

Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de *Pinus* dues à deux défoliateurs forestiers

II - Cas du Lophyre du pin dans le Bassin parisien

Nathalie LAURENT-HERVOUËT

INRA, Centre de Recherches d'Orléans
Station de Zoologie forestière, Ardon, F 45160 Olivet

Résumé

L'impact des défoliations dues au Lophyre du pin (*Diprion pini* L.) sur l'accroissement radial des pins sylvestres (*Pinus sylvestris* L.) a été étudié grâce à la dendrochronologie dans les forêts d'Orléans (Massif de Lorris) et de Fontainebleau. Les témoins non attaqués sont constitués par des pins sylvestres d'une zone indemne d'attaques en forêt d'Orléans et par des pins maritimes (*Pinus pinaster* Ait.) en forêt de Fontainebleau. Une étude dendroclimatologique a permis de connaître l'effet des facteurs climatiques sur l'accroissement afin d'évaluer correctement l'impact du Lophyre.

Dans les deux sites étudiés, les arbres défoliés à l'automne de l'année $n-1$ ou au printemps de l'année n répercutent cet événement sur l'accroissement de l'année $n+1$. Les pertes d'accroissement correspondant aux 2 ou 3 années suivant l'attaque de 1963-1964 varient de 36 p. 100 à 49 p. 100 suivant les parcelles.

A Fontainebleau, après une attaque, les jeunes arbres d'une dizaine d'années mettent un an à retrouver un accroissement normal et même supérieur à la normale alors qu'il faut 4 ans aux arbres de 80 ans pour atteindre leur accroissement d'avant l'attaque. Ceci entraîne des pertes d'accroissement calculées sur l'ensemble de la vie du peuplement négligeables pour les arbres de 30 ans alors qu'elles atteignent 20 p. 100 pour le vieux peuplement d'une centaine d'années.

A Orléans, compte tenu de la mortalité importante et des coupes sanitaires réalisées, la perte d'accroissement relative sur le volume atteint 15 p. 100 pour les trente dernières années.

Mots clés : *Pinus*, *Diprion pini*, pertes d'accroissement, dendrochronologie.

Introduction

Le Lophyre du pin (*Diprion pini* L.) est un hyménoptère défoliateur dont les gradations, entrecoupées de périodes de calme absolu de plusieurs dizaines d'années parfois, sont très brutales tant au niveau de l'apparition des insectes que de leur disparition, l'étude des pertes d'accroissement dues à ce défoliateur sera donc légèrement différente par les méthodes employées de l'étude consacrée à la Processionnaire (LAURENT-HERVOUËT, 1984, 1986).

Le Lophyre présente, dans les plaines atlantiques françaises, deux générations par an ; dans le bassin parisien, la première génération évolue du début mai à la fin juillet et la seconde de la fin juillet au début mai de l'année suivante, certains individus pouvant en outre subir une diapause plus ou moins longue (DUSAUSOY & GERI, 1966).

Les défoliations dues aux larves ont lieu essentiellement pendant deux périodes de l'année : d'une part, à l'automne où tout le feuillage présent sur l'arbre est dévoré indifféremment par les larves de la deuxième génération et d'autre part au printemps, où les larves issues du vol d'avril, dédaignant le feuillage juvénile, dévorent le feuillage de l'année précédente (GERI *et al.*, 1985). Une autre défoliation beaucoup moins importante, due à la descendance d'individus issus de diapause en juin peut avoir lieu l'été.

Les pertes d'accroissement des pins sylvestres (*Pinus sylvestris* L.), hôte essentiel de *D. pini*, résultant de ces défoliations ont été étudiées dans le massif de Lorris en forêt domaniale d'Orléans et en forêt de Fontainebleau dans des zones où des études sur la biologie et la dynamique des populations du diprion avaient été réalisées au cours des deux dernières gradations (GRISON & JACQUIOT, 1964 ; DUSAUSOY & GERI, 1966, 1971 ; GERI *et al.*, 1982 ; GERI & GOUSSARD, 1984). L'évolution des attaques dans ces zones est présentée tableau 1.

TABLEAU 1

Evolution des attaques de Diprion à Fontainebleau et à Lorris pour les deux dernières gradations.

Evolution of the attack of Diprion pini in Fontainebleau and in Lorris for the two last outbreaks.

Période	Lieu		
	Fontainebleau	Lorris	
		Ouest (P 1)	Est (P 2)
Printemps 1963	*	**	
Automne 1963	****	****	
Printemps 1964	***	*	
Automne 1964	0	0	
Automne 1980		*	
Printemps 1981		**	
Automne 1981	*	****	*
Printemps 1982	*		**
Automne 1982	**		*
Printemps 1983			
Automne 1983		*	
Printemps 1984		**	
Automne 1984		****	

* : Attaque faible - *Weak attack.*

** : Attaque modérée - *Moderate attack.*

*** : Attaque forte - *Hard attack.*

**** : Attaque très forte - *Very hard attack.*

Le présent travail s'appuie sur la dendrochronologie, de manière similaire à l'étude portant sur la processionnaire ; la première étape est une étude graphique des courbes d'accroissement, la seconde, statistique, consiste, après avoir défini un modèle de l'accroissement en fonction des facteurs climatiques, à déterminer les années pour lesquelles l'accroissement ne suit pas le modèle climatique et de les comparer aux périodes des attaques de lophyre. Cependant, en raison de la disparition quasi-totale de l'insecte entre deux gradations, aucun relevé systématique des populations n'a été effectué entre 1963-1964 et 1981, ce qui ne permet pas une étude directe des accroissements de l'arbre en fonction des populations des années antérieures, comme cela avait été fait dans le cas de la processionnaire (LAURENT-HERVOUËT, 1986).

1. Matériel

1.1. Placettes d'étude

1.11. Lorris

Nous avons effectué des prélèvements dans deux parcelles forestières :

— *Parcelle 437 (P 1)* : la station est acide et très hydromorphe, la végétation dominante est constituée de molinie abondante (*Molinia coerulea* Moench.), de fougère aigle (*Pteris aquilina* L.) et de bourdaïne (*Rhamnus frangula* L.). L'humus est un hydromor très épais où l'on note des traces d'hydromorphie (décoloration), la matière organique commence à être incorporée à 35 cm de profondeur environ, on note la présence d'un plancher argileux à 40 cm.

— *Parcelle 76 (P 2)* : c'est un taillis sous futaie chêne-charme enrichi de parquets de pins sylvestres, située dans la partie Est du massif où aucune défoliation n'a été observée pour la gradation de Diprion de 1963-1964. Cette parcelle doit nous servir de témoin, les reboisements en essences autres que le pin sylvestre étant trop récents pour être utilisés à cet effet. Dans cette station (chênaie - charmaie acidocline - ABT, 1983 -) moins acide que la première, on trouve du charme (*Carpinus betulus* L.), du chèvrefeuille (*Lonicera periclymenum* L.) et de la germandrée (*Teucrium scorodonia* L.), l'humus est un moder, le sol sablo-limoneux ; des traces d'hydromorphie sont cependant notées à 40 cm de profondeur.

1.12. Fontainebleau

Nous avons trois lieux de prélèvements dans les lieux dits :

— *Les Ventes aux Perches (P 1)* : vieux peuplement de pins sylvestres d'une centaine d'années en mélange avec des hêtres, sur substrat calcaire.

— *Décamps (P 2)* : peuplement de pins sylvestres, de 40 ans environ de densité moyenne et d'état sanitaire correct situé sur des sables et des rochers.

— *Forêt des Trois Pignons (P 3)* : peuplement témoin de 40 ans environ de pins maritimes (*Pinus pinaster* Ait.), essence non attaquée par le Diprion, situé entre le « Bois du rocher » et le « Moine ».

1.2. Prélèvement des échantillons

Tous les échantillons ont été prélevés à la tarière de Pressler de 5 mm à raison d'une carotte par arbre et de vingt pins par placette. Les arbres échantillonnés ont survécu aux attaques ce qui implique vraisemblablement une sous-estimation des pertes d'accroissement.

1.3. Informations climatiques

Nous avons utilisé, pour Lorris, les relevés pluviométriques depuis 1946 et thermométriques depuis 1951 du carrefour des Huit-Routes à Chambon-la-Forêt qui nous ont été fournis par la météorologie départementale à Bricy.

Nous avons utilisé pour Fontainebleau les relevés de la pluviométrie mensuelle et des températures moyennes mensuelles effectués à Melun dans deux postes principaux : à l'École Normale d'Instituteurs de 1900 à 1939 et à la station de Melun-Villaroche de 1947 à 1984. Les données de 1938, 1939, 1947 et 1948, ont été complétées par des relevés de petits postes annexes de bénévoles. L'ensemble de ces données, bien qu'issues de postes différents, forme une série cohérente. De ce fait, pour le vieux peuplement (P 1), l'étude a été réalisée de 1900 à 1939 et de 1947 à 1984.

2. Analyse des données

2.1. Synchronisation

Le principe en a été exposé dans la première partie de l'étude (LAURENT-HERVOUËT, 1986). Après la synchronisation et l'établissement d'une courbe standard, nous avons créé une courbe d'accroissements réduits pour les groupes d'arbres dont la courbe standard est globalement décroissante, du fait de leur jeune âge en général, ce qui risque d'induire un biais important pour les analyses statistiques. Les accroissements réduits sont définis de la façon suivante :

$$ACR_i = \frac{ACB_i}{\sum_{j=i-2}^{j=i+2} ACB_j}$$

avec ACR_i = accroissement réduit de l'année i ,

ACB_i = moyenne des accroissements de l'année i (accroissement de l'année i de la courbe standard).

Cette courbe fait ressortir les variations annuelles d'accroissement et élimine l'effet global de baisse d'accroissement annuel observé dans certains cas.

2.2. *L'analyse en composantes principales et la régression orthogonale*

La régression orthogonale nous permet d'établir un premier modèle climatique tenant compte de l'ensemble des facteurs climatiques et de leurs interactions, elle a été réalisée avec, en variable expliquée l'accroissement et en variables explicatives les axes principaux issus d'une analyse en composantes principales réalisée sur 24 variables climatiques (précipitations et températures mensuelles de septembre n-1 à août n) correspondant sensiblement à l'année de végétation. Cette méthode a été utilisée avec succès par KUIVINEN & LAWSON (1982) pour l'étude des facteurs climatiques influençant l'accroissement du bouleau au Groënland. L'examen des résidus de la régression orthogonale (accroissement observé — accroissement estimé) permet de repérer les années où l'accroissement suit mal le modèle climatique et de les mettre en relation avec les attaques de diprion.

Pour mettre en évidence les relations privilégiées existant entre l'accroissement et les variables climatiques, nous avons également réalisé une analyse en composantes principales sur l'accroissement et les variables climatiques.

2.3. *La régression multiple progressive*

Le modèle climatique établi en régression orthogonale ne fournit pas une image précise de l'accroissement en fonction des facteurs climatiques du fait du grand nombre de variables introduites. Nous avons, par la régression multiple progressive sélectionné les principaux facteurs, comme dans l'étude sur la processionnaire (LAURENT-HERVOUËT, 1984), en utilisant les variables suivantes :

1) Pour l'année de végétation n :

- les précipitations mensuelles, bimensuelles, trimestrielles et quadrimensuelles de septembre n — 1 à août n ;
- les températures mensuelles de septembre n — 1 à août n ;
- les indices pluviothermiques mensuels (P/T) de septembre n — 1 à août n.

2) Pour l'année de végétation antérieure n — 1 :

- les trois mêmes séries de variables pour la série septembre n — 2 à août n — 1.

Les variables sont triées et la régression climatique établie sur l'ensemble des années qui ne s'écartent pas du modèle issu de la régression orthogonale déterminée précédemment, c'est-à-dire les années où il n'y a pas eu d'attaque de diprion, afin de minimiser le biais lié aux attaques.

2.4. *Calcul de la perte d'accroissement*

Etant données la forte mortalité des arbres dans certaines placettes et les importantes coupes sanitaires réalisées de ce fait en 1983 et 1984, notamment dans le massif de Lorris, il faut distinguer deux types de perte de croissance :

- la perte d'accroissement due à la mortalité des arbres (Pm) ;
- la perte d'accroissement sur les survivants (Ps).

Cette dernière peut être estimée annuellement par la différence entre la valeur réelle mesurée de l'accroissement et la valeur estimée d'après l'équation de régression climatique (LAURENT-HERVOUËT, 1986).

La perte d'accroissement due aux arbres morts ne peut être considérée comme nulle. On assiste en effet à une mortalité par taches et les coupes sanitaires résultantes diffèrent énormément des éclaircies sélectives prélevant des individus de façon homogène dans l'ensemble du peuplement. Cette perte P_m correspond au manque à gagner jusqu'à la date prévue d'exploitabilité.

$$P_m = V_{TF} - V_{RF}$$

avec V_{TF} = Volume théorique disponible à la date d'exploitabilité prévue par l'aménagement, compte tenu du volume réel sur pied actuellement V_R et de l'accroissement courant b_o .

V_{RF} = Volume réel total prélevé à la date d'exploitabilité compte tenu des volumes prélevés en coupes sanitaires V_P et de la réduction de l'accroissement courant.

On suppose que la réduction de l'accroissement courant (en volume) peut être assimilée à la perte d'accroissement P_s (annexe 1).

3. Résultats obtenus à Lorris

3.1. Courbes standard

La figure 1 représente les courbes standard pour les parcelles P 1 et P 2 et la courbe des accroissements réduits pour P 2. Ces derniers réduisent le phénomène global de baisse d'accroissement moyen avec l'âge, net pour P 2 et de ce fait mettent l'accent sur les variations annuelles accidentelles d'accroissement. Une réduction d'accroissement notable est observée en 1965 et en 1983 pour la parcelle 1 et pas pour la parcelle 2.

Comme la première avait été fortement attaquée en 1963 et en 1981 mais pas la seconde, on peut imputer cette réduction d'accroissement aux défoliations par les diptères. Une réduction d'accroissement est également observée pour la parcelle 1 en 1925, elle ne peut être corrélée à un incident particulier survenu dans la parcelle ou à un incident d'ordre général (conditions climatiques exceptionnelles par exemple) faute de posséder une autre courbe standard d'arbres aussi âgés. Les accroissements de 1976 et 1977, consécutifs à la sécheresse printanière et estivale de 1976 ne semblent pas anormalement faibles, probablement grâce à l'hydromorphie des parcelles concernées. De la même façon, l'incidence des éclaircies n'apparaît pas nettement.

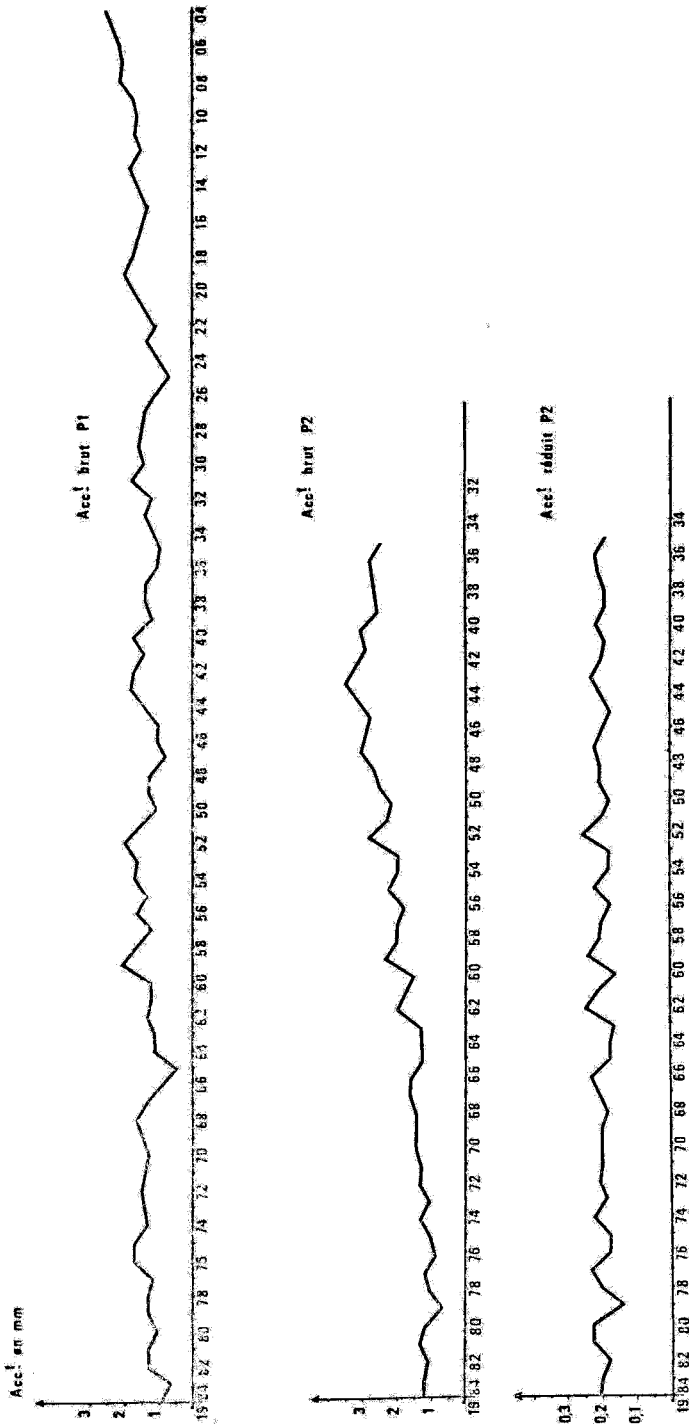


FIG. 1

*Courbes standard des parcelles P 1 et P 2 à Lorris et courbe d'accroissements réduits de P 2.
Standard curves of Scots pines from plots 1 and 2
in Lorris and reduced radial growth curve for plot 2.*

3.2. *Etude statistique*

3.21. *Régression orthogonale*

L'étude des résidus de la régression orthogonale permet la détermination objective des années où l'accroissement, perturbé par les attaques de diprion, n'a pas suivi le modèle climatique. Pour ces années, le résidu est très fortement négatif. Pour la parcelle 1, il s'agit de 1964, 1965, 1966 et 1983. Aucune année de ce type n'a pu être mise en évidence dans la parcelle 2.

3.22. *Analyse en composantes principales (A.C.P.)*

Compte tenu des résultats précédents, nous avons réalisé une A.C.P. avec l'accroissement brut et les variables climatiques sur la totalité des années puis sur les années où il n'est pas observé d'incidence des attaques (1952 à 1963 et 1967 à 1982) pour la parcelle 1 et avec l'accroissement réduit et les variables climatiques sur l'ensemble des années pour la parcelle 2.

— *Parcelle 1* : l'analyse effectuée sur les périodes « hors attaque » présente des axes plus explicatifs que celle réalisée sur l'ensemble des années (respectivement 28 p. 100 et 25 p. 100 de l'inertie totale expliquée). Dans les deux cas, les cercles de corrélation montrent des relations similaires entre les variables. Pour les années hors attaque, l'accroissement est lié positivement aux pluies de septembre et aux températures moyennes de mai, négativement aux pluies de mars, juillet, février et surtout mai et aux températures moyennes d'octobre. Les températures de l'hiver précédant l'accroissement ne semblent jouer aucun rôle.

— *Parcelle 2* : l'accroissement est lié négativement aux pluies de février, avril, juin, août et positivement aux températures de janvier et février. Les vecteurs représentant les températures de mai et juin et les pluies de mai sont perpendiculaires au vecteur accroissement.

La différence d'impact des variables climatiques est indépendante du choix de l'accroissement : les relations entre variables ne sont pas fondamentalement différentes si les analyses sont réalisées avec l'un ou l'autre type d'accroissement. En revanche, elles pourraient être dues à la différence de nature du terrain : engorgement des sols hydromorphes de la parcelle 1 en début de saison de végétation par les précipitations de mai et dans la parcelle 2, sensibilité au gel en janvier et février liée peut-être à des conditions d'exposition et de microtopographie particulières.

3.23. *Equation de régression climatique*

L'établissement par la régression multiple progressive d'une équation de régression de l'accroissement en fonction de variables climatiques sélectionnées, plus précise que l'équation de régression orthogonale, permet le calcul des pertes d'accroissement annuelles. Les arbres des parcelles 1 et 2, réagissant différemment aux facteurs du climat, il est impossible d'utiliser les arbres de la deuxième placette comme témoins climatiques de ceux de la première. N'ayant pas mis en évidence dans la parcelle 2

de réductions d'accroissement certaines du fait des attaques de diprion, nous avons établi l'équation de régression climatique uniquement pour la parcelle 1, sur les années hors attaque. Les résultats sont présentés tableau 2.

TABLEAU 2

Régression climatique calculée sur l'ensemble des années hors attaque pour la parcelle 1 à Lorris (années d'attaque 1983, 1966, 1965, 1964).

Climatic stepwise regression carried out on the years without outbreaks for plot 1 in Lorris (outbreak years : 1983, 1966, 1965, 1964) Main results.

Palier	Variable introduite	α	R	F
1	T Juillet n	0,636*	0,442	6,069*
2	T Octobre n — 1	— 0,545	0,540	4,931*
3	P Mai n	— 0,27.10 ⁻¹	0,622	4,826**
4	P (Sept. + Oct.) n — 2	0,115.10 ⁻¹	0,681	4,752**
5	P (Mai + Juin) n — 1	0,109.10 ⁻¹	0,705	4,156**
6	T Avril n	0,197	0,720	3,593*

Equation finale :

$$\hat{y} = 0,128.10^2 - 0,300.10^{-1} * P \text{ Mai } n + 0,117.10^{-1} P \text{ (Sept. + Oct.) } (n - 2) \\ + 0,119.10^{-1} P \text{ (M + J) } (n - 1) - 0,610 * T \text{ Oct. } (n - 1) + 0,197 T \text{ Avril } n \\ + 0,313. T \text{ Juil. } n$$

α : Coefficient de régression dans l'équation au moment de l'introduction de la variable.

R : Coefficient de corrélation multiple.

F : Test global d'ajustement.

3.24. Calcul de la perte d'accroissement

3.241. Perte sur les survivants Ps

Pertes annuelles

Les différences annuelles $P_i = (y_{i,obs} - \hat{y}_{i,est})$ entre l'accroissement observé et sa valeur estimée d'après la régression climatique définie sur les années hors attaque sont représentées figure 2.

La différence P_i est significative et négative en 1964, 1965, 1966 et 1983. Elle correspond bien à l'évolution des populations de diprion (cf. tabl. 1). Dans cette partie du massif, la première gradation a commencé dès le printemps 1963, les larves ont dévoré le vieux feuillage et l'effet est donc identique à une attaque à l'automne 1962, l'effet sur l'accroissement est notable à partir de 1964, les défoliations de l'automne 1963 (les plus importantes) et du printemps 1964, s'ajoutant aux précédentes entraînent une très forte perte de croissance en 1965. Les défoliations assez faibles du printemps 1981 ne se répercutent pas sur l'accroissement de 1982; en revanche la très forte attaque de l'automne 1981 persistant localement au printemps 1982 se traduit par une réduction très importante de l'accroissement en 1983.

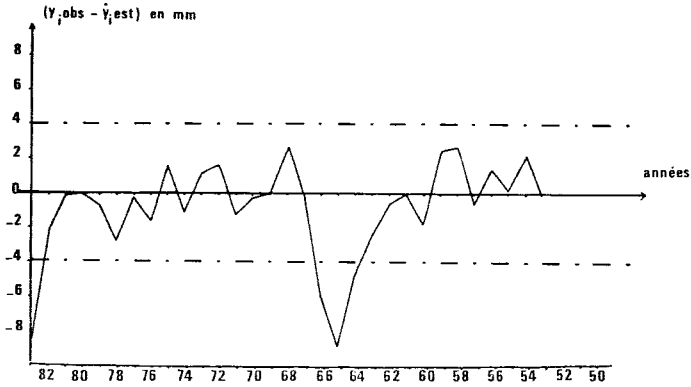


FIG. 2

*Représentation des pertes d'accroissement radial annuelles.
Annual radial growth losses.*

$P_i = (y_{i,obs} - \hat{y}_{i,est})$ pour la parcelle P 1 à Lorris.

$y_{i,obs}$: accroissement brut observé.

$\hat{y}_{i,est}$: accroissement brut estimé d'après l'équation de régression climatique.

$P_i = (y_{i,obs} - \hat{y}_{i,est})$ for plot 1 in Lorris.

$y_{i,obs}$: observed radial growth.

$\hat{y}_{i,est}$: radial growth estimated from the climatic stepwise regression.

Pertes d'accroissement sur plusieurs années

Si on considère les dégâts infligés pendant les périodes de gradation, la première attaque a entraîné 44 p. 100 de perte d'accroissement radial pour les 3 années 1964, 1965 et 1966 ; la seconde 54,8 p. 100 pour l'année 1983 uniquement et il est probable que l'accroissement de 1984 ait également été réduit. Sur l'ensemble des années de 1953 à 1983 la perte n'a été que de 6,4 p. 100 d'épaisseur de cerne, cependant ce chiffre est très sous-estimé car il ne tient pas compte de la mortalité importante des arbres survenue dans cette parcelle mais seulement des pertes de croissance sur les arbres survivants, les plus vigoureux ou les moins atteints. Il importe de tenir compte des coupes sanitaires.

3.242. Pertes relatives aux coupes sanitaires

Nous possédons les données suivantes :

- Volume sur pied à l'automne 1982 : $V_{1982} = 239,7 \text{ m}^3/\text{ha}$;
- Accroissement courant de 1972 à 1982 : $b_{72} = 4,33 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$;
- Exploitation sanitaire à l'automne 1983 : $V_{1983} = 26,34 \text{ m}^3/\text{ha}$;
- Exploitation sanitaire à l'automne 1984 : $V_{1984} = 25,39 \text{ m}^3/\text{ha}$;
- Date prévue pour la coupe rase : 1990.

Pour simplifier les calculs et du fait de la sous-estimation des pertes d'accroissement, nous arrondirons la perte d'accroissement globale de 6,4 p. 100 calculée au paragraphe précédent à 10 p. 100 et nous supposons que l'accroissement courant est constant étant donné l'âge des arbres. Cet accroissement courant sera minoré pour les années d'attaque de la perte P_i calculée précédemment.

— Volume théorique en 1990 si les arbres n'avaient jamais été attaqués :

$$V_{T90} = (1 + 0,1) V_{R82} + 8 (1 + 0,1) b_0 = 301,75 \text{ m}^3/\text{ha}$$

— Volume sur pied restant fin 1984 :

$$V_{R84} = V_{R82} + (1 - P_{83}) b_0 - V_{P83} + (1 - P_{84}) b_0 - V_{P84} = 191,87 \text{ m}^3/\text{ha}$$

— Prévission du volume sur pied en 1990 compte tenu de la gradation en cours et en espérant qu'elle sera stoppée après l'automne 1985. On aura au minimum les pertes d'accroissement de 1964, 1965, 1966 c'est-à-dire 45 p. 100 sur 1985, 1986, 1987, on peut prévoir 10 p. 100 sur les trois années restantes :

$$V_{R90} = V_{R84} + 3 (1 - 0,45) b_0 + 3 (1 - 0,10) b_0 = 210,71 \text{ m}^3/\text{ha}$$

— Volumes prélevés :

Le volume réel total prélevé en 1990 sera :

$$V_{P90} = V_{R90} + V_{P83} + V_{P84} = 262,44 \text{ m}^3/\text{ha}$$

d'où $P_m = 301,75 - 262,44 = 39,31 \text{ m}^3/\text{ha}$,

soit une perte relative en volume approximativement de l'ordre de 15 p. 100.

4. Résultats obtenus à Fontainebleau

4.1. Courbes standard

En raison de la grande différence d'âge entre les arbres de la parcelle P 1 et ceux de P 2 et P 3, les courbes standard respectives de ces trois parcelles sont très différentes (fig. 3). La première P 1a montre des variations d'assez faible amplitude par rapport aux deux autres, P 2a et P 3a, établies dans de jeunes peuplements, c'est pourquoi nous avons représenté pour ces dernières, les courbes des accroissements réduits (P 2b et P 3b, figure 3). Lors de la synchronisation, l'observation de variations individuelles annuelles constantes d'un arbre à un autre a permis de déterminer ce que POLGE (1977) appelle des années caractéristiques. Pour P 1, 1931, 1952 et 1959 ont des accroissements supérieurs à la moyenne ; 1937, 1965 et 1976 ont des accroissements inférieurs à la moyenne ; pour P 2, 1964 et 1976 ont des accroissements inférieurs à la moyenne et seulement 1976 pour P 3, seule parcelle peuplée de pins maritimes. Les accroissements faibles de 1965 dans P 1 et 1964 dans P 2 peuvent être corrélés à la gradation de 1963-1964 (cf. tabl. 1), comme celui de 1937 dans P 1 semble être la conséquence d'une forte attaque de diprion en 1935 (GRISON & JACQUIOT, 1964). On peut cependant s'interroger sur le fait que les arbres de P 1 et P 2, situés apparemment dans la même zone d'attaque, n'aient pas réagi la même année. Cette étude a donc été complétée par une analyse statistique. La comparaison des courbes avec les dates d'éclaircie ne met aucune relation en évidence.

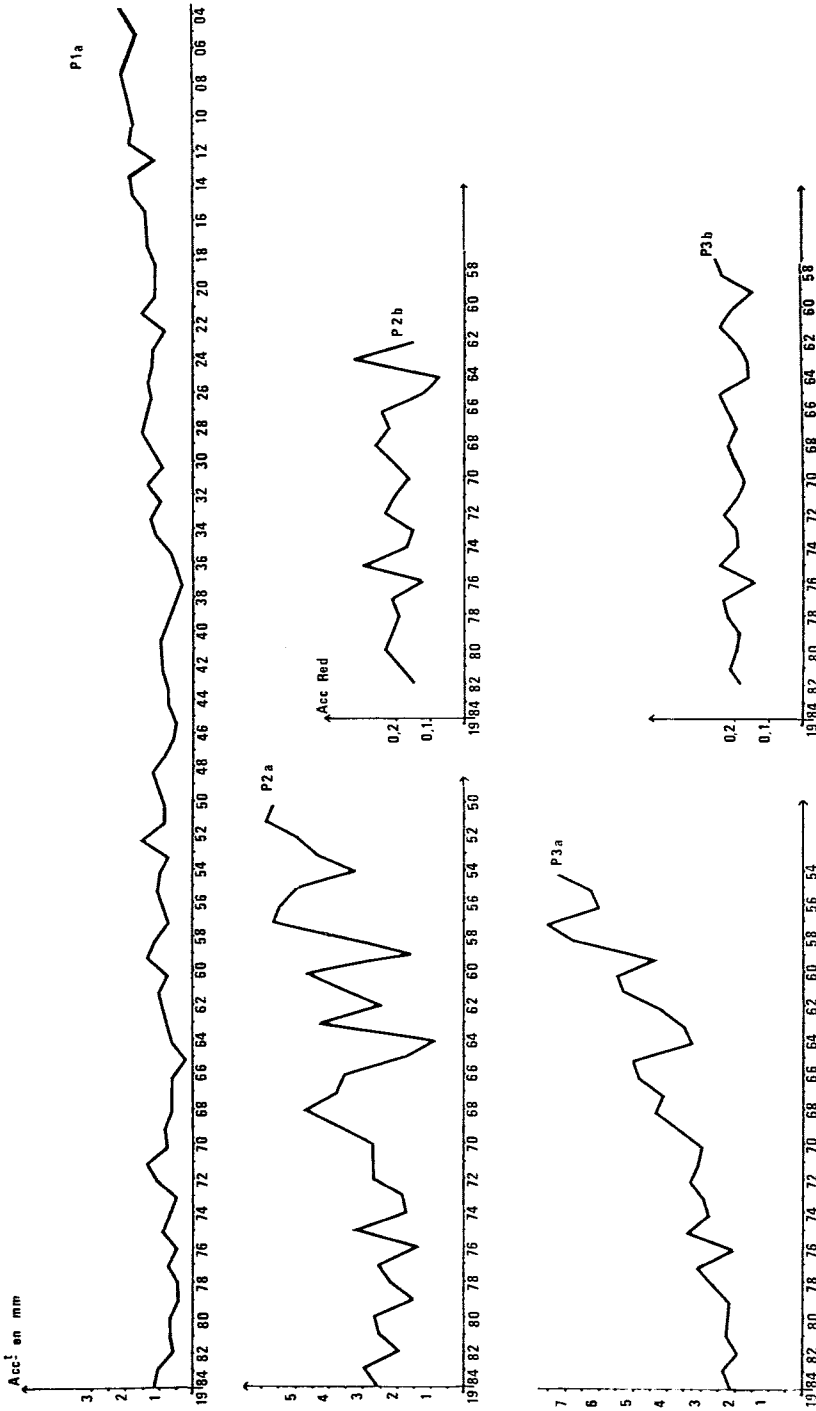


FIG. 3

*Courbes standard et courbes d'accroissements réduits à Fontainebleau.
Standard curves and reduced radial growth curves in Fontainebleau.*

- P 1a, P 2a, P 3a : Courbes standard pour les parcelles 1, 2 et 3.
- P 2b, P 3b : Courbes d'accroissements réduits pour les parcelles 2 et 3.
- P 1a, P 2a, P 3a : Standard curves for plots P 1, P 2, P 3.
- P 2b, P 3b : Reduced radial growth curves for plots P 2 and P 3.

4.2. *Etude statistique*

4.21. *Régression orthogonale*

Nous avons, comme pour Lorris, pu déterminer les années correspondant à une répercussion logique des attaques où l'accroissement n'a pas suivi le modèle climatique. Il s'agit pour P 1 des années 1937 et 1938, 1965 et 1966, et pour P 2 de l'année 1965. Nous avons par ailleurs noté pour les trois groupes d'arbres un résidu négatif en 1976, on peut imputer cet incident à la sécheresse exceptionnelle de ce printemps et de cet été, les pins maritimes non attaqués par le diprion, ayant également subi cette baisse.

Nous avons par la suite considéré que l'accroissement n'avait pas subi d'incidences du fait des attaques au cours des années :

— 1901 à 1935, 1948 à 1964 et 1967 à 1984 pour la parcelle 1 (la période 1939-1948 ne pouvant pas être prise en compte du fait des données météorologiques manquantes) ;

— 1962 à 1964 et 1966 à 1984 pour la parcelle 2.

4.22. *Analyse en composantes principales (A.C.P.)*

Nous avons réalisé :

— pour les parcelles 1 et 2 : une A.C.P. utilisant respectivement les accroissements bruts et les accroissements réduits avec dans les deux cas l'ensemble des variables climatiques sur la totalité des années puis sur les années hors attaque ;

— pour la parcelle 3, une A.C.P. avec les accroissements réduits et l'ensemble des variables climatiques sur la totalité des années. Pour la parcelle 1, l'A.C.P. réalisée sur les années hors attaque est très voisine de celle réalisée sur la totalité des années (respectivement 20,55 p. 100 et 20,18 p. 100 de l'inertie expliquée par les deux premiers axes) ce qui s'explique par le grand nombre d'années prises en compte (75 au total) et la faible fréquence des années d'attaque. Pour la parcelle 2, les pourcentages d'inertie expliquée hors attaque et sur la totalité des années sont respectivement de 34,23 p. 100 et 28,86 p. 100. Le cercle des corrélations établi pour les années sans attaque montre que l'accroissement dans la parcelle 1 est lié positivement à la température d'avril et aux températures de l'été (juin, juillet, août) et négativement aux précipitations d'août, dans la parcelle 2 il est lié positivement aux précipitations de mars, juin et décembre et négativement à la température de mai et aux pluies de novembre de l'année précédente.

Les pins maritimes de la parcelle 3 montrent des relations accroissement-climat différentes des pins sylvestres, c'est pourquoi nous devons utiliser un modèle climatique propre à chaque peuplement.

4.23. *Equation de régression climatique*

Les équations ont été réalisées à partir des accroissements bruts afin de pouvoir comparer les valeurs estimées de l'accroissement à leurs valeurs observées. Elles sont présentées sur le tableau 3. Cette analyse confirme le fait que les pins sylvestres des parcelles 1 et 2 ont des réactions très différentes vis-à-vis du climat sans doute à cause de la différence de nature de sol : le sol brun calcaire de la parcelle 1 est favorable au développement des hêtres alors que la parcelle 2, assise sur les sables et

TABLEAU 3

Equations de régression climatique établies par la régression progressive pour les pins maritimes sur la totalité des années et pour les pins sylvestres durant les années sans attaque à Fontainebleau.

Climatic stepwise regression carried out on years « without outbreak » for Scots pines of plots P 1 and P 2 and on all the years for cluster pines of plots P 3 in Fontainebleau.

Pins sylvestres - Parcelle 1

Palier	Variable introduite	α	R	F
1	T Mai n	0,988**	0,343	8,820**
2	T Avril n	0,104.10 ¹ **	0,459	8,687**
3	P Mai n	0,388.10 ⁻¹	0,525	8 099**
4	T Avril (n — 1)	0,651	0,561	7,216**

Equation finale :

$$\hat{y} = -0,274.10^{***} + 0,423.10^{-1} \text{ P Mai } n^* + 0,120.10^1 \text{ T avril } n^{**} + 0,131.10^1 \text{ T Mai } n^{**} + 0,651. \text{ T Avril } n - 1$$

Pins sylvestres - Parcelle 2

Palier	Variable introduite	α	R	R
1	P Août n	0 200*	0,557	8,084*
2	T Oct. n — 1	0,329.10 ¹ *	0,728	9,599**
3	P Sept. n — 1	0,117**	0,839	12,666**
4	P Oct. n — 1	0,102**	0 922	21,326**

Equation finale :

$$\hat{y} = -0,483.10^{***} + 0,117. \text{ P Sept. } n - 1^{**} + 0,102. \text{ P Oct. } n - 1^{**} + 0,288. \text{ P Août } n^{**} + 0,427. \text{ T. Oct. } n - 1^{**}$$

Pins maritimes - Parcelle 3

Palier	Variable introduite	α	R	F
1	P (M.A.M.) n — 1	-0,179**	0,659	20,717**
2	T Août n — 1	0 421.10 ¹ *	0,738	15,508**
3	P Mai n	-0,135	0,778	12,739**
4	P Mars n	-0,120	0,808	11,286**
5	T Juillet n	-0,33.10 ¹ *	0,859	12,998**
6	T Août n	-0,278.10 ¹	0,880	12,548**

Equation finale :

$$\hat{y} = 0 240.10^{***} - 0 200. \text{ P Mars } n^{**} - 0,138. \text{ P Mai } n^* - 0,241.10^1 \text{ T Juil. } n - 0,278.10^1 \text{ T Août } n - 0,409.10^1 \text{ T Août } n - 1^{**} - 0,113. \text{ P (M.A.M.) } n - 1^{**}$$

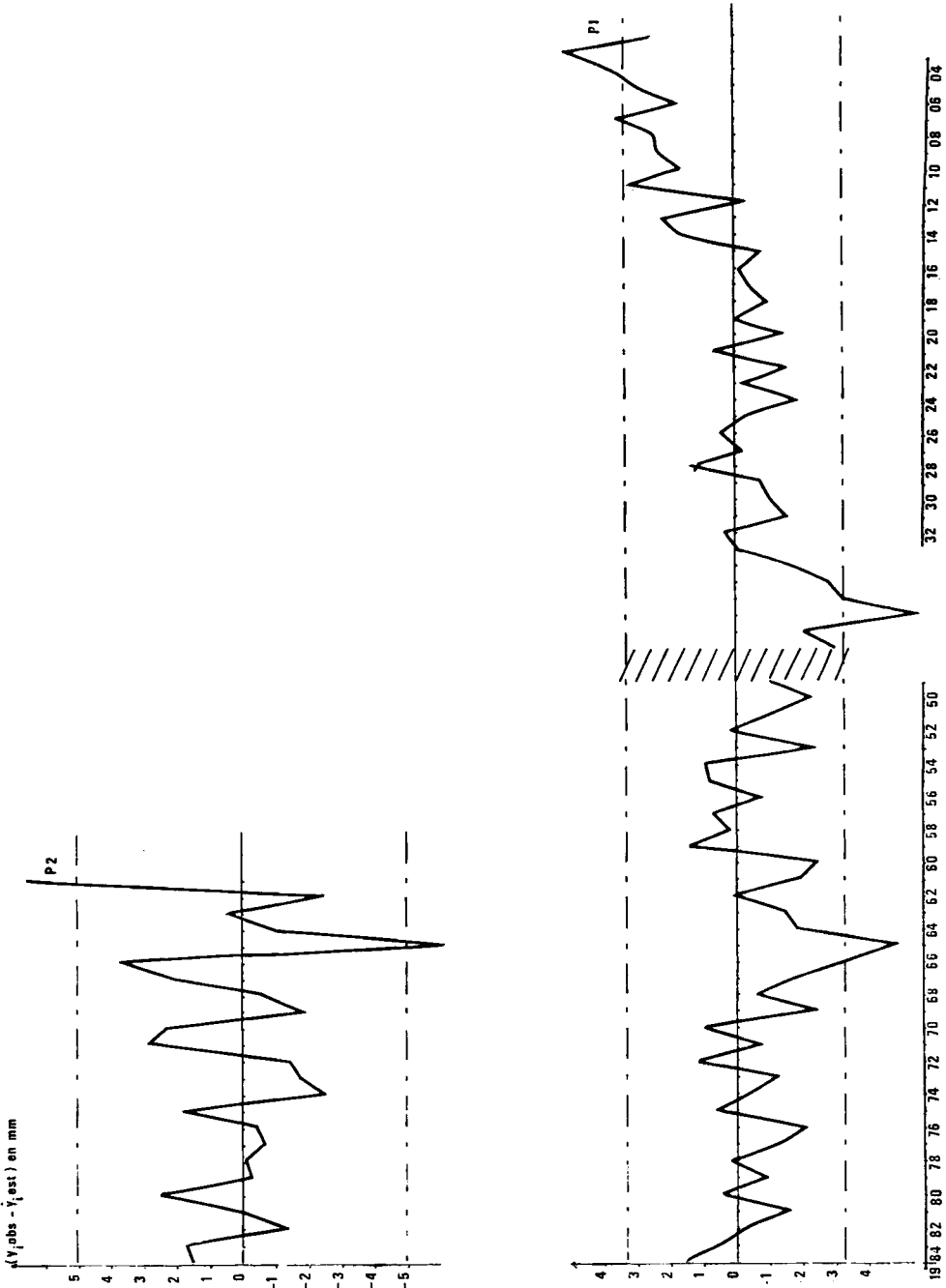


FIG. 4

Représentation des pertes d'accroissement radial annuelles $P_i = y_{obs} - \hat{y}_{est}$
 pour les pins sylvestres des parcelles P 1 et P 2 à Fontainebleau.
 Annual radial growth losses $P_i = y_{obs} - \hat{y}_{est}$
 for Scots pines of plots P 1 and P 2 in Fontainebleau.

grès du Stampien ne présente pas de « sol évolué ». Les arbres de cette dernière ont donc des exigences hydriques plus importantes, du fait de l'absence totale de réserve. Par ailleurs, ces différences ne sont vraisemblablement pas dues à la méthode en elle-même car la régression multiple progressive, utilisée de la même façon pour deux stations identiques au Ventoux a donné des résultats équivalents (LAURENT-HERVOUËT, 1984, 1986).

4.24. Calcul de la perte d'accroissement

Les gradations de 1963-1964 et de 1981 n'ayant pas entraîné de mortalité importante ni de coupes sanitaires à Fontainebleau, nous ne calculerons que Ps.

— Pertes annuelles

Les différences annuelles pour les pins sylvestres entre l'accroissement observé et sa valeur estimée sont représentées figure 4. Les deux dernières gradations, maximales à l'automne 1935 et à l'automne 1963 se répercutent sur les accroissements en 1937 et en 1965 même pour la parcelle 2 pour laquelle l'accroissement le plus faible de la courbe standard était celui de 1964. Ce délai d'une saison de végétation entre attaque et traumatisme maximal correspond à celui observé à Lorris.

TABLEAU 4

Pertes d'accroissement par périodes subies par les pins sylvestres des parcelles 1 et 2 à Fontainebleau.

Periodical radial growth losses suffered by Scots pines from plots P1 and P2 in Fontainebleau.

Période	$t = \frac{m\sqrt{n}}{\sigma}$	Seuil de signification	Σ Accroissements théoriques	Σ Accroissements observés	Perte en mm sur le rayon	Perte en %
<i>Parcelle 1</i>						
1936-1939 ..	— 4,61	2 %	42,705	14,72	27,98	65,5
1964-1967 ..	— 4,17	5 %	48,572	24,50	24,07	49,5
1915-1984 ..	— 4,67	0,1 %	524,624	425,12	99,5	18,9
<i>Parcelle 2</i>						
1964-1965 ..	— 1,38	—	38,819	24,60	14,22	36,6
1962-1984 ..	— 0,28	—	609,52	603,44	6,01	0

Les arbres des deux parcelles ont des vitesses de récupération très différentes : les arbres jeunes de la parcelle 2 ont une très bonne croissance supérieure à l'accroissement prévu par le modèle dès 1966. Cette croissance très vigoureuse peut sans doute être rapprochée des phénomènes de reprise exceptionnelle après une attaque déjà observés (POLGE & GARROS, 1971 ; WEBB & WICKMAN, 1978). En revanche, l'accrois-

sement observé après cette même gradation sur les vieux arbres de la parcelle 1 ne se rapproche de la valeur estimée qu'en 1968. Du fait du manque de données climatiques entre 1939 et 1949 il est difficile de juger de la récupération des arbres de cette parcelle après 1937, il semble cependant que ces arbres, âgés alors d'une quarantaine d'années aient eu plus de difficultés à retrouver une croissance normale que ceux de la parcelle 2 âgés d'une dizaine d'années après l'attaque de 1963-1964.

— *Pertes sur plusieurs années*

Les pertes d'accroissement calculées pour plusieurs années sont présentées tableau 4. La récupération très rapide des arbres de la parcelle 2 atténue fortement l'effet de l'attaque de 1965, la perte globale d'accroissement sur les deux années 1964-1965 étant de 36,6 p. 100 contre 49,5 p. 100 dans la parcelle 1. La perte d'accroissement globale sur l'ensemble des années de l'étude est négligeable pour les arbres de la parcelle 2 en raison de leur vigueur après l'attaque; en revanche, cette perte est considérable dans la parcelle 1 puisqu'elle atteint près de 20 p. 100 sur la période 1915-1984.

5. Discussion

5.1. Problèmes méthodologiques

La comparaison de l'accroissement observé pendant les périodes d'attaque à un accroissement théorique calculé en dehors des gradations a été utilisée par les canadiens (ARCHAMBAULT & BEAULIEU, 1985) pour le calcul des pertes d'accroissement dues à *Choristoneura fumiferana* (Clem.) sur *Abies balsamea* (L.) Mill et *Picea glauca* (Moench) Voss. Cependant, cet accroissement théorique n'est fonction que du diamètre à 1,30 m de l'arbre et du domaine climacique et ne tient pas compte des variations climatiques annuelles.

Aussi, pour rendre compte de l'incidence des attaques de diprion, il nous a paru plus rigoureux d'établir un accroissement théorique tenant compte de ces variations mais les méthodes employées pour apprécier leur incidence posent problème : les résultats issus de la régression orthogonale et de l'analyse en composantes principales (méthodes employées par KUIVINEN & LAWSON, 1982) peuvent être assez différents (cas de Fontainebleau) de ceux trouvés par la régression multiple progressive. Ceci s'explique sans doute par le fait que nous ne pouvons considérer les variables que dans un espace à deux dimensions (en général, le plan formé par les deux premiers axes principaux). Il semble néanmoins que la régression multiple progressive soit la méthode la plus efficace pour rendre compte des réactions de l'arbre aux facteurs du climat.

L'assimilation de la perte relative en volume à la perte P_s pose un double problème :

— Quelle est la relation entre perte relative sur le volume $\frac{\Delta V}{V}$ et perte relative sur le diamètre P_D ?

soit d_2 le diamètre théorique de l'arbre non attaqué,

soit d_1 le diamètre réel de l'arbre attaqué,
si $V = kd^2$ ($k = \text{constante}$), on a :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{kd_2^2 - kd_1^2}{kd_2^2}$$

(en supposant qu'il n'y a pas eu de perte sur la hauteur, ce qui est peu probable).
soit :

$$P_D = \frac{d_2 - d_1}{d_2}$$

on a :

$$\frac{\Delta V}{V} = P_D (2 - P_D)$$

$$0 \leq P_D \leq 1 \Rightarrow \frac{\Delta V}{V} \geq P_D$$

La perte relative en volume est donc toujours supérieure à la perte relative en diamètre. Il n'y a aucun risque de surestimation à assimiler la perte en volume à la perte sur le diamètre.

— On suppose que la perte d'accroissement subie avant leur mort par les arbres emmenés en coupe sanitaire est la même que celle calculée sur les survivants ; or comme il s'agit d'arbres moins résistants, cette perte est probablement très supérieure à P_s .

L'utilisation de la dendrochronologie pour la reconstitution des attaques dans le temps est moins aisée pour le Diprion que pour la Processionnaire en raison du caractère inattendu des gradations par rapport au caractère cyclique des attaques de Processionnaires. En effet, rien ne peut différencier une attaque brutale de Diprion d'un accident type incendie par exemple.

5.2. Discussion des résultats obtenus

5.21. Etude climatique

La sécheresse de 1976 a eu un impact sur l'accroissement de tous les arbres de Fontainebleau (pins sylvestres et pins maritimes) et pas sur ceux de Lorris. L'hydromorphie des sols de Lorris peut être une explication : une étude dendroclimatique réalisée en Pologne sur les pins sylvestres des tourbières (JASNOWSKA, 1977) ne relève aucune influence des sécheresses extrêmes de 1911 et 1913 sur l'accroissement des arbres des tourbières alors que les accroissements d'arbres situés sur des milieux mieux drainés étaient réduits significativement.

5.22. Dégâts dus à Diprion pini

Ces dégâts sont sous-estimés pour les deux raisons précédemment évoquées : assimilation de la perte relative en volume à P_D et estimation des pertes d'accroisse-

ment à partir des survivants en cas de coupe sanitaire, mais également parce que les coupes sanitaires effectuées après les attaques n'ont pas les mêmes effets sur la croissance des arbres qu'une éclaircie programmée par l'aménagement. Elles correspondent à une éclaircie par le bas qui n'aura pas l'effet bénéfique sur les arbres restants d'une éclaircie mixte ou par le haut. On ne peut donc pas considérer que les arbres survivants après une attaque bénéficient des coupes sanitaires au même titre que des éclaircies, aucune sylviculture « dynamique » au profit des dominants n'étant réalisée.

Les pertes d'accroissement calculées ici peuvent être comparées aux pertes d'accroissement causées par la Processionnaire (LAURENT-HERVOUËT, 1986). Du fait des comportements gradologiques différents, les causes de sous-estimation sont différentes. En effet, au Ventoux ou en Corse, la Processionnaire est toujours présente à l'état endémique et les gradations ne sont souvent séparées que d'une dizaine d'années, on peut donc craindre que l'accroissement ne soit réduit en permanence et que l'accroissement théorique, calculé à partir des années hors attaque soit très sous-estimé. Du fait des gradations « éruptives » du diprion et des longues périodes de latence les séparant et pouvant atteindre une trentaine d'années, il est peu probable que l'on sous-estime l'accroissement théorique. Les pertes d'accroissement dues à la Processionnaire du pin sont supérieures à celles dues au Diprion puisqu'on obtient pour les périodes de 25 à 35 ans suivant les cas respectivement 35 p. 100 et 20 p. 100 pour le Ventoux et la Corse et 20 p. 100 et 15 p. 100 pour Fontainebleau et Lorris.

Dans tous les cas de dégâts par le Diprion à Lorris et à Fontainebleau comme par la Processionnaire au Ventoux et en Corse, les défoliations de l'automne $n - 1$ se répercutent sur l'accroissement du printemps et de l'été $n + 1$ grâce aux réserves photosynthétisées et stockées pendant l'été $n - 1$. Pour le Diprion, alors que les dégâts ont lieu au printemps et à l'automne, ce sont essentiellement les dégâts d'automne qui se répercutent sur l'accroissement : ils ont été précédés par de premiers dégâts au printemps et ceux du printemps suivant, du fait de la consommation exclusive du feuillage âgé s'identifient aux dégâts d'automne.

5.25. *Traitements chimiques*

On peut calculer brièvement la rentabilité d'un traitement chimique pour la parcelle 1 à Orléans. D'après le Centre O.N.F. en 1985, le coût d'un traitement au Dimilin est d'environ 230 F/ha hors taxes. Les arbres de cette parcelle ont un accroissement courant de $4,33 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$, leur prix de vente moyen est de 120 F/ m^3 . Si on suppose que la gradation actuelle en cours aura au minimum la même répercussion sur l'accroissement que celle de 1963-1964 (45 % sur les trois ans), la perte annuelle pour la période d'attaque sera de $0,45 \times 4,33 \times 120 = 234 \text{ F}/\text{ha}/\text{an}$.

En raison de la sous-estimation des pertes évoquées précédemment, le traitement chimique trouve une justification économique.

Cependant, en raison de la capacité du Diprion à subir des diapauses allant de 1 à 3 ans et les traitements chimiques pouvant altérer le complexe parasitaire, il est à craindre que ces traitements puissent indirectement favoriser des générations issues de diapause par l'absence de parasites et prolonger anormalement l'épisode gradologique, naturellement court chez le Diprion.

Conclusion

Cette étude, complémentaire de celle réalisée sur la Processionnaire confirme les faits suivants :

— Le pin sylvestre, comme le pin noir d'Autriche et le pin laricio ne réagit pas aux défoliations hivernales pendant la saison de végétation qui suit l'attaque mais seulement l'année d'après.

— Après une importante défoliation, certains arbres reprennent une croissance très vigoureuse supérieure à la normale interprétée soit par le rajeunissement de la masse foliaire (POLGE & GARROS, 1971), soit par l'amendement du sol réalisé de façon indirecte par les excréments et les cadavres des larves (WEBB & WICKMANN, 1978 ; WICKMANN, 1978). En outre, les résultats suivants sont à mentionner :

— le temps de récupération après une attaque semble varier suivant l'âge des arbres : des arbres très jeunes (ceux de P 2 à Fontainebleau) recouvrent un accroissement normal (et même supérieur) dès la fin de l'attaque alors que des arbres plus âgés ont besoin de 3 à 4 ans pour retrouver un accroissement normal. C'est pourquoi la perte d'accroissement globale calculée sur l'ensemble de la vie du peuplement est négligeable pour les arbres jeunes de Fontainebleau, elle atteint 15 % à Lorris et 19 % à Fontainebleau pour les vieux peuplements ;

— les gradations peu importantes (cas de l'automne 1981 à Fontainebleau) n'ont pas de répercussion sur l'accroissement ;

— la gradation de 1963-1964, la plus importante pour notre étude a entraîné des pertes d'accroissement radial allant de 36 p. 100 à 49 p. 100 pour les années consécutives à l'attaque, or la gradation de 1981 ne s'est pas éteinte comme prévu fin 1982 et a repris à l'automne 1983 (GERI, GOUSSARD, ROUSSEAU, 1985). Les dégâts calculés pour Lorris sont donc sous-estimés de façon très importante : actuellement au printemps 1985, les dégâts provoqués par le Diprion sont encore très sérieux, on ne peut donc envisager l'avenir que dans le sens d'une amplification de l'impact de ce défoliateur.

Accepté le 26 juin 1986.

Reçu le 16 septembre 1985.

Summary

Radial growth losses in some species of Pinus due to two forest defoliators II - Case of the pine sawfly in the « Bassin parisien »

The impact of the defoliating larvae of pine sawfly (*Diprion pini* L.) on radial growth of Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) was studied by dendrochronology in the forests of Orleans (Lorris stands) and Fontainebleau. Unattacked control trees were Scots pines from an undamaged region in the forest of Orleans and cluster pines (*Pinus pinaster* Ait.) in the forest of Fontainebleau.

A dendroclimatological study carried out on years without outbreaks permitted us to know the effect of climatic factors on radial growth in order to deduce an estimated

radial growth \hat{y}_{est} for the years with outbreaks. Then growth loss P_s is estimated :

$$P_s = \frac{\hat{y}_{est} - y_{obs}}{\hat{y}_{est}} \text{ with } y_{obs} = \text{radial growth measured for the outbreak year.}$$

In both sites, defoliation in the autumn of year $n - 1$ or spring of year n has an effect on radial growth of year $n + 1$. Growth losses calculated on the two or three years following the attack of 1963-1964 range between 36 and 49 p. 100 according to the compartment.

In Fontainebleau, after an outbreak, young trees of about ten years regain a radial growth identical or even superior to the one they had before the attack in one year, whereas old trees of about eighty years regain the same radial growth that they had before the attack in four years. So, growth losses calculated on the life of the stand as a whole are negligible for 30 years old trees, whereas they reach 20 p. 100 for the 100 years old stand.

In Orleans, taking into account the important mortality and sanitary thinnings, the growth loss in volume reaches 15 p. 100 for the last 30 years.

Key words : Pinus, Diprion pini, growth losses, dendrochronology.

Annexe 1

*Relation entre la perte relative d'accroissement courant b_o
et la perte relative d'accroissement radial P_s*

Soient :

- d_o : Diamètre de l'arbre avant l'attaque
- \hat{y}_{est} : L'épaisseur de cerne estimée s'il n'y avait pas eu d'attaque
- y_{obs} : L'épaisseur de cerne réelle
- V : Le volume de l'arbre

$$V = kd^2 \left(k = \frac{\pi}{4} h\alpha = \text{constante, ce qui suppose que hauteur (h) et coefficient}$$

de forme (α) ne sont pas affectés).

$$d_1 = d_o + 2 y_{obs}$$

$$d_2 = d_o + 2 \hat{y}_{est}$$

$$P_s = \frac{\hat{y}_{est} - y_{obs}}{\hat{y}_{est}}$$

On a : b_o : L'accroissement courant en l'absence d'attaque

$$b_o = k (d_2^2 - d_o^2)$$

b'_o : L'accroissement courant compte tenu de l'attaque

$$b'_o = k (d_1^2 - d_o^2)$$

d'où la perte relative d'accroissement courant est :

$$\frac{\Delta b_o}{b_o} = \frac{b_o - b'_o}{b_o} = \frac{d_2^2 - d_1^2}{d_2^2 - d_o^2} = \left(1 + \frac{y_{obs}}{d_o + \hat{y}_{est}} \right) P_s$$

Or, en ce qui nous concerne, $d_o \simeq 30$ cm alors que les épaisseurs de cerne sont de l'ordre du millimètre.

Le terme $\frac{y_{\text{obs}}}{d_o + \hat{y}_{\text{est}}}$ est de l'ordre de 10^{-2} , on peut assimiler $\frac{\Delta b_o}{b_o}$ à P_s .

Références bibliographiques

- ABT D., 1983. *Contribution à l'étude des stations en forêt d'Orléans*. Mémoire E.N.I.T.E.F., 90 p.
- ARCHAMBAULT L., BEAULIEU J., 1985. Réduction de croissance en volume occasionnée au sapin baumier, suite à la défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. *For. Chron.*, **61** (1), 10-13.
- BOUCHON J., TOTH J., 1971. Etudes préliminaires sur les pertes de production des pinèdes soumises aux attaques de Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.). *Ann. Sci. For.*, **23** (3), 323-340.
- DUSAUSOY G., GERI C., 1966. Etude d'une population de *Diprion pini* (Hym. Symphytes) en forêt de Fontainebleau. I — Données biologiques sur *Diprion pini* et sur les principaux parasites. *Ann. Soc. Entomol. Fr.*, **2** (3), 503-534.
- DUSAUSOY G., GERI C., 1971. Etude des populations résiduelles de *Diprion pini* L. à Fontainebleau après la gradation de 1963-1964. *Ann. Sci. For.*, **23** (3), 297-322.
- GERI C., GOUSSARD F., ROUSSEAU G., 1982. Situation actuelle des attaques de Lophyre du pin (*Diprion pini* L.) dans la région centre et en Ile-de-France. *For. Priv.*, **144**, 69-76.
- GERI C., GOUSSARD F., 1984. Evolution d'une nouvelle gradation de Lophyre du pin (*Diprion pini* L.) dans le sud du bassin parisien. I. Développement de la gradation jusqu'en 1982 et relation avec les facteurs du milieu. *Ann. Sci. For.*, **41** (4), 375-404.
- GERI C., GOUSSARD F., ROUSSEAU G., 1985. Recrudescence des attaques de Diprion du pin (*Diprion pini* L.) dans la région centre. *For. Priv.*, **162**, 57-67.
- GERI C., ALLAIS J.P., GOUSSARD F., LIGER A., YART A., 1985. Incidence du jeune feuillage sur le développement de *Diprion pini* L. Conséquences sur l'évolution des populations. *Acta Oecol. Oecol. appl.*, **6** (4), 349-365.
- GRISON P., JACQUIOT C., 1964. Observations sur une invasion de *Diprion pini* L. en Forêt de Fontainebleau. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **50**, 998-1000.
- JASNOWSKA J., 1977. Influence de divers facteurs sur les mensurations des cernes d'accroissement annuels des pins de la tourbière haute dans l'association vaccinio-uleginosipinetum. *Roc. dendrol.*, **30**, 5-33 (en polonais).
- KUIVINEN K.C., LAWSON M.P., 1982. Dendroclimatic analysis of birch in South Greenland. *Arctic Alp. Res.*, **14** (3), 243-250.
- LAURENT-HERVOUËT N., 1984. *Impact de la chenille processionnaire du pin sur l'accroissement radial du pin noir d'Autriche au Ventoux et du pin laricio en Corse : étude et mesure*. Mémoire E.N.I.T.E.F., 75 p.
- LAURENT-HERVOUËT N., 1986. Mesure des pertes de croissance radiale dues à deux défoliateurs forestiers. I — Cas de la Processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Ann. Sci. For.*, **43** (2), 71-93.
- POLGE H., GARROS S., 1971. Influence des défoliations sur la structure du bois de pin maritime. *Ann. Sci. For.*, **23** (2), 195-206.
- POLGE H., 1977. Utilisation de la densité du bois en dendrochronologie et xylochronologie. *Rev. For. Fr.*, **29** (6), 421-433.
- WEBB W.L., WICKMAN B.E., 1978. Effects of defoliation and tree energetics. In : *The douglas Fir Tussock Moth a synthesis*. Brooke M.H., Stark R.W., Robert W., Ed. U.S.D.A. For. Serv. Techn. Bull. n° 1585, 77-81.
- WICKMAN B.E., 1978. Tree injury. In : *The douglas Fir Tussock Moth a synthesis*. Brookes M.H., Stark R.W., Robert W., Ed. U.S.D.A. For. Serv. Techn. Bull. n° 1585, 66-77.