

DÉVITALISATION DU CHARME SUR PIED

RÉSULTATS COMPARATIFS DE QUELQUES MÉTHODES CHIMIQUES

P. ARBONNIER

*Station de Biométrie et Laboratoire de Recherches sur le Désherbage,
Centre national de Recherches forestières, 54 - Nancy*

SOMMAIRE

Trois méthodes de dévitalisation du charme sur pied ont été successivement expérimentées : pulvérisation basale au 2.4.5-T ou 2.4-D + 2.4.5-T, application de sulfamate d'ammonium sur entailles, badigeonnage à hauteur d'homme au 2.4.5-T. L'étude de l'influence du choix du produit, de sa dose et de l'époque d'application permet de définir les limites et les meilleures conditions d'application de ces méthodes.

INTRODUCTION

Dévitaliser un arbre — ou un brin appartenant à une cépée de taillis — consiste à provoquer la mort de l'appareil aérien et celle du système racinaire afin d'éviter la production de rejets qui se substitueraient à terme à la tige ainsi détruite.

On a pu s'interroger sur l'intérêt d'une telle opération : il apparaît de plus en plus indéniable en raison de l'extension des programmes d'enrésinement des taillis feuillus, de la dévalorisation du bois de feu et des difficultés croissantes de recrutement de la main-d'œuvre forestière.

L'installation d'essences résineuses nouvelles dans un taillis feuillu peut se faire après coupe rase de ce taillis. Cependant, de nombreuses essences résineuses — et plus spécialement celles qui pourront constituer un peuplement susceptible de se régénérer naturellement par la suite — sont des essences d'ombre ou de demi-ombre qui nécessitent au départ une certaine protection contre une insolation totale et, en climat continental, contre les gelées hivernales ou printanières. L'enrés-

sinement se pratique alors sous coupe d'abri ou par bandes. S'il est parfois possible de vendre les produits de la coupe d'abri ou d'ouvrir les bandes à l'aide d'engins mécaniques modernes, l'opération laisse en place soit des tiges disséminées, soit des interbandes qu'il sera nécessaire d'éliminer progressivement pour assurer aux résineux des conditions de croissance satisfaisantes.

Ce matériel feuillu sur pied n'intéresse qu'exceptionnellement un acheteur ou des consommateurs locaux. Il faut alors faire abattre les tiges restantes ou chercher le moyen de les dévitaliser sur pied. L'abattage pose le problème des rejets, des dégâts causés à la plantation et du rangement des produits de la coupe ; c'est toujours une opération onéreuse et c'est pourquoi il est tentant de dévitaliser les tiges devenues inutiles dont les squelettes disparaîtront progressivement par l'action conjuguée des intempéries et des parasites végétaux ou animaux.

La méthode ancestrale de l'annellation circulaire a longtemps constitué l'unique procédé de dévitalisation et peut encore, aujourd'hui, être mise en œuvre avec des outils modernes (scies à chaîne légères). La découverte d'un certain nombre de produits sylvicides a cependant incité les chercheurs forestiers à expérimenter ces derniers en vue d'améliorer l'efficacité ou l'économie de la méthode traditionnelle.

0. — GÉNÉRALITÉS

0.1 — PRODUITS ET TECHNIQUES UTILISABLES

Pour dévitaliser un arbre, il faut disposer d'un produit toxique et le faire absorber par ce dernier.

0.11 — Produits

Dans un pays où les forêts constituent des sites de plus en plus fréquentés, un sylvicide utilisable en dévitalisation doit satisfaire plusieurs conditions :

- être efficace sur de nombreux végétaux ligneux (spectre d'efficacité très large) ;
- être économique pour que la dévitalisation chimique soit rentable ;
- préserver l'entourage de l'individu traité ;
- ne pas être dangereux pour la faune — y compris l'homme — ce qui élimine les produits arsenicaux (notamment).

Certains phytocides de synthèse connus depuis une vingtaine d'années pourraient satisfaire à ces conditions : ce sont ceux-là que nous avons expérimentés d'abord ; d'autres, plus récemment découverts, sont actuellement en cours d'expérimentation (pichlorame, pichlorame + 2.4-D). Les essais réalisés de 1960 à 1962 et dont les résultats sont exposés plus loin concernent :

- les dérivés phénoxyacétiques : 2.4.5-T (acide 2.4.5-trichlorophénoxyacétique) et association du 2.4.5-T et du 2.4-D (acide 2.4-dichlorophénoxyacétique) ;
- le sulfamate d'ammonium ($\text{NH}_2 - \text{SO}_2 - \text{NH}_4$).

0.11. — Mode d'application

Pour dévitaliser un individu donné sans préjudices pour ses voisins, la tige constitue la meilleure voie d'accès du sylvicide aux courants circulatoires susceptibles d'en assurer la diffusion à l'ensemble de l'arbre. Deux procédés sont possibles :

— causer à l'arbre des blessures plus ou moins prononcées dans lesquelles on introduira le sylvicide (notamment s'il est solide) ;

— appliquer à l'écorce un sylvicide dissous dans un liquide capable de diffuser à travers les tissus protecteurs (liège) pour atteindre les assises plus profondes où se trouvent les tissus conducteurs.

Plusieurs variantes existent au premier procédé : entailles discontinues sur l'empatement (notching) ou plus ou moins continues sur le pourtour de la tige (entailles malaises), gouttière circulaire sur le tronc (frilling), utilisation d'outils combinant la blessure et l'application (tree-injector). Le second procédé utilise habituellement comme solvant un produit pétrolier bon marché (fuel domestique, gas oil, huile de vidange). Les deux méthodes sont parfois combinées sur les espèces tropicales de grande taille : application de 2.4.-5-T dissous dans le fuel au-dessus d'une ou plusieurs entailles malaises. (CATINOT et LEROY-DEVAL, 1960 ; CEBRON, 1957).

De nombreux chercheurs américains ont étudié et comparé certaines de ces méthodes : (PEEVY, 1954, 1960 ; LITTLE et MOHR, 1956) mais bien évidemment les résultats obtenus sur les espèces feuillues américaines ne concernent que celles-ci. En Europe, ce sont surtout les applications du 2.4.5-T qui ont été les plus étudiées, notamment en badigeonnage du tronc à hauteur d'homme (KOTSCHY, 1962 ; LINDEN, 1955).

Certains chercheurs se sont enfin attachés à l'étude des mécanismes de translocation des herbicides dans les végétaux ligneux et leurs travaux permettent d'en tirer des conclusions pratiques importantes (LEONARD, 1963).

0.2 — RECHERCHES PRÉLIMINAIRES

Les premières recherches que nous avons entreprises dans le domaine de la dévitalisation des arbres sur pied l'ont été en 1955 avec le sulfamate d'ammonium, (ARBONNIER, 1957). Elles ont été poursuivies en 1958 avec les mêmes modalités expérimentales et les résultats observés ont mis en lumière une action sylvicide beaucoup moins prononcée du sulfamate appliqué, en hiver ou au printemps, par entailles sur l'empatement ; ce résultat recoupait certaines conclusions de Mac QUILKIN (1955). Comme il était difficile, en toute rigueur, de comparer les résultats des traitements de 1955 et de 1958, un nouveau plan d'expériences fut mis en place en 1961 et observé jusqu'en 1965. Entre temps, au vu des résultats d'essais préliminaires, un dispositif avait été implanté en 1960 pour expérimenter la pulvérisation basale avec le 2.4.5-T ou l'association 2.4.5-T+2.4-D sur le charme. Cette expérience fut suivie jusqu'en 1964. Enfin, c'est en 1962 qu'un troisième dispositif d'essais fut installé pour expérimenter le badigeonnage à hauteur d'homme avec le 2.4.5-T. Les résultats et les conclusions de ces trois séries d'essais vont être exposés. Actuel-

lement, deux expériences sont en cours pour étudier l'utilisation du « tree-injector » avec le pichlorame (seul ou associé au 2,4-D) et les auxines de synthèse 2,4,5-T, 2,4-D)

Tous ces essais ont pour but d'analyser, pour une technique de dévitalisation donnée et sur une essence type (le charme), l'influence du choix du produit, de la dose et de l'époque d'application. Il n'est pas possible, à ce stade de la recherche, d'apprécier la rentabilité de tels traitements,

0.3 — MÉTHODES D'EXPÉRIMENTATION

0.31 — *Choix de l'essence*

Les moyens actuels du Laboratoire ne permettent pas de multiplier, sur plusieurs essences de nos taillis, des essais rigoureux. Il est déjà difficile de les réaliser sur une essence très répandue comme le charme, et nous devons à la compréhension du Service de Gestion des forêts de l'Ecole nationale des Eaux et Forêts d'avoir pu installer, à proximité de Nancy, un certain nombre de dispositifs assez compacts.

Nous avons choisi le charme comme essence type. Deux raisons motivent ce choix :

— sur le plan de la sensibilité aux phytocides, le charme se situe au milieu de l'échelle de résistance des espèces ligneuses courantes ;

— du point de vue économique, l'abondance de cette essence dans les taillis du quart Nord-Est de notre pays mérite qu'on lui accorde une attention toute particulière : le charme est un peu le cauchemar de nombreux sylviculteurs pratiquant l'enrésinement.

Ceci dit, il sera intéressant d'éprouver sur d'autres essences les résultats de l'expérimentation sur charme.

0.32 — *Choix du matériel expérimental*

Pour faciliter l'application des traitements et en améliorer la précision, tous les arbres traités ont été choisis parmi les brins de franc-pied dans une même parcelle. Afin d'apprécier, le cas échéant, l'influence de la dimension de la tige (et donc de son âge), les sujets traités appartenaient à plusieurs classes de diamètre à hauteur d'homme. Les effectifs varient selon la classe de diamètre dans un essai donné car cet essai étant (en principe) destructif, nous pouvions difficilement exiger du propriétaire — aussi compréhensif fut-il — qu'il nous abandonne un effectif important d'arbres commercialement valables. C'est pourquoi les classes 25 et 30 sont assez mal représentées dans les différents essais. Il faut cependant considérer que la dévitalisation d'arbres de telles dimensions est beaucoup moins courante que celle des brins de petits diamètres (5 à 15) car ils peuvent trouver plus facilement preneur dans le contexte économique actuel.

Un même effectif a été alloué à chaque modalité de traitement : sa constitution (en classes de diamètre) est déterminée en fonction des possibilités culturales présu-

mées, du mode de dévitalisation étudié et des servitudes expérimentales. Les arbres constituant l'effectif total sont alors reconnus en forêt et l'attribution des traitements est faite au hasard dans chaque classe de diamètre. Cette randomisation a permis l'interprétation des résultats par l'analyse de l'information. Après tirage au sort, chaque tige reçoit un numéro codé permettant, dans les relevés ultérieurs, de retrouver sans difficultés la modalité de traitement qui lui a été appliquée. Cette précaution s'est avérée ici indispensable.

0.33 — Notation des résultats observés

Si l'efficacité d'un sylvicide appliqué en dévitalisation se traduisait par un phénomène de « tout ou rien » l'appréciation des résultats et leur interprétation en seraient grandement facilitées. Malheureusement, il n'en est rien et les effets consécutifs à l'application de doses subléthales sont beaucoup plus nuancés. La gradation de ces effets présente un incontestable intérêt pour l'expérimentateur ; elle oblige alors l'observateur à recourir à une échelle de notation. Ce problème est du reste posé par la plupart des essais de produits phytocides en forêt, le sylviculteur étant souvent plus intéressé par l'inhibition temporaire de certains végétaux indésirables que par leur destruction effective. Il a été récemment discuté en France par la Commission des Essais Biologiques qui a approuvé certaines recommandations (ARBONNIER, 1966) (*).

Entre l'apparition de gourmands sur la tige d'un arbre totalement défeuillé et une défoliation limitée aux extrémités de quelques rameaux de la cime, on peut observer une gamme continue de défoliations partielles sur les arbres qui ont reçu une dose de sylvicide insuffisante pour provoquer la mort. Pour le sylviculteur, ce qui importe c'est la réduction du couvert : c'est pourquoi nous avons choisi une échelle de notation fondée sur ce critère et ne comportant pas un nombre de classes trop élevé.

Cette échelle est la suivante (fig. 0.1.) :

- 0 couvert nul, arbre mort,
- 1 couvert nul, arbre vivant (quelques feuilles isolées ou rejets de souche),
- 2 couvert inférieur à $1/3$,
- 3 couvert compris entre $1/3$ et $2/3$,
- 4 couvert compris entre $2/3$ et 1,
- 5 couvert total, réactions locales (rameaux secs aux extrémités etc.),
- 6 couvert total.

Cette notation n'est pas conforme aux recommandations plus récentes qui apprécient l'efficacité herbicide — la plus forte note est alors attribuée à l'arbre mort — car elle a été définie il y a plusieurs années. L'existence de la note 5 était justifiée par un souci de symétrie dans l'hypothèse où une transformation de variable serait

(*) La Commission des Essais biologiques, créée au sein de la Société française de Phytologie et de Phytopharmacie est constituée de représentants des administrations, des organismes de recherches et des producteurs de produits pesticides. Elle a pour tâche de codifier et d'harmoniser les méthodes utilisées dans les essais préalables à l'homologation des pesticides utilisables en agriculture.

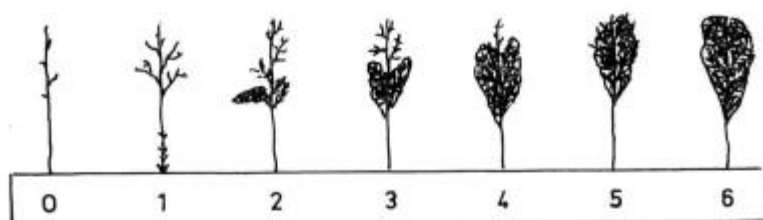


FIG. 0.1. — Définition de l'échelle de notation utilisée

nécessaire pour l'analyse statistique des résultats. L'utilisation d'une autre méthode d'analyse la rend superflue et il est possible de regrouper les classes 5 et 6 si l'on ne s'attache qu'à l'effet pratique des traitements.

0.34 — Durée des observations

C'est un fait bien connu des expérimentateurs de produits phytocides en sylviculture que les conclusions qui peuvent être tirées de toute expérience exigent un recul important. Les traitements foliaires ont toujours à brève échéance des effets spectaculaires que l'avenir peut remettre en cause ; inversement, l'action des sylvicides appliqués aux arbres sur pied est souvent lente et la toxicité peut encore se manifester plusieurs années après l'application du produit. Nous reviendrons sur ce point mais nous avons admis qu'un délai de trois ans constituait un minimum au-dessous duquel il était imprudent de descendre ; nous disposons en fait d'un recul de quatre ans pour certains traitements.

L'obligation d'assurer les résultats en respectant un délai important entre les traitements et les observations définitives est une contrainte qui retarde la diffusion de résultats souvent impatientement attendus par les utilisateurs.

0.35 — Interprétation des résultats

Chaque dispositif expérimental constituant un plan d'expériences statistique, il est opportun d'analyser statistiquement les résultats même si cette analyse soulève un certain nombre de difficultés. Nos plans d'expérience devraient permettre l'application de l'analyse de variance sous réserve que les conditions de validité de cette analyse soient remplies. La variable observée — la note de couvert — est malheureusement une variable discrète : sa loi de distribution ou ses paramètres de dispersion ne remplissent pas les conditions fondamentales attachées à un emploi correct de l'analyse de variance. L'utilisation de transformations de variable, artifice classique, n'a pas été employée parce que compliquée dans la recherche d'une statistique valable et confuse dans ses conclusions.

Nous lui avons préféré une autre méthode, assez délaissée, celle de l'analyse de l'information. Celle-ci n'exige pas que soient remplies les conditions restrictives de l'analyse de variance ; elle est très souple et d'un emploi commode si l'on utilise des tables donnant les valeurs de $n \log n$, (ARBONNIER, 1966). Rappelons très

brèvement que si l'on dispose de r échantillons (indexés par i) d'effectifs N_i , répartis en c classes (indexées par j), x_{ij} désignant l'effectif de l'échantillon i pour la classe j , la quantité :

$$2\hat{I} = 2(\sum_{ij} x_{ij} \log x_{ij} + N \log N - \sum_i N_i \log N_i - \sum_j X_j \log X_j) \quad (1)$$

suit asymptotiquement, dans l'hypothèse d'homogénéité des échantillons, une loi de χ^2 centré à $(r-1)(c-1)$ degrés de liberté.

avec $X_j = \sum_i x_{ij}$ effectif total de la classe j
 $N = \sum_i N_i$ effectif total de l'ensemble des échantillons (tableau 0.1)

TABLEAU 0.1
Fréquence de r échantillons à c classes

Echantillon	Classe			j		c	Totaux
	1	2					
1	X_{11}	X_{12}		X_{1j}		X_{1c}	N_1
.
.
.
i	X_{i1}	X_{i2}		X_{ij}		X_{ic}	N_i
.
.
.
r	X_{r1}	X_{r2}		X_{rj}		X_{rc}	N_r
Totaux	X_1	X_2		X_j		X_c	N

La tendance asymptotique vers la loi de χ^2 est d'autant mieux assurée que le nombre d'observations est élevé. Il est alors possible de tester l'homogénéité des échantillons en comparant la valeur observée $2\hat{I}$ aux valeurs critiques de χ^2 pour un seuil de probabilité donné, le nombre de degrés de liberté étant connu.

De la même manière, il est possible (*) :

— de tester l'homogénéité interne de groupes d'échantillons et, au cas où de tels tests sont favorables, de tester ensuite l'homogénéité de deux ou plusieurs groupes entr'eux ;

— d'effectuer une analyse progressive des différents échantillons de façon à faire apparaître l'existence de groupes homogènes ou encore d'un ou plusieurs échantillons distincts d'un ensemble homogène.

(*) L'information globale, attachée à l'hypothèse d'homogénéité de l'ensemble des échantillons, se décompose en éléments additifs permettant de tester séparément certaines sous-hypothèses (relatives à des sous-ensembles d'échantillons) dont l'intersection constitue l'hypothèse d'homogénéité. Le procédé est comparable à la décomposition de la somme des carrés dans l'analyse de variance, elle aussi liée aux propriétés de la loi de χ^2 .

Ces calculs ne nécessitent qu'une table de $n \log n$ et une table de χ^2 et peuvent être réalisés sur la plus banale des machines à calculer de bureau. Ces méthodes d'analyse seront précisées en même temps que les résultats.

1. — LA PULVÉRISATION BASALE AUX AUXINES DE SYNTHÈSE

1.0 — L'objectif de l'expérimentation était de définir un traitement par pulvérisation basale applicable au charme : dans ce but, apprécier l'influence du choix du produit, de la dose mise en œuvre et de l'époque d'application sur l'efficacité du traitement ; accessoirement, juger de l'influence de la grosseur de la tige (diamètre à hauteur d'homme) sur le comportement des arbres traités.

1.1 — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le matériel expérimental a été recruté en forêt de Haye dans la 4^e série de futaie affectée à l'École nationale des Eaux et Forêts. Cette forêt est assise sur le plateau de Haye, qui sépare la vallée de la Meurthe d'une grande boucle de la Moselle, sur sol calcaire assez profond : le charme y constitue le sous-étage d'un peuplement de hêtre en fin de conversion et il est très vigoureux sur de telles stations.

Chaque série élémentaire avait la constitution suivante :

Classe de diamètre (à 1,30 m) :	15	20	25	30	Total
Nombre d'arbres :	3	3	3	1	10

Le nombre de modalités de traitement étant de 12, une reconnaissance préalable a sélectionné 120 tiges (dont 36 de la classe 15, etc.) auxquelles les traitements ont été affectés au hasard. Les difficultés rencontrées pour recruter dans une parcelle (unité culturale élémentaire) des tiges de bonne conformation et de dimension convenables limitent en général entre 100 et 150 l'effectif total d'un dispositif expérimental de ce genre.

1.2 — TRAITEMENTS

1. 20 — Quatre traitements combinés factoriellement avec trois époques ont été appliqués à une série complète (10 tiges).

Les sylvicides utilisés ont été le 2.4.5-T (sous forme d'ester amylique) et un mélange de 2.4.5-T et de 2.4-D contenant sensiblement deux parties de 2.4.5-T équivalent acide (éq. ac.) pour une partie de 2.4-D éq. ac. Les dates d'application correspondent en principe à trois stades du cycle végétatif de l'arbre :

- repos hivernal (arrêt de sève),
- période de croissance active (sève montante),
- fin de saison de végétation (sève montante et descendante).

1.21 — Produits et doses

Le 2.4.5-T utilisé est un produit commercial titrant 710 g/l d'éq. ac. sous forme d'ester amylique. Il a été appliqué aux concentrations de 1,5 et 2 %.

L'association 2.4.5-T + 2.4-D est également une formulation commerciale titrant 287 g/l de 2.4.5-T éq. ac. et 138 g/l de 2.4-D éq. ac. sous forme d'esters amyliques. Les concentrations

de ce produit ont été respectivement de 3 et 4 %. Sans oser espérer une action synergique marquée de cette association, on pouvait en effet s'interroger sur l'opportunité d'adjoindre au 2,4,5-T du 2,4-D beaucoup moins coûteux, quitte à majorer quelque peu la quantité de matière active totale mise en jeu.

Exprimés en matière active, les traitements, symbolisés par des lettres dans les tableaux de résultats, sont définis comme suit :

T 1	: 10,65 g/l	2,4,5-T	éq. ac.
T 2	: 14,20 g/l	—	—
TD 1	: 8,61	2,4,5-T + 4,14	2,4-D = 12,75 g/l éq. ac. total
TD 2	: 11,48	2,4,5-T + 5,52	2,4-D = 17,00 g/l éq. ac. total

Le solvant utilisé était du gas oil (carburant poids lourd).

1.22 — *Epoques d'application*

Chaque traitement a été appliqué aux trois dates suivantes :

- Mars : 18 mars 1960
- Mai : 13 mai 1960
- Sept. : 5 au 8 septembre 1960.

La première de ces dates se situe à la limite de la période de repos hivernal.

1.23 — *Mise en œuvre*

Après brossage de la mousse qui pouvait exister dans la partie basse du tronc, on a procédé, avec un pulvérisateur à dos ordinaire, à une pulvérisation soignée de l'écorce sur une hauteur de 0,50 m. La consommation moyenne de bouillie a été de 3,260 litres par série de 10 arbres. La mise en œuvre de tels traitements ne soulève aucune difficulté sur des tiges isolées mais il n'en sera pas toujours ainsi dans la pratique lorsqu'on aura affaire à des cépées denses de taillis. L'existence fréquente d'un manchon de mousse à proximité de l'empatement pose également un petit problème pratique.

1.3 — OBSERVATIONS

Les tiges traitées ont fait l'objet d'observations régulières : générales à court terme (dans les mois suivant le traitement) d'abord, par notation individuelle, ensuite. Ces notations ont été relevées en été, durant trois années successives aux dates suivantes : 18 août 1961, 7 août 1962, 28 juin 1963.

La nécessité de prolonger les observations au-delà de la première année apparaît nettement sur le tableau 1.0, bien que ce tableau ne donne qu'une vue très grossière (puisque globale) de l'évolution des arbres traités.

TABLEAU 1.1
Evolution des effectifs par note entre 1961 et 1963

Année d'observation	Note							Total (*)
	0	1	2	3	4	5	6	
1961	8	20	8	17	25	30	9	117
1962	22	6	9	14	31	26	9	117
1963	28	3	7	18	31	27	3	117

Entre 1961 et 1963, les colonnes 0 (arbres morts) et 1 ont vu leurs effectifs profondément modifiés. Par contre, les colonnes 2 à 6 bénéficient d'une relative stabilité,

(*) 3 tiges ont disparu accidentellement entre 1960 et 1963.

stabilité encore plus nette si l'on considère les effectifs de deux colonnes contiguës (*). Cette remarque peut nous guider lorsque, pour l'analyse des résultats, nous serons amenés à procéder au regroupement de classes d'effectifs trop faibles. Un examen plus attentif des tableaux de fréquence détaillés montre cependant que la classe 1 n'est pas la seule à avoir alimenté l'augmentation d'effectif de la classe 0 entre 1962 et 1963.

L'influence du temps paraît s'exercer de la façon suivante :

- la plupart des arbres de la classe 1 passent progressivement dans la classe 0 ;
- la classe 2 évolue en partie vers la classe 0, en partie vers les classes supérieures ;
- la classe 3 manifeste une certaine stabilité, quelques individus s'échappant de part et d'autre ;
- les classes 4 à 6 demeurent stables compte tenu de la marge d'appréciation laissée dans certains cas particuliers à l'observateur.

Une analyse précise des observations n'est donc possible que si l'on dispose de relevés établis avec un recul suffisant pour que les effectifs se soient stabilisés : la troisième année d'observation, c'est-à-dire près de quatre ans après l'application de certains traitements, nous paraît concilier cette exigence avec les difficultés qui s'attachent au maintien de l'intégralité d'un dispositif dispersé en forêt et comprenant de nombreux arbres morts ou dépérissants.

Les résultats des observations de juin 1963 sont résumés sur le tableau 1.2. qui précise la répartition des notes par traitement.

TABLEAU 1.2
Observations du 28.06.63 (Traitement . 1960)

Date d'application	Produit	Dose	Notation							Total
			0	1	2	3	4	5	6	
18 mars (MARS)	T	1	1	0	0	2	3	3	1	10
		2	1	0	2	2	4	1	0	10
	TD	1	4	0	1	0	2	3	0	10
		2	2	0	0	2	2	4	0	10
13 mai (MAI)	T	1	1	0	1	2	2	3	0	9
		2	4	0	2	0	2	2	0	10
	TD	1	0	0	0	2	5	2	1	10
		2	0	0	0	3	3	2	0	8
5-8 septembre (SEPT.)	T	1	5	0	0	1	3	1	0	10
		2	6	3	0	1	0	0	0	10
	TD	1	0	0	1	2	3	3	1	10
		2	4	0	0	1	2	3	0	10
Totaux			28	3	7	18	31	27	3	117

(*) L'échelle de notation choisie laisse à l'observateur une certaine marge d'appréciation personnelle pour les arbres voisins de quelques limites de classe, d'où une source de variation accidentelle difficile à éliminer à partir de la note 2.

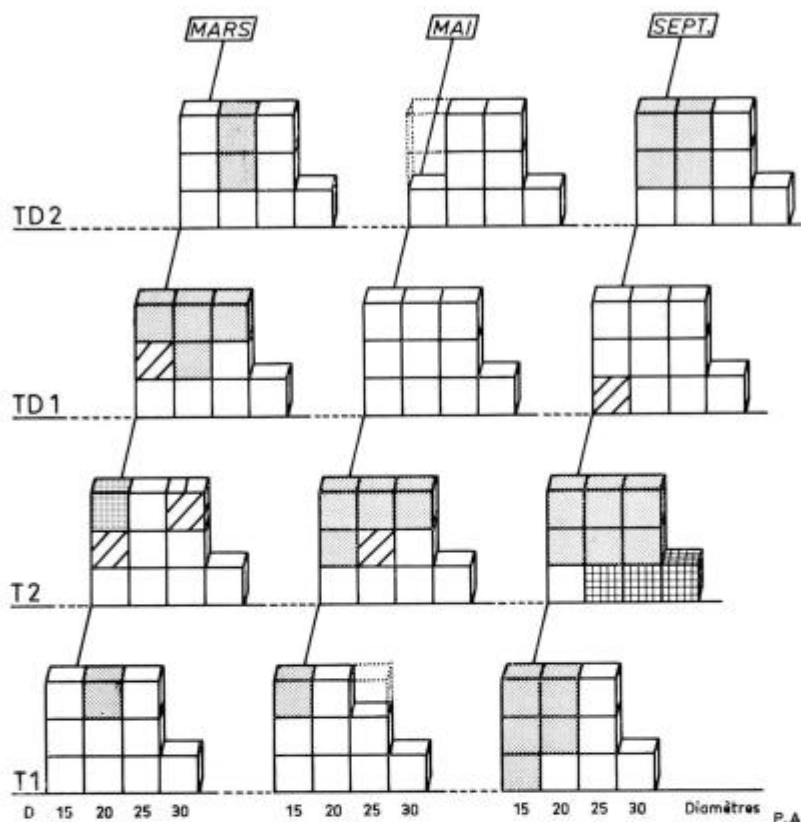


FIG. 1.1. — DIAGRAMME 1

Résultats observés par classe de diamètre
 Traitements du charme sur pied - 1960
 Pulvérisation basale au 2.4.5-T et 2.4.5-T+2.4-D
 Observations du 28-06-63

Grisé : note 0 ; quadrillé : note 1 ; hachuré : note 2 ; blanc : notes 3 à 6 ; en pointillé : arbre disparu.

Le diagramme 1 traduit, sous une forme plus complète, les chiffres de ce tableau en distinguant les arbres morts, ceux qui semblent devoir disparaître assez rapidement (note 1) et ceux dont le couvert a été notablement réduit (note 2), fig. 1.1.

1.4 — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'examen du tableau 1.2 montre que certaines classes ont des effectifs très faibles correspondant à des fréquences marginales de 2,6 % (classes 1 et 6). Ce que nous avons dit, aussi bien de la définition des notes 1 et 6 que de l'évolution des arbres ayant recueilli de telles notes, nous incite avant d'entreprendre l'interprétation des

résultats, à regrouper ces classes avec une classe voisine. On est logiquement amené à grouper la classe 1 avec la classe 0, la classe 6 avec la classe 5, d'où le nouveau tableau de fréquence sur lequel va porter l'interprétation (tableau 1.3).

TABLEAU 1.3
Fréquences observées (après regroupement partiel)

Epoque	Produit	Dose	0+1	2	3	4	5+6	Total
MARS	T	1	1	0	2	3	4	10
		2	1	2	2	4	1	10
	TD	1	4	1	0	2	3	10
		2	2	0	2	2	4	10
MAI	T	1	1	1	2	2	3	9
		2	4	2	0	2	2	10
	TD	1	0	0	2	5	3	10
		2	0	0	3	3	2	8
SEPT	T	1	5	0	1	3	1	10
		2	9	0	1	0	0	10
	TD	1	0	1	2	3	4	10
		2	4	0	1	2	3	10
Totaux			31	7	18	31	30	117

Cette interprétation repose sur l'analyse de l'information (voir § 0.35 ci-dessus). A chaque modalité de traitement est attaché un échantillon d'une loi multinominale à 5 classes ($c = 5$) : le problème consiste à discerner les échantillons homogènes entr'eux c'est-à-dire qui peuvent, par le jeu du hasard, constituer les résultats de tirages indépendants, sans cependant que les probabilités attachées à chaque classe soient définies à l'avance.

1.41 — Homogénéité globale

Si nous considérons l'ensemble du tableau, nous y trouvons 12 échantillons (chacune des lignes). Si ces échantillons sont homogènes entre eux, la valeur estimée de l'information $2I$ calculée par :

$$2I = 2(\sum_{ij} x_{ij} \log x_{ij} + N \log N - \sum_i N_i \log N_i - \sum_j X_j \log X_j)$$

est distribuée asymptotiquement comme χ^2 avec $(r-1)(c-1)$ degrés de liberté (voir § 0.35).

Les x_{ij} sont ici les effectifs de chaque ligne, les N_i sont les totaux de lignes (10, 10... 10), les X_j les totaux de colonnes (31, 7... 30) et $N = 117$.

On trouve :

$$2I = 72,88$$

Avec 44 (4×11) degrés de liberté, la valeur critique de χ^2 au seuil de 0,01 est (par interpolation) de l'ordre de 68,6. On peut conclure à l'hétérogénéité globale des 12 échantillons, c'est-à-dire des résultats des traitements.

1.42 — Influence du produit et de la dose

Pour une date d'application donnée, on peut étudier l'influence du produit et de la dose utilisés.

a) Mars

L'estimation de l'information permettant de tester l'homogénéité des quatre relevés correspondant à cette époque est :

$2\hat{I} = 14,10$ avec 12 degrés de liberté pour le χ^2 asymptotique. Cette valeur n'est pas significative (sa probabilité est de l'ordre de 25 %).

Pour les traitements de mars, les effets des produits ou des doses ne sont donc pas significativement différents.

b) Mai

De la même manière, on trouve pour cette époque : $2\hat{I} = 19,62$, avec 12 degrés de liberté la probabilité de χ^2 est d'environ 7 %. Compte tenu du caractère asymptotique de la convergence de $2\hat{I}$ vers la loi de χ^2 il est difficile de conclure. Il y a cependant de sérieuses présomptions d'hétérogénéité entre les résultats des quatre traitements de Mai. Il est possible, en décomposant $2\hat{I}$ (par analyse progressive ou par analyse de groupe), d'affiner cette conclusion : on peut montrer que les traitements T1 et T2 sont homogènes entre eux et différent de T D1 au seuil de 7 %. C'est donc au produit et non à la dose mise en œuvre qu'il faut attribuer la présomption d'hétérogénéité des résultats. En fait, le 2.4.5-T en mai s'avère un peu plus efficace que l'association 2.4.5-T — 2.4-D, la dose appliquée ayant une influence négligeable.

c) Septembre

La valeur de l'information est ici :

$$2\hat{I} = 27,36$$

cette valeur est significative aux seuil de 1 % du χ^2 asymptotique. On se trouve donc en présence de 4 échantillons appartenant à des distributions distinctes.

Avant de décomposer l'information afin d'en savoir davantage sur la cause de cette hétérogénéité, il est nécessaire de procéder à un nouveau regroupement de classes permettant d'éliminer des fréquences marginales nulles qui peuvent se manifester dans certains groupes et compromettre la validité des comparaisons. Le seul arbre classé 2 étant alors regroupé avec la classe 3, on obtient le tableau 1.4 :

TABLEAU 1.4
Traitements de septembre

Traitement	0+1	2+3	4	5+6	Totaux
T1	5	1	3	1	10
T2	9	1	0	0	10
T D1	0	3	3	4	10
T D2	4	1	2	3	10
Totaux	18	6	6	8	40

L'information d'homogénéité globale est encore significative. Si l'on constitue deux groupes d'échantillons (T1, T2) et (TD1, TD2), on obtient pour l'homogénéité interne de ceux-ci les valeurs suivantes de l'information :

$$(T1, T2) : \widehat{2I} = 6,70 \qquad (TD1, TD2) : \widehat{2I} = 6,94$$

Ces valeurs correspondent pour un χ^2 à 3 degrés de liberté à des probabilités comprises entre 10 % et 5 %, donc proches du seuil de signification. En raison de la faiblesse des effectifs, il est aventureux de conclure. L'analyse progressive de l'information fournit une approche plus efficace. Le tableau 3.4 (et le diagramme 1) incitent à comparer entre eux T1 et TD2. L'information qui permet de tester cette homogénéité a pour valeur :

$$\widehat{2I} = 1,36$$

Avec 3 degrés de liberté, la probabilité d'une telle valeur de χ^2 est de 75 %. On peut ainsi admettre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les résultats de T1 et TD2. Si ensuite on compare l'échantillon regroupé (T1 + TD2) à T2, on obtient pour valeur de l'information :

$$\widehat{2I} = 9,42$$

Avec 3 degrés de liberté, la probabilité que χ^2 atteigne cette valeur est de 2,5 %. Le traitement T2 est significativement plus efficace que T1 ou TD2.

Une comparaison analogue entre (T1 + TD2) et D1 donne :

$$\widehat{2I} = 9,79$$

et une conclusion identique qui conduit au classement :

$$TD1 < TD2 = T1 < T2$$

L'existence d'une interaction de fait entre l'influence de l'époque d'application et celle du produit et de la dose nous amène à conclure différemment suivant que les traitements ont été appliqués en mars, en mai ou en septembre.

1.51 — *Traitement de mars*

Les résultats obtenus peuvent être considérés comme indépendants de la dose et du produit appliqués compte tenu de la précision de l'expérience.

Sur l'ensemble des arbres traités (40), 8 soit 20 % ont été effectivement dévitalisés. Ce pourcentage est insuffisant.

1.52 — *Traitement de mai*

L'influence de la dose apparaît faible en regard de celle du choix du produit. Le meilleur produit, le 2.4.5-T a réellement dévitalisé 5 arbres sur 20, soit 25 %. Ce résultat est encore insuffisant.

1.53 — *Traitement de septembre*

Le classement est le suivant, dans l'ordre d'efficacité croissant :

$$TD1 < TD2 = T1 < T2$$

Le traitement T2 a provoqué la dévitalisation de 9 des 10 tiges traitées et la survivance d'un arbre de 15 peut paraître accidentelle ; en outre, il a permis la dévitalisation des plus gros arbres, ce qui n'a pu être obtenu avec T1 et TD2. On peut donc le retenir comme valable.

En résumé :

— le 2.4.5-T à dose de matière active équivalente s'avère plus efficace que l'association 2.4.5-T — 2.4-D (en proportions 2/3 — 1/3) pour la dévitalisation du charme par pulvérisation basale ;

— l'époque de descente de sève (fin de l'été) apparaît la plus favorable ;

— la concentration à mettre en œuvre ne doit pas être inférieure à 15 g/l (1,5 %) de 2.4.5-T éq. ac. à condition de traiter à cette époque de l'année, en particulier s'il s'agit de charmes âgés (classes de diamètre 25 et 30).

La pulvérisation basale en hiver ou au printemps demande la mise en œuvre de concentrations supérieures à 1,5 % de 2.4.5-T éq. ac. que seuls des essais ultérieurs pourront déterminer. De nombreux auteurs américains recommandent une concentration de 2 %. En Grande-Bretagne, on conseille (ALDHOUS, 1965) la fourchette 1,5 % — 2 %.

Le traitement de fin d'été à 1,5 % de 2.4.5-T éq. ac. en solution dans le fuel domestique constitue la méthode la plus économique pour dévitaliser le charme par pulvérisation basale. Les esters du 2.4.5-T étant solubles dans le fuel, il n'est pas indispensable d'avoir recours aux produits commerciaux additionnés d'émulgateurs qui sont habituellement utilisés en pulvérisation foliaire. L'ester pur peut être employé, la solution se préparant sans difficultés l'été.

2. — L'APPLICATION DE SULFAMATE D'AMMONIUM SOLIDE

2.0 — Il y a deux manières d'utiliser le sulfamate d'ammonium pour la dévitalisation d'arbres sur pied (ARBONNIER, 1957) :

— pratiquer à la base de l'arbre un certain nombre d'entailles et y déposer immédiatement le sel à l'état cristallisé ;

— entailler une gouttière circulaire horizontale et continue tout autour du tronc et y verser une solution aqueuse concentrée de sulfamate.

C'est la première de ces méthodes qui a été utilisée ici : elle est nettement la plus commode à mettre en œuvre et par conséquent susceptible d'un emploi plus courant.

L'objectif de l'expérimentation était de contrôler les résultats d'une expérimentation antérieure fragmentaire, en étudiant, dans un même dispositif cohérent, l'influence de la saison d'application et de la dose de sulfamate déposée par entaille sur le comportement des charmes ; confirmer simultanément si possible l'influence de la dimension de l'arbre sur le résultat du traitement.

2.1 — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Il a été implanté en forêt de Haye (4^e série, parcelle 12).

Chaque modalité de traitement a été appliquée à l'effectif suivant :

Classe de diamètre (1,30 m)	15	20	25	30	Total
Nombre d'arbres	6	3	2	1	12

Avec 9 modalités de traitement, le dispositif comprenait au total 108 arbres (dont 54 de 15 etc.). Pour chaque classe de diamètre l'affectation des traitements a été faite au hasard. L'effectif des gros arbres est limité compte tenu d'échecs antérieurs qui incitaient à ne pas mutiler inutilement des arbres exploitables.

2.2 — TRAITEMENTS

Les 9 modalités de traitement correspondent à trois époques d'application combinées factoriellement avec 3 doses par entaille.

Les trois époques d'application correspondent aux trois stades de l'activité végétative précédemment définis (cf. § 1.2 p. 12).

2.21 — Produits et doses

Le produit utilisé est un produit commercial contenant 95 % de sulfamate d'ammonium. Il présente l'aspect d'un sel cristallisé, doué de propriétés hygroscopiques et corrosives assez marquées.

Trois doses ont été appliquées par entaille, immédiatement :

10 grammes — 20 grammes — 30 grammes (de produit commercial)

2.22 — Epoque d'application

- 18 mai 1961 — montée de sève
- 17 août 1961 — sève montante et descendante,
- 14 décembre 1961 — arrêt de sève

2.23 — Mise en œuvre

Le nombre d'entailles opérées sur l'empanchement de l'arbre (aussi bas que possible) était déterminé par la classe de diamètre (à 1,30 m) comme dans les essais antérieurs.

- classe 15 : 2 entailles,
- classe 20 : 3 entailles,
- classe 25 : 4 entailles,
- classe 30 : 5 entailles,

Les entailles étaient assez profondes pour pouvoir recevoir la quantité de sel prévue (une cuiller à café bien pleine représente 12 à 14 g de sulfamate).

2.3 — OBSERVATIONS

Les tiges traitées ont été suivies pendant quatre ans et ont fait l'objet de relevés par notation aux dates suivantes :

- 7 août 1962,
- 2 septembre 1963,
- 2 septembre 1964,
- 28 septembre 1965.

Le tableau 2.1 donne une vue globale de l'évolution du comportement des arbres traités. L'échelle de notation demeure celle qui a été précédemment définie (cf. § 0.33 p. 9).

TABLEAU 2.1
Evolution des effectifs par note entre 1962 et 1965

Année d'observation	Note							Total
	0	1	2	3	4	5	6	
1962	3	9	17	14	25	24	16	108
1963	3	6	17	23	35	24	0	108
1964	6	13	11	19	25	34	0	108
1965	14	3	4	11	29	39	8	108

On constate ici encore des changements notables dans la répartition des observations par note. Si l'on peut admettre que pour les notes égales ou supérieures à 2 certaines fluctuations sont inévitables en raison d'une certaine marge d'appréciation laissée au notateur par la définition même des notes, il ne saurait en être de

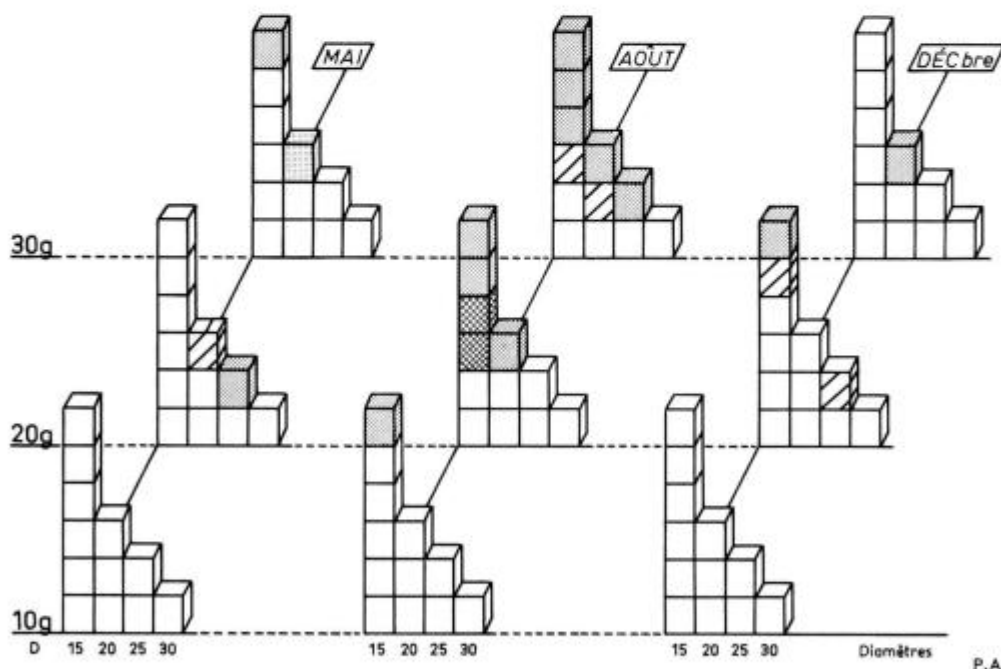


FIG. 2.1. — DIAGRAMME 3
Résultats observés par classe de diamètre
Traitement du charme sur pied - Sulfamate d'ammonium 1961
Observations du 28-09-65

Chaque cube représente un arbre (voir fig. 1.1).

même pour les classes 0 et 1 dont la définition est assez précise pour éviter toute hésitation de l'observateur. On remarque en particulier que la mortalité a continué de se manifester entre 1964 et 1965, soit plus de 3 ans après le traitement et que l'effectif cumulé des classes 0 et 1 en 1965 est supérieur à ce qu'il était en 1963, date à laquelle on aurait pu penser disposer d'un recul suffisant pour conclure valablement sur ces essais. La moitié des tiges notées 2 en 1963 ont évolué de façon régressive pour disparaître ou dépérir par la suite. Par contre, l'effectif des tiges peu marquées par le traitement (notes 4 à 6) après avoir un peu baissé en 1963 et 1964 retrouve en 1965 un niveau comparable à celui de 1961.

La nécessité d'une attente prolongée apparaît donc à nouveau ici : il eut été illusoire d'analyser finement les observations d'une expérience de ce genre avec un recul d'un an ou deux.

Les résultats complets des observations du 28 septembre 1965 sont consignés sur le tableau 2.2. Le diagramme 2 (fig. 2.1) matérialise ces résultats en tenant compte des classes de diamètre.

TABLEAU 2.2

Observations du 28/09/65 (traitement : 1961)

Dates d'application	Dose	Note							Total
		0	1	2	3	4	5	6	
18 mai (MAI)	10	0	0	0	0	1	7	4	12
	20	1	1	0	0	6	4	0	12
	30	2	0	0	2	4	4	0	12
17 août (AOUT)	10	1	0	0	0	3	7	1	12
	20	3	2	0	1	3	2	1	12
	30	5	0	2	3	1	1	0	12
14 décembre (DEC)	10	0	0	0	2	3	6	1	12
	20	1	0	2	0	4	5	0	12
	30	1	0	0	3	4	3	1	12
Totaux		14	3	4	11	29	39	8	108

2.4 — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Certaines classes du tableau 2.1 ont des fréquences marginales faibles et avant d'entreprendre l'analyse des résultats par la même méthode que celle qui a été utilisée au § 1.4, nous sommes amenés à procéder à certains regroupements : tenant compte de la définition de la notation et de son évolution dans le temps, nous regroupons la classe 1 avec la classe 0 et la classe 2 avec la classe 3. L'analyse de l'information sera appliquée aux chiffres du tableau 2.3.

TABLEAU 2.3

Fréquences observées (après regroupement partiel)

Dates d'application	Dose	Note					Total
		0+1	2+3	4	5	6	
MAI	10	0	0	1	7	4	12
	20	2	0	6	4	0	12
	30	2	2	4	4	0	12
AOUT	10	1	0	3	7	1	12
	20	5	1	3	2	1	12
	30	5	5	1	1	0	12
DEC	10	0	2	3	6	1	12
	20	1	2	4	5	0	12
	30	1	3	4	3	3	12
Totaux		17	15	20	39	8	108

2.41 — Homogénéité globale

Chaque ligne constituant un échantillon d'une loi multinomiale à 5 classes, la valeur de l'information $2I$ permet de tester l'homogénéité des 12 échantillons du tableau 2.3 (cf. § 0.35).

On trouve :

$$2I = 60,70$$

Le χ^2 asymptotique à 32 (8×4) degrés de liberté. La valeur significative au seuil de 1 % est sensiblement :

$$\chi_{0,01}^2 \simeq 53,4$$

La valeur observée $2I$ permet de conclure à l'hétérogénéité de l'ensemble des 12 échantillons, c'est-à-dire à un effet significatif entre traitements.

2.42 — Influence de la dose

a) *Mai* — Si l'on considère le sous-tableau constitué par les trois lignes Mai et que l'on calcule l'information attachée à l'homogénéité des trois échantillons 10, 20 et 30, on trouve :

$$2I = 21,57$$

Or, le χ^2 asymptotique (8 degrés de liberté) a pour valeur critique au seuil de 1 % :

$$\chi_{0,01}^2 = 20,09$$

L'influence de la dose est donc significative en Mai. Cette information peut être additivement décomposée pour permettre des comparaisons internes, ce qui donne l'analyse suivante :

Composante	Information	Degrés de liberté
Homogénéité 20 : 30	$2\hat{I} = 3,18$	4
Homogénéité (20+30) : 10	$2\hat{I} = 18,39^{**}$	4
Homogénéité 10 : 20 : 30	$2\hat{I} = 21,57$	7

Les valeurs critiques de χ^2 à 4 degrés de liberté sont respectivement :

$$\chi_{0,05}^2 = 9,49 \quad \chi_{0,01}^2 = 13,28$$

Les valeurs observées pour $2\hat{I}$ montrent que l'hétérogénéité du groupe des résultats de Mai est due à la dose 10 g qui diffère significativement des doses 20 et 30 g homogènes entr'elles : $(30) = (20) \neq (10)$.

b) *Août* — L'information attachée à l'homogénéité des trois échantillons 10, 20 et 30 observés pour les traitements d'août est :

$$2\hat{I} = 20,26$$

Ici encore, cette valeur est significative à 1 % : il y a hétérogénéité. De la même manière, on peut tester l'homogénéité des doses 20 et 30. On trouve pour l'information :

$$2\hat{I} = 5,68, \text{ valeur non significative}$$

La conclusion est la même que pour les traitements de mai. Les doses 20 et 30 g équivalentes entr'elles donnent des résultats significativement supérieurs à ceux obtenus avec la dose 10 g.

c) *Décembre* — La valeur de l'information attachée à l'homogénéité des 3 échantillons de décembre est :

$$2\hat{I} = 4,76$$

Cette valeur n'est pas significative et, contrairement à ce que l'on a pu conclure pour mai et août, les résultats obtenus sont indépendants de la dose. Un coup d'œil sur le diagramme 2 confirme que les 3 doses se rejoignent... dans la médiocrité.

2.43 — Influence de l'époque

Ayant mis en évidence l'influence de la dose, on doit s'interroger sur celle de l'époque. Les tests d'homogénéité des couples d'échantillons constitués par regroupement de doses homogènes entr'elles peuvent apporter une réponse à cette question.

1) *Mai : Décembre* — Pour les traitements de mai nous constituons un échantillon avec l'ensemble des résultats obtenus avec les doses 20 et 30 g car ces résultats peuvent être considérés comme appartenant à une même distribution dont les paramètres sont précisément estimés par la distribution marginale. Nous regroupons de la même façon les résultats des trois doses pour décembre et il reste à tester l'homogénéité des échantillons ainsi constitués.

Mai (20+30)	4	2	10	8	0	24
Déc. (10+20+30)	2	7	11	14	2	36
	$\frac{6}{6}$	$\frac{9}{9}$	$\frac{21}{21}$	$\frac{22}{22}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{60}{60}$

La valeur de l'information attachée au test d'homogénéité de ces échantillons est

$$2I = 5,68$$

alors que la valeur critique du χ^2 asymptotique est, pour quatre degrés de liberté

$$\chi^2_{0,05} = 9,49$$

La probabilité d'observer une valeur de $\chi^2 = 5,68$ est voisine de 25 %.

Les traitements de mai (20 et 30 g) et ceux de décembre (10, 20 et 30 g) ne donnent pas de résultats significativement différents.

2) *Août : (Mai + Décembre)* — Nous regroupons de la même façon en un échantillon unique les résultats (homogènes) d'Août (20 et 30 g) pour les comparer à l'ensemble des échantillons ci-dessus, ce qui donne :

Août (20+30) 10 6 4 3 1 24

La valeur de l'information attachée au test d'homogénéité des distributions observées mai+décembre et août (mai 10 g et août 10 g exclus) est :

$$2I = 15,00$$

avec 4 degrés de liberté la probabilité d'observer une telle valeur pour χ^2 est inférieure à 0,005. Il existe donc entre les deux distributions observées une différence très significative.

En résumé, on peut affirmer : que les traitements d'août à 20 g et 30 g par entaille ont donné des résultats comparables (pas de différence significative) ;

— que les traitements de mai (20 g et 30 g) et ceux de décembre (10 g, 20 g, 30 g) constituent également un ensemble homogène quant aux résultats observés.

Entre ces deux groupes il existe des différences significatives, à l'avantage des traitements d'août.

2.5 — CONCLUSION

1) Laisant de côté les traitements à 10 g par entaille dont le diagramme 2 met en évidence l'inefficacité, nous considérons les résultats obtenus avec les doses de 20 g et de 30 g. Pour chaque époque, ces résultats ne sont pas significativement distincts et il paraît par conséquent inutile de mettre en jeu la dose de 30 g par entaille ce qui entraîne un accroissement de dépense sans améliorer l'efficacité.

2) Le traitement d'août a donné les proportions suivantes par classes de diamètre :

TABLEAU 2.4

Résultats observés en 1965 - Traitements d'août 1961

Classe de diamètre	20 g		20 g et 30 g	
	0 + 1	2 à 6	0 + 1	2 à 6
15	4/6	2/6	7/12	5/12
20	1/3	2/3	2/6	4/6
25	0/2	2/2	1/4	3/4
30	0/1	1/1	0/2	2/2
Ensemble	5/12	7/12	10/24	14/24

Il est manifeste que la dimension des tiges traitées exerce une influence non négligeable sur le résultat des traitements. La proportion d'arbres pratiquement détruits (ceux notés 0 ou 1) qui est de 2/3 pour les 15 tombe à 1/3 pour les 20, est comprise entre 0 et 1/4 pour les 25 et devient nulle pour les 30.

Ces proportions sont à notre avis, insuffisantes dès la classe 20, ce qui constitue un échec notable de la méthode des entailles.

Cet échec peut avoir deux causes :

— l'accroissement de la quantité totale de sylvicide appliquée à un arbre est inadapté à l'augmentation de sa vitalité en fonction de sa dimension ;

— la répartition du produit est inadéquate.

Le fait qu'un arbre de 25 ait pu être détruit à 30 g incite à considérer la première hypothèse ; cependant, ce que l'on sait de l'anatomie de l'arbre et des mouvements d'herbicides, liés aux courants circulatoires vitaux ne permet pas d'écarter la seconde cause d'insuccès : il est en effet fréquent d'observer la survie d'une grosse branche située à l'aplomb de l'intervalle qui sépare deux entailles. Dans ces conditions, si l'on estime que 120 g de sulfamate pourraient provoquer la dévitalisation d'un charme de 25 cm de diamètre (à 1,30 m) il est préférable de répartir ces 120 g sur six entailles (à 20 g) plutôt que sur quatre (à 30 g) ; ceci pose évidemment le problème du coût de l'opération et ne vient guère réchauffer l'enthousiasme des utilisateurs éventuels de cette méthode de dévitalisation. Il serait néanmoins plus réaliste d'envisager l'application de 20 g par entaille, le nombre de celles-ci étant défini comme suit :

classe de diamètre	15	20	25	30
nombre d'entailles	3	4	6	8

La circonférence de la souche étant en moyenne pour ces classes de l'ordre de 65, 85, 105 et 125 cm, l'intervalle (entre axes) de deux entailles contiguës diminuerait de 22 à 15 cm à mesure que le diamètre croît de 15 à 30 cm. Certains auteurs américains conseillent même des écartements plus faibles sur gros arbres, (JARVIS, 1957).

Ces traitements devraient être appliqués en fin d'été, cette époque étant sans aucun doute la plus favorable à une dévitalisation effective : voir par exemple Mac QUILKIN (1955).

3. — BADIGEONNAGE A HAUTEUR D'HOMME AU 2.4.5-T

La pulvérisation basale au 2.4.5-T est, nous l'avons vu, une méthode de dévitalisation qui, appliquée à l'époque convenable avec une concentration suffisante donne de bons résultats. Elle nécessite cependant, un matériel encombrant en forêt et plusieurs auteurs allemands — KOTSCHY (1962) par exemple — ont préconisé l'application du 2.4.5-T en badigeonnage (au pinceau) de la tige à hauteur d'homme.

Un dispositif expérimental a été mis en place en 1962 afin de vérifier l'efficacité de cette technique en analysant l'influence de l'époque d'application, de la concentration de 2.4.5-T mise en œuvre, et comme précédemment, celle de la dimension des tiges traitées.

3.1 — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Il a été implanté en forêt de Haye (4^e série, parcelle 24). Chaque modalité de traitement a été appliquée à l'effectif suivant :

Classe de diamètre (1,30):	5	10	15	20	25	30	Total
Nombre d'arbres	: 8	6	4	3	2	1	24

Avec 6 modalités de traitement, le dispositif comprenait au total 144 tiges (dont 48 de 5, etc.) L'affectation des traitements a été faite au hasard pour chaque classe de diamètre. L'effectif des gros arbres est limité pour des raisons identiques à celles déjà invoquées à propos des essais de sulfamate.

3.2 — TRAITEMENTS

Les six modalités de traitement correspondant à 3 époques d'application combinées factoriellement avec deux concentrations de 2.4.5.-T. Les trois époques d'application sont encore définies par rapport au stade d'activité végétative du charme.

3.21 — Produits et doses

Le produit utilisé est un produit commercial habituellement utilisé en pulvérisation foliaire et titrant 500 g/l d'équivalent acide (éq. ac.) 2.4.5-T sous forme d'ester d'alkylcyclohexanol. Le solvant employé est le gas oil.

Deux concentrations ont été appliquées :

- 2 % éq. ac. 2.4.5-T, soit 4 litres de produit commercial pour 100 litres de gas oil.
- 3 % éq. ac. 2.4.5-T, soit 6 litres de produit commercial pour 100 litres de gas oil.

3.22 — Dates d'application

- 21 juin 1962 : montée de sève
- 12 octobre 1962 : sève descendante
- 11 mars 1963 : arrêt de sève

Les dates d'application, un peu tardives, se situent à la fin des stades végétatifs dont l'influence était placée sous contrôle.

3.23 — Mise en œuvre

La solution de 2.4.5-T a été appliquée au pinceau en badigeonnant (à hauteur de poitrine) tout le pourtour de la tige sur une hauteur de 30 cm. Chaque arbre étant étiqueté, aucun colorant n'a été utilisé pour marquer les tiges traitées.

3.3 — OBSERVATIONS

Les tiges traitées ont fait l'objet d'observations périodiques pendant quatre ans. Des relevés par notation ont été pratiqués de 1963 à 1966. Bien que les notations de 1966 n'aient pas été relevées par le même notateur (*), les effets sont assez tranchés pour qu'il y ait peu de sources de fluctuations imputables au notateur entre les relevés de 1965 et 1966.

Les dates des relevés sont respectivement :

- 31 août 1963,
- 3 septembre 1964,
- 8 septembre 1965,
- 8 septembre 1966.

(*) Les notations sont habituellement relevées par un technicien du Laboratoire, le Chef de District VALANCE. Celui-ci est également responsable de la reconnaissance et de l'implantation matérielle du dispositif de même que des applications de produits. Il a donc joué, dans ces essais comme dans beaucoup d'autres, un rôle important : nous sommes heureux de pouvoir l'en remercier tout spécialement ici.

L'échelle de notation conserve la même définition que précédemment : on doit toutefois préciser que la note 1 correspond en 1965 et 1966 :

— à la destruction de la cime, transformée en bois mort,

— à l'existence de rejets au niveau du collet ou de gourmands, généralement peu vigoureux, apparus sur la tige *en dessous* du niveau auquel le traitement a été appliqué.

Les résultats des relevés successifs constituent le tableau 3.1.

Ce tableau appelle deux remarques :

TABLEAU 3.1

Evolution des effectifs, par note, entre 1963 et 1966

Année d'observation	Notes						Total (*)	
	0	1	2	3	4	5		6
1963	27	9	14	18	41	35	0	144
1964	39	7	18	17	33	21	0	135
1965	22	26	8	20	28	31	0	135
1966	23	27	5	6	20	28	25	134

(*) Certains arbres ont disparu entre 1964 et 1966.

— les observations de 1964 font apparaître le maximum d'arbres de la classe 0 (couvert nul, rejets et gourmands absents). En 1965 et 1966, près de la moitié des arbres notés 0 ont regagné la classe 1 : le développement des rejets et des gourmands est donc très lent (en 1966, les rejets ne dépassent guère 50 à 60 cm de haut). L'effectif (0+1) reste néanmoins assez stable après 1964 :

— à partir de 1965, le nombre des arbres notés 2 et 3 a diminué : il y a transfert vers les classes 4, 5 et 6. Les cimes éprouvées par le traitement se reconstituent progressivement.

Ainsi apparaît-il nécessaire, si l'on veut tirer des conclusions valables des observations, de respecter un délai suffisant pour permettre :

— aux arbres apparemment détruits de rejeter ;

— aux arbres simplement touchés de reconstituer leur cime.

Il semble qu'un délai de trois ans soit indispensable ici, même si l'on fonde l'interprétation sur l'analyse des effectifs des classes 0,1 et (2 à 6).

Les résultats complets des observations du 8/9/66 sont reportés sur le tableau 3.2 et traduits sous une forme plus détaillée par le diagramme 3 (fig. 3.1).

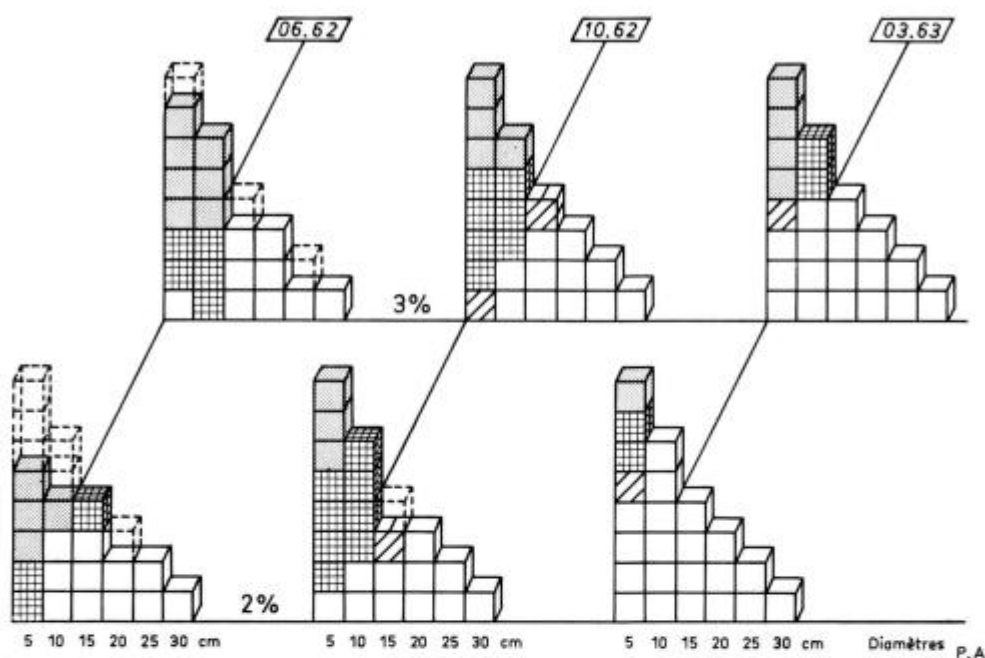


FIG. 3.1. — DIAGRAMME 3
 Résultats observés par classe de diamètre
 Traitement du charme sur pied - Badigeonnage au 2.4.5-T
 Observations de 1966

Chaque cube représente un arbre (voir fig. 1.1).

TABLEAU 3.2

Observations du 8 septembre 1966

Date d'application	Dose (éq. ac.)	Notes							Total
		0	1	2	3	4	5	6	
21 juin 1962 (juin)	2 %	4	3	0	1	5	2	3	18
	3 %	7	5	0	0	2	4	3	21
12 octobre 1962 (octobre)	2 %	3	8	1	3	2	1	5	23
	3 %	4	7	2	1	3	5	2	24
11 mars 1963 (mars)	2 %	1	2	1	0	5	8	7	24
	3 %	4	2	1	1	3	8	5	24
Total		23	27	5	6	20	28	25	134

3.4 — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

3.41 — Toutes classes de diamètre

Pour appliquer encore l'analyse de l'information à l'interprétation des résultats, nous procéderons au regroupement des classes 2 et 3 dont les effectifs marginaux sont faibles (respectivement 3,7 et 4,5 % du total des tiges traitées). Ce regroupement n'est pas incompatible avec la définition de la notation bien qu'il entraîne une perte d'information. Par contre, il n'est pas nécessaire de regrouper les classes 0 et 1 et il sera possible de tirer des conclusions intéressantes des fréquences observées dans ces classes.

a) *Homogénéité globale*

La valeur de l'information attachée à la composante d'homogénéité des 6 échantillons d'une loi multinomiale à 6 classes que constituent les effectifs relevés pour 3 époques de traitement et deux doses (après regroupement des colonnes 2 et 3 du tableau 3.2) a pour valeur :

$$2\hat{I} = 35,60$$

Le χ^2 asymptotique à 25 (5×5) degrés de liberté a pour valeur critique au seuil de 5 % :

$$\chi^2_{0,05} = 37,65$$

et la probabilité de la valeur observée (35,60) est de l'ordre de 8 %. Le test global n'est donc pas franchement significatif.

b) *Analyse progressive.*

Si, guidé par le résultat des tests d'homogénéité des doses (qui indiquent qu'à 3 % les échantillons sont homogènes et qu'à 2 % ils ne le sont pas), on procède à une analyse progressive, on peut décomposer l'information globale en deux composantes conformément au tableau ci-après.

Composante	Information	Degrés de liberté
Homogénéité { juin 2 et 3, octobre 2 et 3, mars 3	$2\hat{I} = 24,46$	20
Homogénéité entre mars 2 et les précédents	$2\hat{I} = 11,14^*$	5
Ensemble des traitements	$2\hat{I} = 35,60$	25

Les valeurs critiques du χ^2 asymptotique sont respectivement :

$$\chi^2_{0,05} = 31,41 \text{ à } 20 \text{ degrés de liberté}$$

$$\chi^2_{0,05} = 11,07 \text{ à } 5 \text{ degrés de liberté}$$

L'analyse fait donc apparaître que sur l'ensemble des résultats (toutes catégories de diamètre) seul le traitement de mars à 2 % donne des résultats qui diffèrent significativement des autres. Cette conclusion demeure toutefois incertaine à cause du résultat du test global et du caractère asymptotique de la loi de distribution de l'information estimée 2I.

3.42 — Classes de diamètres 5 et 10 cm

Devant l'impossibilité de conclure en toute certitude dans le cas de l'ensemble des tiges traitées, on est conduit à aborder le problème d'une façon différente en considérant le diagramme 3. Ce diagramme montre en effet qu'à une exception près, tous les sujets dont la cime a été totalement détruite (classe 0 et 1) se recrutent dans les classes de diamètre 5 ou 10 cm ; au-delà de ces dimensions, il est exceptionnel d'obtenir le résultat normalement attendu du traitement. Par ailleurs, les classes 5 et 10 renferment des effectifs assez nombreux pour qu'une analyse des résultats par le calcul de l'information demeure possible. Cette analyse va nous permettre de confronter valablement les doses et les époques dans le domaine pratique d'application des traitements.

Nous ne conserverons désormais que trois classes dans l'expression des résultats :

Note 0 — dévitalisation totale (appareil aérien et racine),

Note 1 — dévitalisation de la cime seule (rejets ou gourmands bas),

Notes 2 à 6 — affaiblissement partiel ou nul de la cime.

Sur le plan des dégagements, on obtient avec la note 0 un dégagement définitif et avec la note 1 un dégagement qui, à terme, peut être remis en cause ; les notes 2 à 6 donnent des résultats insuffisants même à court terme. La classification adoptée repose donc sur le résultat pratique intéressant le sylviculteur.

L'analyse porte alors sur les chiffres du tableau 3.3.

TABLEAU 3.3
Fréquences observées pour les classes 5 et 10 de diamètre

Date d'application	Dose	Note			Total
		0	1	2 à 6	
juin	2	4	2	3	9
	3	7	5	1	13
	Total	11	7	4	22
octobre	2	3	8	3	14
	3	4	7	3	14
	Total	7	15	6	28
mars	2	1	2	11	14
	3	4	2	8	14
	Total	5	4	19	28
Total		23	26	29	78

1) *Analyse globale*

L'information attachée à l'homogénéité globale a pour valeur :

$$\widehat{2I} = 26,71$$

Avec 10 degrés de liberté, le χ^2 asymptotique a pour valeur critique au seuil de 1 % :

$$\chi^2_{0.01} = 23,21$$

La valeur observée $\widehat{2I}$ est donc significative.

2) *Influence de la dose*

La comparaison des échantillons, pour une même époque d'application montre que l'on peut admettre que celle-ci est sans influence sur les résultats obtenus. Les valeurs observées de l'information sont respectivement : $\widehat{2I} = 2,47$ pour juin, $\widehat{2I} = 0,21$ pour octobre et $\widehat{2I} = 2,40$ pour mars, la valeur critique de χ^2 à 2 degrés de liberté étant :

$$\chi^2_{0.05} = 5,99 \text{ au seuil de } 5 \%$$

3) *Influence de l'époque*

Puisque la dose est sans effet significatif, on peut procéder à la comparaison des trois échantillons globaux observés pour chaque époque de traitement (lignes « total » du tableau 3.3). On constate alors que même les distributions les moins dissemblables (juin et octobre) ne sont pas homogènes entr'elles. La comparaison juin-oct. donne en effet une valeur $\widehat{2I} = 19,55$, alors que $\chi^2_{0.01} = 9,21$ pour 2 degrés de liberté. A fortiori, le simple examen des fréquences observées de mars écarte toute possibilité d'homogénéité avec celles de juin ou d'octobre.

Donc : juin \neq oct. \neq mars.

et si l'on fonde le classement sur la fréquence des notes 0 :

$$\text{juin} > \text{oct.} > \text{mars}$$

On remarque en outre, en ce qui concerne la dévitalisation de la cime (total 0+1), que les pourcentages observés sont respectivement 81,2 % en traitement de juin et 78,6 % en traitement d'octobre. Les limites de confiance de ces estimations des proportions de cimes détruites sont telles qu'il n'est pas possible d'affirmer qu'elles diffèrent autrement que par le jeu du hasard.

Dès lors la conclusion est claire :

— le traitement de mars donne une dévitalisation moins bonne que ceux de juin et d'octobre ;

— ceux ci donnent en matière de dévitalisation des cimes des résultats comparables, mais l'application en juin réduit significativement la capacité de rejets (cf. fig. 3.2.).

3.5 — CONCLUSION

1^o — L'application de 2.4.5-T par badigeonnage à hauteur d'homme n'a donné sur le charme des résultats satisfaisant que pour les tiges appartenant aux classes de diamètre 5 et 10 cm (à 1,30 m).

2^o — Un traitement appliqué pendant la saison de végétation est plus efficace qu'un traitement appliqué pendant l'arrêt de sève.

3^o — L'apparition de rejets ou de gourmands est d'autant plus probable que l'on traite en fin de saison de végétation.

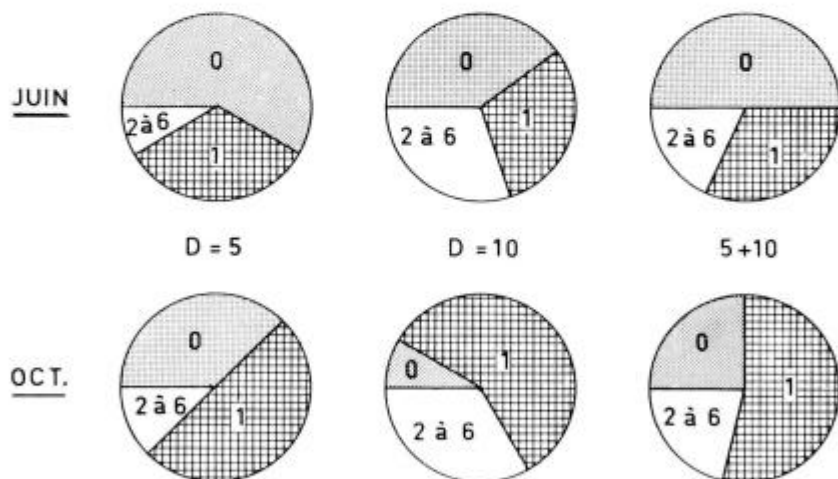
4^o — L'application de 2 % ou de 3 % de 2.4.5-T ne laisse pas apparaître de différence significative entre les résultats. Il est donc inutile de mettre en œuvre la concentration de 3 % et l'on retiendra celle de 2 %.

5^o — Les résultats observés permettent d'estimer à environ

90 % pour la classe 5 cm (73-98)

70 % pour la classe 10 cm (46-88)

la proportion de cimes totalement supprimées par le traitement en badigeonnage sur le charme (l'intervalle de confiance approché est indiqué entre parenthèses).



Classes de diamètre 5 et 10 cm

FIG. 3.2. — Pourcentage de destruction

Résultats comparés des traitements de juin et d'octobre

La date de traitement influe essentiellement sur la répartition des notes 0 (dévitalisation totale) et 1, (cime détruite, rejets).

Il est donc recommandé de traiter par badigeonnage les charmes des classes 5 et 10 seulement, *pendant la saison de végétation et de préférence en juin ou juillet* avec une solution de 2.4.5-T à 2 % éq. ac. dans un dérivé bon marché du pétrole (fuel domestique). On peut également traiter en arrêt de sève mais il faut alors s'attendre à des résultats moins bons (1/3 seulement des cimes dévitalisées dans nos essais de mars). Le traitement par badigeonnage peut être facilité par l'emploi d'appareils portatifs légers spécialement conçus : (ARBONNIER, 1963 ; Von GEIL, 1962).

Remarque

Sur charmes de 15 et plus de diamètre, les échecs sont probablement dus à un transfert insuffisant du 2.4.5-T dans la zone des tissus conducteurs. Il a été observé en effet qu'un flachis ou des coups de griffes (notamment sur les essences à rhytidome épais) améliorent très nettement l'efficacité des badigeonnages. Il reste cependant à craindre que la translocation du 2.4.5-T se faisant beaucoup plus facilement vers le haut — CHERNG JIANN SHINE et al., 1958 — LEONARD, 1963 — la partie inférieure du tronc des arbres ainsi traités ne produise des rejets ou des gourmands.

4. — COMPARAISON DES MÉTHODES DE DÉVITALISATION ÉTUDIÉES

4.1 — Pulvérisation basale

Elle permet d'obtenir à la concentration de 1,5 % 2.4.5-T éq. ac. dans un support pétrolé (fuel ou gas oil) et à condition de l'appliquer *en période de descente de sève*, la dévitalisation effective du charme et nos essais semblent montrer que la dimension de la tige traitée n'exerce pas une influence déterminante sur le résultat obtenu. La saturation de la région du collet par ruissellement de la bouillie évite en outre la production de rejets.

4.2 — Application de sulfamate d'ammonium par entailles

A 20 g par entaille et compte tenu du nombre d'entailles pratiquées, elle n'a donné de résultats appréciables que sur les charmes de la classe 15. Il est donc suggéré d'accroître le nombre d'entailles sur les arbres des classes supérieures. Compte tenu du prix du produit et du temps nécessaire à la préparation de l'arbre en vue du traitement, l'emploi du sulfamate d'ammonium devrait être réservé aux cas où il est indispensable de n'avoir à transporter qu'un matériel restreint (un sac de produit, une hachette). Il est alors conseillé d'appliquer encore le traitement *en fin de période de végétation* (août — septembre) et de se référer aux suggestions du § 2.5. p. 25.

4.3 — Badigeonnage à hauteur d'homme

Cette technique est à réserver *aux tiges de faible dimension* (classes 5 et 10). On obtiendra alors des résultats valables en dévitalisation avec une solution de 2.4.5-T

à 2 % (éq. ac.) dans le fuel appliquée *pendant la saison de végétation*, de préférence en juin ou juillet si l'on veut prévenir l'apparition de rejets ou de gourmands.

En définitive, l'utilisation du 2.4.5-T en solution pétrolée, appliquée en badigeonnage à hauteur d'homme sur les charmes des classes 5 et 10 et en pulvérisation basale pour les arbres des classes 15 et au-dessus, nous paraît constituer la méthode actuellement la plus efficace et la plus économique pour la dévitalisation du charme. Si l'accès à l'empatement est difficile (cépées de taillis importantes) et que l'on veuille éviter la pulvérisation basale, il apparaît indispensable — sur les tiges de 15 et plus — de faciliter la pénétration du 2.4.5-T appliqué en badigeon par un griffage en biais ou un flachis de l'écorce avant traitement.

4.4 — Délai nécessité par la dévitalisation

L'action toxique des phytocides appliqués en dévitalisation est lente et les perturbations apportées au métabolisme de l'arbre se manifestent encore plusieurs années après l'application. Elles peuvent déterminer la mort de l'arbre, ou, au contraire, son retour à l'état presque normal. Il suffit pour s'en convaincre d'examiner attentivement les figures 4.1, 4.2 et 4.3 qui traduisent l'évolution des effectifs relevés au cours des observations successives dans les dispositifs traités.

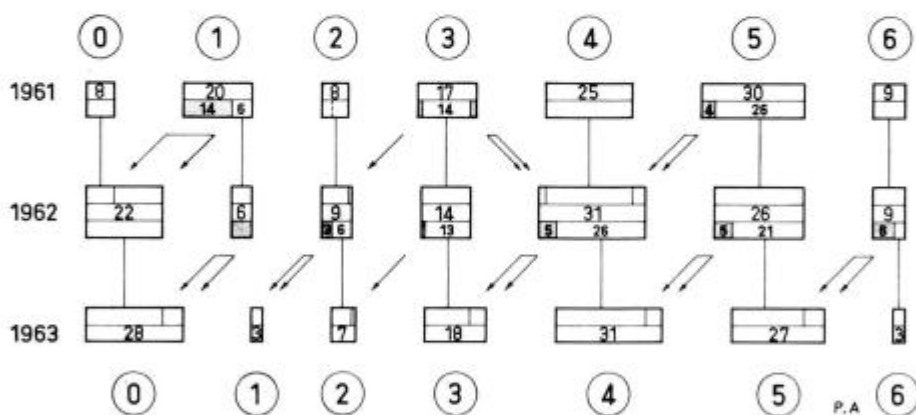


FIG. 4.1. — Notation des traitements de 1960 (Pulvérisation basale)

Effectifs des classes de 1961 à 1963

Evolution des effectifs par note au cours des observations successives effectuées en 1961, 1962, et 1963 sur l'ensemble des charmes traités en pulvérisation basale

Les flèches indiquent les effectifs (en grisé) ayant changé de catégorie entre deux notations successives.

Pour le sulfamate par exemple, (fig. 4.2), on peut constater que l'effectif des arbres classés 0 en 1965 provient pour une grande part de la classe 1 de 1964, lesquels proviennent eux-mêmes de la classe 2 de 1963 (alors que le traitement a été appliqué en 1961). L'apparition de pourriture au niveau des entailles — le sulfamate paraît les favoriser — n'est sans doute pas étrangère à cette évolution.

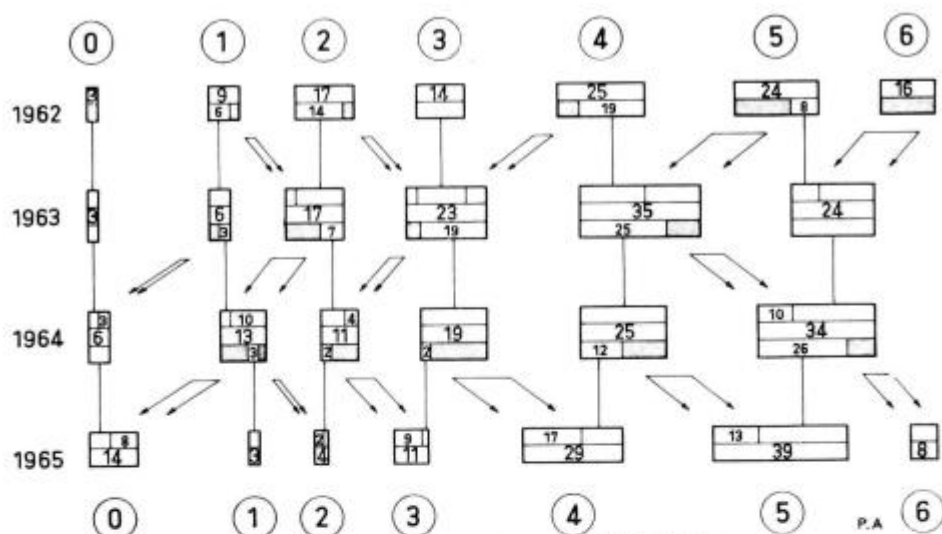


FIG. 4.2. — Notation des traitements de 1961 (Sulfamate)

Effectifs des classes de 1962 à 1965

Evolution des effectifs par note au cours des observations successives effectuées en 1962, 1963, 1964 et 1965 sur l'ensemble des charmes traités au sulfamate d'ammonium

Pour les badigeonnages à hauteur d'homme, les transferts entre 1964 et 1965 s'exercent dans le sens opposé : la résistance de certaines souches a finalement provoqué la reconstitution d'un appareil aérien réduit (rejets ou gourmands) dont l'avenir est encore aujourd'hui incertain.

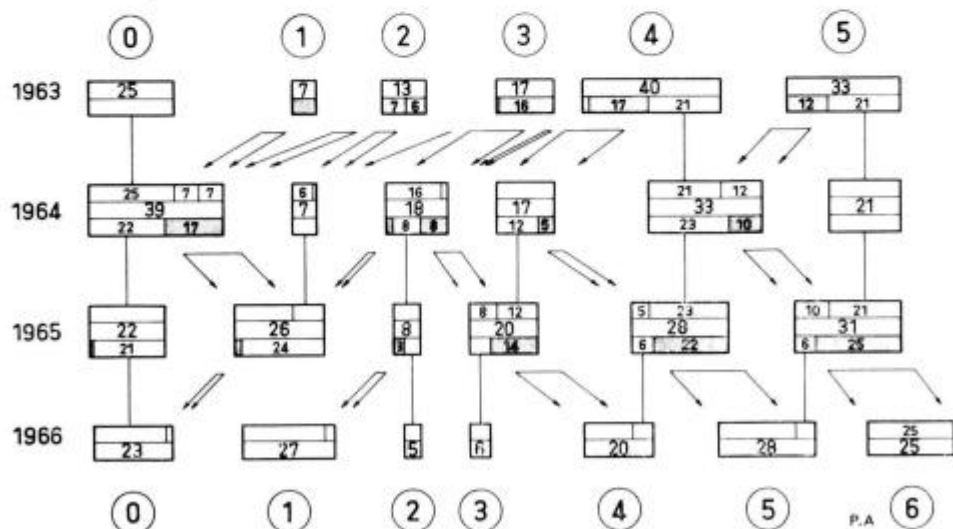


FIG. 4.3. — Notation des traitements de 1962 (2.4.5-T en b.h.h)

Effectifs des classes de 1963 à 1966

Evolution des effectifs par note au cours des observations successives effectuées en 1963, 1964, 1965 et 1966 sur l'ensemble des charmes traités en badigeonnage à hauteur d'homme

Les flèches indiquent les effectifs (en grisé) ayant changé de catégorie entre deux notations successives.

En pulvérisation basale, ce phénomène est exclus et les transferts sont plus limités.

L'expérience acquise en observant pendant quatre ans les dispositifs de la forêt de Haye nous paraît dégager deux conclusions, l'une pour le praticien, l'autre pour le chercheur :

— le praticien ne doit pas condamner trop vite une méthode qui, avec un faible recul (un ou deux ans) lui paraît donner des résultats insuffisants ;

— le chercheur doit se garder de conclusions trop hâtives lorsqu'il expérimente des phytocides sur des végétaux aussi longévifs que les arbres forestiers.

Cette lenteur des réactions est en tout cas, sur le plan sylvicole, un facteur favorable : les essences dont le dégagement est obtenu par la dévitalisation du reliquat de l'abri disposent de tout le temps nécessaire pour s'acclimater progressivement à un découvert total et ceci est d'autant plus intéressant qu'il s'agit le plus souvent d'essences d'ombre ou de semi-ombre. Le praticien devra, de son côté, anticiper quelque peu sur le calendrier des dégagements en considérant que plusieurs années séparent le traitement de la date à laquelle les effets escomptés seront véritablement acquis.

5. — ESSAI D'INTERPRÉTATION PHYSIOLOGIQUE

50 — Ayant constaté expérimentalement un certain nombre de faits, il est tentant d'en rechercher une explication dans les connaissances actuelles concernant les phénomènes de translocation des herbicides dans les végétaux en général, replacés dans le contexte anatomique et physiologique qui caractérise plus spécialement les végétaux ligneux.

Sur le plan anatomique, il existe, chez l'arbre, deux assises de tissus conducteurs : d'une part, les vaisseaux et les trachéides du bois, d'autre part, les tubes criblés du liber. Les premiers sont le siège d'un courant circulatoire dirigé de bas en haut qui alimente la transpiration et transporte les sels minéraux absorbés par les racines et nécessaires à la plante. Les seconds assurent le transport vers la racine de produits élaborés qui y seront consommés ou mis en réserve.

Plus généralement, on peut considérer un milieu « inerte » (apoplaste) constitué par les vaisseaux, les trachéides et les parois des cellules où les migrations sont associées à des phénomènes surtout physiques (dépression, capillarité, dialyse) et un milieu « vivant » (symplaste) auquel on rattache les tubes criblés et au sein desquels les transports exigent souvent un apport d'énergie. Tous les produits de synthèse qui circulent dans les tubes criblés ne sont pas exportés vers la racine car leur répartition fait l'objet d'une concurrence d'autant plus efficace que le « consommateur » possible est plus proche ou exige davantage d'énergie. Ainsi, les premières substances synthétisées se dirigent-elles vers l'extrémité du rameau en croissance ; par la suite, elles peuvent être mobilisées pour la formation de certains organes (fruits) ou... la réparation des dégâts foliaires causés par un herbicide. A mesure que la saison s'avance, les organes aériens sont de moins en moins consommateurs de produits élaborés et les tissus conducteurs du liber deviennent le siège d'un courant de sève dirigé de haut en bas.

La facilité de migration dans un végétal ligneux dépend de plusieurs facteurs et notamment de la nature de l'herbicide : suivant le comportement de ce dernier dès son entrée dans le végétal — ce comportement a été analysé à l'aide de produits marqués (LEONARD et MURPHY, 1965) — il s'élèvera dans le courant de transpiration ou au contraire risquera d'être entraîné vers le bas par le réseau des tubes criblés. Lorsque l'entrée se fait au travers de l'écorce, la perméabilité de cette dernière doit être prise en considération : il est nécessaire d'utiliser un support adéquat et la structure de l'écorce (variable avec l'espèce et l'âge) intervient. En définitive, la nature de l'herbicide et les caractères spécifiques de l'essence conditionnent en premier lieu l'efficacité des traitements.

5.1 — 2.4.5-T et 2.4-D + 2.4.5-T

Les formulations oléosolubles de ces auxines de synthèse qui se retrouvent surtout dans la zone cambiale, sont d'abord fixées par les parois des cellules où elles sont probablement hydrolysées avant d'être entraînées, pour la plus grande part, par le mouvement ascensionnel qui parcourt les vaisseaux.

Une application sur écorce, basale ou à 1,30 m, en début de saison de végétation favorise donc la montée de l'auxine dans la cime. De fait, on constate dans ce cas, que les feuilles brunissent d'abord sur les branches basses. Par contre, à cette époque, le mouvement de sève dans le réseau des tubes criblés est très faible, les produits de synthèse étant « appelés » par la cime. Pour redescendre vers la racine, le toxique doit gagner le symplaste et il ne peut le faire que par les cellules foliaires. Les liaisons entre celles-ci sont extrêmement ténues et ce retour aux tubes criblés est très lent. Bien des choses peuvent se passer entre temps, l'auxine peut être métabolisée, la feuille peut faner ou tomber prématurément... Il n'est donc pas étonnant de constater la survie de nombreux individus traités.

Un traitement d'hiver peut donner lieu à des migrations identiques au printemps suivant, sous réserve qu'entre temps le toxique n'ait pas été fixé ou métabolisé par l'arbre, ce que nous ne savons pas.

Une application plus tardive peut bénéficier de deux facteurs favorables :

a) un métabolisme très actif augmentant l'efficacité phytocide ou facilitant le transfert de l'apoplaste au symplaste au niveau des feuilles ;

b) une circulation (vers le bas) beaucoup plus intense au niveau des tubes criblés entraînant directement l'auxine hydrolysée vers les racines alors que le courant transpiratoire est beaucoup moins puissant qu'au printemps.

L'intoxication de la racine sera alors d'autant plus facile que le trajet à parcourir est moins long.

La première explication paraît s'appliquer aux résultats des traitements de juin en badigeonnage à hauteur d'homme si l'on se souvient que les traitements de mai en pulvérisation basale sont médiocres et qu'en octobre le badigeonnage n'a souvent détruit la partie aérienne qu'au-dessus des points d'application. Le succès de la pulvérisation basale, en septembre serait, au contraire, expliqué par la seconde hypothèse.

Si ces interprétations sont fondées c'est en juin-juillet que le badigeonnage serait le plus efficace (et non au printemps) et en août-septembre qu'il convient d'appliquer la pulvérisation basale.

Que penser encore de l'influence de la dimension de l'arbre sur la réaction (différente) qu'il manifeste en pulvérisation basale et en badigeonnage ? Il nous semble que c'est la perméabilité de l'écorce, liée à l'âge qui est en cause. Les écorces jeunes sont, on le comprend, davantage perméables et ceci constitue un facteur favorable lorsque le produit toxique doit atteindre les tissus vasculaires du bois, plus profonds que le liber puisque situés de l'autre côté de l'assise cambiale. La pénétration en profondeur est encore plus nécessaire en fin de saison car, en s'accumulant dans la zone cambiale, le 2.4.5-T y rencontre des vaisseaux plus étroits (bois d'été). Par ailleurs, l'écorce de la racine est elle-même plus perméable que l'écorce de la tige ; les modifications de structure s'établissent au niveau du collet et c'est dans cette zone de transition que s'accumule, par ruissellement, une proportion importante de la bouillie appliquée en pulvérisation basale. Il peut alors y avoir une certaine compensation entre la diminution (due à l'âge) et l'augmentation (due à l'apparition d'une structure radiculaire) de la perméabilité de l'écorce. Cette explication est appuyée par le fait que l'augmentation de la concentration de la bouillie (sans accroissement de la quantité mise en œuvre) n'a pas amélioré l'efficacité du badigeonnage à hauteur d'homme pour les classes de diamètre 15 à 30, on peut le voir en comparant les répartitions pour ces classes de la même manière qu'on le fait pour les classes 5 et 10 groupées.

Cette explication conduit à conseiller d'améliorer la perméabilité de l'écorce de la partie badigeonnée au moyen de coups de griffe ou d'un léger flachis. Elle incite aussi à la prudence dans l'extrapolation des résultats obtenus sur charme à des essences à écorces épaisses, fortement rhytidomisées (chêne, érable) ou à structure feuilletée (bouleau, merisier).

L'effet retard de certains traitements entraînant une mortalité échelonnée sur plusieurs années mérite également qu'on tente de l'expliquer.

Deux hypothèses se présentent à l'esprit :

— ou bien l'arbre, durement éprouvé par défoliation importante et répétée ne peut, pendant la saison de végétation reconstituer des réserves suffisantes, et s'épuise progressivement ;

— ou bien, une certaine quantité d'auxines qui n'a pas migré rapidement se trouve mobilisée et, dans le contexte précédent, achève de détruire l'arbre. Cette hypothèse n'a rien d'in vraisemblable si l'on sait que les rayons ligneux ou les cellules parenchymateuses du bois peuvent après pénétration des auxines, en contenir en quantité appréciable.

A priori, aucune de ces hypothèses ne s'impose et il est probable que les deux effets se conjuguent.

5.2 — Sulfamate d'ammonium

Nous avons déjà évoqué plus haut (§ 4.2 p. 34) les raisons possibles de l'échec constaté avec cette méthode sur les arbres de diamètre supérieur ou égal à 20, même en choisissant la période de traitement la plus favorable. Le sulfamate d'ammonium

exerce son effet toxique en prolongeant la dormance, la consommation de réserves qui en découle (si elle se prolonge) pouvant entraîner la mort si la dose toxique est suffisante (AUDUS, 1964 p. 19.) Une application hibernale pourrait être a priori efficace et les raisons d'échec doivent être recherchées dans une diffusion insuffisante du toxique. Le sulfamate est un sel très soluble mais qui présente une grande affinité pour la cellulose. Cette propriété pourrait, en cas d'application hibernale hors sève, faciliter le blocage du toxique dans les tissus ligneux, au voisinage immédiat de la blessure, blocage d'autant plus efficace qu'il se situe dans les couches profondes du bois et que les tissus se nécrosent.



FIG. 5.1. — FIG. 5.2. — Une entaille importante (à gauche) favorise la diffusion du sulfamate presque uniquement vers la racine. Une entaille étroite (à droite) permettrait d'obtenir une meilleure absorption par la partie supérieure de la tige

La constitution d'une entaille de forte dimension, nécessaire à l'application d'une quantité notable de sel peut exercer une entrave réelle à l'ascension du produit dans les cimes. Le sulfamate repose sur la partie inférieure de l'entaille et, comme il se résorbe rapidement, il pénètre presque exclusivement sous l'entaille (fig. 5.1). S'il y règne un courant basipète (traitement d'août), il peut être entraîné par la racine. Si ce courant est faible ou nul, cette pénétration est difficile. Le toxique ne peut, avec de grosses entailles, gagner le courant transpiratoire que par diffusion tangentielle, diffusion que la blessure favorise mais qui demeure inférieure à un transport direct. Un remède à cet inconvénient de la technique peut être trouvé, soit en appliquant le sulfamate en solution au moyen d'un injecteur spécial (tree-injector) soit en réduisant l'écartement des bords de l'entaille (fig. 5.2) en allongeant celle-ci dans le sens horizontal. Il sera alors nécessaire de faire une entaille moins « figolée » et d'y bourrer le sulfamate. Cette amélioration purement technique pourrait favoriser la diffusion du sel dans l'appareil aérien et accélérer la mort de celle-ci. L'inconnue demeure de savoir si un traitement de printemps réalisé dans ces conditions entraînera une dévitalisation totale : ce résultat ne peut être en effet obtenu que si le sulfamate gagne le réseau des tubes criblés pour redescendre à la racine. On peut craindre que l'ion ammonium qu'il renferme n'exerce au passage son action toxique (attribuée à l'élévation du pH dans les cellules).

L'application de sulfamate sur entailles peut avoir des effets secondaires qui, bien qu'indépendants de sa toxicité peuvent aboutir à une dévitalisation de fait. Le sel, probablement en raison de sa richesse en azote paraît favoriser l'installation et le développement de pourritures au niveau des entailles. L'arbre devient ainsi à la merci d'un coup de vent et nous avons pu observer des tiges vivantes ainsi renversées à

côté d'une souche profondément altérée par des agents cryptogamiques. Dans le cas des arbres de faible dimension, les entailles affaiblissent également la résistance de la tige au vent, même si l'empattement n'est pas taré.

5.3 — La discussion qui précède montre que l'expérimentation des sylvicides, si elle peut être conduite sur des dispositifs expérimentaux établis sur le terrain, est largement tributaire de recherches à caractère plus fondamental que les moyens modernes de la science rendent possibles — nous pensons en particulier aux produits marqués. Une connaissance plus complète des processus de translocation et du mode d'action des sylvicides permettrait d'appliquer les traitements à l'époque la plus favorable et en usant de la technique la plus efficace.

Reçu pour publication en novembre 1966.

SUMMARY

STEM TREATMENT OF HORNBEAM. TEST OF SEVERAL CHEMICAL METHODS

Three stem treatment methods for standing hornbeam (*Carpinus betulus*), are discussed herein *seriatim*. These methods are applicable to all trees but the hornbeam was selected for the relevant tests in view of its frequent occurrence in coppices, with and without standards, in north-eastern France, and also of its mean susceptibility to « sylvicides ».

In all three sections, several chemicals in variable doses are applied at three different times of the tree's life cycle, the trees so treated being also of different sizes. Three to four successive years of observation were needed to see this in the proper perspective and according to a steady number of trees, three years being, in any case, a minimum. A scale of notation was used to record the effects of the treatments, the resulting frequency tables being compared with the information analysis applied to multinomial distribution.

This analysis led to the following conclusions :

1 — *Basal Bark spraying either with 2.4.5.T or 2.4.5.T + 2.4.D*

The acid-equivalent (ac. eq.) concentration being equal, the 2.4.5.T is apparently more efficient than 2.4.5.T + 2.4.D (in a 2 : 1 proportion).

It seems that the more suitable time of the year is summer's end, when the sap descends.

At the time, devitalization requires a concentration of 15 grammes per litre of 2.4.5-T ac. eq., in a petrol derivative (fuel or gas oil), which is sprayed at the base of the tree to a height of 50 centimetres.

Under these conditions, the size of the tree does not seem to affect markedly the outcome of the devitalization process.

2 — *Application of ammonium sulphamate on notches*

While there is but little difference between the 20 — or 30 — grammes applications on notches, the converse obtains if reduced to 10 grammes, the result then being substantially inferior.

Once more, the more suitable time is when the sap descends, the periods of winter dormancy and of sap ascent being less satisfactory although results are then alike.

Another important factor is the size of the stem : at the more suitable time, two trees out of three are devitalized in the 15 cm d.b.h class, this proportion rapidly falling as diameter increases (one out of three in the 20 d.b.h class, none in the 30).

It is suggested that increasing the number of notches would improve distribution of the toxic substance although this would certainly not promote use of the method from an economic standpoint.

3 — *Brush bark application of 2.4.5-T at breast height*

The results recorded on all trees of all classes are not very significant. However, the size of the stem plays such an outstanding role in the graphs that a specific analysis was set apart for the classes in which adequate mortality was noted.

This type of treatment should be applied to small stems only (classes 5- and 10- diameter at breast height).

The dose has little bearing on the result, a 2 % concentration of 2,4,5-T ac. eq. being adequate (the solvent being a petroleum derivative).

The time of the year is all-important : the treatment applied during the dormancy period is less effective than during the growing period. Under such conditions, the treatment being applied at season's end, appearance of sprouts and shoots is more than likely. The proportion of tree tops destroyed was 90 % in the 5-diameter and 70 % in the 10-diameter class.

4 — Therefore, hornbeam may be devitalized through :

- i) basal bark spraying, (especially applicable to old trees) ;
- ii) brush bark application, at breast height, to the stem.

Whatever the treatment selected, efficiency depends on the time of the year in conjunction with the physiological processes of woody plants. However, neither researcher nor user should jump to conclusions as devitalization of standing trees is a slow process which, from the cultural standpoint, is an advantage as the valuable species so cleared have a better chance of adjusting themselves to the gradually changing canopy.

ZUSAMMENFASSUNG

ABTÖTUNG STEHENDER STÄMME DER HAINBUCHEN KOMPARATIVE ERGEBNISSE EINIGER CHEMISCHER METHODEN

Drei verschiedene Methoden der Abtötung wurden an stehenden Stämmen der Hainbuche (*Carpinus betulus*) getrennt untersucht. Auf Grund ihres bedeutenden Anteils an den Nieder- und Mittelwäldern im Nordosten Frankreichs und ihrer mittelmässigen Empfindlichkeit gegen Herbizide erschien die Wahl der Hainbuche besonders gerechtfertigt.

In jedem einzelnen Versuch wurden verschiedene Wirkstoffe oder Dosierungen zu drei verschiedenen Zeitpunkten des Vegetationsablaufs der Hainbuche an Stämmen verschiedener Dimensionen ausgebracht. Drei oder vier darauffolgende Beobachtungsjahre erlaubten eine statistische Auswertung der Ergebnisse an stabilisierten Effektiven. Ein Zeitabstand von drei bis vier Jahren ist oftmals notwendig um dies zu ermöglichen. Die Wirkungen der Behandlungen wurden unter Verwendung einer Bonitierungsskala festgestellt. Die dabei erhaltenen Häufigkeitstabellen werden mit Hilfe der Informationsanalyse unter Zugrundelegung einer multinomialen Verteilung verglichen.

Die Analyse führte zu folgenden Schlussfolgerungen :

1 — « Stammgrundbehandlung » durch Besprühen mit 2,4,5-T oder einer Mischung von 2,4,5-T und 2,4-D.

— Bei gleicher Wirkstoffkonzentration (Säureäquivalent) scheint 2,4,5-T wirksamer als die Mischung von 2,4,5-T und 2,4-D im Verhältnis 2 : 1.

— Der günstigste Zeitpunkt der Behandlung dürfte im Spätsommer bei absteigendem Saftstrom sein.

— Zu diesem Zeitpunkt ist für die Abtötung eine Wirkstoffkonzentration von 15 g Säureäquivalent 2,4,5-T pro Liter Mineralölderivat (Heiz- oder Dieselöl) notwendig und in 50 cm Breite am Stammgrund auszubringen.

— Unter den obgenannten Bedingungen scheint der Stammdurchmesser keinen signifikanten Einfluss auf das Abtötungsergebnis auszuüben.

2) Bestreichen von Kerben mit Ammoniumsulfamate

— Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen der Einbringung von 30 g oder 20 g pro Kerbe ; die Ergebnisse mit 10 g sind jedoch signifikant.

— Der günstigste Zeitpunkt der Behandlung ist wiederum der Spätsommer bei absteigendem Saftstrom ; die Behandlungsergebnisse bei Winterruhe oder aufsteigendem Saftstrom sind untereinander gleich, jedoch signifikant geringer.

— Der Durchmesser des behandelten Stammes spielt gleichfalls eine entscheidende Rolle. Bei günstigstem Behandlungszeitpunkt werden 2 von 3 Stämmen der Durchmesserklasse 15 abgetötet ; dieses Verhältnis verringert sich jedoch sehr rasch bei steigendem Durchmesser (1/3 in der Durchmesserklasse 20 und 0 in der Klasse 30).

Es wird vorgeschlagen die Verteilung des Wirkstoffes durch eine Erhöhung der Kerbenanzahl zu verbessern ; dies bedingt jedoch einen wirtschaftlichen Nachteil für diese Behandlungsart.

3) Bestreichen der Stämme in Brusthöhe mit 2, 4, 5-T

Für die Gesamtheit der Stämme aller Durchmesserklassen sind die Ergebnisse schwach signifikant ; der Durchmessererfluss tritt in den Diagrammen jedoch so augenscheinlich zu Tage, dass jene Durchmesserklassen die eine ausreichende Abtötung aufzuweisen hatten gesondert untersucht wurden.

— Die Behandlung muss auf schwache Dimensionen (Durchmesserklassen 5 u.10) beschränkt werden.

— Der Einfluss der Wirkstoffmenge ist nicht signifikant. Eine Konzentration von 2 % Säureäquivalent 2, 4, 5-T in einem Mineralölderivat gelöst ist ausreichend.

— Der Einfluss des Behandlungszeitpunktes ist gleichfalls signifikant. Eine Behandlung während der Vegetationsruhe ergibt schlechtere Ergebnisse als eine Behandlung während der Vegetationsperiode. Unter diesen Bedingungen ist die Ausbildung von Ausschägen oder bodennahen Wasserreisern um so wahrscheinlicher, je später, innerhalb der Vegetationsperiode, behandelt wird. Folgender Anteil an abgestorbenen Baumkronen konnte beobachtet werden :

90 % bei Stämmen der Durchmesserklasse 5 cm,

70 % bei Stämmen der Durchmesserklasse 10 cm.

4) Für die Bekämpfung der Hainbuche erscheinen demnach zwei Methoden besonders geeignet

— « Stammgrundbehandlung » durch Besprühen bei vorwiegend alten Stämmen.

— Bestreichen in Brusthöhe bei vorwiegend schwachen Stämmen.

Gleich welche der Methoden man schliesslich bevorzugt, die Wirksamkeit der Behandlung hängt in erster Linie vom Zeitpunkt der Einbringung ab, welcher eng an den physiologischen Mechanismus der Holzgewächse gebunden ist. Im übrigen dürfen Praktiker und Forscher keine voreiligen Schlussfolgerungen ziehen, denn die Abtötung von stehenden Hainbuchen erfolgt nur sehr langsam. Dieses schrittweise Absterben erweist sich bei Läuterungen als ein Vorteil, da die so freigestellten wertvollen Holzarten sich langsam an die fortschreitende Änderung der Beschirmung anpassen können.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDHOUS J.R., 1965. Chemical control of weeds in the Forest. *For. Commis. Leaflet*, 51, 20 p.
- ARBONNIER P., 1957. La dévitalisation des feuillus par le sulfamate d'ammonium. *Rev. forest. fr.* 6, 458-469.
- ARBONNIER P., 1963. Appareils portatifs pour les traitements chimiques par badigeonnage. *Rev. forest. fr.* 3, 217-220.
- ARBONNIER P., 1966 a. Principes généraux d'étude de l'efficacité herbicide et de la phytotoxicité d'un produit en sylviculture Document n° 25 de la Commission des Essais Biologiques.
- ARBONNIER P., 1966 b. L'analyse de l'information. Aperçu théorique et application à la loi multinomiale. *Ann. Sci. forest.* XXIII, 4, 949-1017.
- AUDUS L.J., 1964. The physiology and biochemistry of herbicides. *Academic Press*.
- CATINOT R. et LEROY-DEVAL J., 1960. Essais de destruction de la forêt dense par empoisonnement au Gabon. *Bois Forêts trop.* 69.
- CEBRON P., 1957. Les essais d'empoisonnement avec phytohormones en forêt du Téké. Application des résultats aux travaux d'enrichissement de la forêt dense. *Bois Forêts Trop.* 52, 9-15.
- CHERNG-JIANN SHIUE, HOSSFELD R.L., REES L.W., 1958. Absorption and translocation of 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid derivatives in quaking aspen. *Forest Sci.* 4, (4) 319-323.
- GEIL (VON), 1962. Laubholzläuterungen mit dem Tankpinsel « Taunus » *Forst u. Holzw.* 16, 316-317.

- JARVIS J.M., 1957. The effectiveness of ammonium Sulfamate for killing defective tolerant hardwoods. *Forestr. Chron.* **33**, (1) 51-53.
- KOTSCHY K., 1962. Erfahrungen bei der Lauterung mit Wuchsstoffen. *Allg. Forstz.* **718**, 84-86.
- LEONARD O.A., 1963. Translocation of herbicides in woody plants. *Proc. Soc. Amer. Forest.* 99-103.
- LEONARD O.A., MURPHY A.H., 1965. Relationship between herbicide movement and stump sprouting. *Weeds* **13**, 1, 26-30.
- LINDEN G., 1955. Die Schnittflachen und Stammgrundbehandlung mit 2,4,5-T zur Verhinderung und Bekampfung des Stockaussages. *Forst Holzwirt.* **4**.
- LITTLE S., MOHR J.J., 1956. Chemical control of hardwoods on Pine kites of Maryland's Eastern Shore. *Nth East For. exper. Techn. Note*, **64**, 4.
- MACQUILKIN W.E., 1955. Use ammate in notches for deadening trees only during the growing season. *Nth East For. exper. Stn Res.* **52**, 2.
- PEEVY F.A., 1954. Woody plant control in Southern Forest. *Proc. 7 th annu. South Weed Conf.* 261-264.
- PEEVY F.A., 1960. Controlling southern weed trees with herbicide. *J. Forestry.* **58** (9). 708-710.
-