERS* est aussi précis dans ses valeurs prédites que celui développé par Moser en 1974, nous devrions être d'accord avec Moser, Tubbs et Jacobs (1979) qui ont évalué l'efficacité de ce dernier. En effet, ces auteurs prétendent que le modèle conçu pour l'érable à sucre peut aussi être utilisable pour des peuplements contenant des mélanges d'autres essences d'ombre.

La planification de l'aménagement des forêts feuillues de bois noble est souvent dépendante de la valeur des bois pour le sciage ou le déroulage. Les analyses demandent les estimés des futurs nombres de tiges par classe de DHP, des volumes marchands et de la qualité des tiges. Le modèle prédit le nombre d'arbres et le volume par classe de DHP auxquels peuvent être appliquées des catégories de qualité relatives. Ces informations sur la productivité peuvent servir par la suite avec des coûts unitaires d'aménagement et de coupe pour rechercher les meilleures options d'aménagement.

Plusieurs grandes compagnies ont leur propre système d'inventaire forestier continu. Leurs données peuvent servir à évaluer l'applicabilité du modèle *ERS* à leur cas précis. Les données d'établissement de leurs placettes échantillons peuvent être utilisées comme conditions initiales pour le modèle. Par la suite, les valeurs prédites sont comparées à celles observées lors du ou des remesurages. Si le modèle est jugé acceptable pour un propriétaire donné, ce dernier aura en main un outil lui permettant par la suite de mettre à jour ses inventaires, d'évaluer l'importance des dommages inhabituels de causes diverses comme la maladie, les insectes ou les tempêtes (chablis). À l'aide du modèle, on pourrait allonger les intervalles entre les remesurages des parcelles permanentes, réduisant ainsi les coûts de ces inventaires forestiers.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le modèle de prédiction du rendement ERS répond aux deux caractéristiques essentielles à tout bon simulateur de croissance forestière: la précision et la fiabilité.

La précision du modèle provient du fait que celui-ci fournit des résultats réalistes qui découlent des mesures concrètes obtenues dans les placettes échantillons appropriées. En effet, ce modèle a été établi en fonction d'une marge d'erreur minimale dans les valeurs prédites. L'utilisateur peut donc utiliser le modèle avec confiance dans l'établissement de prévisions de rendement.

La fiabilité du modèle se manifeste sous deux aspects. D'une part, le modèle est suffisamment précis pour établir des prédictions de croissance à long terme. D'autre part, les prédictions obtenues demeurent valables pour différents types d'érablières tant au niveau de la structure, de la densité et de la classe de fertilité de la station.

En plus de ces deux qualités générales, le modèle permet d'obtenir des prédictions précises pour chacun des phénomènes considérés, tels que la mortalité des arbres, l'arrivée des recrues et l'accroissement des tiges. Cet attribut du modèle est particulièrement intéressant pour les chercheurs en dendrométrie, qui tentent de vérifier si ces taux annuels de changement sont modifiés lorsque des peuplements croissent dans des conditions inhabituelles de stress.

Ainsi, à partir des informations disponibles au Québec, dans le réseau des placettes échantillons permanentes, cette étude démontre qu'il est possible de construire des modèles de simulation même si le nombre de p.é.p. est faible. Ces modèles adaptés à une essence forestière spécifique fournissent des prédictions fiables même à long terme. Cependant, il faudra poursuivre le travail réalisé afin de parvenir à modéliser adéquatement l'évolution des érablières à sucre soumises à des conditions géographiques, climatiques et sylvicoles différentes de celles qui prévalent dans les placettes d'échantillonnage ayant fourni les données de base de la présente étude.

BIBLIOGRAPHIE

- ALDER, D., 1979. *A distance independant tree model for exotic conifer plantations in East Africa.* For. Sci. 25: 59-71.
- ALIG, R.J., G.E. BRINK, M.H. GOFORTH, V.J. LEBAU et T.J. MILLS, 1980. *User's manual for TRAS-1980, an expanded version of the TRAS projection system.* U.S.D.A. Forest Service, Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn., Fort Collins, CO.
- BARD, A., G. GERMAIN, R. LETARTE, C. NOEL, J.Y. PERRON et R. TREMBLAY, 1975. *Normes d'inventaire forestier 1975.* Serv. de l'inventaire forestier, Min. des Terres et Forêts, Québec.
- BECK, D.E., 1974. *Predicting growth of individual trees in thinned stands of yellow-poplar.* In Fries, J. (ed.) *Growth models for tree and stand simulations.* Royal College of Forestry, Stockholm. Res. Notes No. 30.
- BEERS, T.W., 1962. *Components of forest growth.* J. For. 60: 245-248.
- BOUDOUX, M., 1976. *Modèle de simulation des essences résineuses.* Colloque, Université Laval, Sainte-Foy, 75 p.
- BOUDOUX, M., 1978. *Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec.* Publié et diffusé par le Serv. de l'inf., Min. de l'Énergie et des Ress., Québec, 101 p.
- BOUDOUX, M. et F. BONENFANT, 1979. *SACADOS. Système automatique conversationnel d'analyse de données statistiques.* C.R.F.L., Sainte-Foy, Québec. Rap. inf. LAV-X-39, 22 p.
- BRUNER, H.D. et J.W. MOSER, 1973. *A Markow chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands.* Can. J. For. Res. 3: 409-417.
- BUCKMAN, R.E., 1962. *Growth and yield of red pine in Minnesota.* U.S.D.A. Forest Service, Tech. Bull. 1272, 50 p.

- CARMEAN, W.H., 1978. *Site index curves for northern Wisconsin and upper Michigan*. U.S.D.A. Forest Service, North Central For. Exp. Stn. Res. Pap. NC-160, 16 p.
- CLUTTER, J.L., 1963. *Compatible growth and yield models for loblolly pine*. For. Sci. 9: 354-371.
- CLUTTER, J.L. et B.J. ALLISON, 1974. *A growth and yield model for Pinus radiata in New Zealand*. In Fries, J. (ed.) *Growth models for tree and stand simulations*. Royal College of Forestry, Stockholm. Res. Notes No. 30: 136-166.
- CLUTTER, J.L. et E.P. JONES, 1980. *Prediction of growth after thinning in old field slash pine plantations*. U.S.D.A. Forest Service, Res. Pap. Se-217.
- CLUTTER, J.L., J.C. FORTSON, L.V. PIENAAR, G.H. BRISTER et R.L. BAILEY, 1983. *Timber management: A quantitative approach*. John Wiley and Sons. New York.
- CROW, T.R., R.D. JACOBS, R.R. OBERG et C.H. TUBBS, 1981. *Stocking and structure for maximum growth in Sugar Maple selection stands*. U.S.D.A. Forest Service, North Central For. Exp. Stn. Res. Pap. NC-199, 16 p.
- CURTIS, R.O., 1972. *Yield tables past and present*. J. For. 70: 28-32.
- DANIELS, R.F. et H.E. BURKHART, 1975. *Simulation of individual tree growth and stand development in managed loblolly pine plantations*. Division of For. and Wildlife Resources, Virginia Polytech. Inst. and State Univ., Blackburg, VA. FWS-5-75, 69 p.
- DIXON, W.J. et autres, 1983. *BMDP Statistical Software*. University of California Press., 734 p.
- EDMINSTER, C.B., 1978. *RMULD: Computation of yield tables for evenaged and two-storied stands*. U.S.D.A. Forest Service, Rocky Mt. For. and Range Exp. Stn., Fort Collins, Co., Res. Pap. RM-199. 26 p.
- EK, A.R., 1974. *Nonlinear models for stand table projection in northern hardwood stands*. Can. J. For. Res. 4: 23-27.
- EK, A.R. et R.A. MONSERUD, 1974. *FOREST: A computer model for simulating the growth and reproduction for mixed forest stands*. University of Wisconsin, College of Agricultural and Life Sciences, Res. Rep. R2635.
- FORTIN, J., 1984. *Actualisation des données d'inventaire forestier*. Serv. de l'inventaire forestier, Min. de l'Energie et des Ress., Québec.

- HANN D.W., 1980. *Development and evaluation of an even and uneven-aged ponderosa pine/Arizona fescue stand simulator*. U.S.D.A. Forest Service. Intermountain For. and Range Exp. Stan. Res. Pap. INT-267.
- HATCH, C.R., 1971. *Simulation of an even-aged red pine stand in Northern Minnesota*. Ph. D. Thesis. University of Minnesota, St. Paul, (University Microfilms 72-14, 314).
- HORN, H.S., 1976. *Succession*. In R.M. May, éd. *Theoretical ecology: principles and applications*. Blackwell Scientific Publishers, Oxford. p. 187-204.
- KER, M.F., 1976. *Metric yield tables for the major forest cover types of Newfoundland*. Can. For. Serv., Nfld. For. Res. Cent., Inf. Rep. N-X-141.
- KOZLOWSKI, T.T., 1971. *Growth and development of trees*. Academic Press, N.Y.
- LANDRY, R. et J.-P. CARPENTIER, 1986. *Détermination des classes de fertilité et d'un système d'équations d'accroissement en hauteur pour la prédiction du rendement des érablières*. Serv. de la rech. appl., Min. de l'Énergie et des Ress., Québec. Rapport non publié.
- LEARY, R.A., 1968. *A multi-dimensional model for even-aged forest growth*. Ph. D. Thesis, Purdue University (University Microfilms 69-7472).
- LEARY, R.A., 1970. *System identification principles in studies of forest dynamics*. U.S.D.A. Forest Serv., North Central Forest Exp. Stn., St. Paul, Minn. Res. Pap. NC-45, 38 p.
- LEARY, R.A., et K.E. SKOG, 1972. *A computational strategy for system identification in ecology*. Ecology 53: 969-973.
- LOVE, D.V., A.F. BECKWITH et Z.J.R. MORAWSKI, 1972. *Studies of land productivity for hardwoods in southern Ontario*. Canada Land Inventory Program. ARDA.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1985. *Composition, structure et rendement des érablières dans cinq secteurs de la région de l'Outaouais*. Serv. de la rech. appl., Min. de l'Énergie et des Ress., Québec. Mémoire n° 88, 130 p.
- MITCHELL, K.J., 1975. *Dynamics and simulated yield of Douglas fir*. For. Sci. Monogr. 17, 39 p.

- MITCHELL, K.J. H. OSWALD et J.-M. OTTORINI, 1983. *Modelling the growth of Douglas fir in France*. Forest Growth Modelling and Simulation, IUFRO.
- MOSER, J.W., Jr. 1972. *Dynamics of an uneven-aged forest stand*. For. Sci. 18: 184-191.
- MOSER, J.W., Jr. 1974. *A system of equations for the components of forest growth*. In Fries, J. (ed.) Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Stockholm. Res. Notes No. 30: 260-287.
- MOSER, J.W., Jr. et O.F. HALL, 1969. *Deriving growth and yield functions for uneven-aged forest stands*. For. Sci. 15: 183-188.
- MOSER, J.W., Jr., C.H. TUBBS et R.D. JACOBS, 1979. *Evaluation of a growth projection system for uneven-aged northern hardwoods*. J. For. 77: 421-423.
- MUNRO, D.D., 1974. *Forest growth models - a prognosis*. In Fries, J. (ed.) Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Stockholm. Res. Notes No. 30: 7-21.
- NOËL, C. et R. ROULEAU, 1979. *Parcelles-échantillons permanentes. Normes techniques 1979*. Serv. de l'inventaire forestier. Min. de l'Énergie et des Ress., Québec.
- PERRON, J.-Y., 1983. *Tarif de cubage général. Volume marchand brut*. Serv. de l'inventaire forestier. Min. de l'Énergie et des Ress., Québec.
- PIENARR, L.V., 1965. *Quantitative theory of forest growth*. Ph.D. Thesis. Univ. of Washington, Seattle, (Univ. Microfilms 65-11, 485).
- PIENARR, L.V. et K.J. TURNBULL, 1973. *The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even aged stands*. For. Sci. 19: 2-22.
- PLONSKI, W.L., 1960. *Normal yield tables for black spruce, jack pine, aspen, white birch, tolerant hardwoods, white pine and red pine*. Ontario Dept. of Lands and Forests, 39 p. (Silvicultural Series No. 2.)
- RICHARDS, F.J., 1959. *A flexible growth function for empirical use*. J. Exp. Bot. 10: 290-300.
- SHIFLEY, S.R., J.W. Jr. MOSER et K.M. BROWN, 1982. *Growth and yield Model for the Elm-Ash-Cottonwood type in Indiana*. U.S.D.A. Forest Service. North Central Forest Experimental Station. Res. Pap. NC-218, 16 p.

- SHUGART, H.H. Jr. et D.C. WEST, 1980. *Forest Succession Models*. BioScience 30 (5): 308-313.
- STAGE, R.A., 1973. *Prognosis models for stand development*. U.S.D.A. Forest Service, Intermountain Forest and Range Exp. Stn. Res. Pap. INT-137.
- TENNENT, R.B., 1980. *A simulation model for Pinus radiata in New Zealand*. Ph. D. dissertation, School of Forest Res., Univ. of Georgia.
- TURNBULL, K.J., 1963. *Population dynamics in mixed forest stands*. Ph. D. Thesis, Univ. of Washington, Seattle. (Univ. Microfilms 64-437).
- UNG, C.H., J. BEAULIEU et D. DEMERS, 1982. *Modèle de prédiction des essences feuillues et résineuses du Québec*. Can. J. For. Res. 12 (2): 232-240.
- VÉZINA, P.-É. et A. LINTEAU, 1968. *Growth and yield of balsam fir and black spruce in Qubec*. Can. For. Res. Lab. Inf. rep. Q-X-2.
- VUOKILA, Yrjö, 1966. *Functions for variable density yield tables of pine based on permanent sample plots*. Commun. Inst. For. Fenn. 60 (4): 1-86.
- WAGGONER, P.E. et G.R. STEPHENS, 1970. *Transition probabilities for a forest*. Nature 225: 1160-1161.

ANNEXE A

COPIE DES FONCTIONS COMPOSANT
L'ENSEMBLE DU MODÈLE DE
PRÉDICTION *ERS*


```

VERSΔAUTO;□PW;□IO;HECTARE;PERIODE;PAS;AGE;HAUTEUR;TIGES;
SURFACEΔTERRIERE;INTERVALLE;PCC;INDICEΔSITE;GROUPE
[1] □PW+132
[2] □IO+1
[3] FORMΔFEED
[4] 'PREDICTION A LONG TERME DU RENDEMENT'
[5] 'D' 'UNE ERABLIERE A SUCRE'
[6] 36ρ'-
[7] ''
[8] DEBUT: ''
[9] ''
[10] 'INTRODUCTION DES CONDITIONS INITIALES'
[11] '-----'
[12] ''
[13] HECTARE+QUESTIONΔN'ENTREZ LE NUMERO DE LA STRATE: '
[14] ''
[15] PERIODE+QUESTIONΔN'ENTREZ LA DUREE DE LA PERIODE DE VIEILLISSEME
NT: '
[16] ''
[17] PAS+[QUESTIONΔN'ENTREZ LE NOMBRE D' 'ANNEES ENTRE CHAQUE RAPPORT
D' 'ETAT DU SYSTEME: '
[18] HAUTEUR+DONNEES[HECTARE;8]
[19] AGE+DONNEES[HECTARE;9]
[20] TIGES+DONNEES[HECTARE;2 3 4]
[21] SURFACEΔTERRIERE+DONNEES[HECTARE;5 6 7]
[22] INDICEΔSITE+AGE IS HAUTEUR
[23] GROUPE+GROUPEΔC HECTARE
[24] →SCP SI 'S' ∈GROUPE
[25] ''
[26] INTERVALLE+QUESTIONΔN'ENTREZ LE NOMBRE D' 'ANNEES ENTRE LES COUPE
S: '
[27] ''
[28] PCC+0.01×QUESTIONΔN'ENTREZ LE POURCENTAGE DE COUPE PAR CLASSE: '
[29] FORMAT RESULTAT+(INTERVALLE,PCC)PREDICTIONΔCP TIGES,
SURFACEΔTERRIERE
[30] →SUITE
[31] SCP:FORMAT RESULTAT+PREDICTIONΔSCP TIGES,SURFACEΔTERRIERE
[32] SUITE:FORMΔFEED
[33] →DEBUT SI QUESTIONΔC'VOULEZ-VOUS EVALUER UNE AUTRE STRATE ? '
[34] ''
[35] '***** TRAITEMENT TERMINE *****'
[36] FORMΔFEED
▽

```

```

VERSΔMAN;□PW;□IO;HECTARE;PERIODE;PAS;AGE;HAUTEUR;TIGES;
SURFACEΔTERRIERE;TYPE;INTERVALLE;PCC;INDICEΔSITE;GROUPE
[1]  □PW←132
[2]  □IO←1
[3]  FORMΔFEED
[4]  'PREDICTION A LONG TERME DU RENDEMENT'
[5]  'D''UNE ERABLIERE A SUCRE'
[6]  36p'-
[7]  ''
[8]  DEBUT:''
[9]  ''
[10] 'INTRODUCTION.DES.CONDITIONS.INITIALES'
[11] '-----'
[12] ''
[13] HECTARE←QUESTIONΔN'ENTREZ UN NUMERO POUR IDENTIFIER LA STRATE: '
[14] ''
[15] PERIODE←QUESTIONΔN'ENTREZ LA DUREE DE LA PERIODE DE VIEILLISSEME
NT: '
[16] ''
[17] PAS←[QUESTIONΔN'ENTREZ LE NOMBRE D''ANNEES ENTRE LES RAPPORTS D'
'ETAT DU SYSTEME: '
[18] ''
[19] →MANUEL SI~QUESTIONΔC'DESIREZ-VOUS ENTRER UNE TABLE DE PEUPLEME
NT? '
[20] ''
[21] TIGES←0.04×LITDONNEES
[22] SURFACEΔTERRIERE←TIGES[2;]
[23] TIGES←TIGES[1;]
[24] →DH
[25] MANUEL:''
[26] TIGES←0.04×QUESTIONΔN'ENTREZ LE NOMBRE DE TIGES PAR CLASSE PAR H
ECTARE: '
[27] ''

```

```

[28] SURFACEΔTERRIERE←0.04×QUESTIONΔN'ENTREZ LA SURFACE TERRIERE PAR
    CLASSE PAR HECTARE: '
[29] DH:''
[30] →OKHAUTEUR SI~0ερHAUTEUR←QUESTIONΔN'ENTREZ LA HAUTEUR MOYENNE DE
    S DOMINANTS ET CO-DOMINANTS (OU ``RETURN`` SI NON DISPONIBLE): '
[31] HAUTEUR←0
[32] OKHAUTEUR:''
[33] →OKAGE SI~0ερAGE←QUESTIONΔN'ENTREZ L'AGE MOYEN DES DOMINANTS ET
    CO-DOMINANTS (OU ``RETURN`` SI NON DISPONIBLE): '
[34] AGE←0
[35] OKAGE:INDICEΔSITE←(2,AGE IS HAUTEUR)[1+^/0≠AGE,HAUTEUR]
[36] AGE←(AGE,(AGEH HAUTEUR),AGEΔSITE2 DHP(+ / SURFACEΔTERRIERE)DIV+ /
    TIGES)[(0≠AGE,HAUTEUR)\1]
[37] ''
[38] GROUPE←'CP'
[39] →SCP SI~QUESTIONΔC'EST-CE UN HECTARE AVEC COUPE PARTIELLE? '
[40] ''
[41] INTERVALLE←QUESTIONΔN'ENTREZ LE NOMBRE D'ANNEES ENTRE LES COUPE
    S: '
[42] ''
[43] PCC←0.01×QUESTIONΔN'ENTREZ LE POURCENTAGE DE COUPE PAR CLASSE: '
[44] FORMAT RESULTAT←(INTERVALLE,PCC)PREDICTIONΔCP TIGES,
    SURFACEΔTERRIERE
[45] →SUITE
[46] SCP:GROUPE←'SCP'
[47] FORMAT RESULTAT←PREDICTIONΔSCP TIGES,SURFACEΔTERRIERE
[48] SUITE:FORMΔFEED
[49] →DEBUT SI QUESTIONΔC'VOULEZ-VOUS EVALUER UNE AUTRE STRATE ? '
[50] ''
[51] '***** TRAITEMENT TERMINE *****'
[52] FORMΔFEED
    ▽

```

```

      ▽R←PREDICTIONΔSCP X;Y;I;ITERATION;NOMBREΔITERATIONS
[1]  R←X+1 48ρ48↑-21↑X
[2]  ITERATION←0
[3]  NOMBREΔITERATIONS←[PERIODE÷PAS
[4]  BOUCLEΔJEUNES:→FINΔBOUCLE SI NOMBREΔITERATIONS<ITERATION←
      ITERATION+1
[5]  I←0
[6]  BJ:→FINΔBJ SI PAS<I+I+1
[7]  →MURE SI 0.0429≤(+/X[I;19 20 21])DIV+/X[I;16 17 18]
[8]  Y←EQUATIONSΔJSCP X[I;121]
[9]  X←X,[1](X[I;142]+Y,Y),0 0 0 0 0 0
[10] →BJ
[11] FINΔBJ:R←R,[1]X[I;]
[12] X←1 48↑-1 21↑X
[13] →BOUCLEΔJEUNES
[14] BOUCLEΔMURES:→FINΔBOUCLE SI NOMBREΔITERATIONS<ITERATION←
      ITERATION+1
[15] I←0
[16] BM:→FINΔBM SI PAS<I+I+1
[17] MURE:Y←EQUATIONSΔMSCP X[I;121]
[18] X←X,[1](X[I;142]+Y,Y),0 0 0 0 0 0
[19] →BM
[20] FINΔBM:R←R,[1]X[I;]
[21] X←1 48↑-1 21↑X
[22] →BOUCLEΔMURES
[23] FINΔBOUCLE:R←HECTARE,R
      ▽

```

```

      VR←IC PREDICTIONΔCP X;Y;I;C;ITERATION;NOMBREΔITERATIONS
[1]  R←X+1 48p48↑-21X
[2]  ITERATION←0
[3]  C←0
[4]  NOMBREΔITERATIONS←[PERIODE÷PAS
[5]  BOUCLEΔJEUNES:→FINΔBOUCLE SI NOMBREΔITERATIONS<ITERATION←
      ITERATION+1
[6]  I←0
[7]  BJ:→FINΔBJ SI PAS<I+I+1
[8]  →MURE SI 0.0418≤(+/X[I;19 20 21])DIV+/X[I;16 17 18]
[9]  Y←EQUATIONSΔJCP X[I;21]
[10] X←X,[1](X[I;42]+Y,Y),0 0 0 0 0 0
[11] →BJ SI IC[1]>C+C+1
[12] X[I+1;43 44 45]+X[I+1;16 17 18]×IC[2 3 4]
[13] X[I+1;16 17 18]+X[I+1;16 17 18]-X[I+1;16 17 18]×IC[2 3 4]
[14] X[I+1;46 47 48]+X[I+1;19 20 21]×IC[2 3 4]
[15] X[I+1;19 20 21]+X[I+1;19 20 21]-X[I+1;19 20 21]×IC[2 3 4]
[16] C←0
[17] →BJ
[18] FINΔBJ:R←R,[1]X[I;]
[19] X←X[1pI;21],1 27p0
[20] →BOUCLEΔJEUNES
[21] BOUCLEΔMURES:→FINΔBOUCLE SI NOMBREΔITERATIONS<ITERATION←
      ITERATION+1
[22] I←0
[23] BM:→FINΔBM SI PAS<I+I+1
[24] MURE:Y←EQUATIONSΔMCP R[ITERATION;21]
[25] X←X,[1](X[I;42]+Y,Y),0 0 0 0 0 0
[26] →BM SI IC[1]>C+C+1
[27] X[I+1;43 44 45]+X[I+1;16 17 18]×IC[2 3 4]
[28] X[I+1;16 17 18]+X[I+1;16 17 18]-X[I+1;16 17 18]×IC[2 3 4]
[29] X[I+1;46 47 48]+X[I+1;19 20 21]×IC[2 3 4]
[30] X[I+1;19 20 21]+X[I+1;19 20 21]-X[I+1;19 20 21]×IC[2 3 4]
[31] C←0
[32] →BM
[33] FINΔBM:R←R,[1]X[I;]
[34] X←X[1pI;21],1 27p0
[35] →BOUCLEΔMURES
[36] FINΔBOUCLE:R←HECTARE,R
      v

```

```

      ▽R←EQUATIONSΔJSCP Y;T
[1]   R←10
[2]   E1:R←R,0[(0.001668×Y[16]×0.867454)×*(-1.447793×Y[20])+(-1.32691×Y
      [21]
[3]   E2:R←R,0[(0.000967×Y[17]×0.979076)×(Y[20]×-0.32805)×*-0.926218×Y
      [21]
[4]   E3:R←R,0[(0.021449×Y[21]×0.662478)×*-6.506348×Y[21]DIV Y[18]
[5]   E4:R←R,0[0.492246×*-1.420295×+/Y[19 20 21]
[6]   E5:R←R,0[Y[16]×-0.05344+(3.597176×Y[19]DIV Y[16])+0.418278×R[1]
      DIV Y[19]
[7]   E6:R←R,0[Y[17]×-0.157549+(3.027837×Y[20]DIV Y[17])+1.352737×R[2]
      DIV Y[20]
[8]   E7:R←R,0.006361725124×R[4]
[9]   E8:R←R,0.031415926×R[5]
[10]  E9:R←R,0.070685834×R[6]
[11]  E10:R←R,0[Y[16]×0.039262+(0.033197×Y[20])+(0.023999×Y[21])+
      -2.664238×Y[19]DIV Y[16]
[12]  E11:R←R,0[Y[17]×-0.002655+(0.010647×Y[20])+0.007291×+/Y[20 21]
[13]  E12:R←R,0[-0.020767+(0.002378×Y[18])+0.041298×+/Y[19 20 21]
[14]  E13:R←R,0[(Y[16]≠0)×R[10]×1÷171.229456+-5908.119707×Y[19]DIV Y[
      16]
[15]  E14:R←R,0[R[11]×0.235228+(-9.779087×Y[20]DIV Y[17])+119.697887×(
      Y[20]DIV Y[17])×2
[16]  E15:R←R,0[R[12]×0.484866+(-8.387431×Y[21]DIV Y[18])+43.255267×(Y
      [21]DIV Y[18])×2
[17]  E16:R←R,(R[4]-R[10])-R[5]
[18]  E17:R←R,(R[5]-R[11])-R[6]
[19]  E18:R←R,R[6]-R[12]
[20]  E19:R←R,(R[1]+R[7]-R[13])-R[8]
[21]  E20:R←R,(R[2]+R[8]-R[14])-R[9]
[22]  E21:R←R,R[3]+R[9]-R[15]
      ▽

```

```

      VR←EQUATIONSΔMSCP Y;T
[1]  R←10
[2]  E1:R←R,0[(0.001668×Y[16]×0.867454)×*(-1.447793×Y[20])+-1.32691×Y
      [21]
[3]  E2:R←R,0[(0.000967×Y[17]×0.979076)×(Y[20]×-0.32805)×*-0.926218×Y
      [21]
[4]  E3:R←R,0[(0.021449×Y[21]×0.662478)×*-6.506348×Y[21]DIV Y[18]
[5]  E4:R←R,0[0.492246×*-1.420295×+/Y[19 20 21]
[6]  E5:R←R,0[Y[16]×-0.05344+(3.597176×Y[19]DIV Y[16])+0.418278×R[1]
      DIV Y[19]
[7]  E6:R←R,0[Y[17]×-0.157549+(3.027837×Y[20]DIV Y[17])+1.352737×R[2]
      DIV Y[20]
[8]  E7:R←R,0.006361725124×R[4]
[9]  E8:R←R,0.031415926×R[5]
[10] E9:R←R,0.070685834×R[6]
[11] E10:R←R,0[Y[16]×0.039262+(0.033197×Y[20])+(0.023999×Y[21])+
      -2.664238×Y[19]DIV Y[16]
[12] E11:R←R,0[Y[17]×-0.002655+(0.010647×Y[20])+0.007291×+/Y[20 21]
[13] E12:R←R,0[(Y[18]≠0)×-0.020767+(0.002378×Y[18])+0.041298×+/Y[19
      20 21]
[14] E13:R←R,0[(Y[16]≠0)×R[10]×1÷171.229456+-5908.119707×Y[19]DIV Y[
      16]
[15] E14:R←R,0[R[11]×0.235228+(-9.779087×Y[20]DIV Y[17])+119.697887×(
      Y[20]DIV Y[17])×2
[16] E15:R←R,0[R[12]×0.484866+(-8.387431×Y[21]DIV Y[18])+43.255267×(Y
      [21]DIV Y[18])×2
[17] E16:R←R,(R[4]-R[10])-R[5]
[18] E17:R←R,(R[5]-R[11])-R[6]
[19] E18:R←R,R[6]-R[12]
[20] E19:R←R,(R[1]+R[7]-R[13])-R[8]
[21] E20:R←R,(R[2]+R[8]-R[14])-R[9]
[22] E21:R←R,R[3]+R[9]-R[15]
      ▽

```

```

       $\nabla R \leftarrow EQUATIONS \Delta JCP \ Y$ 
[1]  R ← 0
[2]  E1: R ← R, 0[(0.016942 × Y[16] + 0.386827) × (Y[19] × 0.497043) × (Y[20] ×
      -3.252105) + Y[21] × -1.431915
[3]  E2: R ← R, 0[(0.002516 × Y[17] + 0.72538) × (Y[20] × 0.012929) × -1.243157 × Y[
      21]
[4]  E3: R ← R, 0[(0.012959 × Y[21] + 0.860766) × -0.691005 × Y[21] DIV Y[18]
[5]  E4: R ← R, 0[0.855626 × -2.554042 × + / Y[19 20 21]
[6]  E5: R ← R, 0[Y[16] × -0.051526 + (3.448515 × Y[19] DIV Y[16]) + 0.368996 × R[1]
      DIV Y[19]
[7]  E6: R ← R, 0[Y[17] × -0.153089 + (3.336615 × Y[20] DIV Y[17]) + 0.640498 × R[2]
      DIV Y[20]
[8]  E7: R ← R, 0.006361725124 × R[4]
[9]  E8: R ← R, 0.031415926 × R[5]
[10] E9: R ← R, 0.070685834 × R[6]
[11] E10: R ← R, 0[(0.000252 × Y[16] × 1.773426) × (-1.375879 × Y[19]) + (2.28663 ×
      Y[20]) + 3.939182 × Y[21]
[12] E11: R ← R, 0[Y[17] × 1.0349E-5 + 0.0104452 × + / Y[20 21]
[13] E12: R ← R, 0[Y[18] × -0.002911 + (0.063892 × (+ / Y[19 20 21]) DIV + / Y[16 17
      18]) + 0.038269 × Y[21] DIV Y[18]
[14] E13: R ← R, 0[R[10] × 1 ÷ 171.229456 + -5908.119707 × Y[19] DIV Y[16]
[15] E14: R ← R, 0[R[11] × -0.049752 + 2.023172 × Y[20] DIV Y[17]
[16] E15: R ← R, 0[R[12] × 0.484866 + (-8.387431 × Y[21] DIV Y[18]) + 43.255267 × (Y
      [21] DIV Y[18]) × 2
[17] E16: R ← R, (R[4] - R[10]) - R[5]
[18] E17: R ← R, (R[5] - R[11]) - R[6]
[19] E18: R ← R, R[6] - R[12]
[20] E19: R ← R, (R[1] + R[7] - R[13]) - R[8]
[21] E20: R ← R, (R[2] + R[8] - R[14]) - R[9]
[22] E21: R ← R, R[3] + R[9] - R[15]
       $\nabla$ 

```

```

      VR←EQUATIONSΔMCP Y
[1]  R←10
[2]  E1:R←R,0[(0.016942×Y[16]×0.386827)×(Y[19]×0.497043)×*(-3.252105×
      Y[20])+-1.431915×Y[21]]
[3]  E2:R←R,0[(0.002516×Y[17]×0.72538)×(Y[20]×0.012929)×*-1.243157×Y[
      21]]
[4]  E3:R←R,0[(0.012959×Y[21]×0.860766)×*-0.691005×Y[21]DIV Y[18]]
[5]  E4:R←R,0[0.855626×*-2.554042×+/Y[19 20 21]]
[6]  E5:R←R,0[Y[16]×-0.051526+(3.448515×Y[19]DIV Y[16])+0.368996×R[1]
      DIV Y[19]]
[7]  E6:R←R,0[Y[17]×-0.153089+(3.336615×Y[20]DIV Y[17])+0.640498×R[2]
      DIV Y[20]]
[8]  E7:R←R,0.006361725124×R[4]
[9]  E8:R←R,0.031415926×R[5]
[10] E9:R←R,0.070685834×R[6]
[11] E10:R←R,0[(0.000252×Y[16]×1.773426)×*(-1.375879×Y[19])+(2.28663×
      Y[20])+3.939182×Y[21]]
[12] E11:R←R,0[Y[17]×1.0349E-5+0.0104452×+/Y[20 21]]
[13] E12:R←R,0[Y[18]×-0.002911+(0.063892×(+/Y[19 20 21])DIV+/Y[16 17
      18])+0.038269×Y[21]DIV Y[18]]
[14] E13:R←R,0[R[10]×1÷171.229456+-5908.119707×Y[19]DIV Y[16]]
[15] E14:R←R,0[R[11]×-0.049752+2.023172×Y[20]DIV Y[17]]
[16] E15:R←R,0[R[12]×0.484866+(-8.387431×Y[21]DIV Y[18])+43.255267×(Y
      [21]DIV Y[18])×2]
[17] E16:R←R,(R[4]-R[10])-R[5]
[18] E17:R←R,(R[5]-R[11])-R[6]
[19] E18:R←R,R[6]-R[12]
[20] E19:R←R,(R[1]+R[7]-R[13])-R[8]
[21] E20:R←R,(R[2]+R[8]-R[14])-R[9]
[22] E21:R←R,R[3]+R[9]-R[15]
      ▽

```

```

      ▽FORMAT RESULTAT;□PW;AGES;A
[1]  □PW+132
[2]  →PASOK SI 0≠□NC'PAS'
[3]  ''
[4]  PAS←QUESTIONΔN'ENTREZ LE PAS D'ITERATION: '
[5]  PASOK:→AGEOK SI 0≠□NC'AGE'
[6]  ''
[7]  AGE←QUESTIONΔN'ENTREZ L'AGE MOYEN DES DOMINANTS ET CO-DOMINANTS
      :
[8]  AGEOK:→ISOK SI 0≠□NC'INDICEΔSITE'
[9]  ''
[10]  INDICEΔSITE←QUESTIONΔN'ENTREZ L'INDICE DE SITE: '
[11]  ISOK:FORMΔFEED
[12]  A←PAS×-1+1↑ρRESULTAT
[13]  AGES←A+5×[0.5+AGE÷5
[14]  'PREDICTION A LONG TERME, POUR LA STRATE NO. ',(ϕHECTARE),', GRO
      UPE ',(GROUPE),': DATE ',DATE
[15]  79ρ'-
[16]  FORMATΔRENDEMENT
[17]  FORMΔFEED
[18]  →SUITE SI~QUESTIONΔC'DESIREZ-VOUS LE DETAIL DE LA PREDICTION ? '
[19]  FORMATΔPREDICTION
[20]  →SUITE SI'S'εGROUPE
[21]  FORMATΔCOUPE
[22]  SUITE:FORMΔFEED
[23]  →FIN SI~QUESTIONΔC'DESIREZ-VOUS LES GRAPHIQUES DES TIGES, DE LA
      SURFACE TERRIERE ET DU VOLUME EN FONCTION DE L'AGE ? '
[24]  FORMATΔGRAPHIQUE
[25]  FIN:
      ▽

```

```

      ▽FORMATΔRENDEMENT;V;F;NTT;STMA;STT;STM;VT;VTSCP;AGES;HAUTEURS
[1]  F←'I5,2F10.1,I9,1F10.1,1F11.1,I10,1F11.1,1F9.1,I8'
[2]  NTT←+/RESULTAT[;17 18 19]
[3]  STMA←+/RESULTAT[;20 21 22]
[4]  STT←STΔTOTALE STMA
[5]  VT←+/VOLUME RESULTAT[;20 21 22]
[6]  VTSCP←+/VOLUME RESULTAT[;20 21 22]+RESULTAT[;47 48 49]
[7]  STM←STMA DIV NTT
[8]  AGES←(5×[0.5+AGE÷5)+PAS×-1+1↑ρRESULTAT
[9]  HAUTEURS←+'HAUTEURΔSITE',(ϕINDICEΔSITE), ' AGES'
[10]  FORMΔFEED
[11]  ENTETEΔRENDEMENT
[12]  ' ',[1]' ',[1]F □FMT AGES,HAUTEURS,(DHP-STM),(25×NTT,STMA,STT,
      VT,((0,1↓VTSCP-0,-1↓VT)÷PAS),[1.5]VTSCP÷AGES),AGES
[13]  ''
[14]  95ρ'-
[15]  ' ',[1](' CLASSE DE SITE = ',ϕINDICEΔSITE)
[16]  95ρ'-
      ▽

```

```

▽FORMAT△PREDICTION;F;V;M1;M2;M3;T
[1] F←'I3,I4,2I5,I6,F7.1,2F8.1,F6.1,F10.1,F7.1,F10.3,F8.3,F10.3,F8.3
,F10.3,F8.3,F8.2'
[2] V←VOLUME RESULTAT[;20 21 22]
[3] FORM△FEED
[4] ENTETE△PREDICTION
[5] ' ',[1]' ',[1]F □FMT RESULTAT[1;1],1,A,AGES,(M1+25×RESULTAT[;
17 20],V[;1],RESULTAT[;11 32 5 26 14 35 8 29 2 23]),DHP
RESULTAT[;20]DIV RESULTAT[;17]
[6] ''
[7] 131p'-'
[8] ' ',[1](' CLASSE DE SITE = ',▽INDICE△SITE)
[9] 131p'-'
[10] FORM△FEED
[11] ENTETE△PREDICTION
[12] ' ',[1]' ',[1]F □FMT RESULTAT[1;1],2,A,AGES,(M2+25×RESULTAT[;
18 21],V[;2],RESULTAT[;12 33 6 27 15 36 9 30 3 24]),DHP
RESULTAT[;21]DIV RESULTAT[;18]
[13] ''
[14] 131p'-'
[15] ' ',[1](' CLASSE DE SITE = ',▽INDICE△SITE)
[16] 131p'-'
[17] FORM△FEED
[18] ENTETE△PREDICTION
[19] ' ',[1]' ',[1]F □FMT RESULTAT[1;1],3,A,AGES,(M3+25×RESULTAT[;
19 22],V[;3],RESULTAT[;13 34 7 28 16 37 10 31 4 25]),DHP
RESULTAT[;22]DIV RESULTAT[;19]
[20] ''
[21] 131p'-'
[22] ' ',[1](' CLASSE DE SITE = ',▽INDICE△SITE)
[23] 131p'-'
[24] FORM△FEED
[25] (ENTETE△PREDICTION,[1]' '),[1]' '
[26] T←RESULTAT[1;1],4,A,AGES,(M1+M2+M3),DHP(+/RESULTAT[;20 21 22])
DIV+/RESULTAT[;17 18 19]
[27] T[;10 11]←M1[;6 7]
[28] T[;14 15]←M1[;10 11]
[29] T←F □FMT T
[30] T[;7]←'+ '
[31] T
[32] ''
[33] 131p'-'
[34] ' ',[1](' CLASSE DE SITE = ',▽INDICE△SITE)
[35] 131p'-'
▽

```

```

▽FORMAT△COUPE
[1] FORM△FEED
[2] ENTETE△COUPE
[3] ' ',[1]' ',[1]' I4,I6,I7,2I10,F13.3,5F12.3'□FMT A,AGES,25×
RESULTAT[;44 45 46 47 48 49],VOLUME RESULTAT[;47 48 49]
[4] ''
[5] 112p'-'
[6] 'TOTAL = ' ,',I7,2I10,F13.3,5F12.3'□FMT 25×(1 6p++RESULTAT[;
44 45 46 47 48 49]),VOLUME 1 3p++RESULTAT[;47 48 49]
[7] 112p'-'
▽

```

```

▽FORMAT△GRAPHIQUE;A
[1] A←AGE+PAS×-1+-1↑ρRESULTAT
[2] FORM△FEED
[3] ENTETE△GRAPHIQUE1
[4] ''
[5] ''
[6] 50 100 PLOT A,25×RESULTAT[;17 18 19]
[7] FORM△FEED
[8] ENTETE△GRAPHIQUE2
[9] ''
[10] ''
[11] 50 100 PLOT A,25×RESULTAT[;20 21 22]
[12] FORM△FEED
[13] ENTETE△GRAPHIQUE3
[14] ''
[15] ''
[16] 50 100 PLOT A,25×VOLUME RESULTAT[;20 21 22]
▽

```

```

▽R←AGE△SITE1 DHP
[1] R←2.979885×((DHP×10)*0.356991)×1.004432*DHP×10
▽

```

```

▽R←AGE△SITE2 DHP
[1] R←1263.070768×((DHP×10)*-0.980048)×1.01072*DHP×10
▽

```

```

▽R←AGE△SITE3 DHP
[1] R←40781.488838×((DHP×10)*-1.735557)×1.014296*DHP×10
▽

```

```

▽R←AGE△STM
[1] R←2954.300581×(STM*1.086955)×0.001814*STM
▽

```

```

▽R←AGEH HAUTEUR
[1] R←77.578264×(HAUTEUR*-1.121817)×1.184598*HAUTEUR
▽

```

▽R+HAUTEURΔSITE1 AGE
 [1] R+0.465338×(AGE*1.039683)×0.992267*AGE
 ▽

▽R+HAUTEURΔSITE2 AGE
 [1] R+0.547277×(AGE*0.924954)×0.994243*AGE
 ▽

▽R+HAUTEURΔSITE3 AGE
 [1] R+0.526284×(AGE*0.86661)×0.994976*AGE
 ▽

▽R+HAUTEURΔ DHP
 [1] R+7.05224+(0.060165×DHP)+⁻5.32E⁻5×DHP*2
 ▽

▽R+VOLUME ST;G
 [1] G+1+'S'EGROUPE
 [2] R+4.328585 4.723707[G]×ST[;1p1]*0.975671 1.005386[G]
 [3] R+R,6.614167 7.20348[G]×ST[;1p2]*0.952293 1.003336[G]
 [4] R+R,9.521946 9.625712[G]×ST[;1p3]*1.050481 1.05933[G]
 ▽

▽R+CUBAGE DHP
 [1] R+0.001×7.5092+(⁻2.379309×HAUTEURΔ DHP)+0.000336075×(DHP*2)×
 HAUTEURΔ DHP
 ▽

▽R+VOLUMEΔARBRE
 [1] R+RESULTAT[;17 18 19]×CUBAGE DHP RESULTAT[;20 21 22]DIV
 RESULTAT[;17 18 19]
 ▽

▽R+AGE IS HAUTEUR
 [1] R+1+/(0.3048×0.1984×((HAUTEUR×3.28084)*1.2089)×(1-⁻0.011×AGE)
 ⁻2.4917×(HAUTEUR×3.28084)⁻0.2542)°.<13.5587 17.0128
 ▽

[1] $\nabla R \leftarrow DHP \ A$
 $R \leftarrow 200 \times (A \div 0.1) \times 0.5$
 ∇

[1] $\nabla R \leftarrow G \ M$
 $R \leftarrow (0 \ (M \div 100) \times 2) \div 4$
 ∇

[1] $\nabla R \leftarrow ST \triangle TOTALE \ ST$
 $R \leftarrow 0.061158 + (1.00732 \times ST) + 0.016391 \times ST \times 2$
 ∇

[1] $\nabla Z \leftarrow DATE$
 $Z \leftarrow 1 \downarrow, 'ZI2, ' / ' ' \square FMT \ \square TS[3 \ 2], \square TS[1] - 1900$
 ∇

[1] $\nabla R \leftarrow A \ DIV \ B$
 $R \leftarrow (A \neq 0) \times A \div B$
 ∇

[1] $\nabla R \leftarrow GROUPE \triangle C \ HECTARE$
 $R \leftarrow ('JM' [1 + 0.0418 \ 0.0429 [1 + HECTARE \in JSCP, MSCP] \leq (+ / DONNEES [HECTARE$
 $; 5 \ 6 \ 7]) \div + / DONNEES [HECTARE; 2 \ 3 \ 4]]) . ((HECTARE \in JSCP, MSCP) \uparrow 'S')$
 $, 'CP'$
 ∇

```

      ▽R←LITDONNEES;T
[1]  R
[2]  R FONCTION POUR LIRE AU TERMINAL LA TABLE DE PEUPLEMENT EN ERABLE
      S A
[3]  R SUCRE ET POUR CONVERTIR CES DONNEES EN MATRICE DE 6 ELEMENTS:
[4]  R
[5]  R R[1;1]: NOMBRE DE TIGES DE CLASSE 1 DE D.H.P.
[6]  R R[2;1]: SURFACE TERRIERE DES TIGES DE CLASSE 1 DE D.H.P.
[7]  R R[1;2]: NOMBRE DE TIGES DE CLASSE 2 DE D.H.P.
[8]  R R[2;2]: SURFACE TERRIERE DES TIGES DE CLASSE 2 DE D.H.P.
[9]  R R[1;3]: NOMBRE DE TIGES DE CLASSE 3 DE D.H.P.
[10] R R[2;3]: SURFACE TERRIERE DES TIGES DE CLASSE 3 DE D.H.P.
[11] R
[12] R LE VECTEUR ENTRE EN REponse A LA QUESTION DOIT ETRE LE NOMBRE D
      E TIGES
[13] R PAR CLASSE DE D.H.P. LA PREMIERE COMMENCANT A 10 CM ET LES SUIV
      ANTES A
[14] R TOUS LES DEUX CM JUSQU'A LA OU LES TIGES LES PLUS GROSSES.
[15] R
[16] R R←++x\ (1 1 1 1 1 0.5×6↑T+,QUESTIONΔN'ENTREZ LE NOMBRE DE TIGES P
      AR CLASSE DE D.H.P. A PARTIR DE LA CLASSE DE 10 CM: '),[1.5]G
      10 12 14 16 18 20
[17] R R←R,[1.5]++x\ (0.5 1 1 1 1 0.5×6↑5↓T),[1.5]G 20 22 24 26 28 30
[18] R R←R,++x\ ((0.5,(0[11+ρT)ρ1)×10↓T),[1.5]G 14↓2×14+ρT
      ▽

```

```

      ▽R←A SI B
[1]  R←B/A
      ▽

```

```

      ▽R←QUESTIONΔN PROMPT
[1]  R←+(ρPROMPT)↓□,0ρ□←PROMPT
      ▽

```

```

      ▽R←QUESTIONΔC PROMPT
[1]  →GO
[2]  PASBON:'REPONDEZ OUI OU NON'
[3]  GO:R←(ρPROMPT)↓□,0ρ□←PROMPT
[4]  →PASBON SI~(1↑R)ε'ONOT'
[5]  R←(1↑R)ε'Oo'
      ▽

```

```

      VR←A PLOT B;C;D;F;G;H;I;J;L;S;T;Y;HZ;NB;VT;PT;ISV;U;HS;PC;
      SM;ST
[1]  RFN: ZR ΔZR ; 82-09-21
[2]  R←(0, [PW-1])ρ'
[3]  SM←5×2↑ST+1 2 5 Δ [IO←1+HS+0 Δ PC←'o*o∇Δ']
[4]  →((0=x/(2oA), ρB), 3 2 1<oB)/0, LG, LA, LB
[5]  →LB, ρB+Φ(2, D)ρ(1D←ρ, B), B
[6]  LA: B←B[1;;]
[7]  LB: Y←1+1(ρB)[2]-1
[8]  C←(([/[/B[;Y]]-[/[/B[;Y]]), ([/B[;1]]-[/B[;1]]
[9]  F←1(2ρA)÷C+(C=0)×B[1;2 1]+B[1;2 1]=0
[10] F←(ST[+/(10.0001+F×10*-G)°..ST])×10*G+110F
[11] G←(SM÷F)×1(([/[/B[;Y]]), [/B[;1]])×F÷SM+16[SM[1 4
[12] B[;1]←[0.5+F[2]×B[;1]-G[2]
[13] B[;Y]←[0.5+F[1]×B[;Y]-G[1]
[14] H←SM×(([/[/B[;Y]]), [/B[;1]]÷SM
[15] NB←G[1]+(SM[1]÷F[1])×0, 1H[1]÷SM[1]
[16] S←6ρ~ISV+1≠U+9 Δ HZ+G[2]+(SM[2]÷F[2])×0, 1H[2]÷SM[2]
[17] LC: VT←v/0>NB+NB×10*U-S[6-ISV]←I+1+[110°|(NB≠0)/NB
[18] PT←[1+10|PT-1|PT+1E-5+(|NB)°..÷10*-1+φ1U
[19] L←U+1-(φ((C+ρNB)ρ1)∧.=PT)10
[20] →((U>T+VT+[1/I, (L+L≠I), (I≤0)×2+L-I), S[2-ISV]←S[2-ISV]∨L≥U-VT+L>I
    )/3 2+LC[IO]
[21] →(1+LC[IO]), ρS[4-ISV]←I+1
[22] →LC, ρNB←SM[1+~ISV]×1+1C
[23] PT←(-VT+0|1-I)φPT
[24] PT←(, PT)×J←, φ(φρPT)ρ(, φ(1≠PT)∨.∧(1U)°..≤1VT[I-1], (C×U+1-I+VT+I[I
    ≤0)ρ1
[25] →(1VT)/2+LC[IO]
[26] PT[(U-+/(C, U)ρJ)+U×1+1C]+11×NB<0
[27] PT←(1U+J)ε(I+J), 11+J+U-T)\(1 0+C, U)ρPT, Uρ0
[28] →(1ISV)/LF Δ PT←' 0123456789' [1+PT[;1U-1]]Δ PT[1C;I+J]+12
[29] L←1, H[2]ρ0×C+H[1]
[30] LD: L←(L×HS×C≠0)[1, H[2]ρ0
[31] →(C≠0)/LE Δ L[1+(D≠0)/B[;1]]+(D≠0)/D+(C=B[;Y])[.×Y
[32] L←L[0=(SM[2]÷2)10, 1H[2]
[33] LE: R←R, [1]([PW-1])↑PT((ρPT)[1], 1+C÷SM[1])[1+0=SM[1]1C];], (' 1', (
    ρY)ρPC)[1+L]
[34] →(0≤C+C-1)/LD
[35] →(U=U+SM[2]-~ISV+~ρρNB+, HZ)/LC
[36] LF: R←R, [1]([PW-1])↑(SM[2]-9)φ(, (0 0, (U-1)ρ1)\PT), '
[37] →(S[1 3 2 4], 1)/1 3 5 7 10+LC[IO]
[38] ' MULTIPLIER L'ORDONNEE PAR ', 0ρ÷F[1], 0ρ' ET ADDITIONNER ', 0ρG
    [1]
[39] →(0=S[3])/2+LC[IO]
[40] ' MULTIPLIER L'ORDONNEE PAR ', 0ρ10*S[5]-1
[41] →(0=S[2])/2+LC[IO]
[42] ' MULTIPLIER L'ABSCISSE PAR ', 0ρ÷F[2], 0ρ' ET ADDITIONNER ', 0ρG
    [2]
[43] →(0=S[4])/0
[44] →0 Δ←' MULTIPLIER L'ABSCISSE PAR ', 0ρ10*S[6]-1
[45] LG: ' L'ARGUMENT DE DROITE DE PLOT DOIT ETRE DE RANG ≤3.'
      ∇

```

[1] $\nabla R \leftarrow A \quad \Delta \quad B$
 $R \leftarrow A$
 ∇

ANNEXE B

EXEMPLE D'UTILISATION DU MODÈLE *ERS*

PREDICTION A LONG TERME DU RENDEMENT
D'UNE ERABLIERE A SUCRE

INTRODUCTION DES CONDITIONS INITIALES

ENTREZ UN NUMERO POUR IDENTIFIER LA STRATE: 555
ENTREZ LA DUREE DE LA PERIODE DE VIEILLISSEMENT: 120
ENTREZ LE NOMBRE D'ANNEES ENTRE LES RAPPORTS D'ETAT DU SYSTEME: 5
DESIREZ-VOUS ENTRER UNE TABLE DE PEUPELEMENT? NON
ENTREZ LE NOMBRE DE TIGES PAR CLASSE PAR HECTARE: 850 0 0
ENTREZ LA SURFACE TERRIERE PAR CLASSE PAR HECTARE: 10.2 0 0
ENTREZ LA HAUTEUR MOYENNE DES DOMINANTS ET CO-DOMINANTS (OU "RETURN" SI NON DISPONIBLE): 10.9
ENTREZ L'AGE MOYEN DES DOMINANTS ET CO-DOMINANTS (OU "RETURN" SI NON DISPONIBLE): 25
EST-CE UN HECTARE AVEC COUPE PARTIELLE? OUI
ENTREZ LE NOMBRE D'ANNEES ENTRE LES COUPES: 5
ENTREZ LE POURCENTAGE DE COUPE PAR CLASSE: 5 5 5

PREDICTION A LONG TERME, POUR LA STRATE NO. 555, GROUPE CP : DATE 12/12/86

TABLE DE PRODUCTION POUR L'ERABLE A SUCRE, CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

AGE	HAUTEUR		DHP	N.T.M.	S.T.M.	S.T.T.	VOLUME		ACCR. ANNUEL COURANT MOYEN		AGE
	M	CM		M*2	M*2	M*2	M*3	M*3	M*3	M*3	
25	10.9	12.4	850	10.2	11.7	45	0.0	1.8	25		
30	12.7	14.9	827	14.4	15.9	74	6.4	2.6	30		
35	14.3	16.6	795	17.3	18.7	93	4.9	2.8	35		
40	15.8	18.0	758	19.2	20.6	109	4.2	2.9	40		
45	17.2	19.1	718	20.5	21.9	122	3.8	2.8	45		
50	18.4	20.1	675	21.4	22.8	133	3.7	2.8	50		
55	19.6	21.1	632	22.0	23.4	143	3.5	2.7	55		
60	20.6	22.0	590	22.4	23.7	152	3.4	2.7	60		
65	21.6	22.9	548	22.5	23.9	160	3.2	2.6	65		
70	22.4	23.7	511	22.6	24.0	167	3.1	2.5	70		
75	23.1	24.6	476	22.6	24.0	172	3.0	2.4	75		
80	23.8	25.5	444	22.6	24.0	177	2.8	2.3	80		
85	24.4	26.3	414	22.5	23.9	181	2.7	2.2	85		
90	24.9	27.2	388	22.4	23.8	184	2.6	2.2	90		
95	25.3	28.0	364	22.3	23.7	187	2.5	2.1	95		
100	25.7	28.8	342	22.2	23.6	189	2.4	2.0	100		
105	26.0	29.6	322	22.1	23.5	190	2.3	1.9	105		
110	26.3	30.3	304	22.0	23.3	190	2.2	1.8	110		
115	26.5	31.1	287	21.8	23.2	190	2.1	1.7	115		
120	26.6	31.7	273	21.6	22.9	190	1.9	1.7	120		
125	26.7	32.3	259	21.3	22.7	188	1.7	1.6	125		
130	26.7	32.8	247	20.9	22.3	186	1.5	1.5	130		
135	26.8	33.2	237	20.5	21.9	182	1.3	1.4	135		
140	26.7	33.5	228	20.1	21.5	178	1.1	1.3	140		
145	26.7	33.6	220	19.5	21.0	173	0.9	1.3	145		

DESIREZ-VOUS LE DETAIL DE LA PREDICTION ? OUI

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V	N		N		ST		ST		ST		D.H.P.
				TIGES	ST		TIGES	MORTS	CUMUL. PERIOD.	RECRUES	CUMUL. PERIOD.	MORTS	RECRUES	CUMUL. PERIOD.	RECRUES	CUMUL. PERIOD.	
				M-2	M-3						M-2	M-2	M-2	M-2	M-2	M-2	CM
555	1	0	25	850	10.2	45.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.36
555	1	5	30	731	11.0	48.5	9.6	9.6	30.8	0.0	0.104	0.104	0.196	0.196	4.470	4.470	13.83
555	1	10	35	632	10.8	47.7	19.4	9.8	51.8	21.0	0.232	0.232	0.329	0.329	7.261	2.791	14.75
555	1	15	40	544	9.9	44.0	29.8	10.3	68.0	16.2	0.386	0.386	0.433	0.433	9.021	1.760	15.25
555	1	20	45	466	8.8	39.0	40.9	11.2	81.6	13.6	0.567	0.567	0.619	0.619	10.176	1.156	15.49
555	1	25	50	399	7.6	33.9	53.0	12.1	93.6	12.1	0.772	0.772	0.824	0.824	10.986	0.810	15.58
555	1	30	55	340	6.5	29.0	65.9	12.9	104.8	11.1	0.992	0.992	1.044	1.044	11.595	0.609	15.60
555	1	35	60	289	5.5	24.7	79.1	13.3	115.4	10.6	1.219	1.219	1.271	1.271	12.081	0.486	15.56
555	1	40	65	246	4.7	21.0	92.3	13.2	125.7	10.3	1.441	1.441	1.493	1.493	12.488	0.407	15.51
555	1	45	70	210	3.9	17.8	104.3	12.0	136.3	10.7	1.642	1.642	1.694	1.694	12.863	0.375	15.45
555	1	50	75	180	3.3	15.2	115.4	11.2	146.9	10.6	1.836	1.836	1.888	1.888	13.193	0.329	15.37
555	1	55	80	155	2.8	13.0	125.6	10.2	157.5	10.6	1.992	1.992	2.044	2.044	13.486	0.293	15.29
555	1	60	85	135	2.4	11.2	134.8	9.2	168.2	10.6	2.138	2.138	2.190	2.190	13.751	0.266	15.21
555	1	65	90	119	2.1	9.8	142.9	8.1	178.9	10.7	2.266	2.266	2.318	2.318	13.995	0.244	15.12
555	1	70	95	106	1.9	8.6	150.2	7.2	189.7	10.8	2.377	2.377	2.429	2.429	14.221	0.226	15.02
555	1	75	100	96	1.7	7.7	156.6	6.4	200.6	10.9	2.473	2.473	2.525	2.525	14.433	0.212	14.92
555	1	80	105	88	1.5	7.0	162.3	5.8	211.6	11.0	2.558	2.558	2.610	2.610	14.634	0.201	14.81
555	1	85	110	82	1.4	6.5	167.6	5.2	222.8	11.2	2.633	2.633	2.685	2.685	14.826	0.192	14.70
555	1	90	115	78	1.3	6.0	172.3	4.8	234.1	11.3	2.700	2.700	2.752	2.752	15.012	0.186	14.59
555	1	95	120	74	1.2	5.7	176.7	4.4	245.7	11.5	2.761	2.761	2.813	2.813	15.194	0.182	14.49
555	1	100	125	72	1.2	5.5	180.8	4.1	257.5	11.8	2.817	2.817	2.869	2.869	15.374	0.181	14.39
555	1	105	130	71	1.1	5.3	184.7	3.9	269.6	12.2	2.868	2.868	2.920	2.920	15.555	0.181	14.30
555	1	110	135	71	1.1	5.2	188.3	3.6	282.2	12.6	2.916	2.916	2.968	2			

-151-

[illegible]

-152-

EVOLUTION POUR LA CLASSE DE DHP 3. CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

STR.	CL.	ANN.	AGE	N		V		N		N		ST		ST		ST		D.H.P.
				TIGES	M*2	TIGES	M*3	MORTS	CUMUL.PERIOD.	RECUES		MORTS	CUMUL.PERIOD.	RECUES		ACCROISSEMENT		
										CUMUL.	PERIOD.			CUMUL.	PERIOD.		CUMUL.	
																		CM
555	3	0	25	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
555	3	5	30	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	32.00	32.00
555	3	10	35	0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.000	0.000	0.014	0.012	0.001	0.001	30.90	30.90
555	3	15	40	5	0.4	2.9	2.9	0.0	0.0	5.5	0.001	0.001	0.001	0.388	0.373	0.016	30.61	30.61
555	3	20	45	17	1.3	10.5	10.5	0.1	0.1	18.2	0.009	0.008	0.009	1.288	0.901	0.088	30.99	30.99
555	3	25	50	34	2.6	22.1	22.1	0.3	0.2	37.0	0.032	0.032	0.032	2.614	1.325	0.250	31.38	31.38
555	3	30	55	53	4.2	36.5	36.5	0.8	0.5	59.4	0.075	0.043	0.075	4.200	1.586	0.518	31.78	31.78
555	3	35	60	72	5.9	52.1	52.1	1.6	0.8	83.3	0.144	0.069	0.144	5.890	1.691	0.900	32.22	32.22
555	3	40	65	90	7.6	67.8	67.8	2.7	1.1	107.1	0.242	0.098	0.242	7.568	1.678	1.393	32.69	32.69
555	3	45	70	106	9.1	82.6	82.6	4.0	1.3	129.8	0.356	0.114	0.356	9.178	1.610	1.944	33.12	33.12
555	3	50	75	120	10.6	96.6	96.6	5.7	1.7	151.4	0.498	0.142	0.498	10.702	1.524	2.586	33.60	33.60
555	3	55	80	130	11.9	109.4	109.4	7.8	2.1	171.2	0.669	0.171	0.669	12.101	1.399	3.314	34.13	34.13
555	3	60	85	138	13.1	120.7	120.7	10.3	2.5	189.0	0.868	0.199	0.868	13.358	1.257	4.118	34.72	34.72
555	3	65	90	144	14.1	130.6	130.6	13.2	2.9	204.7	1.096	0.237	1.096	14.473	1.115	4.987	35.36	35.36
555	3	70	95	147	15.0	139.0	139.0	16.5	3.3	218.7	1.352	0.256	1.352	15.456	0.983	5.913	36.07	36.07
555	3	75	100	147	15.7	146.0	146.0	20.1	3.6	230.9	1.639	0.287	1.639	16.321	0.865	6.884	36.82	36.82
555	3	80	105	147	16.3	151.8	151.8	24.0	3.9	241.7	1.961	0.322	1.961	17.083	0.762	7.892	37.61	37.61
555	3	85	110	144	16.8	156.3	156.3	28.2	4.2	251.2	2.326	0.365	2.326	17.755	0.672	8.930	38.44	38.44
555	3	90	115	141	17.1	159.6	159.6	32.7	4.4	259.6	2.744	0.418	2.744	18.351	0.596	9.989	39.30	39.30
555	3	95	120	137	17.3	161.7	161.7	37.3	4.6	267.1	3.225	0.461	3.225	18.882	0.531	11.063	40.16	40.16
555	3	100	125	132	17.4	162.6	162.6	42.1	4.8	273.8	3.781	0.556	3.781	19.357	0.475	12.144	41.02	41.02
555	3	105	130	126	17.3	162.1	162.1	46.9	4.9	279.9	4.422	0.641	4.422	19.784	0.428	13.225	41.84	41.84
555	3	110	135	120	17.2	160.4	160.4	51.8	4.9	285.4	5.153	0.731	5.153	20.172	0.388	14.301	42.61	42.61
555	3	115	140	115	16.9	157.6	157.6	56.7	4.9	290.4	5.973	0.820	5.973	20.527	0.355	15.363	43.32	43.32
555	3	120	145	109	16.5	153.7	153.7	61.5	4.8	295.0	6.874	0.901	6.874	20.855	0.327	16.406	43.95	43.95

CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

EVOLUTION POUR L'ENSEMBLE DU PEUPELEMENT, CLASSE DE QUALITE DE STATION 1

STR. CL.	ANN.	AGE	N		V		MORTS		N		RECUES		MORTS		ST		ST		D. H. P.
			TIGES	TIGES	TIGES		CUMUL. PERIOD.		CUMUL. PERIOD.		CUMUL. PERIOD.		CUMUL. PERIOD.		CUMUL. PERIOD.		CUMUL. PERIOD.		
			M*2	M*3															
555	+	0	25	850	10.2	45.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	12.36	
555	+	5	30	827	14.4	73.5	9.8	9.8	30.8	30.8	0.108	0.108	0.196	0.196	0.196	0.196	4.893	14.90	
555	+	10	35	795	17.3	93.4	21.0	11.2	51.8	21.0	0.271	0.271	0.329	0.329	0.329	0.329	8.689	16.63	
555	+	15	40	758	19.2	108.7	34.4	13.4	68.0	16.2	0.530	0.530	0.613	0.613	0.613	0.613	11.791	17.96	
555	+	20	45	718	20.5	121.7	50.6	16.2	81.6	13.6	0.910	0.910	0.380	0.380	0.519	0.519	14.496	19.09	
555	+	25	50	675	21.4	133.2	69.6	18.9	93.6	12.1	1.414	1.414	0.504	0.504	0.596	0.596	16.952	20.11	
555	+	30	55	632	22.0	143.4	90.6	21.0	104.8	11.1	2.023	2.023	0.608	0.608	0.666	0.666	19.223	21.06	
555	+	35	60	590	22.4	152.2	112.9	22.3	115.4	10.6	2.704	2.704	0.681	0.681	0.734	0.734	21.346	21.97	
555	+	40	65	548	22.5	159.8	135.5	22.6	125.7	10.3	3.425	3.425	0.721	0.721	0.799	0.799	23.349	22.86	
555	+	45	70	511	22.6	166.6	156.6	21.2	136.3	10.7	4.126	4.126	0.701	0.701	0.867	0.867	25.276	23.74	
555	+	50	75	476	22.6	172.3	177.3	20.5	146.9	10.6	4.828	4.828	0.703	0.703	0.935	0.935	27.122	24.61	
555	+	55	80	444	22.6	177.1	196.7	19.4	157.5	10.6	5.521	5.521	0.693	0.693	1.002	1.002	28.900	25.47	
555	+	60	85	414	22.5	181.0	214.9	18.2	168.2	10.6	6.195	6.195	0.674	0.674	1.070	1.070	30.623	26.31	
555	+	65	90	388	22.4	184.2	231.9	17.0	178.9	10.7	6.848	6.848	0.653	0.653	1.138	1.138	32.303	27.15	
555	+	70	95	364	22.3	186.7	247.7	15.8	189.7	10.8	7.483	7.483	0.635	0.635	1.207	1.207	33.947	27.98	
555	+	75	100	342	22.2	188.5	262.5	14.8	200.6	10.9	8.106	8.106	0.623	0.623	1.276	1.276	35.563	28.79	
555	+	80	105	322	22.1	189.8	276.4	13.9	211.6	11.0	8.726	8.726	0.620	0.620	1.346	1.346	37.153	29.58	
555	+	85	110	304	22.0	190.4	289.6	13.2	222.8	11.2	9.355	9.355	0.629	0.629	1.417	1.417	38.721	30.34	
555	+	90	115	287	21.8	190.4	302.1	12.5	234.1	11.3	10.007	10.007	0.552	0.552	1.489	1.489	40.269	31.06	
555	+	95	120	273	21.6	189.7	314.1	12.0	245.7	11.5	10.697	10.697	0.690	0.690	1.563	1.563	41.799	31.73	
555	+	100	125	259	21.3	188.1	325.6	11.5	257.5	11.8	11.440	11.440	0.743	0.743	1.638	1.638	43.309	32.33	
555	+	105	130	247	20.9	185.6	336.7	11.1	269.6	12.2	12.248	12.248	0.808	0.808	1.715	1.715	44.801	32.83	
555	+	110	135	237	20.5	182.3	347.3	10.6	282.2	12.6	13.130	13.130	0.882	0.882	1.795	1.795	46.274	33.22	
555	+	115	140	228	20.1	178.2	357.5	9.7	295.3	13.1	14.086	14.086	0.956	0.956	1.879	1.879	47.727	33.48	
555	+	120	145	220	19.5	173.3	367.2	9.2	309.1	13.8	15.111	15.111	1.025	1.025	1.966	1.966	49.160	33.60	

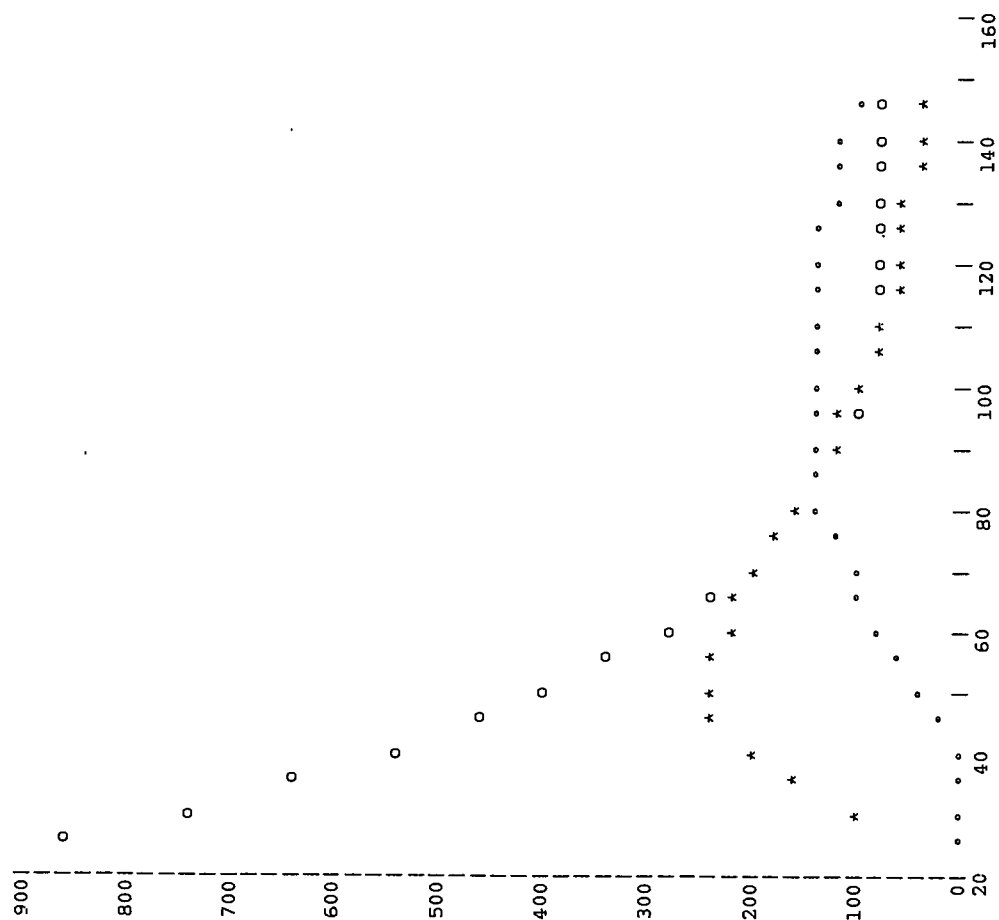
CLASSE 1 = 9 A 20 CM, CLASSE 2 = 20 A 30 CM, CLASSE 3 = 30 CM ET PLUS, CLASSE + = 9 CM ET PLUS

RAPPORT DES COUPES PARTIELLES

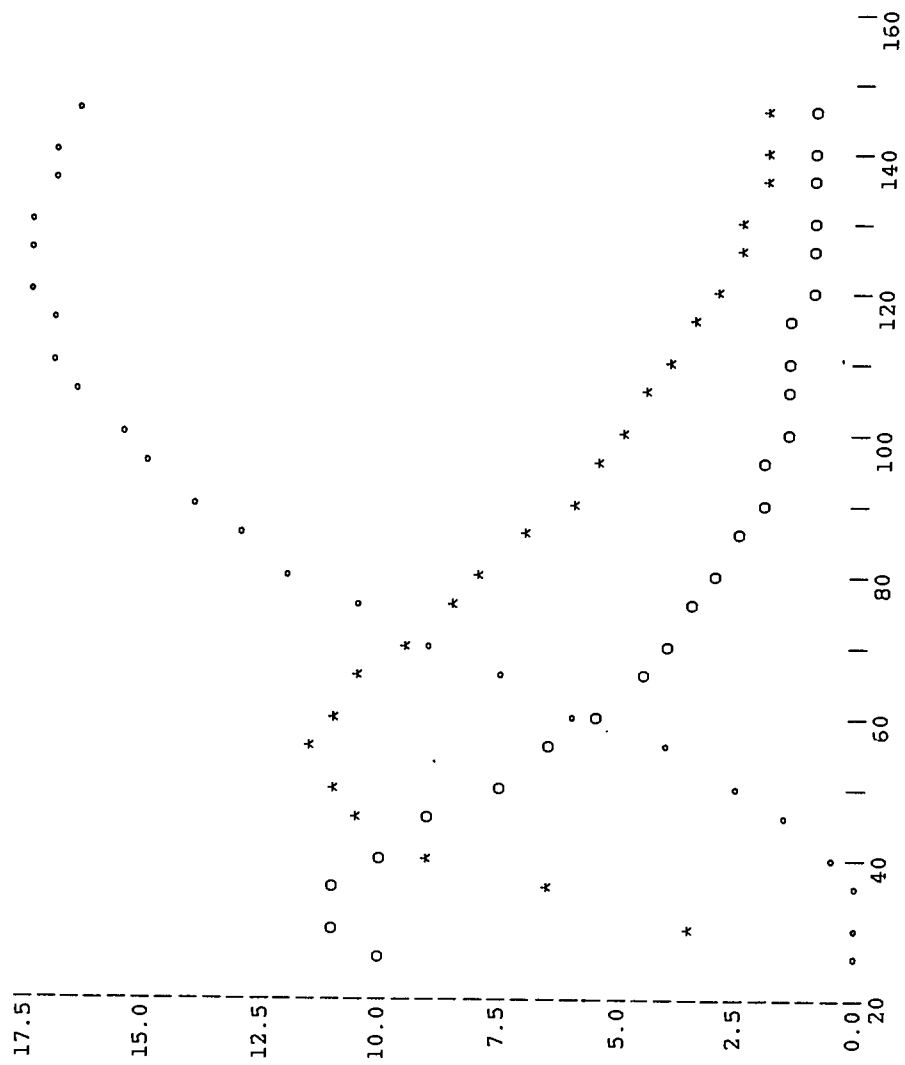
ANNEE	AGE	TIGES COUPES			ST. COUPES			VOLUME COUPE		
		CL. 1	CL. 2	CL. 3	CL. 1 M*2	CL. 2 M*2	CL. 3 M*2	CL. 1 M*3	CL. 2 M*3	CL. 3 M*3
0	25	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	30	38	5	0	0.578	0.181	0.000	2.741	1.516	0.001
10	35	33	9	0	0.568	0.341	0.001	2.695	2.766	0.004
15	40	29	11	0	0.523	0.468	0.020	2.487	3.744	0.133
20	45	25	12	1	0.463	0.551	0.067	2.207	4.373	0.475
25	50	21	13	2	0.400	0.591	0.137	1.916	4.675	1.004
30	55	18	13	3	0.342	0.596	0.221	1.642	4.714	1.656
35	60	15	12	4	0.290	0.577	0.310	1.397	4.566	2.365
40	65	13	11	5	0.245	0.542	0.398	1.187	4.303	3.076
45	70	11	10	6	0.207	0.503	0.481	1.007	4.007	3.748
50	75	9	9	6	0.176	0.458	0.558	0.857	3.667	4.383
55	80	8	8	7	0.150	0.412	0.628	0.734	3.316	4.962
60	85	7	7	7	0.129	0.368	0.689	0.634	2.974	5.476
65	90	6	7	8	0.112	0.326	0.743	0.553	2.656	5.922
70	95	6	6	8	0.099	0.289	0.788	0.489	2.366	6.304
75	100	5	5	8	0.088	0.256	0.826	0.438	2.107	6.624
80	105	5	5	8	0.080	0.227	0.857	0.397	1.877	6.885
85	110	4	4	8	0.073	0.201	0.882	0.366	1.675	7.091
90	115	4	4	7	0.068	0.179	0.899	0.341	1.499	7.242
95	120	4	3	7	0.065	0.160	0.911	0.323	1.346	7.336
100	125	4	3	7	0.062	0.143	0.915	0.310	1.214	7.374
105	130	4	3	7	0.060	0.130	0.913	0.301	1.102	7.354
110	135	4	2	6	0.059	0.118	0.904	0.297	1.008	7.278
115	140	4	2	6	0.059	0.109	0.888	0.295	0.931	7.148
120	145	4	2	6	0.059	0.101	0.868	0.297	0.870	6.971
TOTAL :		280	166	125	4.953	7.828	13.904	22.301	54.723	128.528

DESIREZ-VOUS LES GRAPHIQUES DES TIGES, DE LA SURFACE TERRIERE ET DU VOLUME EN FONCTION DE L'AGE ? OUI

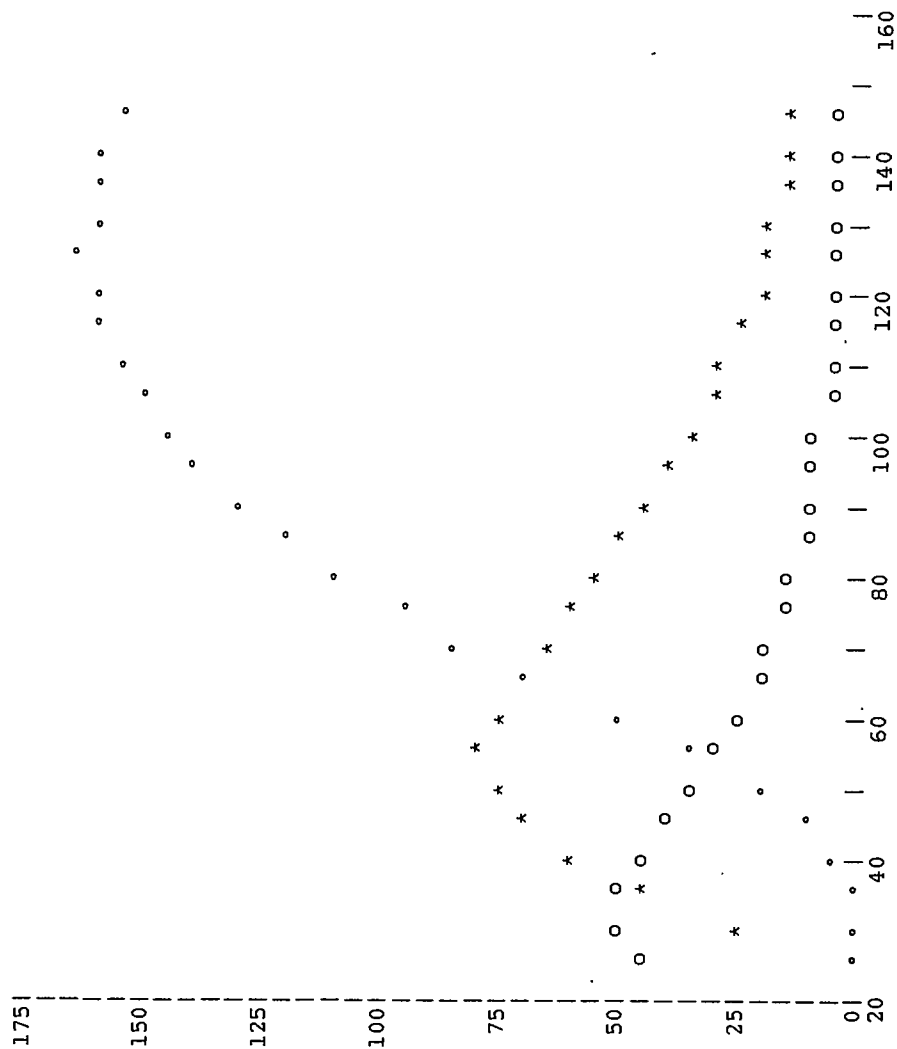
GRAPHIQUE DU NOMBRE DE TIGES EN FONCTION DE L'AGE. CLASSE 1 (o), CLASSE 2 (*), ET CLASSE 3 (•)



GRAPHIQUE DE LA SURFACE TERRIERE EN FONCTION DE L'AGE, CLASSE 1 (o), CLASSE 2.(*) ET CLASSE 3 (°)



GRAPHIQUE DU VOLUME EN FONCTION DE L'AGE, CLASSE 1 (o), CLASSE 2 (*), ET CLASSE 3 (o)



VOULEZ-VOUS EVALUER UNE AUTRE STRATE ? NON

***** TRAITEMENT TERMINE *****

Les aménagistes forestiers doivent pouvoir prédire le rendement et la croissance des divers peuplements. Leur outil de prédiction est la table normale de production. Dans le but de mieux adapter cet outil à la réalité des forêts du Québec, le ministère de l'Énergie et des Ressources, par sa Direction de la recherche et du développement, mène divers travaux portant sur cet aspect de la connaissance de la forêt, à l'aide des méthodes statistiques et des ordinateurs.



Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie
et des Ressources (secteur Forêts)
Direction de la recherche
et du développement

O.D.C. 561+566(047.3)(714)

L.C. SD 387 .M33

MER 5310-91