

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

GEMAGREF

DEPARTEMENT
FORETS

**Etablissement de classes de croissance
des peuplements de chêne pubescent
en Provence.**

Analyse de leurs facteurs explicatifs

—————
ETUDE FEOGA
—————

DIVISION

— PROTECTION DES FORETS —
CONTRE L'INCENDIE

— GROUPEMENT D'AIX-EN-PROVENCE —

SEPTEMBRE

1983

Mémoire de 3ème année de l'E.N.I.T.E.F. présenté par Yvon DUCHE

**Etablissement de classes de croissance
des peuplements de chêne pubescent
en Provence.**

Analyse de leurs facteurs explicatifs

1

Mémoire de 3ème année de l'E.N.I.T.E.F. présenté par Yvon DUCHE

Septembre 1983

REMERCIEMENTS

*Je tiens à remercier les nombreuses personnes
qui m'ont aidé à mener à bien cette étude,
et tout particulièrement :*

*Monsieur Jean de Montgolfier, Madame Sylvie
Permezel et les autres membres de la division
P.F.C.I. du C.E.M.A.G.R.E.F.*

SOMMAIRE

	Pages
<u>INTRODUCTION : LES OBJECTIFS DE L'ETUDE</u>	1
<u>CHAPITRE I - PRESENTATION RAPIDE DU CHENE PUBESCENT</u>	4
1. Description	4
2. Aspects bioclimatiques	5
3. Zonation altitudinale	5
4. Aire de répartition	6
5. Phénologie	8
6. Parasitisme et stérilité	8
<u>CHAPITRE II - PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE</u>	9
I. METHODOLOGIE	9
I.1. Délimitation de la région d'étude	9
I.2. Détermination des zones de travail	10
I.3. Choix des peuplements	11
I.4. Choix d'un système d'échantillonnage	11
I.5. Critique de la méthode	13
1.5.1. Choix des zones d'étude	13
1.5.2. Choix de la stratification	13
II. PROTOCOLE EXPERIMENTAL	15
II.1. Choix d'un type de placette	15
II.1.1. Forme de la placette	15
II.1.2. Superficie de la placette	15
II.1.3. Problème des limites	16
II.2. Relevés floristiques	17
II.3. Relevés écologiques	17
II.3.1. Facteurs de localisation et de situation	17
II.3.2. Lithologie et sol	18
II.3.3. Autres facteurs	18

II.4.	Relevés dendrométriques	19
II.4.1.	Aspects dendrométriques abordés ...	19
II.4.11.	Age du peuplement	19
II.4.12.	Critères de fertilité	19
II.4.13.	Analyse de tige	20
	- But de l'analyse de tige	20
	- Principe	20
	- Réalisation pratique ...	21
II.4.14.	Inventaire	21
	- But	21
	- Principe	21
II.4.15.	Tarif de cubage	22
	- Taille de l'échantillon	22
	- Choix des tiges de l'é-	
	chantillon	22
II.4.2.	Variables mesurées	23
II.4.21.	Sur le terrain	23
	- Cas des arbres abattus .	23
	- Cas des arbres sur pied	24
II.4.22.	Variables mesurées au bureau	24
	- Carottes	24
	- Analyse de tige	25
 <u>CHAPITRE III - LA CROISSANCE DU CHENE PUBESCENT</u>		 27
I.	CONSTRUCTION DE COURBES DE CROISSANCE ET DETERMI-	
	NATION D'UN INDICE DE CROISSANCE	28
1.	Données expérimentales	28
1.1.	Nuage de points hauteur dominante/âge	
	des placettes	28
1.2.	Analyses de tiges	29
1.3.	Analyses des derniers accroissements .	29
2.	Utilisation des données expérimentales	29
3.	Construction des courbes de croissances re-	
	latives au nuage de points	30
3.1.	Présentation de la méthode : les cour-	
	bes affines	30
3.2.	Calcul des courbes de régression moyennes	31
3.3.	Calcul du faisceau de courbes	32
3.4.	Calcul d'un indice de croissance	34
3.5.	Choix d'un modèle parmi ces courbes ..	35
3.6.	Validité des courbes	36

4.	Construction des courbes de croissance relatives aux analyses de tiges	36
4.1.	Méthode	36
4.2.	Résultats	38
4.3.	Critique de la méthode	38
4.4.	Calcul du faisceau de courbes	39
4.5.	Conclusion : choix d'un type de courbe	39
5.	Répartition des placettes en fonction de la fertilité	39
6.	Comparaison avec les classes de croissance existantes	41
II.	ETUDE DE LA QUALITE DE L'APPAREIL RACINAIRE DES TAILLIS DE CHENE PUBESCENT	42
1.	Lieu d'étude	42
2.	Aspect bibliographique	43
3.	Etude expérimentale	44
3.1.	Affranchissement des rejets	44
3.2.	Etude des coupes transversales de racines	44
3.3.	Détermination de secteurs au sein d'une souche	46
4.	Conclusion	46
III.	ETUDE DE QUELQUES CARACTERES DENDROMETRIQUES DU CHENE PUBESCENT	48
1.	Elaboration de tarifs de cubage	48
1.1.	Tarif tiges	48
1.1.1.	Calcul du volume sur écorce des arbres de l'échantillon ...	48
1.1.2.	Estimation des volumes sur pied : élaboration d'un tarif	49
	- Choix des entrées du tarif ..	49
	- Choix d'un modèle	49
	- Résultats	50
1.2.	Tarifs peuplements	50
1.3.	Comparaison des tarifs de cubage aux tarifs existants	51
1.3.1.	Tarifs tiges	51
1.3.2.	Tarifs peuplements	52
2.	Calcul du pourcentage d'écorce en volume du chêne pubescent	52

IV.	CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES DES TYPES DE PEU- PLEMENTS	53
-----	--	----

CHAPITRE IV - LA CROISSANCE DU CHENE PUBESCENT EN RELATION
AVEC LES FACTEURS DU MILIEU 55

1.	Facteurs pris isolément	56
2.	Influence des facteurs du milieu pris 2 à 2 : com- binaison de facteurs	67
3.	Synthèse des résultats : comportement du chêne pu- bescent vis-à-vis des facteurs du milieu	70
4.	Influence des facteurs du milieu pris dans leur ensemble : analyse factorielle des correspondances	71
5.	Utilisation de la segmentation	72
	5.1. Principe	72
	5.2. Mode opératoire	72
	5.3. Résultats	73
	5.4. Critique de la méthode	75
6.	Comparaison des résultats de l'analyse factorielle des correspondances et de la segmentation	77

CHAPITRE V - LE CHENE PUBESCENT ET LA VEGETATION 78

1.	Analyse factorielle des correspondances	78
2.	Information mutuelle	79
3.	Segmentation avec les variables floristiques.....	82

CHAPITRE VI - SYLVICULTURE DES TAILLIS DE CHENE PUBESCENT 87

1.	Non-intervention	88
2.	Maintien du taillis	88
	2.1. Méthode de coupe	88
	2.2. Durée de la révolution	89
	2.3. Dépressage précoce	90
	2.4. Utilisation de la biomasse	90

3.	Conversion	91
	3.1. Eclaircies préparatoires à la conversion	91
	3.1.1. Observations de l'effet des éclaircies dans des peuplements de chêne pubescent	91
	3.1.2. Conclusion sur l'intensité des éclair- cies	95
	3.2. Espacement entre les éclaircies	95
	3.3. Régénération	97
4.	Balivage	98
5.	Enrichissement du taillis	98
	5.1. Introduction de feuillus précieux	98
	5.2. Introduction de résineux	99
6.	Transformation	99
7.	Aménagement cynégétique	100
8.	Aménagement trufficole	100
9.	Aménagement sylvo-pastoral	100
	<u>CONCLUSION</u>	102
	<u>ANNEXES</u>	107

INTRODUCTION

LES OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude s'insère dans le cadre du programme du FEOGA de mise en valeur des taillis méditerranéens. Cette valorisation est subordonnée à une bonne appréciation des potentialités de ces peuplements.

Nous intéressant plus particulièrement au chêne pubescent, nous avons mis au point une méthode d'enquête permettant d'évaluer les potentialités de cette essence et de les expliquer autant que possible par l'action des facteurs du milieu. Les potentialités d'une station sont communément exprimées en foresterie par une hauteur, moyenne ou dominante, à un âge de référence.

Les peuplements étudiés présentant des âges très variés, nous avons été amené à établir des faisceaux de courbes de croissance en hauteur dominante.

Une étude complémentaire de quelques caractéristiques dendrométriques simples (volume à l'hectare, surface terrière à l'hectare, accroissement moyen) a permis d'établir une ty-

pologie des taillis de chêne pubescent âgés de 30 ans. Dans un second temps, nous avons analysé l'influence des variables écologiques sur la croissance, à l'aide de divers procédés (analyse de variance, segmentation...).

Ces deux premiers points nous autorisent à établir un pronostic sur la croissance des diverses formations de chêne pubescent. Pourvus de ce diagnostic, et de l'appréciation de la qualité de l'enracinement, nous avons proposé au forestier, neuf scénarios d'aménagements sylvicoles. Ces aménagements ne comportent pas de directives strictes, car bien des points restent obscurs.

Nous avons finalement souligné les points qui méritent d'être étudiés plus en détail si l'on veut progresser dans la connaissance du comportement du chêne pubescent, et de ses utilisations.

CHAPITRE I

PRESENTATION RAPIDE
DU CHENE PUBESCENT

LE CHENE PUBESCENT

Ordre :	Fagales
Famille :	Fagacées
Genre :	Quercus
Espèce :	Q. Pubescens (Willdenow) Q. Lanuginosa (Thuillier)

1. Description

Le chêne pubescent est une espèce caducifoliée, souvent marcescente.

- Hauteur : Il peut atteindre 25 m, bien que ce soit généralement un arbre de taille moyenne (15 à 20 m).
- Port : Le fût est souvent tortueux. Il est doté de nombreuses branches, d'une cime fréquemment assez ample, ce qui fait supposer une dominance apicale faible.
- Ecorce : Noirâtre, plus ou moins profondément crevassée. Renferme du tanin.
- Rameaux : velus, de couleur brun rougeâtre, à vert grisâtre.
- Bourgeons : ovoïdes, nettement pubescents, de couleur identique aux rameaux de l'année.

- Feuilles : blanc au débourrage, avec des nuances rougeâtres. Pétiole court et pubescent. Elles sont lobées, parfois lobulées, souvent en coeur à la base, pubescentes sur la face inférieure.
- Fleurs : châtons mâles jaunâtres, pendants à la base des jeunes rameaux. Fleurs femelles à l'autre extrémité des rameaux, petites (1 mm), sessiles.
- Fruit : gland courtement pédonculé, inclus pour 1/3 dans la cupule. Celle-ci, du type lusitanica, est grise, velue.
- Maturation annuelle.

2. Aspects bioclimatiques (voir figure en annexe 2)

La majorité des formations de chêne pubescent se trouve en bioclimat humide frais et froid, bien qu'on puisse en rencontrer en quantité non négligeable dans le subhumide frais et froid.

3. Zonation altitudinale

Sur le pourtour méditerranéen, il est classique de distinguer divers étages altitudinaux, les schémas de zonation les plus récents ayant été proposés par OZENDA (1975) -19- et QUEZEL (1974-76)-21-. Dans ces modèles, le domaine électif du chêne pubescent est l'étage supraméditerranéen, mais il peut pénétrer dans le domaine mésoméditerranéen à la place du chêne vert, voire même dans le montagnard méditerranéen, où il se réfugie alors sur les adrets.

4. Aire de répartition

La répartition actuelle de l'espèce figure sur la carte publiée par DAGET (1980) et reproduite à la fig. 1. Nous y avons superposé l'aire de répartition de Quercus pubescens à l'aire isoclimatique méditerranéenne. On voit que l'espèce déborde largement cette dernière. Pour la zone méditerranéenne QUEZEL (1974-76) -21- précise que "le chêne pubescent représente l'espèce de très loin la plus répandue en région méditerranéenne française puisque c'est elle qui constitue la majeure partie des formations forestières entre 300-400 m et 900-1000 m, bien qu'elle cède localement la place à d'autres essences en fonction des substrats (conifères sur marnes et calcaires marneux surtout), voire en fonction de critères biogéographiques en Corse ou en pays niçois notamment.

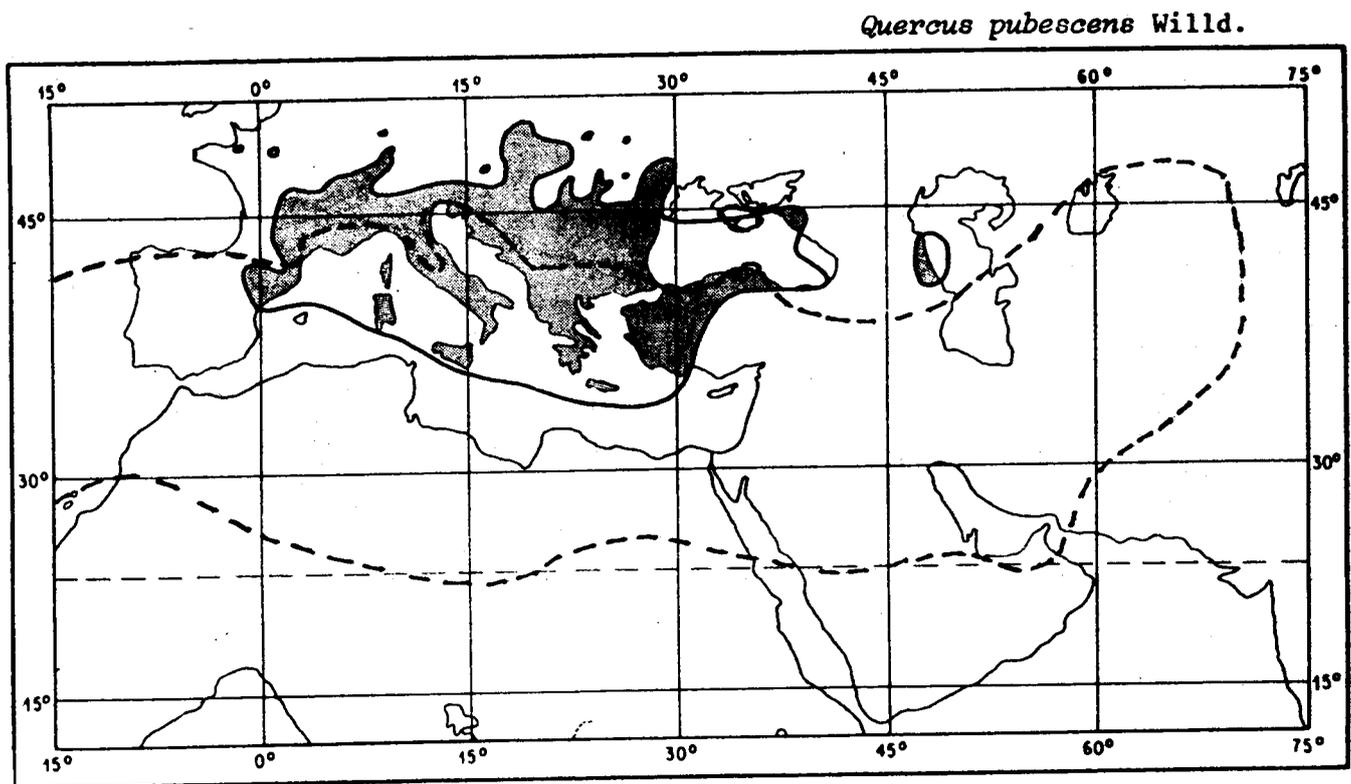
Son extension très remarquable en France est, il faut le remarquer, un cas pratiquement isolé sur le pourtour méditerranéen puisqu'il franchit à peine les Pyrénées vers le sud-ouest et est alors remplacé par le chêne faginé, et que, vers l'est, s'il persiste encore, il ne joue qu'un rôle discret, cédant alors la place sur substrats non calcaires au chêne chevelu (Quercus cerris) et sur calcaires aux peuplements mixtes à charme houblon et charme oriental (Ostrya carpinifolia et Carpinus orientalis) essences qui, du moins pour les 2 premières, apparaissent déjà en pays niçois.

A ses limites septentrionales, le chêne pubescent se mêle au chêne sessile et certains peuplements mixtes existent notamment sur le Ventoux, sur les Causses, les Cévennes. L'hybride entre ces deux arbres (Quercus streimii) est localement abondant.

Remarquons encore que le chêne pubescent qui joue un rôle très discret en Italie et dans les Balkans réapparaît

en Anatolie, sur les hauts plateaux (AKMAN, 1972) où sa sous-espèce anatolica est alors très abondante en bioclimat semi-aride froid, voire très froid, alors qu'en France méditerranéenne le type occupe essentiellement le bioclimat humide frais et froid". Au nord de cette zone, on le trouve, en situation favorable (adret, substrat calcaire) dans le Jura, le bassin parisien, la Lorraine, puis, en allant vers l'est en Allemagne, en Suisse, Tchécoslovaquie, Roumanie, Moldavie, Ukraine, au Caucase et au Daghestan.

Figure 1



D'après Zolyomi, *in* Emberger, 1960

en grisé : aire de répartition du chêne pubescent in DAGET (1980)

--- aire isoclimatique méditerranéenne d'après DAGET (1977).

5. Phénologie

Une étude menée par VUILLEMIN (1980) -30- montre que le débourrement est très étagé dans le temps en fonction de l'altitude, puisque l'écart atteint 6 semaines entre les stations extrêmes (200 et 1120 m).

6. Parasitisme et stérilité

Le chêne pubescent est sensible à la tordeuse verte *Tortrix viridiana*, dont le cycle correspond à la période de débourrement des bourgeons floraux et foliaires.

Lors d'une attaque, même s'il se produit une seconde foliaison, on observe une forte baisse de production, et une stérilité totale des sujets fortement atteints. D'après DUMERLE (1980 in Vuillemin), la tordeuse produirait des dégâts essentiellement dans l'étage subméditerranéen.

Lymantria dispar et *Thaumétopoa processionea* attaquent aussi le chêne pubescent, plus ou moins régulièrement, mais sans causer trop de dommages.

Enfin, notons la présence d'un champignon, l'oïdium, qui ne provoque que très peu de dégâts.

CHAPITRE II

PRESENTATION GENERALE DE L'ETUDE

I. METHODOLOGIE

Dans le but d'étudier l'action des facteurs du milieu sur la hauteur dominante, et sur toute autre caractéristique des peuplements, nous avons adopté une méthode d'enquête qui comprend les étapes suivantes :

- description des objectifs de l'étude ;
- délimitation d'une région d'étude ;
- détermination dans cette région des zones de travail ;
- choix d'un système d'échantillonnage ;
- choix des données à collecter, et établissement d'une fiche d'enquête ;
- travail d'enquête sur le terrain ;
- dépouillement des données assisté par ordinateur ;
- interprétation des résultats du dépouillement.

Certains de ces points sont détaillés ci-après.

I.1. Délimitation de la région d'étude

Le critère le plus souvent cité dans la délimitation d'une région d'étude est l'homogénéité vis à vis des caractéristiques climatiques qui déterminent en grande partie les potentialités d'une station.

GARBAYE (1970) -10- recommande même d'éliminer l'influence du climat, en limitant la surface étudiée si celle-ci

n'est pas pourvue d'un réseau de stations météorologiques assez dense. En région méditerranéenne, l'application stricte de cette recommandation conduirait à n'étudier qu'une petite région. Plutôt que de donner des résultats très précis sur une toute petite région, le CEMAGREF a demandé que l'étude soit étendue à l'ensemble de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur où le chêne pubescent est abondant, au risque de diminuer la précision des résultats.

Cette zone, assez vaste, recouvre des conditions climatiques relativement hétérogènes, bien que toujours d'influence méditerranéenne.

L'hétérogénéité des facteurs climatiques a peut-être conduit à la différenciation d'écotypes, ce qui amène à s'interroger sur l'identité, en tout point de l'aire d'étude, du matériel étudié.

Les conséquences d'une variation de génotype sont imprévisibles et incontrôlables, un biais pouvant alors apparaître lors de l'évaluation des potentialités de ces peuplements. S'il existe, ce biais n'a pu être chiffré.

1.2. Détermination des zones de travail

Dans un premier temps a eu lieu un repérage sur cartes (IGN au 1/100 000) des formations à chêne pubescent ; il a été réalisé à partir des cartogrammes des types de peuplements de l'I.F.N., des cartes de la végétation de la France éditées par le CNRS, mais aussi grâce à des renseignements provenant de l'ONF et du CRPF. A l'intérieur de ces étendues, nous avons ensuite été amené à délimiter des zones de travail.

Le choix de celles-ci a été conditionné par deux contraintes :

- administrative : la décision d'utiliser la technique des analyses de tiges impliquant un abattage, nous avons dû nous limiter aux forêts soumises au régime forestier ;
- technique : la quantité de matériel requis (tronçonneuse,

perches, pioche, tarière...) nous obligeant à deux voyages jusqu'à la placette de mesure, celle-ci a toujours été implantée à moins de 200 m d'une piste forestière.

1.3. Choix des peuplements

A l'intérieur même de ces zones de travail, nous nous sommes restreint à l'étude de peuplements forestiers complets, purs et équiennes.

Pour pouvoir être considéré comme un peuplement forestier complet, nous avons admis qu'un taillis âgé d'une quarantaine d'années devait avoir une densité d'au moins 800 tiges/ha (diamètre \geq 4 cm).

Un peuplement est dit pur (DECOURT, 1973) -8- si 80 % au moins des tiges et de la surface terrière sont de l'essence étudiée.

Sur chaque placette, on a relevé l'âge de 4 arbres ; le peuplement a été considéré comme équienne quand aucun des âges ne s'éloignait de plus de 5 ans de la moyenne de ces 4 âges. En futaie, DECOURT (1973) -8- admet une amplitude de 10 ans, mais le mode de régénération n'est pas du tout le même.

1.4. Choix d'un système d'échantillonnage

En un an, il n'était pas possible de réaliser seul un inventaire systématique sur une telle étendue sans augmenter démesurément le pas du maillage de la grille d'inventaire.

Nous avons donc choisi un échantillonnage stratifié, c'est-à-dire que nous avons tenté de sélectionner un certain nombre de points de manière à couvrir à la fois la fourchette complète des potentialités, et la gamme des sols, ou des stations de la région d'étude.

La stratification a été effectuée sur les facteurs suivants :

- région IFN (et roche mère)
- altitude

- pente
- exposition
- topographie
- hauteur dominante
- âge.

. Région I.F.N.

Elle délimite, en théorie, des zones pédogénétiquement homogènes, ce qui en fait n'est vérifié qu'en première approximation.

Dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, on trouve du chêne pubescent en quantité notable sur environ 20 de ces petites régions.

Pour obtenir au total 180 placettes de mesure, nous avons donc besoin en moyenne de 9 placettes par région I.F.N.

Pour chacune de ces régions, le nombre de placettes a été rendu à peu près proportionnel au pourcentage de surface effectivement occupée par cette essence dans chacune d'entre elles. On arrive ainsi à une fourchette de 6 à 12 placettes par région. Enfin, signalons que quand dans une région IFN existaient plusieurs roches mères très différentes l'une de l'autre (calcaire, marne, roche siliceuse...), nous avons distribué les placettes équitablement entre chaque type.

. Autres facteurs

Pour chacun de ces facteurs, fractionné en plusieurs classes, nous nous sommes efforcés de couvrir l'éventail complet des possibilités, et de répartir les placeaux d'étude également dans chacune de ces classes.

1.5. Critique de la méthode

1.5.1. Choix des zones d'étude

La limitation du travail aux seules forêts gérées par l'ONF peut paraître abusive puisque celles-ci ne représentent qu'environ 20 % des surfaces occupées par le chêne pubescent (données IFN). Cependant, cet inconvénient est atténué du fait d'une assez bonne distribution sur l'aire d'étude de l'ensemble de ces forêts, qui ont du reste, toutes été prospectées.

1.5.2. Choix de la stratification

La mise en oeuvre efficace d'une telle méthode implique une connaissance approfondie de la répartition des facteurs sur lesquels porte la stratification.

En ce qui concerne les facteurs du milieu (sol, altitude...), cette connaissance peut être acquise à l'aide de cartes à petite ou moyenne échelle (1/25 000 - 1/100 000).

Par contre, pour appréhender correctement la fertilité (représentée comme nous le verrons plus tard, par une relation hauteur-âge), il faudrait posséder un inventaire quasi-complet des peuplements avec leur âge, ce qui est loin d'être le cas.

C'est sur ce dernier point que notre échantillonnage est le plus critiquable.

En effet, nos placettes devraient être réparties également dans tout l'éventail des âges et des classes de croissance. Or, ayant choisi des peuplements existants, là où on les trouvait, et avant de définir les classes de croissance, nous ne pouvons malheureusement pas être assuré de la qualité de notre échantillon vis à vis de cette hypothèse.

Il ne nous a pas été possible d'échapper à cette difficulté ; nous essaierons dans la suite de ce travail de souligner les insuffisances qui pourraient en découler, et d'orienter les recherches ultérieures vers une récolte d'un supplément d'information si cela s'avérait nécessaire.

II. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

II.1. Choix d'un type de placette

II.1.1. Forme de la placette

La forme circulaire a été préférée à la rectangulaire, car elle est plus facile à mettre en place, aussi bien à l'aide du système optique d'un Suunto et d'une mire Pardé, qu'avec celle d'un décamètre.

II.1.2. Superficie de la placette

Elle doit satisfaire à certaines conditions, qui sont d'être assez grande pour être représentative du peuplement mais suffisamment réduite pour ne pas provoquer une hétérogénéité des conditions écologiques et édaphiques.

PARDE (1961) -20- estime qu'en inventaire statistique, la placette doit contenir 10 à 20 tiges ; RICHTER (1959, in Parde 1961) -20- préconise pour sa part l'emploi de 2 cercles concentriques, l'un de 0,5 are pour les jeunes bois, l'autre de 3 ares pour les moyens et gros bois.

Ces considérations sont surtout vraies pour des fûtaies ; en régime de taillis, particulièrement en région méditerranéenne, les brins doivent être assimilés aux jeunes bois, ou plus rarement aux bois moyens (cas des taillis très vieillis).

Nous avons choisi une surface d'environ 3 ares (10 m

de rayon) pour les relevés floristiques et écologiques. Par contre, pour les mesures dendrométriques, nous avons retenu une placette à surface variable, de telle sorte qu'elle contienne au minimum 40 brins.

En pratique, nous avons utilisé des superficies de 1 à 3 ares.

Pour obtenir ces surfaces, nous avons tenu compte de la pente (lorsque celle-ci dépassait 10 %) lors du choix du rayon de la placette.

II.1.3. Problème des limites

La présence de cépées de volume spatial important pose le problème de la délimitation de la placette ; en effet, il arrive souvent que le tracé des limites du périmètre d'étude passe au milieu d'une cépée, séparant les tiges de celle-ci en deux lots.

La question se pose alors d'intégrer ou non la totalité des brins de la cépée dans ce périmètre. Rejeter les tiges situées à l'extérieur équivaldrait à dire que celles-ci sont indépendantes les unes des autres. Or, comme nous le verrons plus loin, il semble qu'au contraire ces brins soient toujours liés à un même ensouchement.

Nous avons donc choisi de considérer a priori la cépée comme individu de base lors des inventaires, et d'englober la totalité des tiges de ladite cépée dans le comptage quand plus de la moitié d'entre elles se trouvaient dans la surface d'étude, et de les éliminer en bloc dans le cas contraire.

II.2. Relevés floristiques

La phase de terrain se déroulant d'octobre à février, nous avons dû nous limiter aux espèces reconnaissables en toutes saisons.

Sur chaque placette, a été réalisé un relevé de végétation aussi complet que possible, dans lequel nous n'avons pas tenu compte du recouvrement des espèces, seule la présence ou l'absence de l'une d'elles ayant été notée. Par contre, nous avons évalué le recouvrement de chaque strate, herbacée, arbustive et arborescente.

II.3. Relevés écologiques

II.3.1. Facteurs de localisation et de situation

La localisation est effectuée au bureau ; on y calcule par interpolation la latitude, la longitude et l'altitude, et on y mesure sur carte IGN au 1/100 000 la distance au littoral.

Sur le terrain, on évalue la pente, l'exposition et la topographie.

En continuité avec les études entreprises précédemment sur l'écologie du cyprès et du pin pignon, l'éclairement de la station a été apprécié par le biais de l'indice de rayonnement global établi par BECKER (1979) -31-. On le calcule à partir d'abaques mises au point par ce même auteur, en utilisant la pente, l'exposition et le confinement, ce dernier étant défini comme l'angle formé par l'horizontale et le faite moyen du versant opposé.

Ces abaques étant valables pour la latitude de Nancy, elles ne pourront nous fournir que des valeurs relatives.

11.3.2. Lithologie et sol

Nous nous sommes attaché en priorité à l'étude des caractères physiques du sol, qui selon de nombreux auteurs sont déterminants en climat méditerranéen.

Nous avons tenté d'évaluer :

- la nature de la roche mère et son pendage ;
- la fissuration de cette roche mère, à l'aide d'une canne pédologique ou d'un profil (talus de route, fossé) ;
- la profondeur du sol, par l'intermédiaire de 5 sondages à la tarière à vis hélicoïdale ;
- la pierrosité, appréciée par :
 - . le pourcentage d'affleurements de la roche mère en place sur la placette,
 - . le pourcentage de cailloux affleurant en surface,
 - . le pourcentage en volume, de cailloux dans les 20 premiers centimètres.

D'autres caractéristiques, physico chimiques ont été relevées :

- texture et structure des premiers horizons,
- pH de la terre fine prélevée à environ 30 cm de profondeur,
- réaction à Hcl de la terre fine et de la roche mère.

11.3.3. Autres facteurs

On a relevé les traces de pâturage, le passage d'incendies ainsi que la présence de régénération.

II.4. Relevés dendrométriques

II.4.1. Aspects dendrométriques abordés

II.4.11. Age du peuplement : DECOURT (1973) -8- préconise le prélèvement par sondage à la tarière, au coeur, à 0,3 m du sol, d'au moins 3 carottes ; une sur un dominant, une sur un dominé, et une sur un intermédiaire.

Nous avons prélevé 4 carottes ou rondelles, selon les placettes, 2 parmi les dominants, 1 parmi les codominants, et 1 parmi les dominés.

II.4.12. Critère de fertilité : Le concept de fertilité repose sur l'hypothèse que dans une même station, un matériel végétal donné suit en moyenne une même loi de croissance en volume (DECOURT, 1973) -8-.

Ce même auteur indique que l'indice de fertilité le plus utilisé dans le cas de peuplements sensiblement équiennes est constitué par la hauteur d'un peuplement à un âge de référence. Les peuplements que l'on étudie ayant rarement l'âge de référence choisi pour définir l'indice, on est amené à construire des faisceaux de courbes de croissance en hauteur en fonction de l'âge.

Des travaux réalisés précédemment par BICHARD sur le chêne vert, et FERNANDEZ sur le chêne pubescent ont montré que la hauteur moyenne et la hauteur dominante étaient très fortement corrélées ; le choix de l'une de ces deux hauteurs ne peut donc guère affecter la relation hauteur-âge.

Nous avons retenu la hauteur dominante, plus facile à appréhender sur le terrain. Celle-ci est définie comme la moyenne des hauteurs des 100 plus gros brins à l'hectare. Dans notre cas, nous n'avons mesuré que 3 brins sur 3,14 ares (ce qui ramené à l'hectare correspond à une centaine de brins), mais nous admettrons que la moyenne des hauteurs de ces 3 brins donne une bonne représentation de la hauteur dominante.

Pour que le principe énoncé ci-dessus permette des com-

paraisons valides entre milieux différents, il est nécessaire que tous les échantillons mesurés appartiennent à une même population.

Outre le phénomène de différenciation d'écotypes déjà évoqué, l'état de l'ensouchement peut provoquer une différenciation du matériel de mesure. Cette variable état d'ensouchement peut avoir une influence particulièrement néfaste sur notre étude, puisque, pour un matériel génétiquement homogène, l'état de la souche, ou plutôt le nombre de rotations qu'elle a déjà supporté influe probablement sur la hauteur finale (c'est le cas pour *Eucalyptus camaldulensis* et *Quercus macranthera* étudiés respectivement par RIEDACKER - 1973 -24- et KAZARDJAN -13-).

L'utilisation des courbes de croissance devra donc se faire avec prudence, et il sera bon de confronter les résultats avec ceux fournis par l'analyse des facteurs du milieu.

II.4.13. Analyse de tige

II.4.131. But de l'analyse de tige : C'est un procédé qui permet de reconstituer l'évolution dans le temps de la croissance d'un arbre notamment en hauteur et en diamètre à un niveau de référence.

Nous avons utilisé cette technique pour préciser la forme de nos courbes de fertilité.

II.4.132. Principe : Lorsque l'on dispose d'un nombre suffisant de sections d'un arbre, il est possible de déterminer l'histoire du développement de cet arbre à tous les âges.

Le nombre de rondelles peut être choisi selon 2 modèles :

- on garde une longueur constante entre chaque section ;
- on retire un nombre constant de rondelles.

Nous avons retenu cette dernière solution car elle a l'avantage de donner une précision relative identique pour les gros arbres et les petits.

Dans une précédente étude réalisée par FERNANDEZ (1978) -9- sur 115 relevés, la hauteur dominante atteignait rarement 14 mètres (5 fois), une placette exceptionnelle culminant à 16,40 m.

Afin de ne pas avoir de billons supérieurs à 2 m dans le cas général, nous avons décidé de prélever 7 rondelles par arbre, en plus de la rondelle à la hauteur de référence (1,3 m), soit un total de 8.

II.4.133. Réalisation pratique : L'arbre étant à terre, on mesure dans un premier temps sa longueur totale. Ensuite, on divise la tige en 7 parties égales et on fait apparaître le niveau 1,3 m. On découpe alors une rondelle à la partie inférieure de chaque billon ainsi délimité. Sur chaque rondelle, on fait figurer sur la face supérieure un numéro, la lecture se faisant toujours sur la face inférieure.

II.4.14. Inventaire

II.4.141. But : Ces inventaires ont été réalisés sur environ 1/5 des placettes afin de déterminer, pour chacune d'elles :

- la densité,
- le nombre de cépées,
- la surface terrière,
- le volume.

II.4.142. Principe : Comme nous l'avons déjà souligné, la surface de la placette est choisie de telle sorte que celle-ci contienne au minimum 40 brins.

Pour chaque cépée, on relève la hauteur totale et le diamètre à 1,3 m de toutes les tiges de diamètre supérieur ou égal à 4 cm. Les tiges sont ensuite réparties en classe de diamètre d'un centimètre d'amplitude.

A la fin des mesures, on déduit facilement la densité et la surface terrière du peuplement ; le volume est obtenu indirectement après cubage de chaque brin à l'aide du tarif brin à 2 entrées que nous avons établi au préalable, puis sommations des volumes élémentaires ainsi obtenus.

II.4.15. Tarif de cubage

II.4.151. Taille de l'échantillon : Pour une région naturelle, PARDE (1961) -20- parle d'un millier de tiges, tandis que BOUCHON cite le chiffre moyen de 800 arbres adopté lors de l'établissement de tarifs applicables sur une région couvrant quelques départements, ce chiffre devant être un peu surévalué pour les feuillus.

Pour des taillis de chêne pubescent, dont le diamètre varie peu par rapport à des arbres de futaie, il semble qu'un échantillon moitié moindre (500 arbres) permette d'atteindre une précision suffisante.

II.4.152. Choix des tiges de l'échantillon : BOUCHON rappelle que les arbres qui servent à établir un tarif doivent être représentatifs de la population à laquelle sera appliqué le tarif.

L'échantillon doit satisfaire en théorie aux principes suivants :

- dans chaque région, on prend dans chaque forêt un nombre d'arbres proportionnel à la surface de celle-ci ;
- dans chaque forêt, il faut répartir les peuplements en fonction des classes d'âge ;
- dans chacun de ces peuplements, on établit l'échantillon en fonction des classes diamètre-hauteur.

En pratique, ces principes sont difficilement applicables, ils provoquent notamment le cubage d'un trop grand nombre de petits brins, ce qui est inutile vue leur faible variabilité.

Nous avons opté pour la technique qui suit : pour chaque

placette, 4 tiges ont été cubées ; sur ces 4 tiges, 3 sont choisies parmi les dominantes, celles qui présentent le maximum de variabilité dans la forme et le volume du tronc, la quatrième étant prise tantôt parmi les codominants, tantôt parmi les dominés, catégories présentant une variabilité beaucoup plus faible, sans être toutefois totalement négligeable.

II.4.2. Variables mesurées

II.4.21. Sur le terrain

II.4.211. Cas des arbres abattus : Pour chaque brin, on note :

- les hauteurs, totale et aux découpes 7 et 4 cm de diamètre, mesurées au décamètre, en veillant à ne pas redresser la flèche (plus particulièrement quand il s'agit de jeunes arbres à dominance apicale encore assez nette). On arrondit ensuite la mesure au décimètre le plus proche ;
- le diamètre à 1,30 m pris au ruban métallique gradué en centimètre de diamètre ; la précision est de ± 1 cm ;
- les diamètres tous les mètres, mesurés avec ce même ruban, le diamètre de base étant pris conventionnellement à 0,30 m pour éviter l'effet de l'empatement basal sur le cubage du brin ;
- la longueur des dix dernières pousses.

Cette variable apporte une précision supplémentaire au couple hauteur-âge ; elle représente en effet la corde de l'arc de la courbe de croissance réelle pour les dix dernières années, et est parallèle à une tangente à cette courbe en un point datant de moins de 10 ans (théorème des accroissements finis).

L'accumulation de ces données permet donc de préciser l'allure générale des courbes de croissance.

Dans la mesure du possible, ces accroissements ont été mesurés pour les dix dernières années ; nous avons noté n

quand nous n'avons pu lire que les n derniers ($n < 10$).

Précisons que cette longueur correspond à la distance entre les deux points extrêmes, et non à la longueur le long de la tige.

II.4.212. Cas des arbres sur pied : Pour chaque brin, nous avons relevé :

- la hauteur totale, mesurée à l'aide de perches de fibres de verre graduées de 50 en 50 cm, avec une précision de ± 30 cm dans les cas les plus défavorables ; cette hauteur est exprimée en décimètres ;

- le diamètre à 1,30 m pris au ruban métallique.

Pour les tiges cubées on a mesuré en plus :

- les hauteurs aux découpes 7 et 4 cm de diamètre à l'aide de ces perches et de gabarits de 7 et 4 cm ;
- les diamètres de base (pris à 0,30 cm) à 1 m et 2 m à l'aide du ruban métallique ;
- les diamètres tous les mètres à partir de 3 m à l'aide des perches et de gabarits.

II.4.22. Variables mesurées au bureau : Il s'agit des variables concernant les carottes issues de tariéage et les analyses de tiges.

II.4.221. Carottes : Elles sont rafraîchies à l'aide d'une lame de rasoir et lues à la loupe. Le nombre de cernes comptés correspond à l'âge de la tige, puisqu'en taillis, on peut admettre que la première année un rejet dépasse 30 centimètres.

Chaque fois que cela a été possible, nous avons appliqué la méthode d'interdatation, qui consiste à reconnaître des cernes remarquables sur des carottes issues d'arbres d'une même placette, et à comparer pour chacune d'entre elles le nombre d'années écoulées entre 2 de ces cernes remarquables.

Ce nombre doit évidemment être identique pour l'ensemble des carottes.

Si les nombres de cernes diffèrent, il convient de recommencer le comptage ; toutefois, si les différences subsistent, on se trouve en présence de faux cernes, dûs à des doubles pousses. On retiendra dans ce cas, comme âge réel, le plus petit des âges lus.

II.4.222. Analyse de tige :

II.4.2221. Age d'une rondelle : Le nombre de cernes est lu sur la face inférieure de chaque rondelle qui a préalablement été poncée afin de faciliter la lecture. Il est pris sur 3 diamètres à 120 degrés l'un de l'autre (comme d'ailleurs pour toutes les autres mesures relatives aux analyses de tiges), le plus grand étant systématiquement choisi.

Le nombre de cernes de la rondelle de base représente l'âge de la tige.

Pour une autre rondelle, l'âge est classiquement défini comme étant le nombre de cernes à la base diminué du nombre de cernes comptés sur celle-ci.

Il convient de remarquer que cette définition conduit à une erreur systématique qui amène à surestimer la hauteur. En effet, les sections ne coïncident pratiquement jamais avec l'extrémité de la pousse annuelle, ce qui a pour effet de décaler vers le haut le nuage de points âge-hauteur, à l'exception des deux points extrêmes (0,0) et âge-hauteur totale.

Il existe plusieurs types de correction qui permettent de réduire ce biais (BRUCIAMACCHIE, 1982) -32-. Cependant, cette erreur atteint dans le cas extrême 1 an ; cela revient à surestimer la hauteur d'une valeur n'atteignant généralement pas la longueur d'une pousse annuelle.

Etant données les difficultés de mesures du nombre de cernes, qui peuvent provoquer des erreurs supérieures à 1 an, et la faible vitesse de croissance du chêne pubescent, nous négligerons par la suite cet aspect, et nous conserverons la définition classique de l'âge.

II.4.2222. Epaisseur et pourcentage d'écorce : L'épaisseur d'écorce est égale à la différence entre le diamètre sur écorce et le diamètre sous écorce. Une étude du pourcentage d'écorce en volume a été réalisée sur 31 arbres.

CHAPITRE III

LA CROISSANCE DU CHENE PUBESCENT

I. CONSTRUCTION DE COURBES DE CROISSANCE ET DETERMINATION D'UN INDICE DE CROISSANCE

1. Données expérimentales

1.1. Nuage de points hauteur dominante/âge des placettes

Ce sont les données de base dont dispose toute personne voulant établir des courbes de croissance.

L'idée directrice est de créer des courbes correspondant à la géométrie du nuage. Cette méthode est illustrée par OTTORINI et NYS (1981) -42-. Toutefois, BARTET et BOLLIET (1976) -31- font remarquer que "la seule justification théorique de ce système est de ne pas en avoir d'autres à disposition, mais rien ne prouve que la géométrie de répartition du nuage des échantillons corresponde à la structure de leur évolution".

Il arrive en effet que certaines catégories de l'échantillon soient sous représentées. Cette sous-représentation est même, vraisemblablement très grave dans le cas des taillis de chêne pubescent : presque tous les bois de feu ont été exploités entre 1940-1 et 1950 par suite de la pénurie due à la guerre, seuls les plus mal venants ont été épargnés. Des courbes basées sur le seul nuage âge - hauteur dominante, donnent donc un biais pessimiste pour les peuplements âgés.

1.2. Analyses de tiges

C'est à partir de ces données que l'on peut sortir du système. Cependant, l'utilisation d'analyses de tiges se heurte à plusieurs objections :

- on n'est pas certain que la tige ait été dominante toute sa vie,
- le fait d'utiliser une seule tige par peuplement est discutable car celle-ci n'est peut-être pas représentative du peuplement (même si on la choisit parmi les brins dominants). BARTET travaille sur 3 tiges dominantes d'un même peuplement, et il étudie le comportement "moyen" (moyenne des âges à une hauteur donnée, ce qui est également discutable, comme il le reconnaît lui-même).

Il est probable qu'avec 5 tiges, on obtienne un résultat satisfaisant, mais cette technique est très lourde à mettre en oeuvre, et a été abandonnée.

1.3. Analyses des derniers accroissements

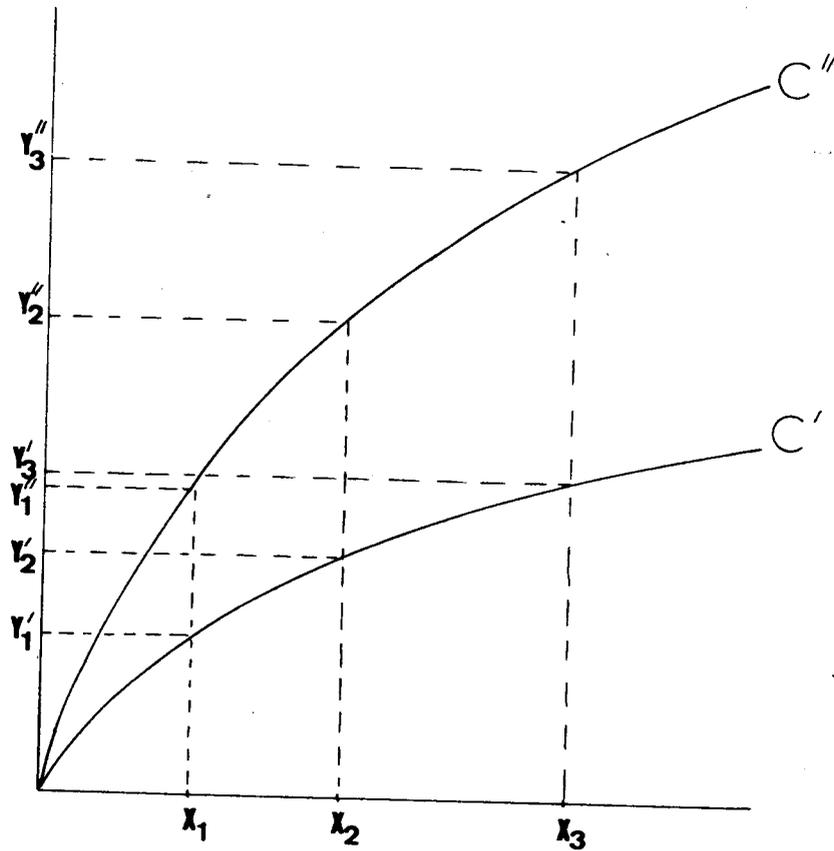
Sur les arbres abattus, nous avons mesuré la longueur des dernières pousses annuelles (des dix dernières chaque fois que cela a été possible) qui sont assez facilement distinguables chez le chêne pubescent.

Cela nous donne une estimation moyenne de la croissance sur les dix dernières années, et comme nous l'avons déjà souligné précédemment, une tangente à la courbe en un point situé sur l'arc des dix dernières années, la pente de cette tangente représentant la vitesse d'accroissement en hauteur de la tige pour les dix dernières années.

2. Utilisation des données expérimentales

LEMOINE (1982) -41- propose une méthode permettant d'obtenir des courbes de croissance en incluant simultanément l'influence de tous ces facteurs.

Presentation de 2 courbes affines



C' et C'' sont affines equivaut a :

$$\frac{y_1'}{x_1} = \frac{y_2'}{x_2} = \frac{y_3'}{x_3}$$

Cette méthodologie n'a pas été retenue, car elle est trop complexe et nécessite l'utilisation d'un programme de régression pondérée dont ne dispose pas le CEMAGREF.

Dans toute la littérature consultée, nous n'avons trouvé qu'une méthode qui utilise les données des analyses de tige pour déterminer l'équation des courbes de croissance et qui nous soit techniquement accessible.

Malheureusement, celle-ci n'admet qu'un seul modèle d'équation, celui de SCHUMACHER ($h=Ce^{b/t^k}$), qui ne convient absolument pas à notre problème.

Dans un premier temps, nous avons dû nous résoudre à élaborer des courbes de croissance uniquement à partir du nuage de points. Ensuite, ayant une idée du type de courbes à trouver, nous avons réussi, par tâtonnements, à établir à partir des données des analyses de tiges une formule qui coïncide assez remarquablement avec les courbes de croissance réelle que représentent les analyses de tiges.

3. Construction des courbes de croissance relatives au nuage de points

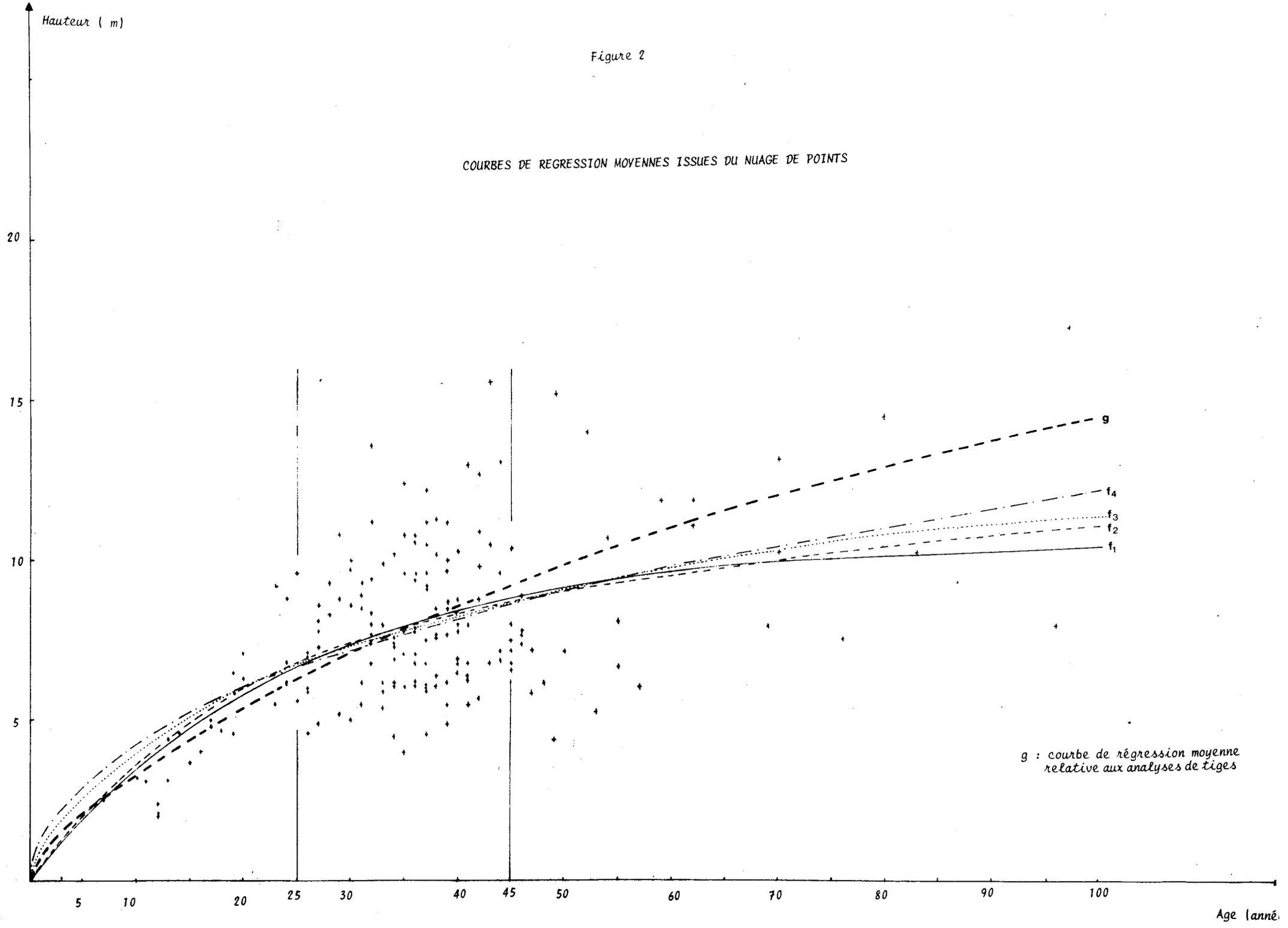
3.1. Présentation de la méthode : les courbes affines (BRUCE et SCHUMACHER in OTTORINI et NYS)

Une courbe de régression moyenne est calculée par l'ordinateur à partir de l'ensemble des couples (hauteur, âge).

On établit ensuite un faisceau de courbes affines les unes des autres, qui découpe le nuage en un nombre donné de classes de croissance (deux courbes sont dites affines si, quel que soit l'âge, le rapport des hauteurs est indépendant de l'âge).(croquis).

Figure 2

COURBES DE REGRESSION MOYENNES ISSUES DU NUAGE DE POINTS



3.2. Calcul des courbes de régression moyennes (figure 2)

4 modèles ont été testés :

- Deux à asymptote parallèle à l'axe des x à l'infini :

$$f_1(t) = a(1-e^{-bt})$$

$$f_3(t) = a(1-e^{-\left(\frac{t}{D}\right)^c})$$

- Deux à asymptote oblique à l'infini, de pente p

$$f_2(t) = (a+pt) (1-e^{-bt})$$

$$f_4(t) = (a+pt) (1-e^{-\left(\frac{t}{D}\right)^c})$$

Le programme de régression curvilinéaire fournit, outre les paramètres, un diagramme qui teste la normalité des résidus (le résidu est défini comme la différence entre la hauteur réelle et la hauteur prédite) et un coefficient appelé "Serial correlation" (S.C.) qui est une sorte de coefficient de corrélation.

$$S.C. = \frac{\sum_i R(i)R(i-1)}{\sqrt{\sum_i R^2(i)R^2(i-1)}}$$

$R(i)$ étant le résidu de l'arbre i .

Une régression est d'autant plus valable que ses résidus suivent une loi normale centrée et que son S.C. est proche de zéro.

On trouve :

$$f_1(t) = 106,7 (1-e^{-0,0396t}) \quad S.C. = 0,017$$

$$f_2(t) = (82,5 + 0,29t) (1-e^{-0,056t}) \quad S.C. = 0,0136$$

$$f_3(t) = 145 (1-e^{-\left(\frac{t}{50}\right)^{0,69}}) \quad S.C. = 0,025$$

$$f_4(t) = (140+0,268t) (1-e^{-\left(\frac{t}{60}\right)^{0,5727}}) \quad S.C. = 0,026$$

Les résidus de toutes ces courbes ne sont pas très éloignés de lois normales centrées (annexe 4).

3.3. Calcul du faisceau de courbes

Méthode : Nous avons choisi d'établir des faisceaux à 4 classes de croissance ; en effet, dans un faisceau ne comportant que 3 classes, on ne réussit pas à dégager les croisances extrêmes (très bonne et très mauvaise), alors que pour les faisceaux à 5 classes, il est très difficile de distinguer écologiquement les classes moyennes les unes des autres.

En outre, il arrive qu'à partir d'un certain seuil de développement, un facteur limitant ralentisse la vitesse de croissance, faisant passer une tige d'une classe à une classe inférieure (le cas contraire se rencontre très rarement, et toujours à la suite d'une intervention humaine). On peut réduire la probabilité d'avoir de tels cas anormaux en limitant le nombre de classes.

Chaque faisceau correspondant à une équation $f_i(t)$ de régression moyenne sera composée d'un ensemble de courbes ayant toutes une équation de la forme $k_{ij}f_i(t)$, k_{ij} variant de $k_{i_{\max}}$ à $k_{i_{\min}}$.

$k_{i_{\max}}$ et $k_{i_{\min}}$ correspondent aux valeurs extrêmes de fertilité de notre échantillon, $k_{i_{\max}}$ caractérisant la courbe de meilleure croissance, $k_{i_{\min}}$ celle de plus mauvaise croissance. Ces paramètres sont calculés à partir des 2 points extrêmes du nuage.

Il existe une autre technique permettant d'établir un faisceau de courbes, qui consiste à admettre que la moyenne des données détermine une valeur de la croissance sur une station de fertilité moyenne et que les écarts de fertilité aux différents âges sont exprimés par la dispersion des données autour de cette courbe moyenne.

Signalons tout de même que cette méthode repose sur l'hypothèse que l'échantillonnage est équilibré entre les différents âges et fertilités (ce qui est loin d'être vérifié) pour que la courbe moyenne soit la courbe de croissance moyenne.

Pour découper un faisceau en 4 classes, nous devons nous donner 5 courbes représentant les limites de classe, toutes affines les unes des autres ; chaque courbe étant parfaitement définie par son seul paramètre k_{ij} , il suffit donc de calculer ce dernier pour chacune d'entre elles :

- limite inférieure de la classe IV	k_{im}
- " " entre les classes III et IV	$k_{im} + \frac{1}{4}(k_{iM} - k_{im})$
- " " " " II et III	$\frac{1}{2}(k_{im} + k_{iM})$
- " " " " I et II	$k_{iM} - \frac{1}{4}(k_{iM} - k_{im})$
- " supérieure de la classe I	k_{iM}

Résultats : Le calcul de l'ensemble des paramètres est résumé dans le tableau suivant.

	$f_1(t)$	$f_2(t)$	$f_3(t)$	$f_4(t)$
l_{i5} limite inférieure de IV	0,48	0,475	0,44	0,43
l_{i4} " III-IV	0,81	0,8075	0,785	0,78
l_{i3} " II-III	1,135	1,14	1,125	1,13
l_{i2} " I-II	1,465	1,4725	1,465	1,48
l_{i1} " supérieure de I	1,79	1,805	1,81	1,83

Ces paramètres étant connus, il ne reste plus pour chaque faisceau qu'à établir les équations définitives de 5 courbes limites.

Soit, en posant

$$g_1(t) = 1 - e^{-0,0396t}$$

$$g_2(t) = 1 - e^{-0,056t}$$

$$g_3(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{50}\right)0,69}$$

$$g_4(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{60}\right)0,5727}$$

$l_{15}(t) = 51 g_1(t)$ $l_{14}(t) = 86 g_1(t)$ $F_1 \quad l_{13}(t) = 121 g_1(t)$ $l_{12}(t) = 156 g_1(t)$ $l_{11}(t) = 191 g_1(t)$	$l_{25}(t) = (40+0,14t) g_2(t)$ $l_{24}(t) = (67+0,23t) g_2(t)$ $F_2 \quad l_{23}(t) = (94+0,33t) g_2(t)$ $l_{22}(t) = (121+0,43t) g_2(t)$ $l_{21}(t) = (149+0,52t) g_2(t)$
$l_{35}(t) = 64 g_3(t)$ $l_{34}(t) = 114 g_3(t)$ $F_3 \quad l_{33}(t) = 163 g_3(t)$ $l_{32}(t) = 212 g_3(t)$ $l_{31}(t) = 262 g_3(t)$	$l_{45}(t) = (60+0,11t) g_4(t)$ $l_{44}(t) = (109+0,21t) g_4(t)$ $F_4 \quad l_{43}(t) = (158+0,30t) g_4(t)$ $l_{42}(t) = (207+0,40t) g_4(t)$ $l_{41}(t) = (256+0,49t) g_4(t)$

3.4. Calcul d'un indice de croissance

Nous appelons indice de croissance un paramètre qui, associé à une courbe moyenne, est caractéristique d'une plus ou moins bonne croissance.

Chaque courbe de croissance étant parfaitement caractérisée par son paramètre k_{ij} , celui-ci constitue donc à lui seul un indice de croissance ; cependant, il prend des valeurs peu parlantes pour un tel indice. Nous avons donc préféré faire appel à un procédé qui est couramment employé pour les futaies résineuses équiennes, et qui consiste à caractériser toute courbe de croissance par sa hauteur à un âge de référence.

Pour ces peuplements de résineux, on retient habituellement l'âge de 50 ans ; toutefois, pour les taillis auxquels nous nous intéressons, un âge de référence de 30 ans nous a paru plus raisonnable.

Cet âge peut paraître arbitraire et encore un peu élevé ; nous n'avons pas retenu de valeur inférieure car, nous le verrons plus loin, nos courbes sont essentiellement valables sur la période 25-45 ans ; le choix d'un âge de référence de 25 ans risquait donc de nous placer en limite de validité.

Le passage du paramètre k à la hauteur à 30 ans (notée H_{30}) se fait de manière relativement simple :

On calcule tout d'abord H_{30M} et H_{30m} correspondant respectivement aux valeurs prises à 30 ans par les courbes de paramètres k_M et k_m .

On déduit ensuite H_{30} de k à l'aide de la relation linéaire suivante.

$$H_{30} = \frac{k_M H_{30m} - k_m H_{30M}}{k_M - k_m} + \frac{H_{30M} - H_{30m}}{k_M - k_m} \times k$$

Résultats :

Tableau des hauteurs à 30 ans (en dm) pour chaque type de courbe	$f_1(t)$	$f_2(t)$	$f_3(t)$	$f_4(t)$
l_{i5}	36	35	32,5	32
l_{i4}	60	59,5	57,5	58,5
l_{i3}	84	84	82,5	83
l_{i2}	108	108,5	107,5	108,5
l_{i1}	132	133	132,5	134

3.5. Choix d'un modèle parmi ces courbes

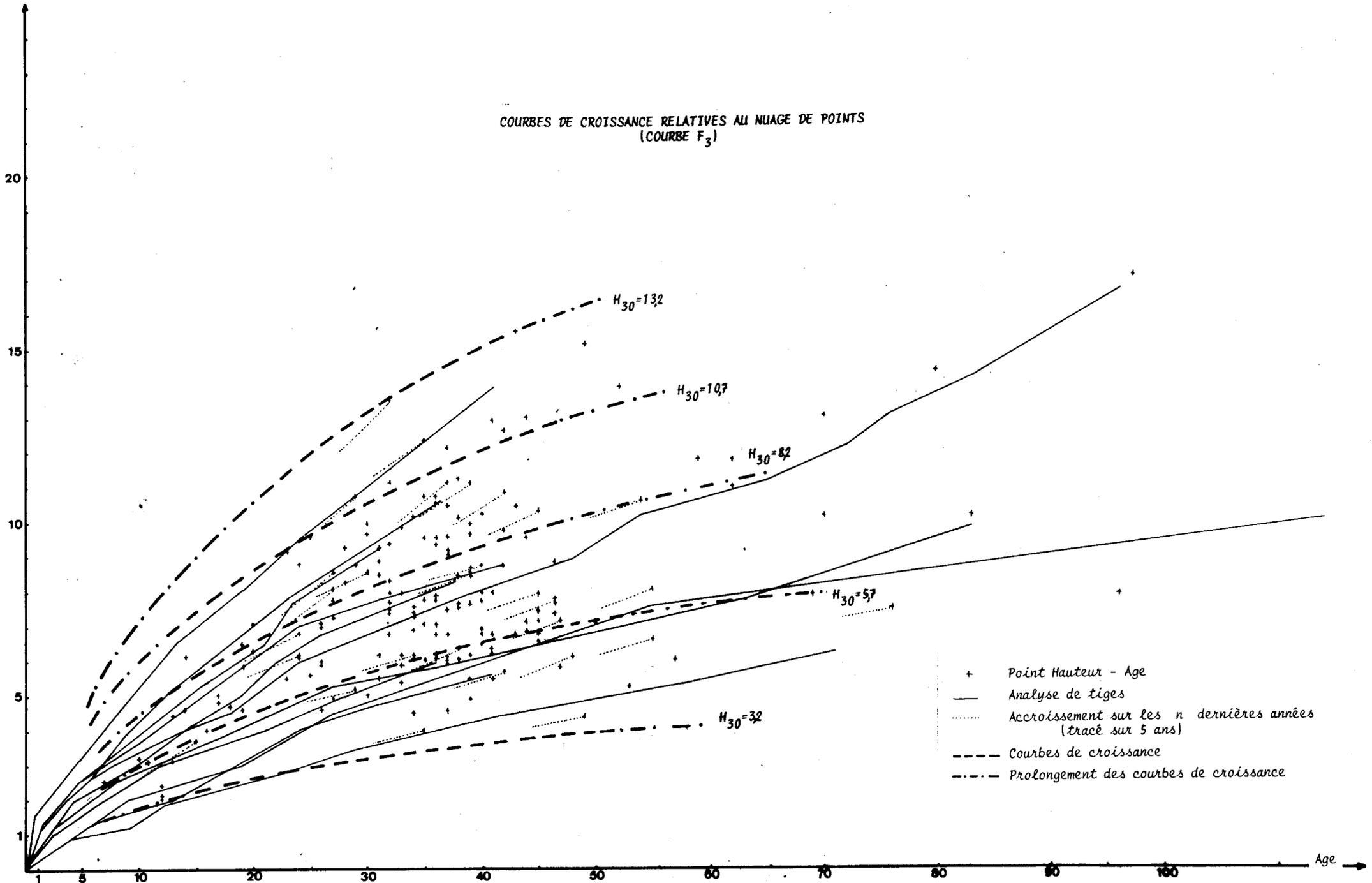
Après tracés des 4 faisceaux, on constate qu'aucun de ces 4 modèles ne traduit parfaitement l'ensemble des données.

Nous avons donc dû choisir le moins mauvais des 4. L'analyse des courbes de régression moyenne, superposées à l'ensemble des données nous amène aux conclusions suivantes :

- Sur la période 25-45 ans, où se trouvent 70 % des points, les 4 courbes sont très voisines les unes des autres, ; le problème se situe aux 2 extrémités du nuage.

Hauteur (m)

COURBES DE CROISSANCE RELATIVES AU NUAGE DE POINTS
(COURBE F₃)



- Les courbes 1 et 2 ont une croissance un peu faible pour des taillis dans les premières années, la courbe 1 étant aussi beaucoup trop faible pour les âges élevés.

La courbe 4 présente l'effet inverse aux courbes 1 et 2 ; la croissance initiale est trop forte, par rapport aux croissances observées et chute un peu brutalement avant de repartir vers l'asymptote oblique.

Bien que sa croissance initiale soit légèrement trop élevée, la courbe 3 est la moins mauvaise.

3.6. Validité des courbes

Nos courbes sont essentiellement valables sur la période 25-45 ans, pour laquelle le nuage est le plus équilibré.

Grâce aux nombreuses analyses de tiges étudiées, on peut raisonnablement les prolonger sur l'intervalle 5-25 ans.

Par contre, pour les cinq premières années, la qualité de la coupe influe très probablement sur la vitesse de croissance ; il faut donc rester très prudent sur cette période.

A l'autre extrémité, lorsqu'on sort du nuage de points, on ne peut qu'indiquer une tendance sur quelques années.

4. Construction des courbes de croissance relatives aux analyses de tiges.

4.1. Méthode

BAISLEY et CLUTTER (in F.A.O., 1980 -39-) proposent une méthode applicable lorsqu'on dispose de mesures successives (placettes permanentes ou analyses de tiges permettant d'estimer les hauteurs à différents âges).

Cette technique est essentiellement utilisée pour déterminer les coefficients de la formule de SCHUMACHER $h = Ce^{u/t^k}$ où h est la hauteur à l'âge t .

Le principe de cette méthode est de se ramener par une transformation des variables de départ à une équation de la forme $Y = a + bX$

Par deux régressions sériées sur les variables nouvellement créées, on détermine b , l'estimateur de "pente unique" commun à toutes les courbes et a , l'estimateur "de constante unique", commun lui aussi à toutes les courbes de croissance.

Avec la formule de Schumacher, on pose $Y = L_n h$

$$\text{or } L_n h = L_n C + u \times \frac{1}{t^k}$$

Soit en posant $X = \frac{1}{t^k}$ $a = L_n C$ et $b = u$

$$Y = a + bX$$

Malheureusement, cette formule ne s'adapte absolument pas à la forme de nos analyses de tiges.

Nous avons dû proposer une autre équation, déduite des essais effectués précédemment sur le nuage de points :

$$h = C \left(1 - e^{-u + \left(\frac{t}{v}\right)^k} \right)$$

En posant $Y = L_n \left(1 - \frac{h}{C} \right)$ $X = t^k$ $a = -w$ $b = -\left(\frac{1}{v}\right)^k$

On a bien $Y = a + bX$

L'équation de départ comprenant 3 constantes, nous avons été obligé dans un premier temps de fixer arbitrairement l'une d'entre elles. Afin de pouvoir définir Y , c'est à dire d'avoir $1 - \frac{h}{C}$ strictement positif, nous avons posé $C = 3$ hauteur moyenne du nuage de points.

Cette étape est très critiquable, et n'a aucune justification théorique ; elle n'a que la justification empirique d'une courbe s'ajustant aux observations de notre échantillon. Il serait très dangereux d'appliquer cette méthode à une autre essence sans confronter le résultat aux données expérimentales. On trouvera les formules permettant de calculer a , b et k en annexe 5.

4.2. Résultats

On trouve $h(t) = 234 \left(1 - e^{-\left(0,015 + \left(\frac{t}{119}\right)^{0,83}\right)}\right)$.

Cette technique fournit des courbes de croissance (de la forme $kxh(t)$) qui s'ajustent très bien aux courbes de croissance réelles, et dont les tangentes sont sensiblement parallèles aux accroissements sur les dix dernières années que nous avons mesurés.

Afin de connaître l'équation de la courbe représentant la tendance moyenne de notre échantillon, nous avons utilisé un programme de régression curvilinéaire ne laissant varier que C , les 3 autres paramètres restant fixes avec pour valeurs respectives 0,015, 119 et 0,83.

On obtient ainsi la courbe moyenne : $g(t) = 249 \times \left(1 - e^{-\left(0,015 + \left(\frac{t}{119}\right)^{0,83}\right)}\right)$ avec un S.C. de 0,094.

Le diagramme des résidus montre que la répartition de ces derniers ne s'éloigne pas plus d'une loi normale centrée que ceux des courbes déjà étudiées ($f_1(t)$ à $f_4(t)$).

Le S.C. est moins bon, bien qu'il soit encore très acceptable.

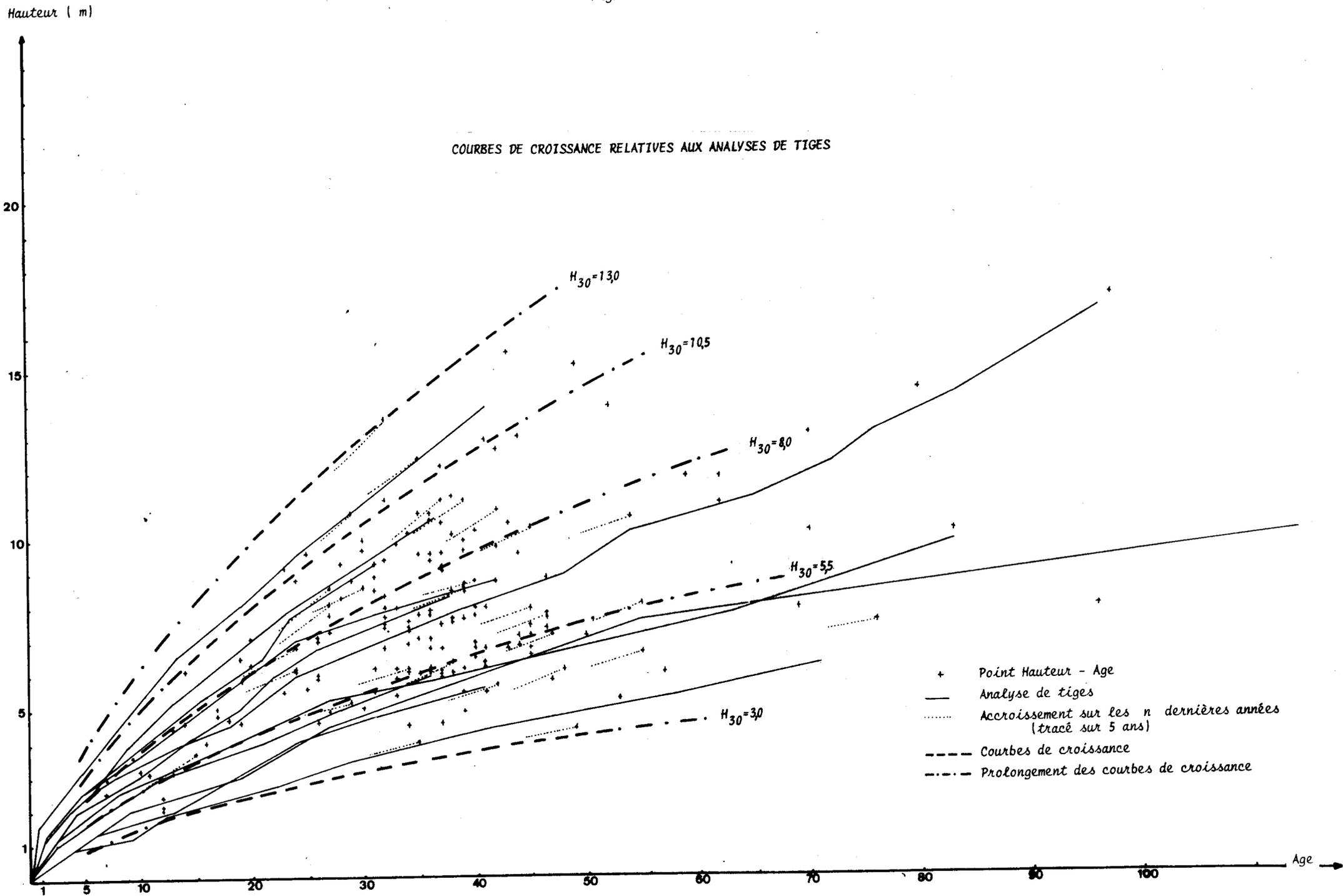
4.3. Critique de la méthode

En définitive, cette technique revient à établir empiriquement la formule mathématique d'un ensemble de courbes qui s'adaptent très bien à l'ensemble de nos données expérimentales.

Malgré un manque de fondements théoriques, nous avons retenu cette méthode.

Nous rejoignons donc BARTET et JOLLIET (1976) -31- qui pensent que le meilleur moyen d'utiliser un ensemble de données variées (couple hauteur-âge, analyses de tige et accroissements en hauteur des dernières années) est de tracer à la main un ensemble de courbes tenant compte équitablement de toutes les données, puis de leur ajuster ultérieurement un modèle mathématique.

Figure 3



4.4. Calcul du faisceau de courbes (figure 3)

Il s'agit d'un réseau de courbes affines : nous l'établirons de la même manière que pour les courbes f_1 à f_4 .

$$g(t) = 249 \left(1 - e^{-\left(0,015 + \left(\frac{t}{119}\right)^{0,83}\right)}\right) \text{ et } g'(t) = \left(1 - e^{-\left(0,015 + \left(\frac{t}{119}\right)^{0,83}\right)}\right)^{0,83}$$

	Indice initial	Hauteur à 30 ans (dm)	Equations des courbes
$l_5(t)$	0,425	30	106 $g'(t)$
$l_4(t)$	0,78	55	194 $g'(t)$
$l_3(t)$	1,135	80	282 $g'(t)$
$l_2(t)$	1,49	105	370 $g'(t)$
$l_1(t)$	1,84	130	458 $g'(t)$

4.5. Conclusion : Choix d'un type de courbe

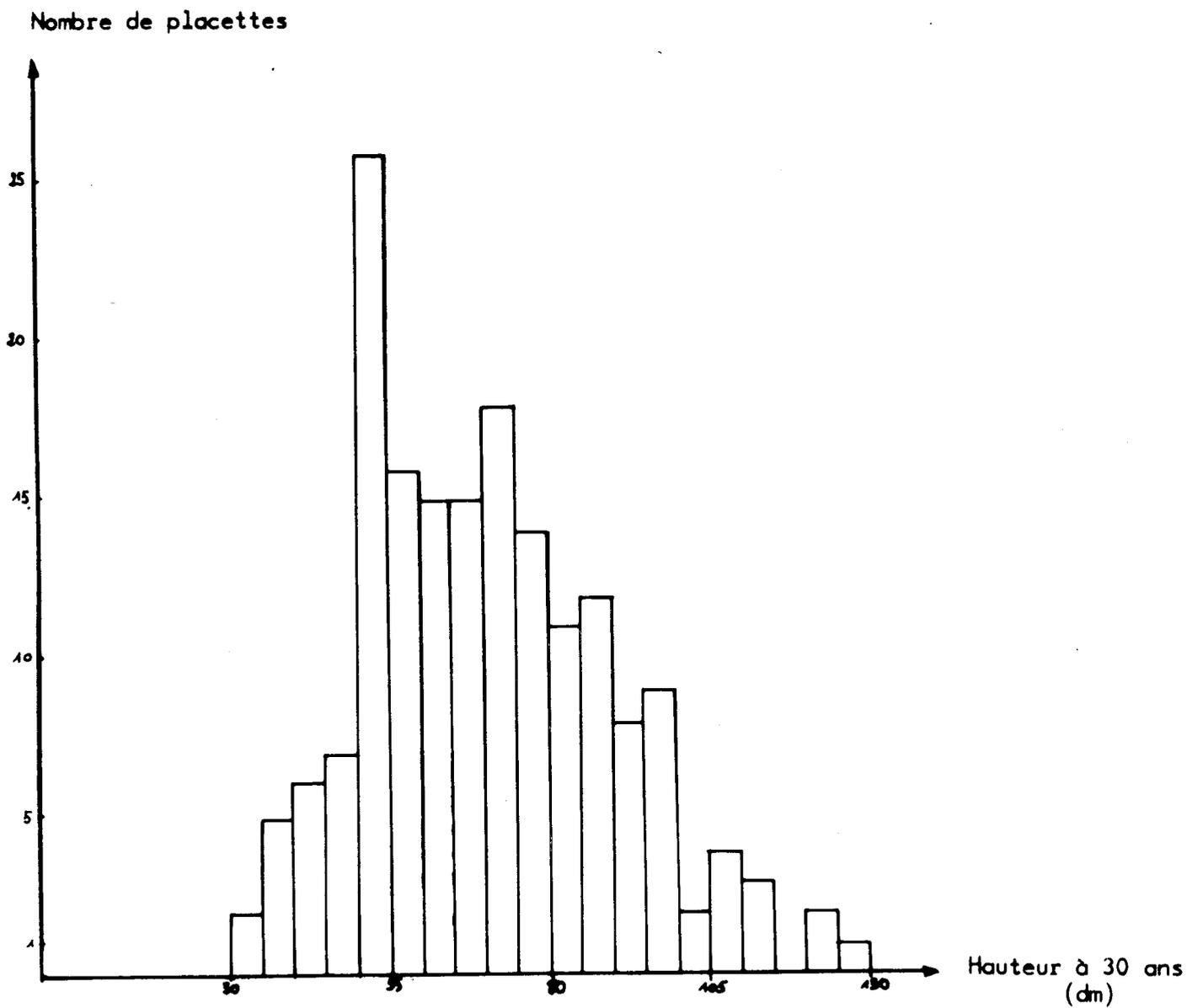
Bien qu'étant obtenu à partir d'une méthode critiquable, c'est le modèle issu des analyses de tiges qui a été retenu, car c'est celui qui est le plus proche des courbes de croissance réelle que représentent les analyses de tiges. A titre de vérification, les dépouillements ultérieurs ont été effectués également à partir du modèle f_3 (essentiellement ceux portant sur les analyses de variance).

5. Répartition des placettes en fonction de la fertilité

Pour se conformer à notre objectif de départ (stratification sur la fertilité), nous aurions dû totaliser autant de placettes dans chaque classe, ce qui est loin d'être le cas, comme le montre l'histogramme (cf. figure 4).

Figure 4

REPARTITION DES 176 PLACETTES PAR CLASSE DE CROISSANCE
(amplitude de 5 dm)



La répartition entre les différentes classes de fertilité est la suivante :

Classe	I	II	III	IV
Effectif	10	42	78	46

L'échantillon est nettement déséquilibré pour les classes I (sous échantillonnée) et III (suréchantillonnée).

Pour avoir une meilleure précision des courbes de croissance, en particulier celles concernant la classe I, il conviendrait de procéder ultérieurement à un certain nombre de relevés de placettes sur des stations représentatives de cette classe.

Notons que cette répartition ne correspond absolument pas aux surfaces que peut couvrir chacune des classes sur la région provençale.

Nous ne disposons d'aucun relevé de surfaces précis mais, d'après nos tournées sur le terrain, il nous semble qu'en Provence, la classe I doit représenter 1 à 2 % du total des peuplements de chêne pubescent, la classe II de l'ordre de 15 %, les classes III et IV s'adjugeant le reste.

6. Comparaison avec les classes de croissance existantes (figure 5)

Il s'agit du réseau établi par FERNANDEZ (1977) -9- pour des peuplements des hautes garrigues du montpelliérais à partir d'une régression sur un nuage de points.

Les hauteurs à 30 ans qu'il obtient sont supérieures aux nôtres de 2 m. Bien qu'explicable par un climat plus humide, cette différence paraît assez forte.

Par contre, ses courbes sont sensiblement parallèles à celles que nous avons obtenues à partir des couples (hauteur, âge) bien que les équations des courbes moyennes ne présentent aucune ressemblance.

Nous garderons toutefois le modèle issu des analyses de tiges comme modèle de référence car il est très probable que le nuage de points de FERNANDEZ (1977) -9- ait été aussi déséquilibré que le nôtre, en ce qui concerne les peuplements âgés et fertiles.

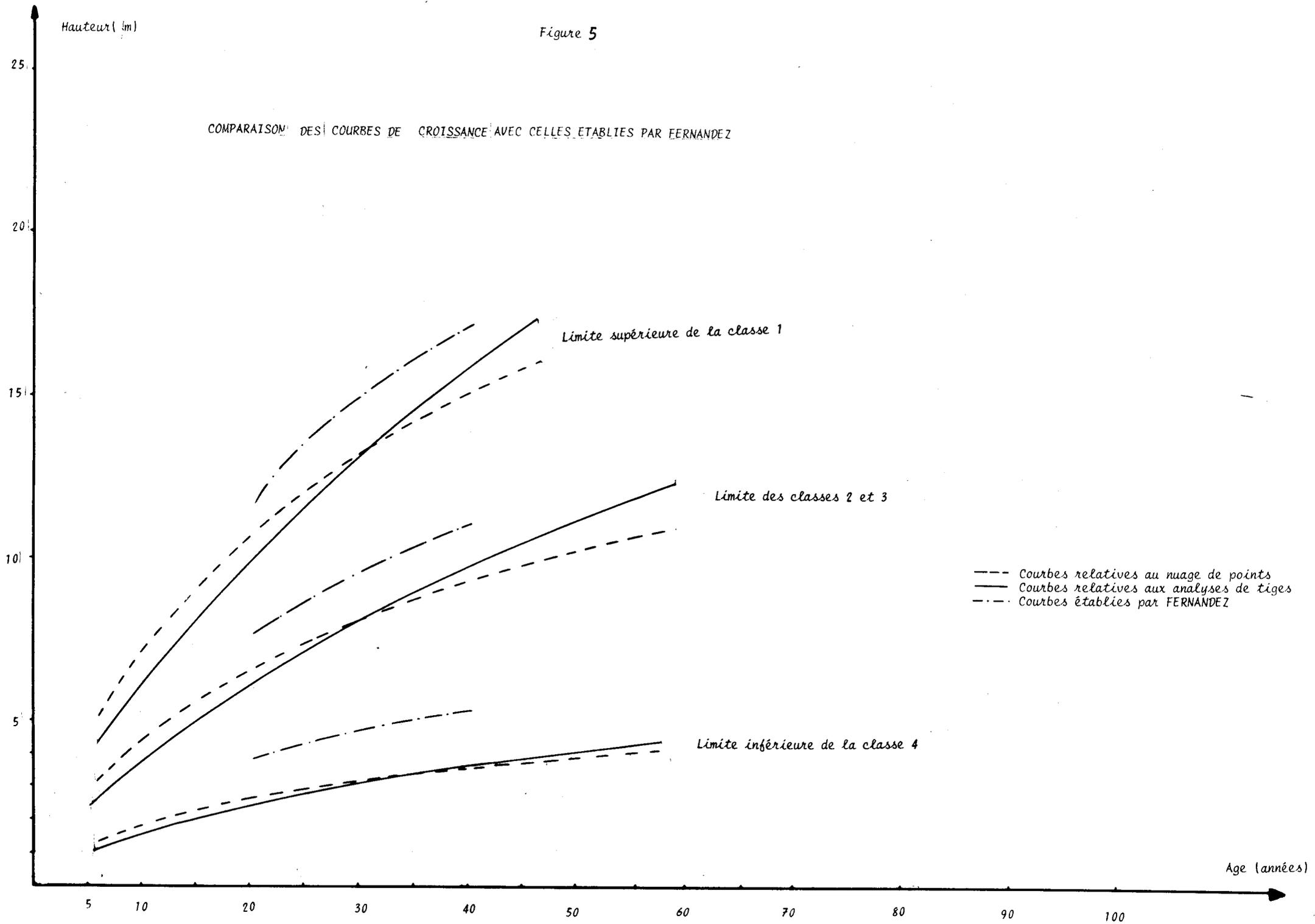
Comme nous l'avons déjà souligné, toutes ces courbes sont valables sur l'intervalle assez restreint où les données sont abondantes.

La collecte de nouvelles analyses de tiges dans des taillis très vieillis (proches de 100 ans) devrait permettre de savoir si la loi de croissance reste la même durant toute la vie du peuplement (autrement dit si les modèles mathématiques proposés sont fiables jusqu'à environ 100 ans -figure 3b page suivante), ou bien si à partir d'un certain âge, voisin de 50 à 60 ans, un facteur limitant provoque un ralentissement de la croissance, rendant nos courbes inutilisables au-delà de ce seuil.

Hauteur (m)

Figure 5

COMPARAISON DES COURBES DE CROISSANCE AVEC CELLES ETABLIES PAR FERNANDEZ



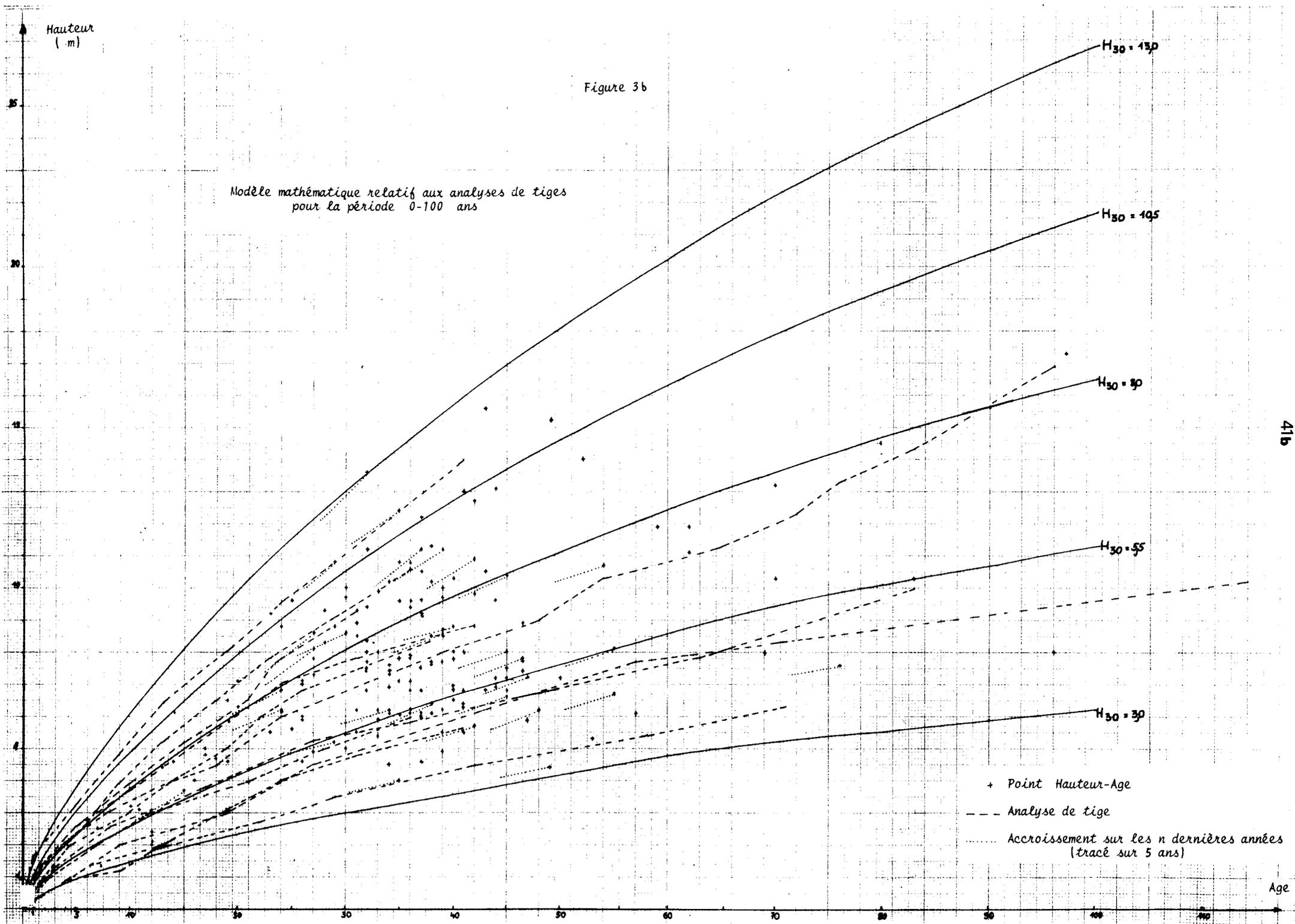
Limite supérieure de la classe 1

Limite des classes 2 et 3

Limite inférieure de la classe 4

- Courbes relatives au nuage de points
- Courbes relatives aux analyses de tiges
- · - Courbes établies par FERNANDEZ

Age (années)



II. ETUDE DE LA QUALITE DE L'APPAREIL RACINAIRE DES TAILLIS DE CHENE PUBESCENT

Les rares auteurs qui se sont intéressés au problème de l'enracinement des taillis (KAZARDJAN -13- sur *Quercus macranthera*, et RIEDACKER (1973) -24-, sur *Eucalyptus camaldulensis*), signalent que la multiplication des coupes affectant un même ensouchement provoque une baisse de la vitesse de croissance, à partir d'un certain âge, et par-là même, diminue la hauteur du taillis.

Cette réaction est très gênante, car elle remet en question le principe même de l'établissement de classes de fertilité à partir des seules données dendrométriques que sont la hauteur dominante et l'âge du peuplement.

Nous avons donc tenté de voir, à partir de l'étude de quelques enracinements, si le chêne pubescent arrive à s'affranchir de l'enracinement d'origine, ou bien s'il arrive à créer rapidement de nouvelles racines.

1. Lieu d'étude

Les observations ont été faites sur des souches déterrées au bulldozer lors du tracé d'une piste forestière en forêt communale de Régusse (83). La station, de fertilité II, présente un test profondeur d'environ 50 centimètres, sur des calcaires compacts du Portlandien.

2. Aspect bibliographique

On considère généralement que le renouvellement des souches est assuré progressivement par affranchissement des rejets.

Ce point n'est cependant pas prouvé avec certitude : certains auteurs (KAZARDJAN -13-) pensent même que la cause du dépérissement des taillis est que la formation de racines adventives qui remplacent progressivement les racines principales conduit à une diminution des capacités de nutrition des brins sans qu'un affranchissement éventuel puisse pallier ce déclin.

RIEDACKER (1972) -25- considère que pour l'Eucalyptus camaldulensis, c'est au contraire l'absence de formation de racines adventives qui entraîne le "vieillissement", car les résistances au transport des éléments nutritifs du système racinaire vers les organes aériens augmentent avec l'âge (ces résistances sont à la fois dues à l'allongement du trajet à parcourir par les nutriments et à la réduction des capacités de transport par diminution du nombre de vaisseaux transporteurs).

Les problèmes soulevés par ces deux auteurs sont cruciaux, et nous avons tenté d'y apporter quelques éléments de réponses en ce qui concerne le chêne pubescent ; nous avons analysé les éventualités d'affranchissement des rejets, ainsi que les possibilités de formations de racines adventives.

Le fonctionnement de la souche est aussi important à connaître sous l'angle de la réponse à la coupe, et de la répartition de la croissance sur les différents brins.

Certains auteurs (RIEDACKER, 1973 -24-) estiment en effet qu'il existe des secteurs au sein de chaque souche, et que la suppression d'un brin appartenant à un secteur ne peut profiter à un brin d'un autre secteur.

Nous avons réalisé des coupes transversales du collet d'un ensouchement afin de tester cette hypothèse.

3. Etude expérimentale

3.1. Affranchissement des rejets

Des observations ont été menées sur une trentaine d'ensouchements retrouvés sur les talus de la route ; dans tous les cas, sans aucune exception, nous avons constaté que les brins restaient fortement liés entre eux au niveau du collet où se forme une masse de bois, incluant des pierres et souvent envahie de champignons (cf. photos 1, 2, 3, 4).

La liaison entre les racines vivantes et les brins se fait d'ailleurs à travers cet agglomérat.

D'autres constatations du même type ont été faites sur des andains de plantations en divers endroits.

Toutefois, il se peut que la réaction au recépage ne soit pas la même sur tous les types de terrains (notamment sur sols meubles ou sableux), et que le mode de coupe ait une grosse influence.

On constate en effet que sur ces ensouchements, les coupes précédentes ont été effectuées beaucoup trop haut, laissant un chicot qui constitue une voie d'accès idéale pour les champignons et empêche une bonne cicatrisation (photo 3).

3.2. Etude de coupes transversales de racines

Deux ensouchements ont été étudiés plus en détail afin de tester les hypothèses émises par KAZARDJAN et RIEDACKER pour d'autres essences.

Sur chacun d'eux, nous avons prélevé une rondelle au départ de chaque racine principale et du pivot. Sur ces rondelles nous avons ensuite lu le nombre de cernes, qui, il faut le noter, peut ne pas correspondre à l'âge de la racine ; RIEDACKER a en effet observé que lors du recépage, la croissance en longueur des racines reste active, tandis que la croissance radiale ne reprend qu'au bout de 2 ans. De plus, l'étroitesse des cernes peut conduire à des erreurs allant de 5 à 10 ans.

Vues générales de l'ensouchement 2

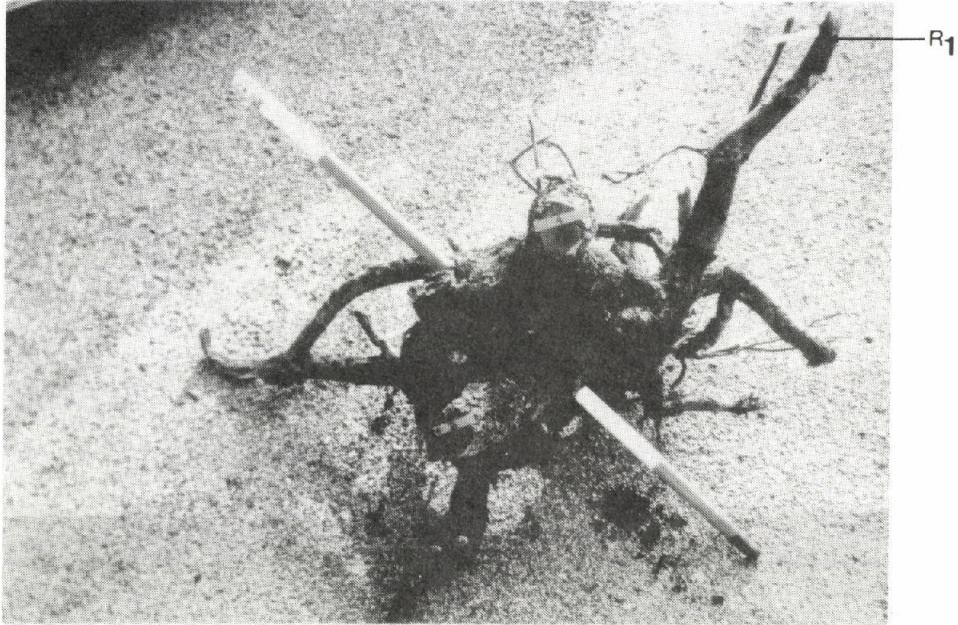


Photo 1

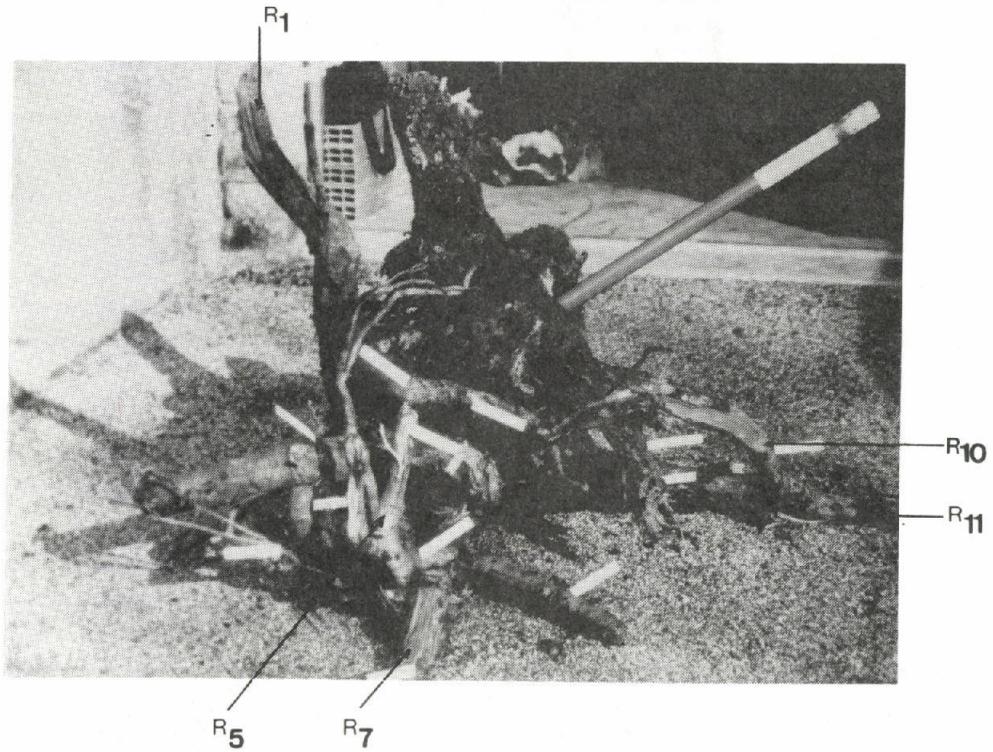


Photo 2

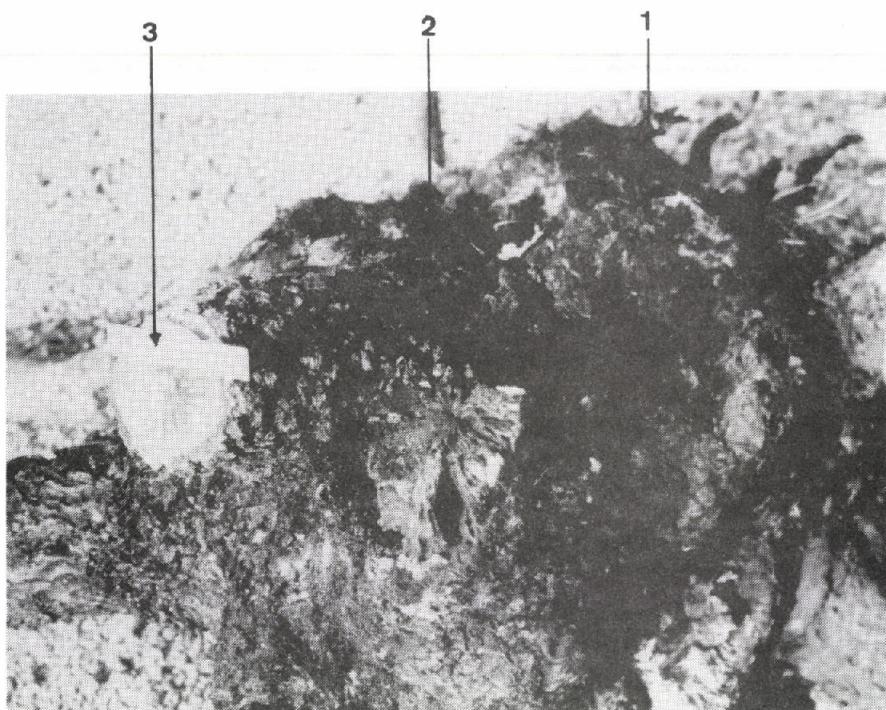


Photo 3

Défauts de cicatrisation : on remarque les traces des 3 générations successives



Photo 4

Coupe transversale du collet : noter les importantes traces de pourriture

Résultats :

	Ensouchement 1 Nombre de cernes		Ensouchement 2 Nombre de cernes
Pivot	82		104
Racines princi- pales	76	R7	97
	72	R11	80
	70	R1	81
	39	R5	76
		R10	64

L'ensouchement 2 a été photographié, et ses racines ont été numérotées (cf. photos 1, 2).

Conclusion : Le chêne pubescent semble avoir un comportement intermédiaire entre les 2 essences précédemment citées. On peut en effet faire les hypothèses suivantes pour interpréter ces observations. Il y a eu formation de racines adventives, une pour l'ensouchement 1, 4 pour l'ensouchement 2. Pour ce dernier, ces racines adventives sont probablement postérieures à 2 recépages successifs, R11, R1 et R5 au premier recépage, R10 au second. Par contre, le pivot et R7 représentent les racines du brin de franc pied qui sont encore vivantes.

Le même phénomène s'observe sur le premier ensouchement, où ont survécu le pivot et trois des racines d'origine. Sur ce dernier pivot (photo 5), dont le diamètre est de 13,5 cm, on compte 40 cernes sur les 12 premiers centimètres (partie A), et 42 cernes répartis sur seulement 1,5 cm (partie B). La partie A représente probablement le développement antérieur à la première coupe ; la partie postérieure à la coupe présente des cernes beaucoup plus étroits, ce qui pourrait expliquer, au moins en partie, la diminution de la croissance.

Notons que le phénomène est beaucoup moins net sur l'autre ensouchement étudié.

Le dernier recépage datait de 17 ans, mais nous n'avons observé aucune racine ayant un âge inférieur à ce chiffre.



Photo 5

Coupe transversale du pivot de l'ensouchement 1



Photo 6

Noter la présence de radicelles

On peut donc en conclure qu'il n'y a pas nécessairement formation de racines adventives après chaque coupe (la qualité de cette dernière ayant sûrement une grande influence) ; en effet, ces racines devraient apparaître assez rapidement après le stress que constitue la coupe, ce qui n'est pas le cas sur les deux ensouchements étudiés. Tout en rappelant que ces enracinements ont été arrachés au bulldozer, nous avons constaté l'absence fréquente de radicelles à proximité du collet, un seul enracinement parmi ceux que nous avons rencontrés en posédant (photo 6).

Il semble donc qu'en général, les racines adventives et les racines issues du système primaire aient tendance à s'allonger, éloignant ainsi les radicelles du collet et à diminuer la largeur de leurs cernes après une coupe, ce qui augmente les "résistances au transport"

3.3. Détermination de secteurs au sein d'une souche sur le 2ème ensouchement

Nous avons réalisé des coupes transversales au niveau du collet, afin de reconstituer le schéma d'alimentation de chaque brin.

On constate que la pourriture a envahi une bonne part du collet. A l'intérieur de celui-ci, s'est formé du bois dans toutes les directions, rendant la lecture des rondelles très difficile. Cependant, sur une des coupes, tangentielles réalisées sur quelques centimètres, l'inter-écorcé sépare celui-ci en au moins 2 secteurs.

Les autres prélèvements sont plus confus et n'apportent pas d'autres précisions.

4. Conclusion

Les ensouchements que nous avons observés sont en très mauvais état. Ils ne conduisent en aucun cas à l'affranchissement des brins, et ils induisent peut-être une perte de production. Il est urgent de renouveler ces ensouchements, soit par des méthodes de coupes judicieuses, soit par régénération naturelle. Bien que les taillis fructifient très jeunes, vers 30-40 ans, celle-ci semble ne pouvoir être obtenue que par un

passage à la futaie.

L'existence de secteurs au sein même d'une souche est très difficile à exploiter par le sylviculteur, car ces secteurs sont quasiment impossibles à déterminer quand l'ensouche-ment est en place.

La qualité de ces enracinements nous amène donc à nous interroger sur l'utilisation des courbes que nous venons d'établir, puisque la hauteur de certains de ces taillis est probablement plus faible qu'elle ne le serait avec un appareil racinaire non dégradé.

La hauteur dominante n'exprimant plus toutes les potentialités de la station, notre indice de croissance, élaboré à partir des seules données dendrométriques, ne peut être qualifié d'indice de fertilité.

Lors de chaque utilisation, les courbes de croissance devront être étalonnées à l'aide des facteurs écologiques qui permettent, comme nous le verrons plus loin, un autre pronostic sur la croissance du chêne pubescent.

III. ETUDE DE QUELQUES CARACTERES DENDROMETRIQUES DU CHENE PUBESCENT

1. Elaboration de tarifs de cubage

1.1. Tarif tiges

1.1.1. Calcul du volume bois sur écorce des arbres de l'échantillon : Les 498 tiges cubées se répartissent de la manière suivante :

Diamètre	Nombre de tiges
4 à 9 cm	133
10 à 14 cm	298
15 à 19 cm	62
20 et plus	5

Les tarifs proposés seront donc valables essentiellement pour des brins de diamètre inférieur à 20 cm. Ce volume, dit encore volume "réel", correspond au volume géométrique du brin, c'est-à-dire au volume d'eau qu'il déplace quand on le plonge dans une cuve.

D'après BOUCHON (1974), on en obtient une estimation en le considérant comme un assemblage de billons cylindriques ou tronçonniques, l'estimation étant d'autant meilleure que les billons sont plus courts. On trouvera la méthode de cubage détaillée en annexe 6. La précision atteint 4 % pour des billons d'une longueur de 1 m (YOUNG, 1965, in BOUCHON, 1974) -3-.

Cet intervalle s'entend pour des arbres de géométrie assez régulière. Pour des arbres très irréguliers, comme le sont parfois les brins de taillis de chêne pubescent, l'écart est plus fort, pouvant atteindre dans les cas extrêmes 10 à 15 % (voir annexe 7).

1.1.2. Estimation des volumes sur pied : élaboration d'un tarif

1.1.21. Choix des entrées du tarif : Le choix des variables d'entrée devrait être conditionné par la meilleure liaison statistique avec le volume, ainsi que par la facilité de mesure. En pratique, les entrées classiquement retenues sont le diamètre (ou la circonférence) à 1,3 m et la hauteur totale (ou à une découpe).

Le tarif estime le volume par un polynôme de ces variables d'entrées, que l'on appelle le modèle.

1.1.22. Choix d'un modèle : Un tarif à double entrée a été préféré à un tarif à une seule entrée à cause de la trop grande variabilité des hauteurs pour un diamètre donné (de 1 à 2, voire même parfois de 1 à 3).

Deux formules ont été testées :

- une formule simple, la formule de HUFFEL (1905, in BOUCHON, 1974) -3- :

$$V = a + b D^2 H \quad \text{où } a \text{ et } b \text{ sont des coefficients .}$$

- une formule un peu plus complexe faisant intervenir D^2 :

$$V = a + b D^2 H + c D^2 \quad \text{où } a, b \text{ et } c \text{ sont des coefficients.}$$

Les coefficients de ces 2 relations ont été déterminés à l'ordinateur à l'aide d'une régression linéaire pour la première formule (le produit $D^2 H$ a été considéré comme variable unique) et d'une régression multilinéaire pour la seconde (variables utilisées D^2 et $D^2 H$).

Cette méthode repose sur 2 hypothèses (BOUCHON, 1974) -3-
 - les erreurs d'échantillonnage sont indépendantes et distribuées normalement ;
 - la variance de la population est constante le long du nuage de points.

Si on peut, en première approximation, admettre la première en revanche, la seconde de ces hypothèses n'est jamais vérifiée. Il faut donc régulariser la variance, soit par un changement de variable (mais on introduit alors un biais) soit par pondération. Le CEMAGREF ne disposant pas de programme de régression pondérée, les tarifs sont donnés sans intervalle de confiance.

1.1.23. Résultats : Les tarifs sont les suivants

V en dm³

D en cm

H en dm

- formule de HUFFEL :

$$V_4 = 6,422 + 0,00354 D^2H \quad r^2 = 0,957$$

$$V_7 = 2,676 + 0,00353 D^2H \quad r^2 = 0,949$$

- formule 2 :

$$V_4' = 4,709 + 0,00323 D^2H + 0,0381 D^2 \quad r^2 = 0,958$$

$$V_7' = 0,143 + 0,00302 D^2H + 0,0627 D^2 \quad r^2 = 0,951$$

Pour le cubage des peuplements, nous avons retenu les tarifs issus de la formule de HUFFEL, qui sont plus simples à mettre en oeuvre et dont le coefficient de corrélation est quasiment identique à ceux du type 2.

1.2. Tarifs peuplements

34 peuplements (soit environ 1 placette sur 5) ont été inventoriés puis cubés à l'aide des tarifs tiges précédemment établis (annexe 8). SPURR (1952) in BOUCHON (1974) -3- propose une formule de la forme :

$$V = b_0 + b_1 G + b_2 H + b_3 GH \text{ et sa simplification}$$

$$V = b_0 + b_3 GH.$$

Après les avoir comparées, il conclut que la formule simplifiée est à peine moins précise que la formule complète.

Nous avons testé ces deux formules pour les peuplements de chêne pubescent à l'aide d'un programme de régression multilinéaire.

Les tarifs obtenus sont les suivants :

Vm³/ha, Gm²/ha Hm hauteur dominante

$$V_4 = -5,924 + 1,52 H + 2,23 G + 0,196 GH \quad r^2 = 0,939$$

$$V_7 = -13,149 + 2,46 H + 1,348 G + 0,221 GH \quad r^2 = 0,951$$

$$V'_4 = 21,2 + 0,367 GH \quad r^2 = 0,914$$

$$V'_7 = 9,55 + 0,361 GH \quad r^2 = 0,946$$

La formule simplifiée est dotée d'un coefficient de corrélation légèrement moins bon que la formule complète. Toutefois, étant donnée sa facilité d'utilisation, c'est celle que nous re-

tiendrons dans la suite de ce travail.

Précision des tarifs peuplements : Le cubage des placettes expérimentales étant fait à partir de tarifs tiges dépourvus d'intervalle de confiance, les tarifs peuplements ne peuvent évidemment pas en comporter.

Ils pourront être utilisés pour avoir une estimation rapide du volume d'un peuplement, mais en aucun cas ils ne devront servir pour un cubage précis, et ceci pour deux raisons :

- Les placettes de mesure de surface relativement faible (2 à 300 m²) ont été implantées dans des endroits homogènes, ne comportant pas de trouées importantes. Les volumes de chaque placette ont ensuite été extrapolés à l'hectare. Or, l'importance des trouées dans l'espace peut être telle, que le volume ainsi calculé correspond à un volume maximal possible à l'hectare et non à la réalité du terrain.
- Le nombre de placettes utilisées pour l'élaboration du tarif est trop faible pour que l'on puisse espérer une bonne précision. BOUCHON (1974) -3- précise que, pour ce genre de tarif souvent proposé sans intervalle de confiance, une marge d'erreur d'environ 40 % est à craindre. Il est probable que dans notre cas ce chiffre n'ait rien d'excessif.

1.3. Comparaison des tarifs de cubage aux tarifs existants

1.3.1. Tarifs tiges : Deux tarifs relatifs au chêne pubescent sont actuellement disponibles, l'un établi par le CTFT (1975) -7- pour la région Provence Alpes Côte d'Azur à une entrée ($V = -0,49411 \cdot 10^{-2} + 0,38813 \cdot C^2$) donc non comparable au nôtre, l'autre à deux entrées mis au point par Fernandez pour les hautes garrigues du Montpellierais :

$V(\text{dm}^3)$, $H(\text{dm})$, $d(\text{cm})$

$$V_4 = 3,6501 + 0,00331 \cdot d^2 \cdot h$$

$$V_7 = 0,7434 + 0,00329 \cdot d^2 \cdot h$$

Nos tarifs prévoient des volumes toujours supérieurs à ceux annoncés par FERNANDEZ (à D^2H identique).

L'écart varie de 20 à 30 % pour les petits brins ($D^2H < 3000$) à 7 à 10 % pour les plus grosses tiges ($D^2H > 10000$).

1.3.2. Tarifs peuplements : Deux tarifs peuplements existaient avant cette étude, l'un établi par FERNANDEZ (1977) -9-

$$V_1 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 8,8675 + 0,36896 H \quad H(\text{m}) \quad G(\text{m}^2\text{/ha)}$$

l'autre par MARSTEAU (1979) -14- pour les peuplements de la forêt de la gardiole de Rians (83)

$$V_2 = 0,37 GH.$$

Soit V^4 le volume prévu par le tarif que nous avons établi :

$$V^4 = 21,2 + 0,3676 GH$$

Pour les valeurs auxquelles ces tarifs s'appliquent, on a toujours $V^4 > V_2 > V_1$

Cela s'explique essentiellement par le fait que les volumes que nous annonçons sont des volumes maxima que produiraient des peuplements sans trouées importantes.

2. Calcul du pourcentage d'écorce en volume du chêne pubescent

Il a été déterminé à partir de 31 analyses de tiges. Pour chacune d'elles, nous avons calculé le volume sur écorce (V_S) et sous-écorce (V_s)

$$\text{On alors } p = \frac{V_S - V_s}{V_S}$$

Ce pourcentage varie pour l'échantillon de 18,7 % à 33,3 %.

En moyenne il vaut 26,4 % et son écart type est de 4,5 %.

Il est particulièrement important puisque, pour le chêne rouvre du centre de la France, on cite les chiffres de 14 à 15 % dans le jeune âge, et de 10 % à l'âge adulte.

En ce qui concerne le chêne pubescent, aucune relation entre ce pourcentage et l'âge des brins mesurés n'a pu être dégagée.

Ceci est dû au fait que l'âge n'est pas le seul facteur jouant sur le pourcentage d'écorce ; il semble que l'alimentation en eau ait également son importance. Il y aurait d'autant plus d'écorce que le sol comporte de faibles réserves en eau.

IV. CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES DES TYPES DE PEUPLEMENTS

En ce qui concerne les densités, il est très difficile de tirer des conclusions. La densité la plus faible rencontrée est de 830 brins à l'hectare pour un peuplement de 35 ans de classe IV, la plus forte de 5950 brins par hectare pour peuplement de classe II de 19 ans (toutes ces densités s'entendent pour des brins de diamètre à 4 cm).

Pour les autres caractéristiques, on peut avancer les chiffres suivants, à 30 ans.

Classes	Hauteur dominante (m)	Volume (m ³ /ha)	Accroissement moyen à 30 ans (m ³ /ha/an)	Surface terrière m ² /ha
4	3-5,5	18-51	0,6-1,7	8-14
3	5,5-8	51-84	1,7-2,8	14-20
2	8-10,5	84-117	2,8-3,9	20-26
1	10,5-13	117-150	3,9-5	26-32

Comme nous l'avons déjà signalé, les volumes mais aussi les surfaces terrières que l'on cite, représentent plus des maxima supportables à l'hectare que des volumes (ou des surfaces terrières) présents actuellement sur le terrain.

Comparaison avec les caractéristiques proposées par Fernandez :

(tableau p. 54)

Classe	Hauteur dominante (m)	Volume (m ³ /ha)	Accroissement moyen à 30 ans (m ³ /ha/an)	Surface terrière m ² /ha
4	5-7,5	30-65	1-2,2	10-17
3	7,5-10	65-100	2,2-3,3	17-24
2	10-12,5	100-135	3,3-4,6	24-31
1	12,5-15	135-170	4,5-5,7	31-38

Tous ces chiffres sont nettement plus faibles que ceux avancés par FERNANDEZ (1977) -9- ; il est probable que le chêne pubescent se comporte mieux dans les hautes garrigues du mont-pellierais, mais les différences semblent assez fortes. Les volumes et les surfaces terrières, calculés à partir de seulement 33 placettes doivent donc être utilisés avec une grande prudence.

CHAPITRE IV

LA CROISSANCE DU CHENE PUBESCENT EN RELATION AVEC LES FACTEURS DU MILIEU

L'étude de l'influence des facteurs du milieu (excepté la floristique traitée séparément) a été effectuée en plusieurs étapes, en considérant dans un premier temps chaque facteur pris séparément, dans un second temps des combinaisons de 2 facteurs, puis l'ensemble des facteurs.

1. Facteurs pris isolément

L'influence globale de chaque variable sur la fertilité a été étudiée à l'aide d'un programme d'analyse de variance en facteur simple.

On se propose de tester l'hypothèse suivante (à l'aide d'un test F de Fisher) :

Les moyennes des fertilités des divers états de la variable en cause ne sont pas toutes égales ; autrement dit, une au moins des modalités de cette variable a une influence sur la fertilité.

Le programme calcule le seuil de significativité pour lequel cette hypothèse est vérifiée. L'hypothèse est d'autant meilleure que le seuil est faible, c'est-à-dire que plus le seuil est faible, plus le facteur considéré a d'influence sur la fertilité. Il propose ensuite une comparaison de moyennes des divers états de la variable pris 2 à 2 par l'intermédiaire d'un test T de Student.

Tous ces tests reposent sur 2 hypothèses :

- Pour chaque modalité, les fertilités sont distribuées normalement.
- Les variances de chacune d'elles sont égales.

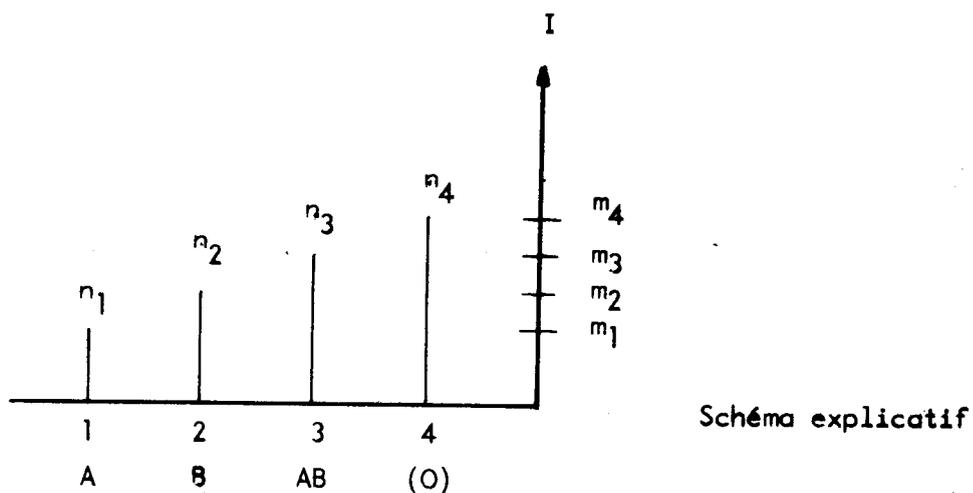
Ces hypothèses ne sont jamais parfaitement vérifiées mais les tests restent valables même lorsque les conditions ne sont "qu'à peu près" vérifiées.

Pour chaque facteur, les résultats seront proposés sous forme d'un schéma comprenant pour chaque modalité :

- w le nombre de placettes où ladite modalité a été relevée ;
- m la moyenne des indices de croissance (H30 en dm).

Sous chaque modalité, on trouvera une ou plusieurs lettres majuscules. Deux modalités ayant en commun une de ces lettres ont des moyennes non significativement différentes au seuil

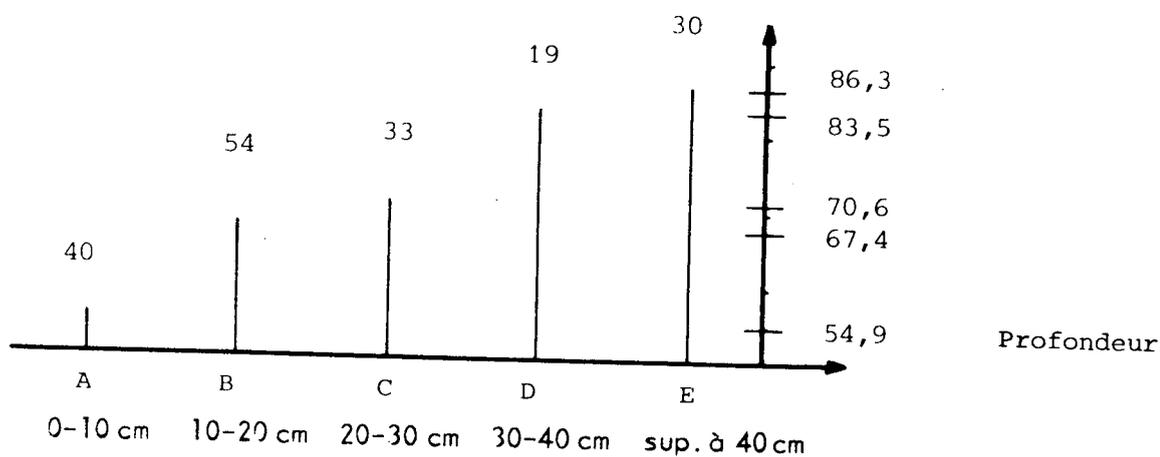
de probabilité de 5 %. Si l'effectif d'une modalité est trop faible (<5) pour pouvoir réaliser un test significatif on note (0).



Sur cet exemple, les modalités 1 et 2 ont des moyennes m_1 et m_2 significativement différentes. La modalité 4 a un effectif trop faible pour réaliser un test.

La modalité 3 a une moyenne m_3 , qui ne diffère significativement d'aucune des autres moyennes.

Profondeur moyenne du sol :
 $s < 10^{-5}$

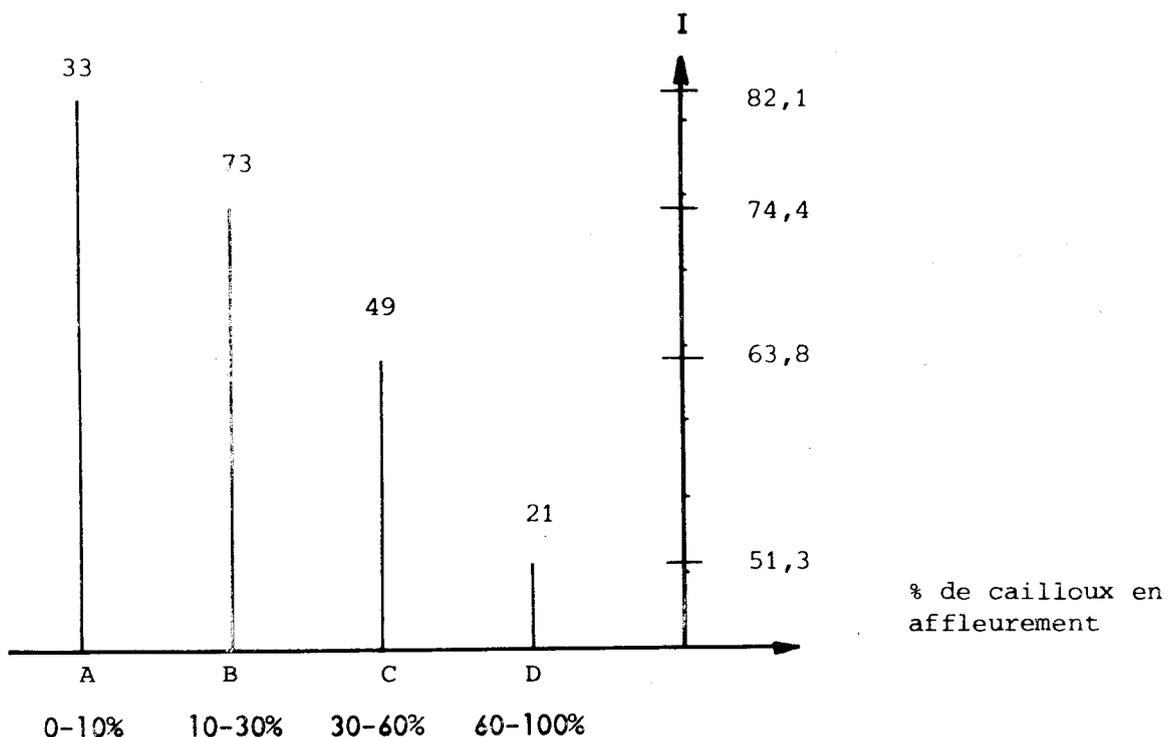


C'est le facteur primordial pour la croissance du chêne pubescent ; comme nous le verrons par la suite, c'est celui qui ressort en premier lors de la segmentation.

La fertilité croît en même temps que la profondeur. Les valeurs des profondeurs moyennes peuvent paraître faibles ; plutôt que de profondeur, il vaudrait d'ailleurs mieux parler de "test profondeur". Ce test est le résultat de 5 sondages à la tarière à vis hélicoïdale de 3 cm de diamètre. Or cette tarière a tendance à buter sur le moindre cailloux. Ce "test profondeur" illustre donc plutôt une combinaison de la profondeur et de la charge en cailloux du sol. Dans la suite du travail, nous continuerons à parler de profondeur, sans oublier ce que représente cette "profondeur" .

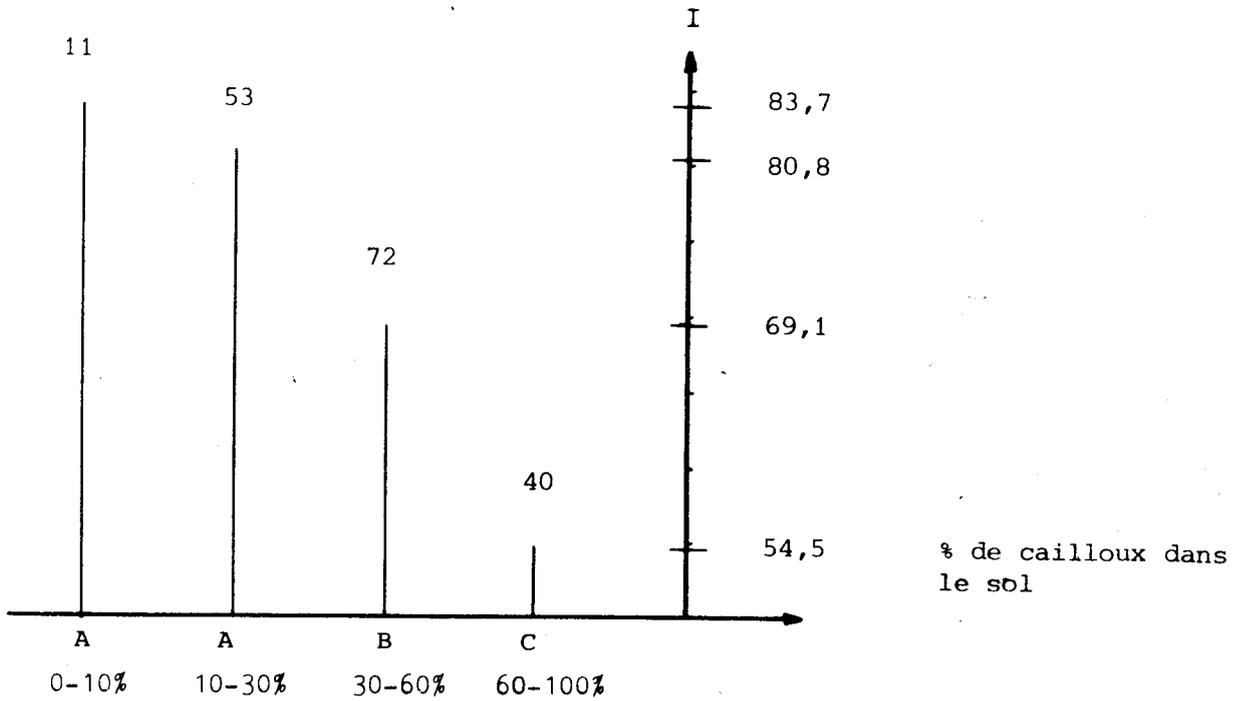
Pourcentage de cailloux en affleurement :

$$s < 10^{-5}$$



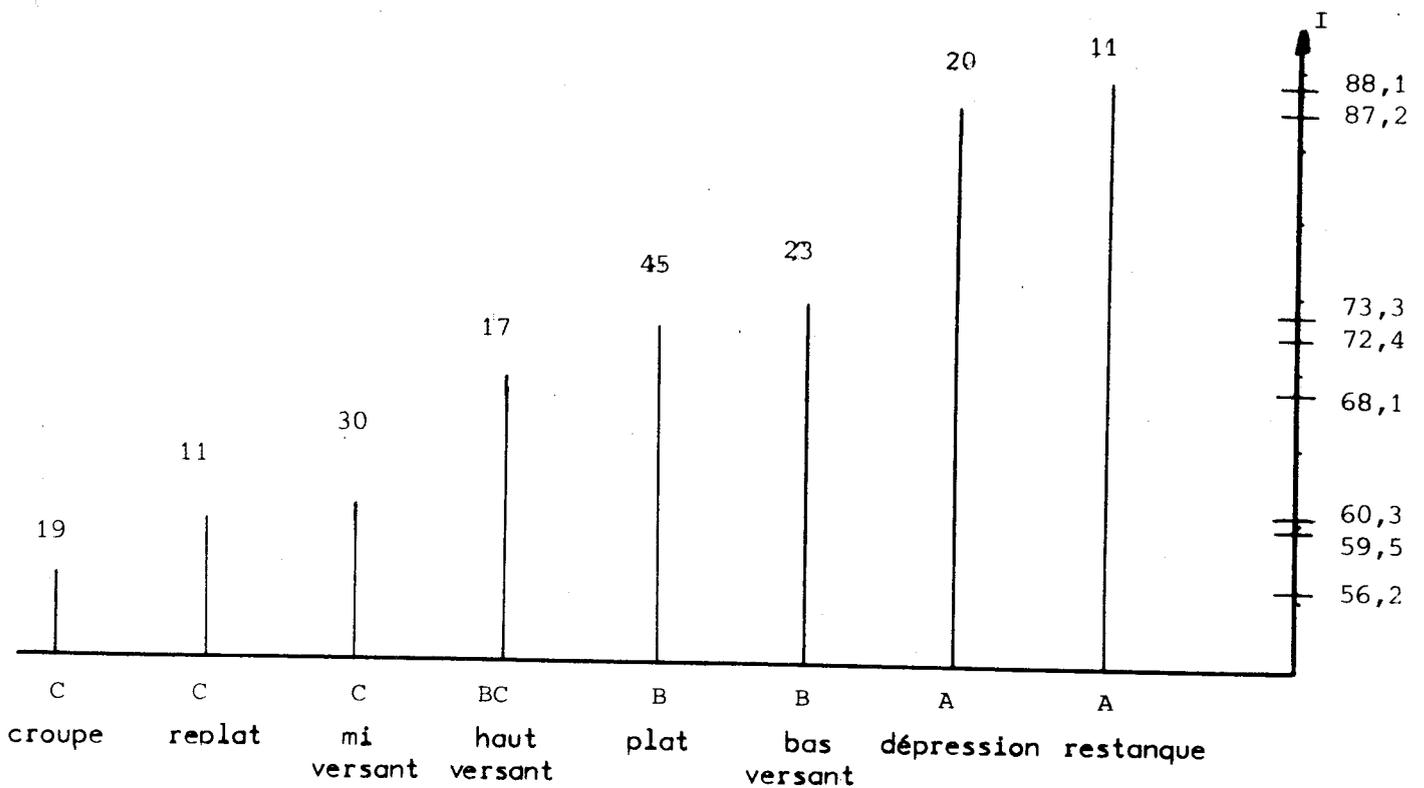
La fertilité diminue quand le pourcentage de cailloux en affleurement augmente.

Pourcentage de cailloux dans le sol :
 $S < 10^{-5}$



A partir d'un certain seuil (30 %), la fertilité diminue quand le pourcentage de cailloux dans le sol augmente.

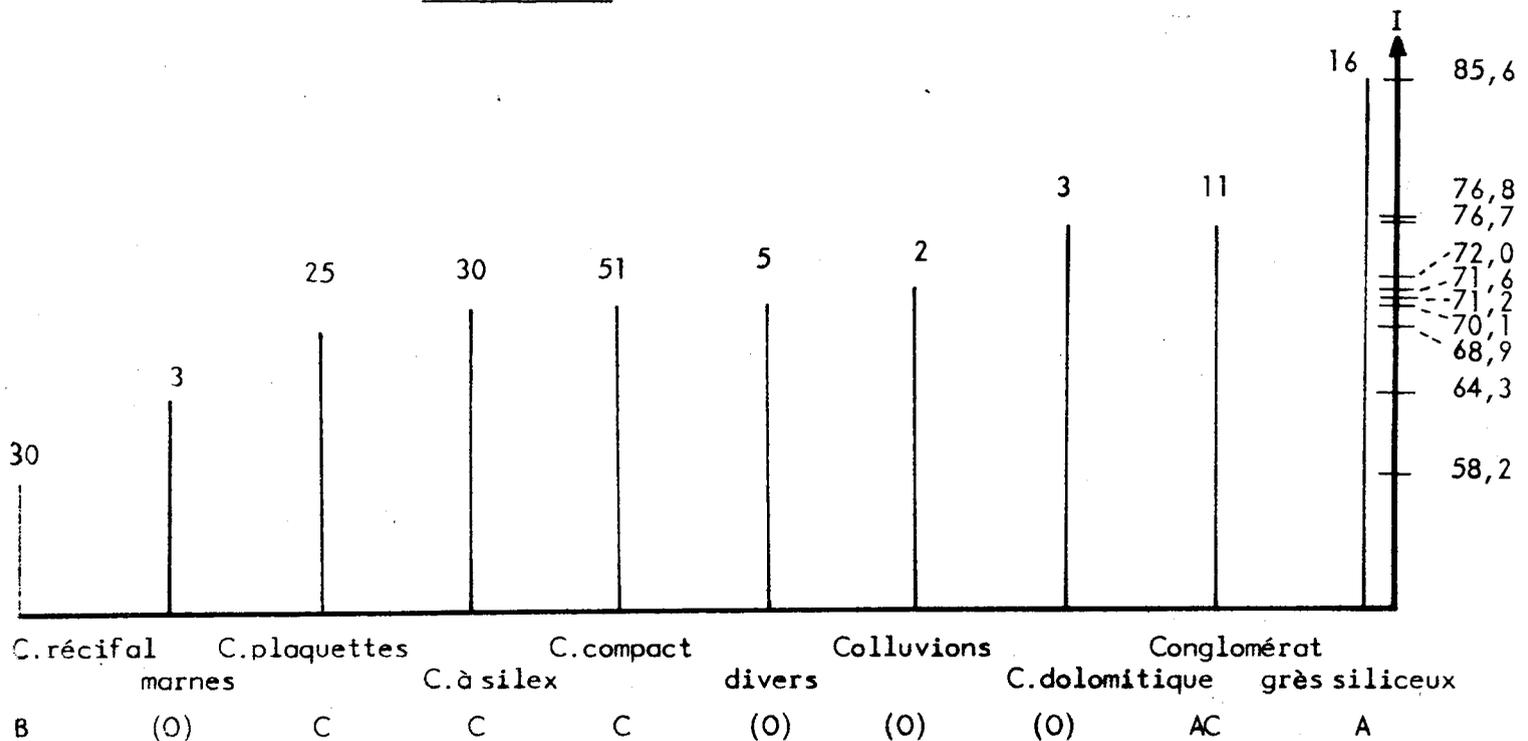
Topographie : $S < 10^{-5}$



Les meilleures fertilités se trouvent dans les endroits bien alimentés en eau, à sol assez profond (dépression et restanques). Ensuite, apparaissent les positions peu drainées (plat et bas de versant). A l'opposé, les fertilités les plus mauvaises se trouvent sur les positions les plus drainées (croupe, mi-versant, replat).

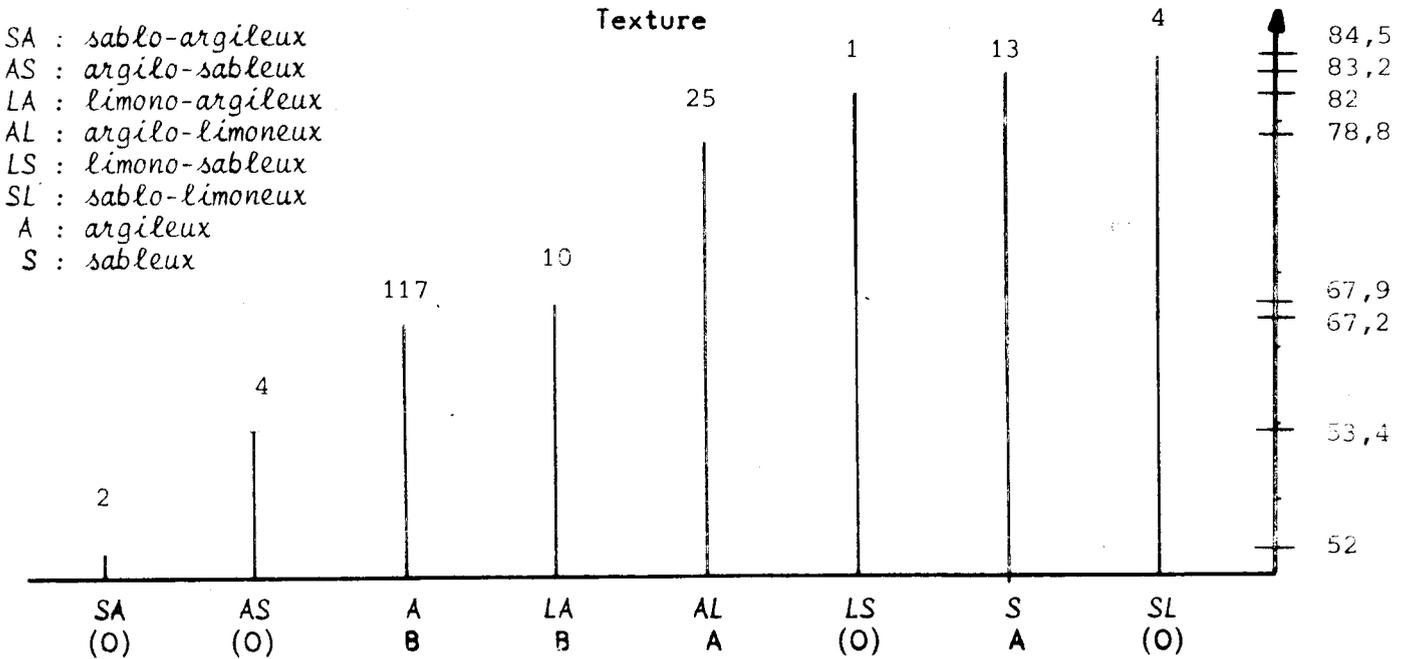
Roche-mère :

$$S = 2 \cdot 10^{-3}$$



Il est étonnant que ce facteur ressorte, puisque le chêne pubescent est réputé indifférent au substrat. En fait, deux roches-mères ressortent ; les grès siliceux qui semblent favorables (surtout quand ils forment un sol assez profond) tandis que les calcaires récifaux paraissent ne pas convenir au chêne pubescent. Il est probable que les marnes aient le même effet, mais leur faible représentation ne permet pas de tirer de conclusion fondée. Cette faible représentation semble essentiellement due à une substitution du pin d'Alep au chêne pubescent sur substrats marneux.

Le chêne pubescent est indifférent aux autres types de roche (la fertilité est alors très proche de la moyenne).

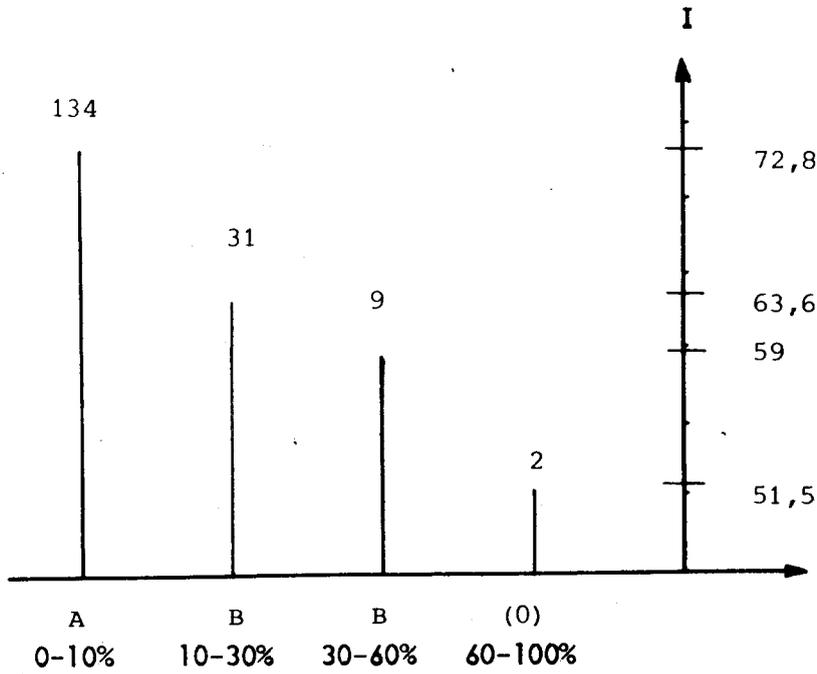
Texture : $S = 10^{-2}$ 

La texture a très probablement une influence sur la croissance mais il est difficile de dégager des tendances et ceci d'autant plus que les textures qui supportent les meilleures fertilités (SL, S, LS) découlent toutes de la même roche mère, le grès siliceux, lui-même signe de bonne fertilité : de plus, la distinction des différentes textures au toucher n'est pas très fiable. Il est difficile de distinguer des textures LA de AL, bien qu'elles soient significativement différentes vis à vis de la fertilité.

Pourcentage de roche-mère en place en affleurement :

$$S = 1,2 \cdot 10^{-2}$$

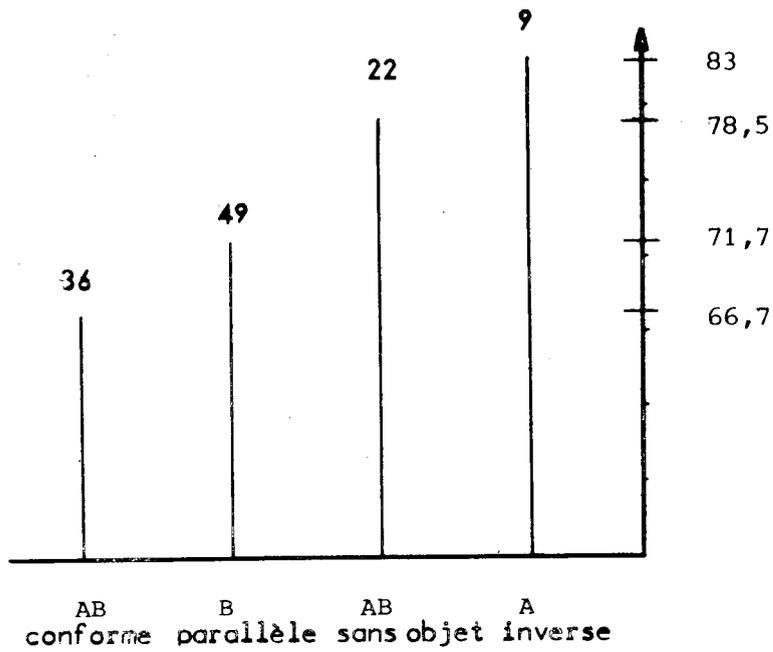
(schéma p. 62.) La fertilité est meilleure sur des sols présentant moins de 10 % de roche-mère en affleurement que sur les autres.



% de roche-mère en place en affleurement

Pendage :

$$S = 1,4 \cdot 10^{-2}$$



Pendage

La fertilité est meilleure sur des pentages inverses que sur des pentages conformes. Cela s'explique par un écoulement des eaux de pluie en profondeur, au lieu d'avoir une migration dans le sens de la pente.

Autres facteurs du milieu significatifs :

Coefficient d'Emberger : $1,8 \cdot 10^{-2}$

Réaction à HCl : de la terre $5 \cdot 10^{-2}$; de la roche $3 \cdot 10^{-2}$

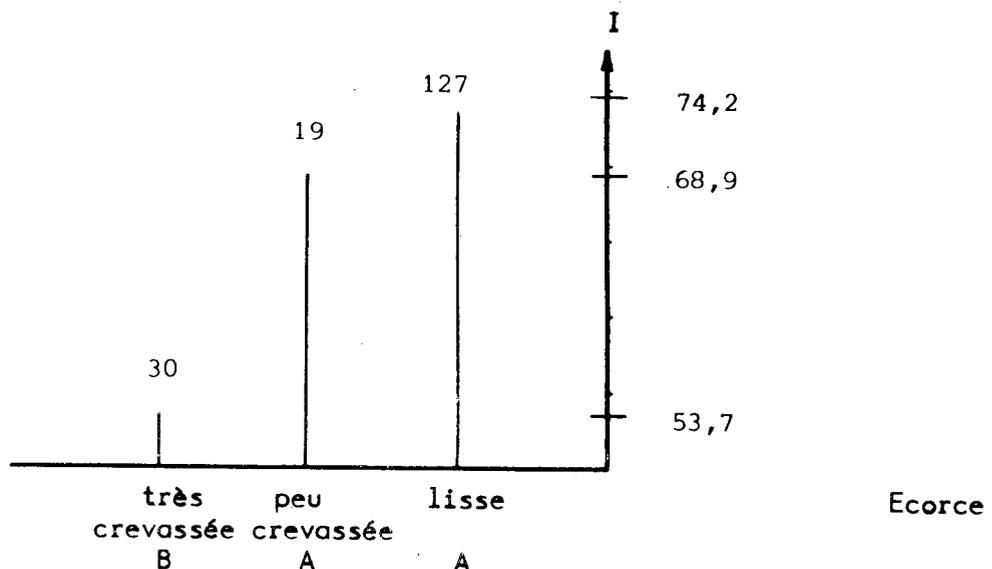
Ces 3 facteurs bien qu'ayant probablement une influence sont très difficiles à expliquer.

Bilan :

Le chêne pubescent réagit bien à tout facteur pouvant lui procurer une bonne alimentation en eau :

- . bonne profondeur de sol exploitable ;
- . bon volume de terre exploitable, c'est à dire faible charge en cailloux (pourcentage de roche mère en affleurement, pourcentages de cailloux en affleurement et dans le sol)
- . économie de l'eau grâce à des pentages inverses, ou à des positions topographiques privilégiées (présentant un faible drainage : dépressions, restanques, bas de versant et plat).

Ces faits sont confirmés par le facteur "aspect de l'écorce" ; à partir de l'âge adulte, un arbre présente une écorce d'autant plus crevassée que son alimentation en eau est mauvaise.

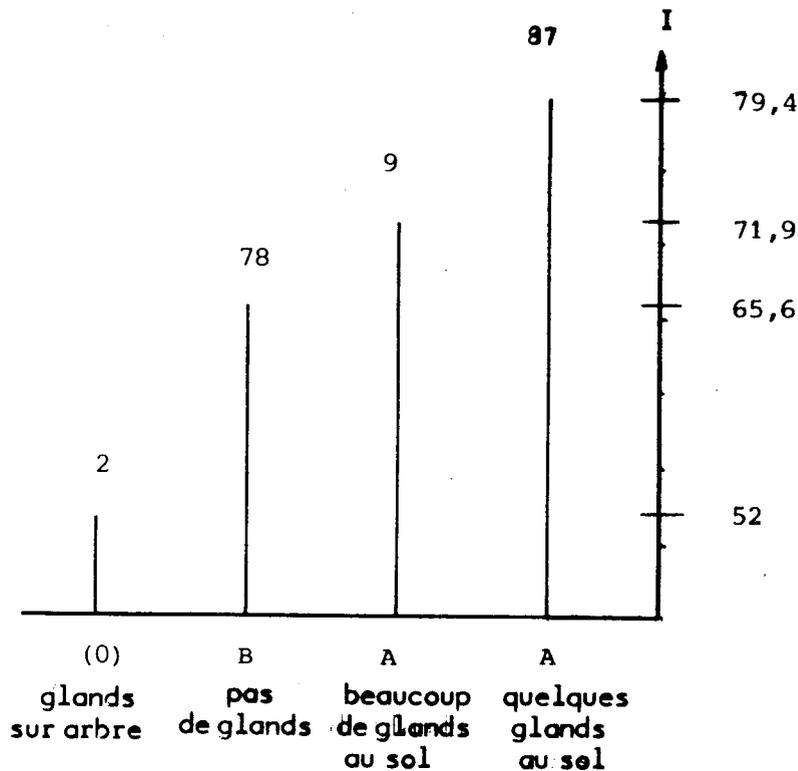


On vérifie que la fertilité est nettement plus faible lorsque l'arbre a une écorce très crevassée. L'intérêt de ce facteur aurait été encore plus grand si on s'était abstenu de noter les arbres trop jeunes (qui empêchent une distinction entre lisse et peu crevassée) et surtout si on avait ajouté une classe supplémentaire (moyennement crevassée par exemple).

Relation entre régénération et fertilité:

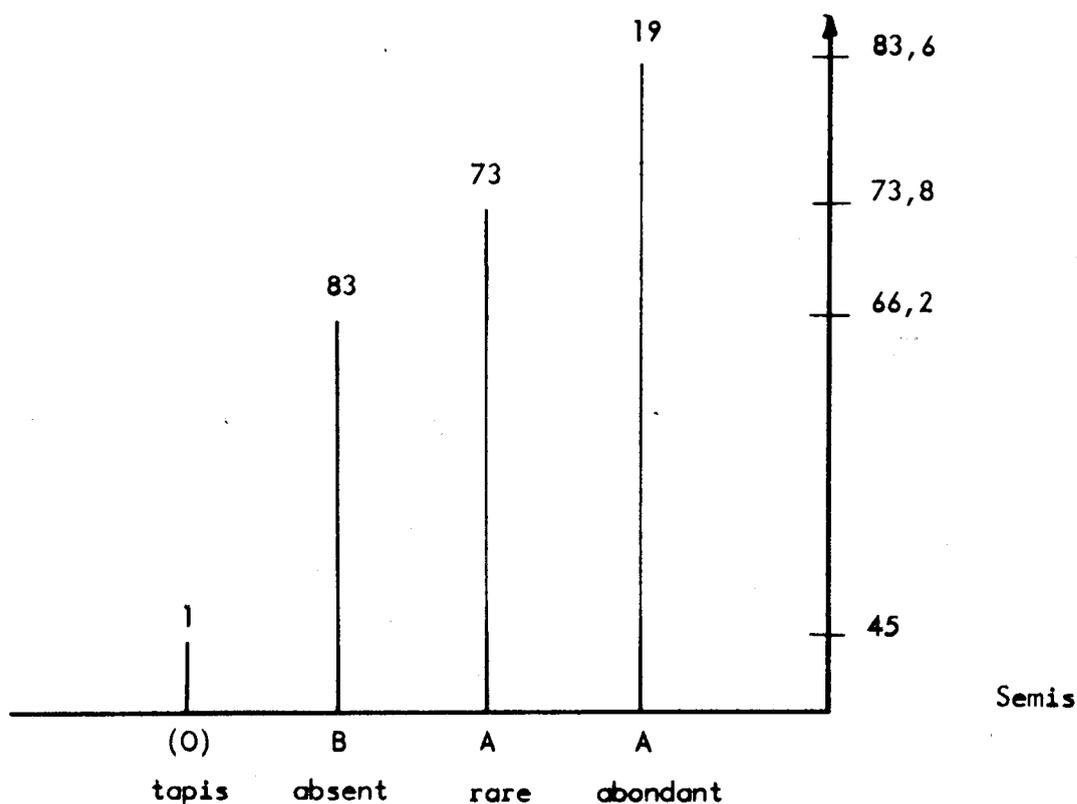
Plus la fertilité est bonne et plus on a de chances de rencontrer des glands et des semis.

Glands : A l'époque des mesures, les glands étaient déjà tombés, c'est ce qui explique le faible effectif d'arbres portant des glands.



Glands

Semis :



Autres facteurs dont le seuil dépasse 5 % :

- fissuration : 7 %
- température annuelle 8,7 %
- distance à la mer 11 %
- pluie d'été 12,5 %
- altitude 16 %
- vent 17 %
- pluie annuelle 17,8 %
- nombre de mois secs 18,2 %
- moyenne des maxima du mois le plus chaud 19,4 %
- dépôt récent 25 %
- moyenne des minima du mois le plus froid 26,5 %
- longitude 28 %
- latitude 50 %
- pH 53 %
- IG 60 %
- exposition 81 %

(Pour plus de détails, voir en annexe 9).

Les dépouillements ont été également effectués avec l'indice de croissance relatif aux courbes du type f3.

Les conclusions sont exactement les mêmes, seul le seuil de significativité variant légèrement, comme on peut le constater dans le tableau suivant.

Soit S_1 le seuil de significativité relatif aux courbes issues des analyses de tiges
et S_2 celui relatif aux courbes f3.

Facteur	S_1	S_2
Topographie	10^{-5}	10^{-5}
Pourcentage de cailloux dans le sol	10^{-5}	"
" " en affleurement	10^{-5}	"
Profondeur moyenne	10^{-5}	"
Aspect de l'écorce	10^{-5}	"
Présence de glands	10^{-5}	"
Présence de semis	10^{-4}	10^{-5}
Roche mère	$3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
% de roche mère en affleurement	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Pendage	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Texture	10^{-2}	$2,5 \cdot 10^{-2}$
Pente	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$7,3 \cdot 10^{-2}$
Réaction HCl de la roche mère	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
" HCl de la terre fine	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Fissuration	$7 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$

Dans la suite du travail, les dépouillements n'ont donc plus été menés que sur l'indice relatif aux courbes issues des données des analyses de tiges.

2. Influence des facteurs du milieu pris 2 à 2 : combinaison de facteurs

Plusieurs facteurs ayant visiblement des interactions entre eux, nous les avons combiné 2 à 2, créant ainsi de nouvelles variables dont le nombre de modalités est égal au produit des modalités des 2 facteurs combinés.

Une analyse de variance à un facteur contrôlé permet de dresser un tableau croisé donnant la moyenne des indices de fertilité et l'effectif pour chacune des modalités ainsi définies.

De plus, le programme livre le seuil de significativité pour lequel cette nouvelle variable combinée à une influence sur la croissance.

Une étude détaillée de chaque tableau permet dans un second temps de regrouper les modalités voisines afin d'obtenir un tableau à 3 ou 4 modalités au maximum. Exemple : croisement du % de cailloux en affleurement et du % de roche-mère en affleurement.

Aff	PAff 0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100%
0-10 %	86,6 (31)	60 (2)	(0)	(0)
10-30 %	78,1 (60)	72,8 (10)	69 (1)	55 (1)
30-60 %	65,3 (32)	66,3 (11)	65,3 (6)	(0)
60-100%	52 (10)	58 (9)	42 (2)	58,1 (1)

Aff	PAff 0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100%
0-10 %	Mod.4 86,6 (31)			
10-30 %	Modalité 3 76,6 (62)			
30-60 %	Modalité 2 66,9 (50)			
60-100%	Modalité 1 53,9 (23)			

Plusieurs autres croisements ont été réalisés ; on en trouvera la détail en annexe 10.

Bilan de ces croisements :

De (% AffxAff) et (% Affx% C. sol) (tableaux 1 et 4), on peut tirer les enseignements suivants :

Le chêne pubescent apprécie les sols à faible charge en cailloux, où aucun des trois pourcentages n'est supérieur à 30 %. Par contre, dès qu'un de ces pourcentages est supérieur à 60 %, on observe des fertilités très faibles.

Les croisements mettant en jeu profondeur et % de cailloux montrent que, quelle que soit la profondeur, un % de cailloux $<$ à 60 % est source de mauvaise fertilité.

Pour des pourcentages $>$ 60 %, le chêne pubescent tolère d'autant plus de cailloux que la profondeur du sol augmente.

Notons la rusticité du chêne pubescent qui arrive à se maintenir sur des sols où le % de cailloux est $>$ à 60 % et le test profondeur $<$ à 10 cm.

3. Synthèse des résultats : comportement du chêne pubescent vis-à-vis des facteurs du milieu

Comme on pouvait s'y attendre, ce sont les facteurs physiques du sol qui ont la plus grosse influence sur la croissance du chêne pubescent, en particulier ceux qui déterminent la capacité de rétention en eau de ce sol (divers % cailloux, profondeur, texture).

Les précipitations en régime méditerranéen tombant généralement en averses assez fortes, il y a un fort ruissellement, limitant l'apport d'eau en profondeur ; c'est ce qui explique que l'on relève les meilleures fertilités sur des sols capables de retenir une partie de ce ruissellement (pendage inverse, positions topographiques peu drainées).

Les facteurs physicochimiques (pH, réaction HCl de la roche et de la terre fine) influent peu ou pas.

Par contre, certains facteurs que l'on croyait influents n'apparaissent pas au dépouillement :

- la fissuration de la roche mère et l'influence du vent dominant, qui sont des facteurs beaucoup trop difficiles à appréhender sur le terrain avec les moyens dont nous disposons ;
- les facteurs météorologiques, à cause du nombre relativement peu élevé de stations, qui nous a obligé à attribuer les mêmes données à des stations parfois assez éloignées les unes des autres.

Il est probable que certains de ces facteurs jouent un rôle sur la croissance, mais cette hypothèse demande à être confirmée par une étude plus fine.

4. Influence des facteurs du milieu pris dans leur ensemble :
Analyse factorielle des correspondances.

Après avoir combiné les facteurs 2 à 2, nous aurions pu continuer en les combinant 3 à 3, puis 4 à 4... Nous avons préféré une méthode plus synthétique qui permet d'analyser le comportement de n facteurs pris dans leur ensemble vis à vis de la fertilité : l'analyse factorielle des correspondances.

Résultats : L'analyse factorielle des correspondances permet de traiter les différentes modalités des facteurs du milieu, tout en ordonnant les différentes stations vis à vis de ces derniers.

Cette analyse nous livre :

- la répartition dans l'espace des modalités de toutes les variables, nous permettant ainsi de suivre l'évolution de l'une de celles-ci considérée isolément ;
- la position des stations dans ce même espace de représentation. Seuls les trois premiers axes ont été retenus pour la discussion. Le pourcentage de variance qu'ils expliquent est respectivement de

Axe 1	29,91 %	
Axe 2	19,17 %	cumule 49,08 %
Axe 3	16,16 %	" 65,24 %

Etude des plans 1-2, 1-3, 2-3 : L'analyse de ces plans permet d'affirmer que l'axe 1 est incontestablement un axe de fertilité. Elle confirme certains résultats issus de l'analyse de variance.

Ainsi, la profondeur, le % de cailloux en affleurement, le % de cailloux dans le sol, le % de R.M. en affleurement s'ordonnent-ils parfaitement par rapport à l'axe 1, axe de fertilité.

Lorsque la profondeur augmente, la croissance varie dans le même sens ; par contre, lorsque les pourcentages augmentent la croissance diminue.

La signification des 2 autres axes est beaucoup plus difficile à dégager :

Grâce à l'étude de ces 3 cartes factorielles et des cosinus

directeurs, nous avons isolé 4 groupes de fertilité différente. La représentation des 3 plans se trouve en annexe 11.

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Profondeur > 30cm % cailloux dans le sol < 10 % % cailloux en affleurement < 10% Sol sur grès si- liceux à texture sableuse	Dépression ou restanques Altitude < 400 m % cailloux sol : 10-30 % % cailloux aff. 10-30 % Calcaire en pla- quettes Texture A.L.	Profondeur 10-30 cm Replat, ou bas de versant % RM affleurant < 10 % Réaction HCl RM forte % cailloux sol : 30-60 %	Profondeur < 10 Mi-versant, croupe % RM affleurant 10-60 % % cailloux en af- fleurement > 30 % % cailloux sol : 60-100 % Exposition sud pente : 0-10 %

Le fait de trouver une de ces modalités dans une station n'implique pas l'appartenance certaine de celle-ci à une classe de croissance donnée, mais il indique plutôt une affinité vis à vis de cette classe.

Par contre, si une majorité de modalités d'une station se retrouve dans une même classe, on peut en déduire que cette station appartient à ladite classe.

Cette méthode a l'avantage de traiter le problème au niveau le plus élevé, en conservant l'ensemble des interactions entre les facteurs.

Cet avantage peut cependant facilement se transformer en inconvénient, car dès que le nombre de variables s'élève, il devient très difficile d'expliquer les interactions entre facteurs. Nous avons donc été amené à utiliser en complément une méthode, probablement moins performante, mais plus accessible au dépouillement : la segmentation.

5. Utilisation de la segmentation

5.1. Principe

Il s'agit d'une méthode permettant d'expliciter une liaison entre une variable Y et un ensemble de variables X_i (dites explicatives) par le biais d'une partition dichotomique. Cette partition se fait sur un ensemble de départ constitué de 176 placettes caractérisées par leur indice de fertilité (Y) et un ensemble de variables descriptives du milieu (X_i).

5.2. Mode opératoire

Le programme scinde le groupe de départ, dit groupe parental en 2 sous-groupes, de telle sorte que ces 2 sous-groupes soient aussi différents que possible entre eux vis à vis de la fertilité, mais également aussi homogènes que possible à l'intérieur de chacun d'eux. Cette coupure est préparée en 2 temps :

- dans un premier temps, la procédure cherche pour chacun des facteurs, la dichotomie optimale, c'est-à-dire celle pour laquelle la distance intergroupe est maximale ;
- dans un second temps, le programme sélectionne la variable pour laquelle la partition effectuée présente le pourcentage de variance totale expliqué le plus élevé.

Les 2 sous-populations ainsi obtenues sont à leur tour considérées comme groupes de départ pour un deuxième niveau de segmentation.

La procédure se poursuit ainsi jusqu'à ce qu'elle rencontre un ordre d'arrêt, généralement conditionné par :

- la taille des classes découpées (nous avons choisi un effectif minimal de 5 individus) ;
- le rapport entre inertie interclasse d'une partie et inertie totale de l'ensemble de départ.

Le détail des calculs permettant les coupures se trouvent en annexe 12.

5.3. Résultats

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 6. A la fin de la segmentation, on obtient une partition en 13 groupes.

N° groupe	12	24	25	19	10	11	9	20	21	15	22	23	17
Effectif	27	6	16	14	9	38	15	10	12	7	5	8	9
Moyenne des hauteurs à 30 ans (cm)	51	43	61	70	54	72	83	65	82	91	73	94	102
Ecart-type	10	6	9	12	12	14	8	10	17	14	4	12	17

L'éclatement des groupes est bon pour les fertilités faibles, par contre, la meilleure classe ressort assez mal.

Nous avons essayé, pour parfaire cette segmentation, l'emploi des variables combinées définies précédemment et qui semblaient plus performantes ; malheureusement, elles n'ont rien apporté de nouveau. Nous avons donc retenu cette segmentation, en rappelant qu'il n'est guère étonnant que la classe de fertilité I ressorte mal puisqu'elle ne comprend que 10 placettes.

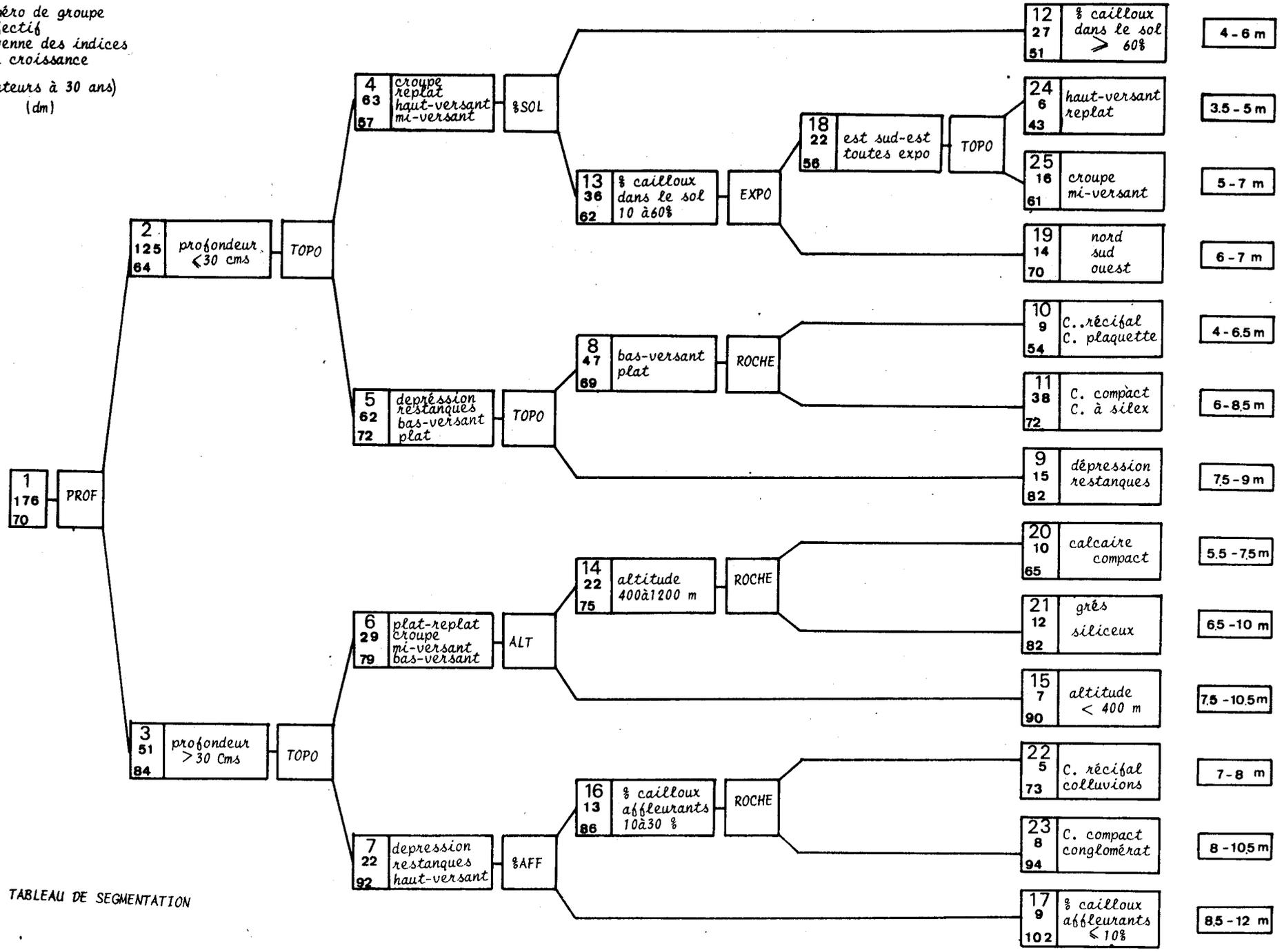
En annexe 13, on trouvera, pour chacun des groupes, la répartition des placettes qui le composent en fonction de l'indice de croissance : un test de comparaison de moyenne (voisin du test t de Student) a été réalisé pour comparer toutes les moyennes 2 à 2.

Au seuil de significativité de 5 %, les couples où se trouve un N ont des moyennes non significativement différentes.

Moyenne des hauteurs à 30 ans (dm)
± écart-type

LEGENDE

N Numéro de groupe
n Effectif
m Moyenne des indices de croissance
(hauteurs à 30 ans)
(dm)



TABEAU DE SEGMENTATION

Figure 6

Numéros de groupes	12	24	25	19	10	11	9	20	21	15	22	23	17
12	N												
24		N											
25			N										
19				N									
10	N		N		N								
11				N		N							
9							N						
20			N	N		N		N					
21						N	N		N				
15							N		N	N			
22				N		N		N	N		N		
23									N	N		N	
17										N		N	N

Symétrie par rapport
à la diagonale

A partir de l'analyse de ce tableau, et des histogrammes des différents groupes, on peut classer ces derniers en fonction des classes de croissance (tableau p. 75).

Classe IV	groupes 24, 12, 10
Classe III	" 25, 20, 19, 11, 22
Classe II	" 21, 9, 15, 23
Classe I	" 17

Il convient de signaler que les groupes 17 et 21 s'étalent largement sur deux classes (respectivement I-II et II-III). Pour contrôler la validité de cette segmentation, nous avons réalisé une régression des valeurs "prédites" par la segmentation par rapport aux valeurs observées (figure en annexe 14).

	IV			III				II-III		II	I-II		
Classes	24	12	10	25	20	19	11	22	21	9	15	23	17
24	N												
12		N	N										
10			N	N	N								
25				N	N								
20					N	N	N	N	N				
19						N	N	N	N				
11							N	N	N	N			
22								N	N	N			
21									N	N	N	N	
9										N	N	N	
15											N	N	N
23												N	N
17													N

On entend par valeur prédite la valeur moyenne calculée par l'ordinateur pour chacun des groupes terminaux de la segmentation.

$$\text{On trouve } H_{\text{obs}} = 0,99857 H_p + 0,454566 \quad r = 0,7749$$

Aux approximations de calcul près, en moyenne, on retrouve bien $H_{\text{obs}} = H_p$.

Ce qui est intéressant, c'est de constater que l'on se trouve en présence d'un coefficient de corrélation relativement acceptable puisque la corrélation est très significative à moins de 1/1000) ($t = 25,58$, D.D.L. = 174).

5.4. Critique de la méthode

La critique le plus souvent adressée à la segmentation est d'estomper les effets d'une variable continue ; la procédure

n'acceptant que des modalités réparties en classes, la scission d'une variable continue en classe pourrait empêcher un bon éclatement des groupes sur cette variable.

En fait, cela est vrai surtout pour les variables ayant une influence limitée. Il suffit de regarder notre segmentation pour constater que plusieurs facteurs dont la variation est continue apparaissent aux différents niveaux (prof., divers % de cailloux, altitude).

D'autre part, aux derniers niveaux, il arrive que la segmentation se fasse sur des variables où certaines modalités sont très peu représentées. Pour conserver un diagnostic fiable, il vaut mieux éliminer ces modalités. (C'est d'ailleurs ce que nous avons dû faire quand la coupure se faisait sur la roche mère au dernier niveau).

6. Comparaison des résultats de l'analyse factorielle des correspondances et de la segmentation

L'analyse factorielle des correspondances permet de déterminer des groupes de modalités ayant le même comportement vis à vis de la fertilité ; l'intérêt de la segmentation est de permettre de visualiser des phénomènes de compensation d'influence ; elle est donc plus performante vis à vis de notre problème, puisque dans la nature, une station comporte rarement un ensemble de facteurs ayant tous la même affinité pour une classe de croissance. Elle permet donc un diagnostic sur la croissance beaucoup plus précis. L'analyse factorielle des correspondances n'est cependant pas inutile puisqu'elle permet une vérification sommaire de la segmentation.

Par exemple, considérons le groupe 23 : la segmentation nous donne une hauteur prédite de 9,35 m (soit une CII) avec les modalités suivantes. P 30 cm, topographie : haut versant, Dépression ou restanques, % cailloux en aff. 10-30 %, RM conglomérat, C. compact, C en plaquettes.

Les modalités soulignées d'un trait sont en classe II de l'analyse factorielle des correspondances, celle soulignée de 2 traits en classe I. On vérifie donc que le groupe 23 se situe en classe II, et on peut même préciser plutôt en haut de la classe II. Cet exemple a été choisi parmi les plus simples à expliquer ; pour certains groupes, la vérification est beaucoup moins simple à mettre en oeuvre.

Conclusion : C'est la segmentation qui permet de réaliser le diagnostic sur la croissance le plus précis et aussi le plus aisé, mais chaque fois que cela est possible, il convient de le confirmer, voire de le préciser à partir des résultats de l'analyse factorielle des correspondances.

CHAPITRE V

LE CHENE PUBESCENT ET LA VEGETATION

Ayant une idée de l'influence des facteurs du milieu, nous avons cherché à mettre en évidence l'existence de relations entre l'indice de croissance, et la présence ou l'absence de certaines espèces.

La réalisation de cet objectif devait permettre d'attribuer à ces espèces le rôle de plantes "indicatrices" d'une plus ou moins bonne croissance.

Pour cela, nous avons fait appel à deux méthodes :

1) Analyse factorielle des correspondances (A F C)

L'A F C permet de mettre en relation l'ensemble des relevés d'une part, l'ensemble des espèces d'autre part; elle réalise également un rapprochement en plusieurs classes de relevés ayant une affinité écologique.

Le but de cette analyse est la détermination de groupes de plantes que l'on retrouve dans les mêmes conditions écologiques.

* Résultats de l'A F C

Seuls les trois premiers axes ont été retenus pour la discussion. Ils expliquent respectivement le pourcentage de variance suivant.

Axe 1	25,07%	
Axe 2	23,66%	soit pour les axes 1-2 48,72%
Axe 3	16,25%	soit pour les axes 1-2-3 64,97%

L'étude des plans factoriels 1-2, 2-3, 1-3, et des contributions relatives des espèces à chacun de ces trois axes factoriels, a permis de regrouper les espèces les plus fréquentes et les plus déterminantes en six groupes floristiques, mais elle n'a pas dévoilé la signification de ces axes.

(On trouvera la liste de ces six groupes en annexe 15, ainsi qu'une représentation du plan factoriel 1-2).

Tout au plus, on peut remarquer que l'axe 2 oppose des plantes de milieu plutôt bien alimenté en eau à son pôle négatif à des plantes de milieu plus sec au pôle positif.

L'analyse des projections, en variables supplémentaires, des barycentres des douze classes de relevés affines vis à vis de la floristique, semble montrer une liaison des groupes IV, V, VI à de bonnes croissances ; les groupes I et II seraient quant à eux plutôt liés à des mauvaises croissances.

Les caractéristiques du plan de projection des 176 placettes sur les axes 1 et 2 (Annexe 15 bis) confirment que les relevés de meilleure croissance (classe I) se trouvent plutôt vers le pôle négatif de l'axe 2, avec les plantes de milieu humide.

La répartition des trois autres classes est plus difficile à expliquer. Les six groupes que nous venons de constituer ne peuvent donc pas être qualifiés de groupes phytoécologiques.

Nous avons tout de même essayé de les introduire dans la segmentation, mais sans succès.

2) Information mutuelle

Cette technique, dont les fondements reposent sur l'analyse fréquentielle de la répartition des espèces, permet d'évaluer l'information fournie par une espèce relativement à un facteur écologique.

Bien que l'indice de croissance ne soit pas un facteur écologique au sens strict, la méthode reste applicable.

Pour chaque plante, on calcule un coefficient (I M) appelé information mutuelle (pour la procédure de calcul, se reporter à l'annexe 16).

La valeur de ce coefficient est d'autant plus grande que l'espèce apporte plus d'information sur les différents états de la variable étudiée.

Nous n'avons retenu pour notre indice de croissance que trois états possibles :

- classe 1 moins de 5,5 m à 30 ans
- classe 2 de 5,5 à 9,5 m à 30 ans
- classe 3 plus de 9,5 m à 30 ans

Les plantes présentant une forte information mutuelle vis à vis des classes 1 et 3, seront respectivement qualifiées de plantes de "mauvaise croissance" ou de "bonne croissance".

* Résultats

.../...

Plantes indicatrices de mauvaise croissance

Espèces	Fréquence absolue	Information mutuelle	Fréquences corrigées		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3
Thymus vulgaris	88	0,091	1,50	1,02	0,31
Aphyllantes monspelliensis	61	0,043	1,44	1,02	0,33
Amelanchier ovalis	78	0,043	1,55	0,92	0,69
Teucrium chamaedrys	111	0,041	1,24	1,02	0,61
Lavandula vera	55	0,032	1,40	1,03	0,37
Sedum annopetalum	17	0,032	1,94	0,96	0,00
Brachypodium phoenicoïdes	83	0,026	1,39	0,95	0,73
Satureia montana	15	0,026	1,83	0,99	0,00
Brachypodium ramosum	8	0,019	2,75	0,56	0,85
Genista hispanica	98	0,018	1,18	1,02	0,69
Festuca ovina	108	0,017	1,22	0,98	0,81
Teucrium polium	19	0,014	1,74	0,94	0,36
Buxus Sempervirens	64	0,013	1,38	0,93	0,85
Rosmarinus officinalis	5	0,007	2,20	0,60	1,35
Genista scorpius	18	0,007	1,22	0,99	0,75

La fréquence absolue représente le nombre d'apparitions de l'espèce dans les 176 relevés.

Plantes indicatrices de bonne croissance

Espèces	Fréquence absolue	Information mutuelle	Fréquence corrigée		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3
<i>Hedera helix</i>	12	0,085	0,00	0,50	4,51
<i>Crataegus monogyna</i>	97	0,038	0,62	1,03	1,33
<i>Cornus sanguinea</i>	18	0,036	0,00	1,07	1,88
<i>Ligustrum vulgare</i>	27	0,031	0,20	1,05	1,76
<i>Rosa arvensis</i>	73	0,031	0,52	1,06	1,30
<i>Poa memorialis</i>	15	0,026	0,00	1,19	1,35
<i>Viola Sp.</i>	12	0,024	0,46	0,75	2,82
<i>Erica arborea</i>	12	0,022	0,00	1,12	1,69
<i>Sorbus domestica</i>	8	0,021	0,00	0,93	2,54
<i>Astragalus monspeliensis</i>	10	0,021	0,00	1,04	2,03
<i>Calluna vulgaris</i>	15	0,019	0,37	0,90	2,26
<i>Lonicera etrusca</i>	29	0,016	0,38	1,08	1,40
<i>Corylus avellana</i>	5	0,014	0,00	0,89	2,70
<i>Asplenium adiantum nigrum</i>	6	0,014	0,00	0,99	2,25
<i>Coronilla emerus</i>	19	0,014	0,29	1,09	1,43
<i>Viburnum lantana</i>	41	0,012	0,67	0,98	1,49
<i>Sorbus aria</i>	58	0,008	0,76	1,00	1,28

Les valeurs rencontrées pour l'information mutuelle sont assez faibles; cela montre que l'information apportée pour la floristique vis à vis de l'indice de croissance est faible, ce qui signifie qu'il y a peu de lien entre la croissance en hauteur de ces taillis et le cortège floristique qui leur est associé.

Rappelons ici que les relevés floristiques ont été effectués en hiver, et se sont donc limités aux plantes reconnaissables en toutes saisons. Ces espèces sont le plus souvent des ligneux, ou des semi-ligneux, dont l'amplitude écologique est assez vaste.

Un traitement portant sur des relevés réalisés au printemps aurait très probablement fourni des valeurs bien supérieures de l'information mutuelle.

Muni de ces listes de plantes indicatrices nous avons créé trois nouvelles variables que nous avons introduit dans la segmentation.

- 1) N_1 : nombre de plantes indicatrices de bonne croissance présentes sur la placette
- 2) N_2 : nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance présentes sur la placette
- 3) t : Différence entre le nombre de plantes indicatrices de bonne croissance et le nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance

$t = N_1 - N_2$ est aussi appelé "Test botanique".

3) Segmentation tenant compte des données floristiques

Une première segmentation a été réalisée sans prendre en compte les variables combinées (profondeur x % sol, % Sol x % Af...).

Une régression des valeurs prévues (moyenne des indices de croissance des groupes finaux) sur les valeurs observées donne le résultat suivant :

$$H_p = 0,974 H_o + 1,804 \quad r = 0,807$$

Le coefficient de corrélation de cette régression est meilleur que celui de la segmentation initiale ($r = 0,775$); les variables floristiques améliorent donc le diagnostic de l'indice de croissance.

Un deuxième passage, incluant les variables combinées, fournit un résultat encore meilleur puisqu'on obtient un coefficient de corrélation r de 0,836 pour une équation de la forme

$$H_p = 0,987 H_{ob} + 1,121$$

Le tableau de cette segmentation est représenté page suivante.

FIGURE 6b

Cas particuliers

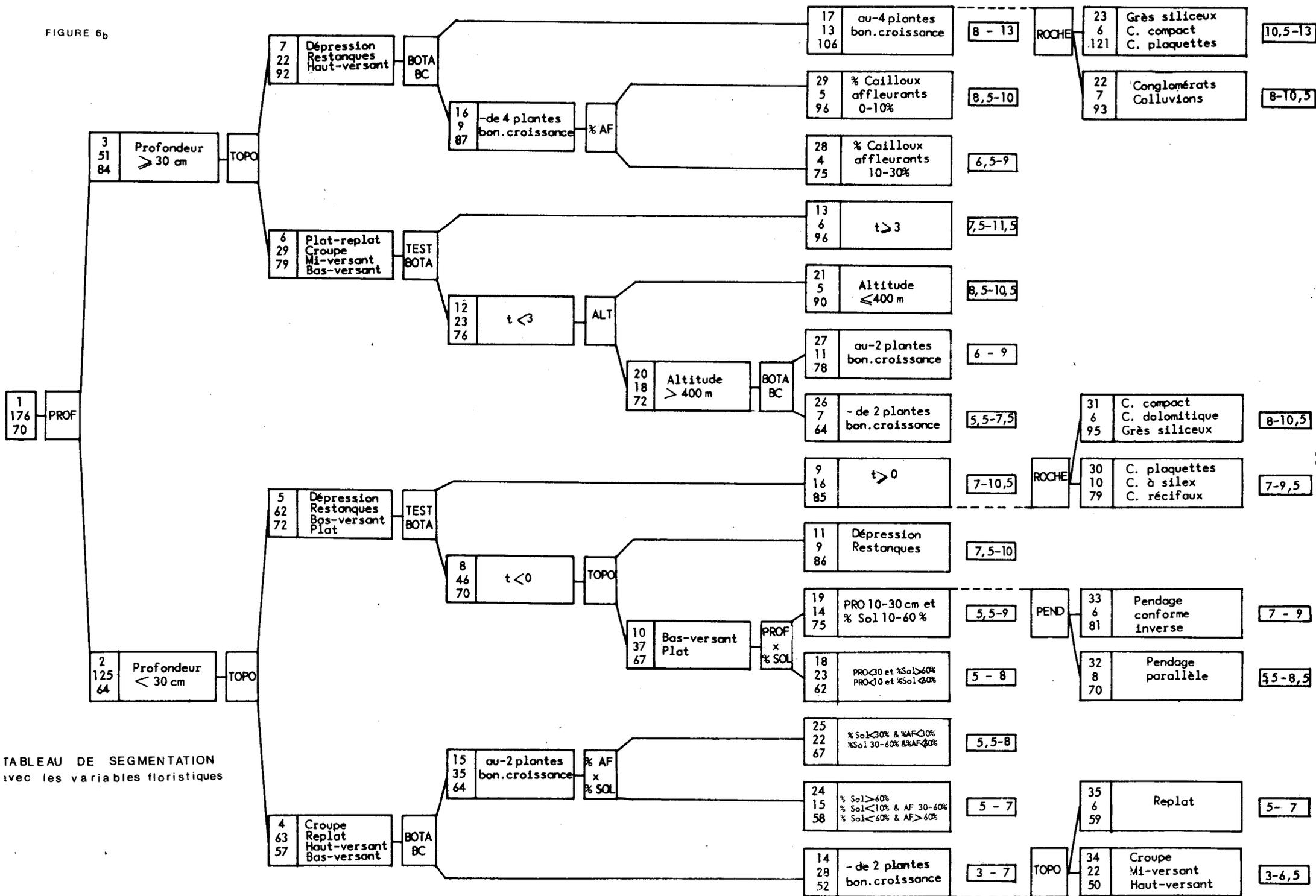


TABLEAU DE SEGMENTATION avec les variables floristiques

LEGENDE DU TABLEAU DE SEGMENTATION

BOTA : Nombre de plantes indicatrices de bonne croissance
Bc

TEST : Différence entre le nombre de plantes de bonne croissance et le nombre de
BOTA plantes de mauvaise croissance

% AF : Pourcentage de cailloux en affleurement

PROx%Sol : Variable combinée : profondeur x pourcentage de cailloux dans le sol

%AFx% SOL : Variable combinée : pourcentage de cailloux en affleurement x pourcentage
de cailloux dans le sol.

n ₁	modalités de la variable caractérisant le nouveau groupe.
n ₂	
n ₃	

Hauteur prévue (m) à 30 ans

n₁ : numéro du groupe

n₂ : effectif du groupe

n₃ : moyenne des hauteurs à 30 ans des placettes du groupe.

L'étude du tableau et des histogrammes des différents groupes permet de classer ces derniers en fonction des classes de croissance.

Classe I	Groupe 23		
Classe II	Groupes	29-13-31-22	
			21-11
Classe III	Groupes	24-35-18-26-25-32-28	27-30-33
			Classe II-III
Classe IV	Groupe 34		

CONCLUSION

L'introduction des variables floristiques dans la segmentation a permis d'affiner les résultats, notamment d'isoler un groupe de classe I. On constate cependant que ces variables n'interviennent qu'au troisième niveau de la segmentation. Cela confirme bien que la croissance des taillis est peu liée au cortège floristique qui leur est associé, comme nous l'avons déjà souligné lors du traitement par l'information mutuelle.

CHAPITRE VI

SYLVICULTURE DES TAILLIS
DE CHENE PUBESCENT

La très grande majorité (au moins 95 %) des peuplements de chêne pubescent se trouve actuellement sous le régime du taillis simple. Ces taillis, destinés à fournir du bois de feu, sont aujourd'hui peu exploités, à cause du coût élevé de la main-d'oeuvre qui ne permet pas d'assurer la rentabilité des coupes. En fait, on constate depuis quelques années un léger regain d'intérêt pour ces produits, mais les coupes ont surtout lieu quand la main-d'oeuvre est gratuite (affouage, ou exploitation directe par le propriétaire). Un grand nombre de ces taillis a donc atteint ou même dépassé son âge d'exploitabilité.

On se trouve donc confronté à un grave problème : quel intérêt y a-t-il à conserver l'ensemble de ces surfaces sous ce régime, alors que la demande en bois de feu est assez faible, et que ces taillis ont, du moins peut-on le supposer, des ensouchements souvent en mauvais état, qui font craindre pour leur pérennité.

Plusieurs attitudes, fonction des moyens financiers du propriétaire, sont possibles face à ce problème.

Nous allons décrire neuf "scénarios d'aménagement" envisageables.

1. Non-intervention

C'est l'aménagement qui revient le moins cher, et qui est, de ce fait, le plus pratiqué. Le stade final de l'évolution est une pseudofutaie sur souche, où chaque enracinement peut porter plusieurs brins, seuls les plus faibles ayant été éliminés naturellement.

Dans un but de prévention contre l'incendie, il serait toutefois judicieux d'éliminer régulièrement (tous les 10 à 15 ans), les morts-bois, au moins à proximité des voies de communication et des habitations.

Cette technique est partout applicable, mais elle n'est recommandable que pour les taillis les moins productifs, ceux de classe IV, mais aussi ceux de classe III dont le facteur d'espacement est supérieur à 30.

2. Maintien du taillis

C'est la méthode d'intervention la moins onéreuse, puisqu'en forêt communale, les produits peuvent être délivrés en affouage. Deux problèmes se posent alors :

- la méthode de coupe
- la durée de révolution de ces taillis.

2.1. Méthode de coupe

On a l'habitude de dire que le traitement en taillis existe depuis toujours ; un même ensouchement ne pouvant supporter qu'un nombre limité de coupes avant de s'épuiser, et les taillis existant encore de nos jours, on en conclut que les appareils racinaires ont dû se renouveler progressivement, et qu'il n'y a pas de raison pour qu'ils ne continuent pas à le faire dans l'avenir.

Ce raisonnement risque malheureusement d'être erroné, car il ne tient pas compte du fait que depuis 2 ou 3 révolutions

sont apparus de nouveaux outils, la scie et la tronçonneuse, qui ont remplacé la hache.

Obtenir une rejuvénilisation des racines suppose une coupe bien effectuée, c'est-à-dire pratiquée près du sol (permettant ainsi la levée de dormance des bourgeons adventifs), avec une coupe franche. Si la coupe n'est pas franche, les bourgeons ont tendance à se décoller de la souche et à mourir ; si elle est trop haute, on assiste à un développement de bourgeons proventifs, et il ne peut alors y avoir d'individualisation de nouvelles racines (donc pas d'affranchissement).

Or, pour ne pas risquer de buter sur les cailloux, une coupe à la scie, ou à la tronçonneuse, se fait assez loin du sol (souvent une dizaine de centimètres) ; de plus, en raison d'aiguisage pas toujours parfait, il arrive qu'elle ne soit pas franche.

En conclusion, si on veut un rajeunissement des souches, il est plus que souhaitable de donner quelques coups de hache en biseau, au ras du sol au pied de chaque brin abattu (3 ou 4 dans des directions opposées).

Ce travail peut sembler lourd et superflu, mais il nous semble qu'il s'agit du seul moyen d'éviter l'épuisement à court terme des taillis de chêne pubescent. (D'après certains bûcherons rencontrés sur le terrain, une même souche meurt après 4 à 5 révolutions de taillis).

La démarche précédente ne tient pas compte du renouvellement par l'intermédiaire de brins de francpied ; vue la grande difficulté à reconnaître sur le terrain, un brin de francpied, nous n'avons pas pu traiter ce problème, pourtant essentiel.

2.2. Durée de la révolution

Actuellement, les durées les plus utilisées sont celles de 30 et 40 ans. Le chêne pubescent, même traité en taillis, est une essence qui continue sa croissance jusqu'à un âge assez avancé.

L'intersection des courbes d'accroissement courant et d'accroissement moyen se produit vers 30-35 ans en ce qui con-

cerne la surface terrière, vers 45 - 50 ans pour le volume (MARSTEAU, 1979) - 14 - sur un taillis de haut de classe III). D'autre part, il semble que les potentialités de rejets se maintiennent après 50 ans. On peut donc préconiser un allongement de la durée de révolution jusqu'à 40-50 ans; on réservera la révolution de 40 ans aux stations les plus pauvres (classe III), celle de 50 ans aux autres. Cependant, plus la coupe est tardive, plus elle doit être réalisée avec soin.

2.3. Dépressage précoce

C'est une technique qui doit permettre d'augmenter la productivité des taillis en éliminant dès le jeune âge les brins sans aucun avenir.

Le dépressage réalisé très précocément (avant 5 ans) peut intéresser deux niveaux de concurrence :

- entre souches : on élimine totalement un certain nombre de souches,
- entre brins d'une même souche : on garde 3 à 5 brins parmi les plus vigoureux, assez bien répartis sur l'ensemble de la cépée. Une expérimentation est actuellement en cours (INRA), notamment en ce qui concerne l'intensité de ces dépressages, mais aucun résultat n'est actuellement disponible (essais trop jeunes).

2.4. Utilisation de la biomasse

Les rares travaux existants soulignent que l'énergie produite est peu rentable dès lors qu'un stockage ou un transport s'avère nécessaire. De plus, l'exploitation des peuplements pour la production d'énergie se traduit par une exportation accrue d'éléments minéraux. Les cycles nutritifs se trouvent modifiés, et en l'absence de restitution adéquate, l'épuisement des sols peut se trouver encore accru par rapport à l'exploitation traditionnelle pour le bois de chauffage.

Enfin, la qualité intrinsèque du bois de chêne pubescent (CORTI, PAVARI, 1955)-6- bois dur et dense diminue encore le rendement de l'opération (dépense importante d'énergie pour la réduction en copeaux). Une utilisation dans ce cadre n'offre donc d'intérêt qu'au plan local et dans des conditions d'exploitations favorables.

3. Conversion

Une conversion en futaie sur souches provoque très probablement une perte de production (RIEDACKER, 1972) -23-. Cet inconvénient n'est pas rédhibitoire lorsque l'objectif principal n'est pas la production, mais plutôt le renouvellement des enracinements par régénération naturelle ainsi que la protection contre les incendies. Ce dernier objectif est rendu possible du fait du couvert important assuré par une futaie relativement dense qui élimine une grande partie de la broussaille du sous-étage. On pourrait d'ailleurs se diriger plutôt vers une pseudo-futaie sur souches, où chaque enracinement porterait au stade final, 1 à 3 brins selon sa vigueur, assurant ainsi un couvert plus fermé, tout en maintenant une production de glands importante.

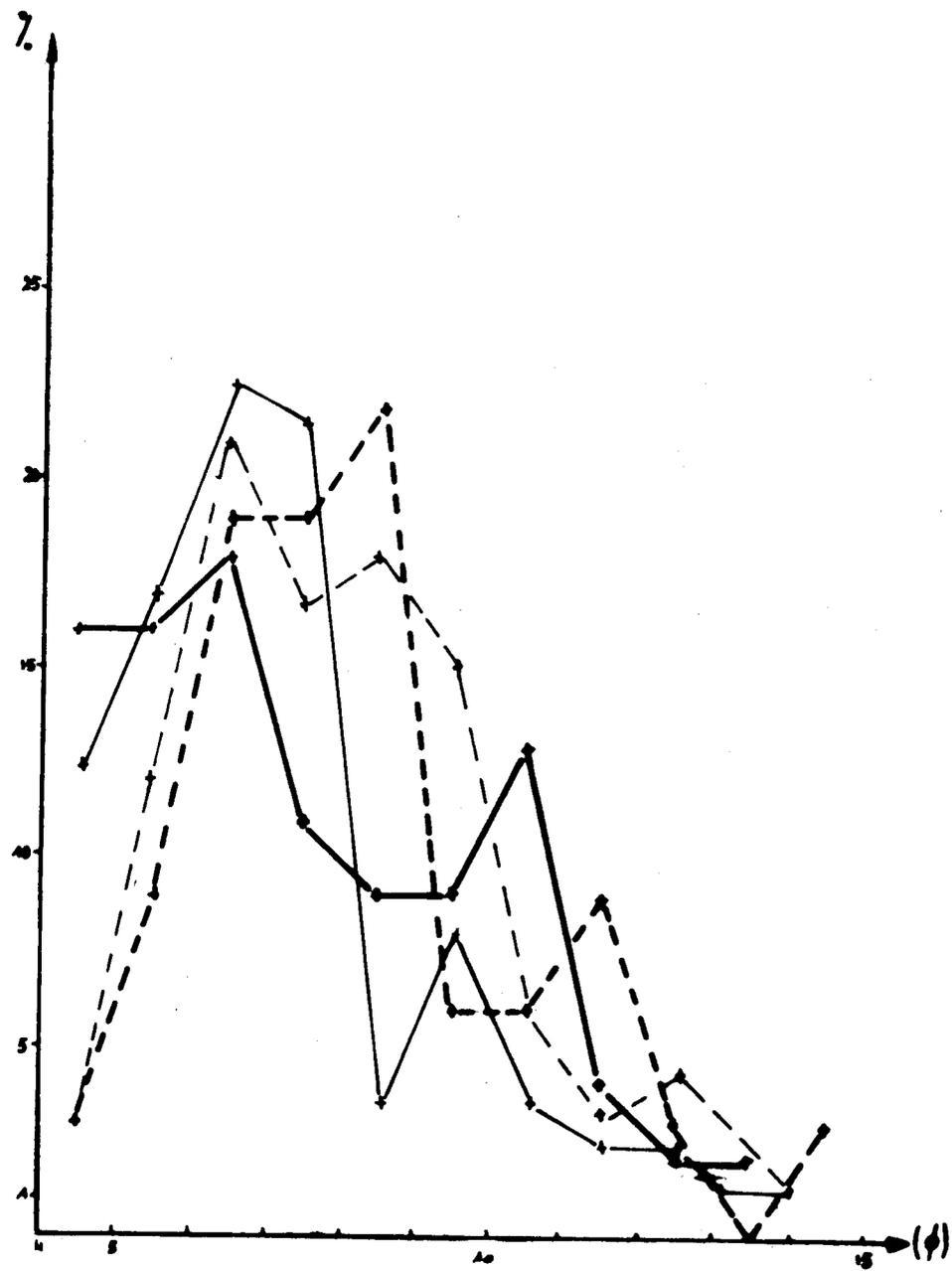
3.1. Eclaircies préparatoires à la conversion

Partant de taillis assez denses, l'objectif de la futaie sur souches ne peut être atteint que par l'intermédiaire d'un certain nombre d'éclaircies dites E.P.C.

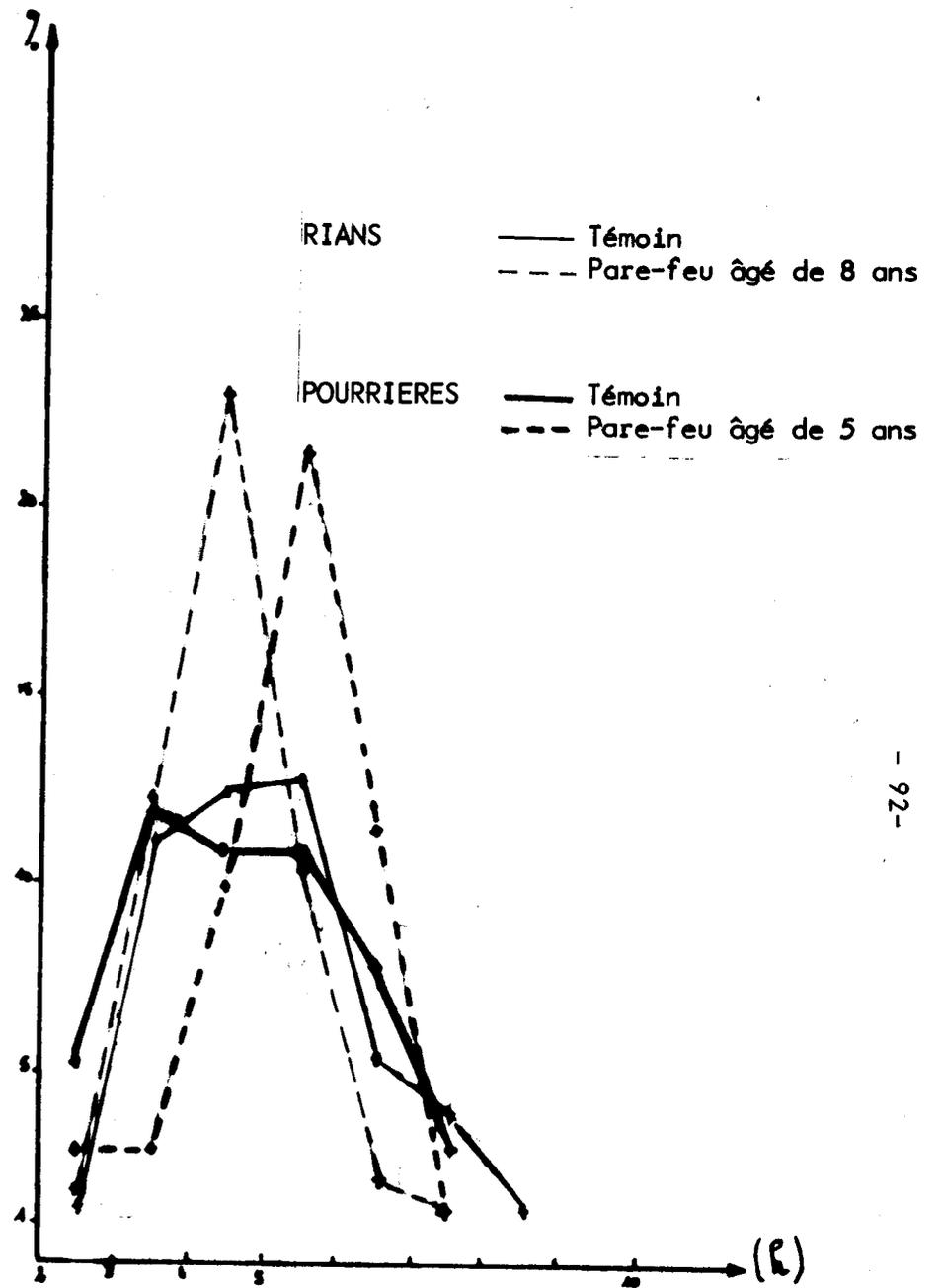
La littérature forestière ne renferme aucune indication relative à de telles éclaircies dans des peuplements de chêne pubescent (et de chêne méditerranéen en général), pas plus en ce qui concerne leur intensité que leur espacement dans le temps. Partant de là, nous nous sommes efforcés d'obtenir quelques informations sur l'effet des éclaircies à partir de données expérimentales.

3.1.1. Observations de l'effet des éclaircies dans des peuplements de chêne pubescent : Sur deux stations différentes, nous avons analysé ce scénario de conversion ; sur chacune d'elles, nous avons réalisé un inventaire comparatif d'un peuplement intact, et du peuplement éclairci lors de la constitution d'un parefeu immédiatement adjacent. Les deux peuplements comparés sont donc situés, en théorie, sur une même station (voir figure n° 7).

a) Forêt domaniale de la Gardiole de Rians : Il s'agit d'un peuplement âgé de 41 ans, où l'intervention sur le pare-



Histogrammes des diamètres



Histogrammes des hauteurs

Figure 7

feu date de 8 ans ; la station, fortement ventée, est en classe de fertilité III, sur des calcaires fissurés du Portlandien.

Sur le pare-feu, on observe un fort pourcentage de dessèchement de cimes. Le peuplement initial présente un facteur d'espacement de 21 ; quant au pare-feu, en l'état actuel, son facteur d'espacement vaut 28, tandis que la chute de sa hauteur dominante (1 m) l'a fait passer en classe IV.

Si on considère que les descentes de cimes sont dues à l'éclaircie, on peut dire qu'immédiatement après l'éclaircie, c'est à dire avant que la hauteur dominante chute, le facteur d'espacement du pare-feu était de 24 (ce qui représente une réduction de 3 points seulement par rapport au peuplement initial).

b) Forêt communale de Pourrières (83) : Le peuplement, de 44 ans, se situe sur une station de fertilité IV, sur sol fissuré (calcaire du Kimmeridgien), mais relativement abrité du vent. Une variation du facteur d'espacement de 20 à 26 n'a provoqué que quelques rares dessèchements de cimes ; la hauteur dominante n'a diminué que de 20 centimètres.

Dans le premier cas, on observe qu'une variation du facteur d'espacement (noté s) de 15 % sur une station fortement ventée provoque des descentes de cimes. Un phénomène du même type avait déjà été observé par DELABRAZE (com. orale) sur des essais réalisés dans cette même forêt ; il l'expliquait par un problème de disponibilité de l'eau. L'ouverture du taillis provoque une augmentation de l'évapotranspiration pour chacun des brins restants (masse de feuillage supérieure, pénétration du vent), alors que, sur ces calcaires fissurés, leur alimentation en eau n'est pas améliorée.

Tout ce que l'on peut donc dire, en l'état actuel des connaissances, c'est que sur de tels terrains, une variation de s de 15 % au moment de l'éclaircie, est trop forte. (pour un facteur d'espacement de départ de 20 à 25 %, c'est-à-dire qui correspond à la moyenne des placettes de classe III).

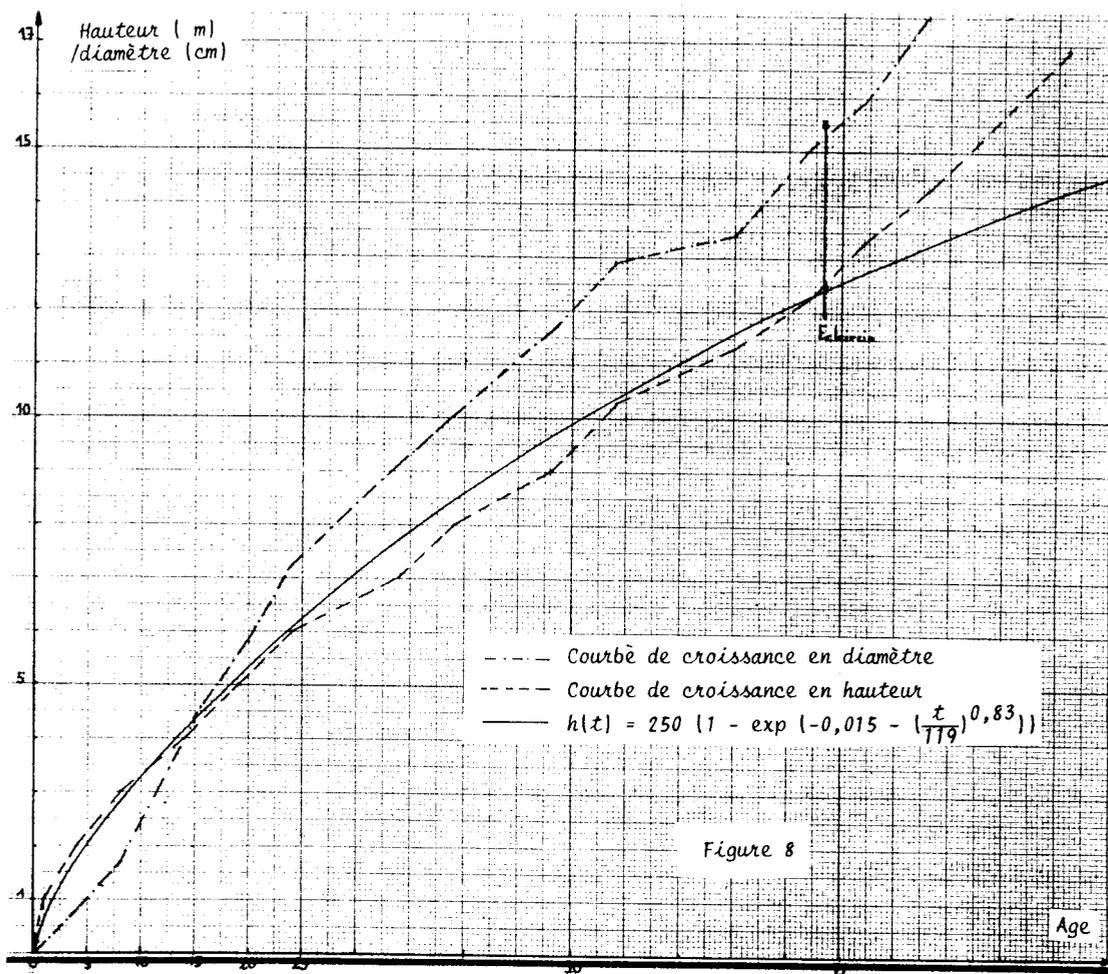
Il faudrait donc implanter des placettes expérimentales avec diverses variations de s (5 % - 7,5 % - 10 % - 12,5 % par

exemple). Sur des terrains à l'abri du vent, une variation de 30 % de s n'a provoqué que quelques rares séchages de cimes ; là encore, il serait bon de tester différentes intensités (10 % - 15 % - 20 % - 25 %), mais on peut déjà dire qu'une variation du facteur d'espacement de 20 % doit comporter peu de risques dans de tels cas.

Par contre, sur terrains alluviaux bien alimentés en eau, (classe I, II), l'éclaircie, si elle n'est pas trop forte, a un effet très bénéfique. En effet, il y a non seulement diminution de la concurrence pour la lumière, mais aussi et surtout pour l'eau, qui est le facteur limitant en région méditerranéenne.

Nous avons effectué une analyse de tiges en forêt domaniale de Cadarache (13), dans un peuplement âgé de 96 ans, de classe II, sur sol bien alimenté en eau (sols alluviaux de la Durance), qui a subi une éclaircie il y a 22 ans (d'intensité inconnue, mais il s'agissait d'une éclaircie pour réaliser un pare-feu) ; le facteur d'espacement vaut aujourd'hui 24.

Nous observons une réaction favorable non seulement en diamètre, mais aussi en hauteur (voir figure n° 8).



3.1.2. Conclusion sur l'intensité des éclaircies : Il serait souhaitable d'implanter des placettes expérimentales dans les diverses classes et dans des situations variées (sols fissurés, ou non, stations ventées ou peu ventées...) afin de trouver le seuil d'éclaircie à partir duquel on ne risque pas de descentes de cimes en quantité trop importante.

D'ores et déjà, on peut affirmer que sur les stations peu ventées dont le facteur d'espacement est voisin de 20, une variation de ce dernier d'environ 20 % ne doit pas présenter de risques notables. Par contre, sur des stations très ventées, il faut être extrêmement prudent.

3.2. Espacement entre les éclaircies

On sait que le facteur d'espacement s , s'exprime simplement en fonction de la hauteur dominante et de la densité à l'hectare (N) :

$$s = \frac{10\ 000}{0,931 H \sqrt{N}}$$

On en déduit $\frac{\Delta s}{s}$

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{-\Delta H}{H} - \frac{1}{2} \frac{\Delta N}{\sqrt{N}}$$

Donc, à densité constante, les variations relatives de s et de H sont égales en valeur absolue, mais de signe opposé ; cela signifie, par exemple qu'une augmentation de 10 % de la hauteur dominante provoque une diminution de 10 % de s .

Lors d'une éclaircie, il y a augmentation de s par diminution de N , l'éclaircie suivante a lieu lorsque s est redescendu (par augmentation de H) à une valeur que l'on se fixe à l'avance. Nous négligeons par la suite l'influence de la densité entre deux éclaircies, puisque la mortalité naturelle est grossièrement compensée par le passage de certains brins au diamètre de précomptage.

La valeur fixée est fonction à la fois de l'espacement initial et de celui auquel on désire arriver au stade de la futaie.

Si le peuplement de départ semble trop serré, on essaie d'augmenter progressivement s ; l'éclaircie suivante doit donc

avoir lieu avant que le facteur d'espacement soit redescendu à la valeur qu'il avait avant l'éclaircie précédente.

Il convient de rester prudent et de ne pas chercher à regagner plus de 10 à 20 % de la variation à chaque éclaircie. Si le peuplement est équilibré, on laisse redescendre s jusqu'à sa valeur initiale.

Enfin, si le peuplement semble trop clair, on s'abstient de faire une éclaircie avant qu'il n'ait atteint un facteur d'espacement convenable.

Ces principes peuvent servir de guide pour choisir l'intervalle de temps nécessaire entre deux éclaircies (Δt).

Notons :

- t_i : l'âge du peuplement lors de l'éclaircie précédente
- H_i : la hauteur dominante atteinte à t_i
- S_i : le facteur d'espacement après l'éclaircie précédente
- S_f : " " que l'on souhaite avoir avant l'éclaircie suivante
- t_f : l'âge du peuplement lors de l'éclaircie suivante
- H_f : la hauteur dominante atteinte à t_f
- a : l'indice de croissance du peuplement.

Connaissant H_i et S_i et ayant fixé S_f , on commence par calculer H_f de la manière suivante :

$$\frac{H_f - H_i}{H_i} = - \frac{(S_f - S_i)}{S_i}$$

soit $H_f = H_i \left(1 - \frac{S_f - S_i}{S_i}\right)$.

Ayant déterminé H_f , on peut calculer t_f à partir de la formule que nous avons établie au début de ce travail

$$H(t)_{(dm)} = a \left(1 - e^{-\left(0,015 + \left(\frac{t}{119}\right)^{0,83}\right)}\right)$$

On obtient $t_f = 119 \left(0,015 - \ln \left(1 - \frac{H_f}{a}\right)\right)^{\frac{1}{0,83}}$

D'où finalement la durée entre les 2 éclaircies $\Delta t = t_f - t_i$

Exemple de la Gardiole de Rians : On part d'un peuplement pour lequel après l'éclaircie précédente, on a : $H_i = 6,8$ m
 $s_i = 28$.

On veut récupérer la totalité de la variation du facteur d'espacement, c'est-à-dire retrouver le s d'avant l'éclaircie,

soit un espacement $sf = 21$.

$$\text{On a donc } H_f = 6,8 \left(1 - \frac{21-28}{28}\right) = 8,5 \text{ m}$$

l'indice de croissance du peuplement étant de 198, on en déduit t_f .

$$t_f = 119 \left(0,015 - \ln\left(1 - \frac{85}{198}\right)\right) \frac{1}{0,83} = 61 \text{ ans.}$$

La durée entre les deux éclaircies est donc de 28 ans

$$\text{puisque } t_i = 41-8 = 33 \text{ ans}$$

Exemple de Pourrières : Le peuplement de départ présente les caractéristiques suivantes :

$$H_i = 7,2 \text{ m}$$

$$S_i = 26$$

$$a = 197$$

Avant l'éclaircie précédente le facteur d'espacement était de 20. On juge ce peuplement trop serré, et on préfère revenir à un espacement de 22.

Dans ces conditions, H_f vaut :

$$H_f = 7,2 \left(1 - \frac{22-26}{26}\right) = 8,3 \text{ m}$$

D'où $t_f = 59$ ans, et une durée entre les deux éclaircies de 20 ans puisque $t_i = 44-5 = 39$ ans

3.3. Regénération

Sur le terrain, nous avons constaté que les taillis de chêne pubescent fructifiaient très jeunes (30-40 ans). De nombreux semis âgés d'un ou deux ans ont d'ailleurs pu être observés.

Toutefois, nous n'avons que rarement rencontré de plantes plus âgées sous les peuplements de chêne pubescent, alors qu'en bordure, celles-ci abondaient fréquemment. Il est possible (mais cela reste à prouver) qu'il y ait un phénomène d'antagonisme hormonal ou une légère modification de l'humus qui empêche le développement des semis.

Cette éventualité pourrait entraver la régénération par semis naturel. Une parade à cet inconvénient serait le passage par un stade intermédiaire où l'on substituerait une autre

espèce au chêne pubescent (probablement un résineux), sur des bandes comprenant quelques lignes de plantation, afin que le chêne pubescent se régénère sous le peuplement néoformé.

Si cette hypothèse est fautive, ou dans les peuplements pour lesquels elle ne s'applique pas, on conduira les formations jusqu'au stade de la futaie.

Une fois le stade de la futaie atteint, la régénération risque d'être entravée par les buissons qui couvrent le sol si ceux-ci sont trop denses ; on aura donc intérêt à les éliminer lors des coupes d'ensemencement. MORANDINI (1981) -16- estime que l'on peut obtenir la régénération par coupes progressives qui sont conduites en principe par bouquets ou sur des surfaces limitées ; la période de régénération couvre 30 ans au moins.

Ce problème devra faire l'objet d'études approfondies en temps utile.

4. Balivage

Le balivage tel qu'il est pratiqué actuellement, qui consiste à garder, au moment de la coupe, une centaine de tiges à l'hectare est à proscrire. Les brins réservés y sont le plus souvent victimes de forts dessèchements de cimes, et une grande part d'entre eux disparaît avant la fin de la révolution suivante.

5. Enrichissement du taillis

Selon l'objectif que l'on se fixe, ce traitement est applicable à différentes classes de fertilité.

5.1. Introduction de feuillus précieux

L'objectif est la production de bois de qualité ; on doit donc réserver cette technique aux seuls endroits où cet objectif est réalisable, c'est-à-dire en classe I et dans la moitié

supérieure de la classe II ($H_{30} > 9$ m). On pourra implanter du noyer, du frêne, ou certains érables.

On utilisera de préférence des grands plants, une distance de 7 à 8 m étant maintenue entre chacun d'eux.

5.2. Introduction de résineux

On pourra envisager l'objectif production, quand l'essence que l'on désire introduire se trouve dans une de ses meilleures classes de fertilité. Dans ce but, on pourra consulter avec profit les études réalisées par le CEMAGREF (ou en cours de réalisation) sur l'écologie des principales essences de reboisement (cèdre, cyprès, pin pignon, pin laricio, sapins méditerranéens, ainsi que celles menées par l'INRA sur l'utilisation de l'eau par les différentes espèces.

Il est fort probable que cet objectif soit limité aux classes I et II du chêne pubescent. L'enrichissement du taillis se fera par bouquets d'une dizaine d'ares.

Pour les essences colonisatrices (cèdres, sapins), on pourra installer des bandes de dissémination, bien situées, perpendiculaires à la direction du vent dominant.

6. Transformation

La substitution par plantations est une technique très coûteuse, surtout en région méditerranéenne ; elle ne doit donc être entreprise que sur des stations ayant une fertilité correcte ($H_{30} > 7$ m), afin que les chances de réussite soient sérieuses. Le choix des essences devra se faire en fonction de leur écologie (études CEMAGREF) et INRA. Dans tous les cas un calcul de rentabilité, même sommaire, serait le bienvenu pour justifier l'opération.

Du point de vue esthétique, les bandes en courbes de niveau seront préférées à celles dans le sens de la pente ou en épis.

7. Aménagement cynégétique

L'aspect cynégétique n'est pas à négliger, de nombreuses communes y restent très attachées. On peut conseiller de maintenir le régime du taillis sur la majorité des parcelles, afin de ménager des aires de repos et de reproduction, et d'en convertir, ou tout au moins d'en laisser vieillir quelques-unes, afin d'obtenir des aires de gagnage, les vieux arbres isolés produisant des glands en grande quantité, et l'éclaircissement provoquant la prolifération des graminées.

8. Aménagement trufficole

La trufficulture est évidemment d'un bien meilleur rapport que la récolte du bois. Toutes les zones où la truffe est présente doivent être protégées. De plus, il pourrait être envisagé d'introduire des plants mycorhizés (produits par l'INRA) dans les zones favorables, ou, plus simplement, d'introduire des mycéliums (à étudier). Les principaux obstacles sont de nature socio-économique : ce sont le caractère "souterrain" de l'économie trufficole et le "braconnage" des truffières artificielles.

9. Aménagement sylvopastoral

Là encore, on dispose de peu de résultats bien que des essais soient en cours. L'objectif forestier est la réalisation d'un pré-bois assez clair, atteint par le biais d'éclaircies qui doivent permettre d'accroître la production consommable par les ovins et les bovins (glands et herbe).

Aucun résultat chiffré ne permet actuellement de juger l'influence du pâturage sur l'arbre, mais il semble que le troupeau par son action mécanique de débroussaillage et surtout par l'apport de fertilisants (urines et fèces) exerce une influence favorable sur la production de bois (ALEXANDRIAN, THIAULT).

Cette pratique ne devra cependant être mise en oeuvre que si l'on est sûr d'une fréquentation régulière et à long terme du troupeau, car l'abandon de ces peuplements fortement ouverts les mettrait en situation difficile vis à vis du problème des incendies.

En définitive, il est clair que le choix entre ces divers scénarios d'aménagement doit tenir compte non seulement des potentialités de la station et des caractéristiques du peuplement mais aussi des objectifs du propriétaire (Etat, commune ou privé) et de ses moyens d'action et de financement.

CONCLUSION

Nous disposons à l'heure actuelle de très peu de données sur la sylviculture à appliquer aux taillis de chênes méditerranéens en général. Les quelques observations réalisées au cours de cette année de travail sur le chêne pubescent ne nous permettent évidemment pas d'apporter une réponse définitive à cet épineux problème.

Nous n'avons pas abouti à des règles de sylviculture précises, mais nous avons mis au point une méthode d'observation simple permettant d'établir, par l'intermédiaire d'un indice de croissance et de courbes de croissance liées à cet indice, un pronostic sur l'avenir d'un taillis de chêne pubescent.

Diverses méthodes ont été testées pour l'élaboration de ces courbes de croissance.

Aucune d'entre elles n'est totalement satisfaisante, la première (ajustement de courbes dans le nuage de points âge x hauteur) étant biaisée par la grave sous-représentation des peuplements élevés et âgés, la seconde (utilisation des analyses de tiges manquant de fondements mathématiques).

C'est finalement une procédure mise au point par tâtonnements, et développée à l'aide d'artifices informatiques qui a été retenue, avec pour seule justification le fait que les équations de courbes obtenues s'adaptent remarquablement aux courbes de croissance réelles que représentent les analyses de tiges.

Cet argument nous a paru déterminant, mais il est fort possible que la même technique appliquée à une autre essence se révèle inefficace.

Comme nous l'avons souligné tout au long de ce travail, plusieurs points nous engagent à utiliser ces courbes de croissance avec prudence. Citons tout d'abord la qualité de notre échantillonnage, qui est assez discutable puisque les classes I et III sont très déséquilibrées ; ceci est particulièrement alarmant pour la classe I qui ne comporte que 10 placettes ; il serait judicieux de préciser l'aspect des courbes de cette classe par le relevé de quelques placettes supplémentaires.

Ensuite, se pose le problème de l'identité du matériel de mesure en tout point de l'aire d'étude, une différenciation d'écotypes ayant pu se produire. L'hypothèse selon laquelle il y a eu sélection spontanée de l'écotype le mieux adapté à la station n'est pas forcément vraie, l'installation du chêne pubescent ne remontant qu'à quelques millénaires et l'action anthropique ayant été très forte.

Ce fait n'est pas le plus gênant, puisque même pour un matériel génétiquement homogène, un autre facteur intervient, l'état de l'ensouchement, qui selon certains auteurs influe sur la vitesse de croissance et la hauteur finale du taillis, les diminuant d'autant plus que le nombre de révolutions supporté par la souche augmente.

Ce dernier point est crucial, puisqu'il signifie que la hauteur dominante n'exprime plus alors toutes les potentialités de la station. L'indice de croissance issu de cette méthode ne représente donc pas toujours la fertilité de la station, mais plutôt une "fertilité minimum" (la fertilité d'un ensouchement rajeuni et, peut-être d'un écotype plus approprié étant supérieure).

Afin de pallier cet inconvénient nous avons mis au point une autre technique qui ne fait intervenir que les facteurs écologiques relevés sur le terrain. Il s'agit du "procédé de segmentation" qui, à partir d'un arbre dichotomique permet de prévoir l'indice de croissance d'une station.

Pour avoir l'estimation définitive de cet indice, nous proposons donc l'approche suivante :

. Sur le terrain, relever la hauteur dominante et l'âge (à partir de carottes de sondages ou de rondelles), mais aussi les facteurs écologiques principaux, c'est-à-dire ceux qui ressortent dans la segmentation et l'analyse factorielle des correspondances (en annexe 17 on trouvera un projet de fiche simplifiée).

. De retour au bureau, procéder à l'estimation de l'indice de croissance, d'une part grâce au faisceau de courbes et au couple (hauteur-âge) déterminé sur le terrain, d'autre part, grâce à l'arbre de segmentation et aux variables écologiques.

Si les deux estimations sont assez voisines, le problème est résolu ; on a intérêt à retenir celle issue du faisceau de courbes qui permet directement des prospectives sur l'avenir du peuplement testé.

Si une différence notable apparaît, il faut réfléchir et analyser soigneusement le cheminement de la segmentation. Il est en effet fort probable que cette différence soit due à un facteur très favorable, ou très défavorable non pris en compte dans ce cheminement, ce facteur pouvant être soit naturel (microclimat favorable ou non favorable, carence chimique du sol...) soit anthropique (feu, pratiques sylvicoles ayant entraîné une dégradation de la qualité de l'ensouchement...).

Si le facteur en cause est un facteur naturel, nous sommes en présence d'un phénomène de compensation d'influence : l'indice retenu sera toujours celui issu du faisceau de courbes. Citons 2 exemples extrêmes pour illustrer ce paragraphe.

Prenons le cheminement de la segmentation le plus défavorable. L'estimation donne un indice très mauvais ; supposons maintenant qu'une source surgisse à proximité. Cette magnifique alimentation en eau est escamotée par le cheminement. L'estimation issue de la hauteur dominante est bien évidemment plus optimiste et c'est elle qu'il faut retenir.

Envisageons maintenant le cas d'une station située au bout du cheminement le plus favorable, mais où on observe une déficience en azote ou en phosphore. La hauteur à 30 ans prédite par la segmentation est évidemment supérieure à celle que l'on obtient à partir du faisceau de courbes et du couple hauteur-âge

mesuré sur le terrain ; c'est pourtant ce dernier indice qui est le bon.

Si le facteur influent n'est pas une variable du milieu l'indice retenu sera celui issu de la segmentation ; le plus souvent, il s'agira d'un facteur défavorable, produisant une baisse de la hauteur mesurée sur le terrain (ensouchement épuisé, attaques de parasites, coup de gel, éclaircie trop forte ayant provoqué une descente de cimes...).

En complément à cet indice, nous avons établi une typologie sommaire de ces taillis de chêne pubescent. Cette typologie est valable pour les peuplements dans leur état actuel, c'est-à-dire pourvus d'ensouchements plus ou moins dégradés. Il est possible, sinon probable, qu'un renouvellement des enracinements provoquerait une augmentation des caractéristiques dendrométriques qui suivent :

Classe	Hauteur dominante (m) à 30 ans	Volume (m ³ /ha) (d < 4cm) à 30 ans	Accroissement moyen (m ³ /ha/an) (d < 4cm) à 30 ans	Surf.terrière (m ² /ha) à 30 ans
4	3-5,5	18-51	0,6-1,7	8-14
3	5,5-8	51-84	1,7-2,8	14-20
2	8-10,5	84-117	2,8-3,9	20-26
1	10,5-13	117-150	3,9-5	26-32

Rappelons que les hauteurs dominantes représentent des minima tandis que les valeurs rapportées à l'hectare sont des maxima concernant des peuplements idéaux quasiment complets : si les peuplements à caractériser présentent des trouées et des clairières, ces valeurs doivent être diminuées proportionnellement aux superficies occupées par celles-ci.

Tous ces chiffres sont nettement inférieurs à ceux cités par FERNANDEZ (1977) -9- à la suite d'une étude menée sur une petite région, les hautes garrigues du Montpelliérais.

Cette différence peut s'expliquer :

- essentiellement par un climat plus humide régnant sur sa zone d'étude ;
- éventuellement par la différenciation d'un écotype à croissance rapide donnant des arbres plus élancés que ceux que nous

avons rencontrés ;

- éventuellement enfin, par une meilleure qualité de l'appareil racinaire, due à des habitudes de coupes différentes de celles de la Provence, ou à un meilleur recrutement de brins de franc-pied, lié lui-même à des facteurs écologiques plus favorables aux plantules.

Compte tenu de l'ensemble de ces données, des objectifs de gestion, et des moyens financiers disponibles, le forestier peut alors choisir entre plusieurs scénarios d'aménagement :

- vieillissement du taillis sans intervention,
- maintien du taillis,
- conversion en futaie sur souches,
- enrichissement du taillis, en feuillus précieux, ou en résineux,
- transformation des taillis en futaie résineuse,
- aménagement sylvopastoral,
- aménagement cynégétique,
- aménagement trufficole.

Il ne s'agit là que d'une première approche, pragmatique, du problème. Pour aller plus loin, il faudrait, par ordre de priorité :

- mettre au point des technologies d'utilisation du bois de chêne pubescent, et étudier la qualité des bois vis à vis de ces utilisations,
- étudier la réponse à l'éclaircie de ces taillis,
- étudier la régénération par semis naturels des futaies sur souches, ou des taillis vieilliss,
- enfin, étudier les techniques de coupe du taillis en liaison avec la physiologie des souches.

**Etablissement de classes de croissance
des peuplements de chêne pubescent
en Provence.**

Analyse de leurs facteurs explicatifs

2

(Annexes)

Mémoire de 3ème année de l'E.N.I.T.E.F. présenté par Yvon DUCHE

Septembre 1983

TABLE DES ANNEXES

	Pages
1	Bibliographie 2
2	Climogramme d'Emberger 23
	Répartition des placettes sur l'aire d'étude 24
3	Fiche de relevés et manuel de codification 25
4	Normalité des résidus des régressions âge-hauteur 35
5	Calcul des paramètres de la régression sériée 40
6	Méthode de cubage des brins de l'échantillon 41
7	Précision du cubage des brins de l'échantillon ... 42
8	Caractéristiques dendrométriques des peuplements inventoriés 43
9	Quelques données sur les variables écologiques peu explicatives 44
10	Analyse des combinaisons de facteurs 47
11	Analyse factorielle des correspondances entre les facteurs du milieu et les 176 relevés : descrip- tion des plans factoriels 1-2, 1-3, 2-3 50
12	Méthode de segmentation 54
13	Répartition des placettes des groupes finaux de la segmentation en fonction de l'indice de croissance 55
14	Validité de la segmentation : régression des hau- teurs observées sur les hauteurs prévues par la segmentation 60
15	Analyse factorielle des correspondances entre les plantes et les 176 relevés :
	- liste floristique des 6 groupes formés 61
	- description du plan factoriel 1-2 62
	- Projection des placettes sur l'axe factoriel 1-2 63
16	Méthode de calcul de l'information mutuelle 64
17	Projet de fiche de mesures simplifiée 66
18	Résumé de l'étude 68

ANNEXE 1

BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie a été établie à la demande du CEMAGREF par Mme L.-M. Joffre. Elle est extraite de l'ouvrage suivant :

JOFFRE, L.-M., 1983 : Propositions pour une méthode d'étude des peuplements de chêne pubescent, Publication limitée, CEMAGREF, Aix-en-Provence, février 1983, 73 p.

Les ouvrages effectivement consultés sont précédés d'une croix.

- AKMAN Y. 1972. The vegetation of Beynam forest. Com. Fac. des Univ. Ankara, C, vol. 16, pp. 29-53.
- ALEXANDRIAN D. 1979. Premiers résultats d'un essai de fertilisation dans le périmètre D.F.C.I. du massif de Fontfroide, Aude. Rev. For. Franç., 31, 6, pp 482-490.
- I + ALEXANDRIAN D. 1979. Les reboisements en chênes méditerranéens. Bull. Techn. O.N.F., n° 10, pp 17-30.
- ALEXANDRIAN D., BENOIT DE COGNAC G., GUET M., ILLY G., THIAULT M. 1980. Forêt et pâturage. Reflexions pour la forêt méditerranéenne. B.T.I. 347-348, 147-159.
- ALLAG F., HETIER J-P., MECHAIN A. 1981. Bases cartographiques pour la mise en valeur des garrigues GARD-HERAULT. 40 p. Minist. Agric. AREEAR Languedoc-Roussillon. IARE.Montpellier.
- AMORINI E., FABBIO G., GAMBI G. 1979. Sistema di diramento del bosco ceduo per l'avviamento all'altofusto. Sperimentazione in prospettiva dell' uso multiplo con il pascolo. Ann. Ist. Speriment. Selvic. vol 10, pp. 3-23.
- ANDRE M., VANNIER P 1977. Un exemple de dynamisme communal : la forêt communale de Grospierre (Ardèche) ou "A chaque habitant, son arbre". Rev. For. Franç., 29, pp. 151-153.
- ARCHILOQUE A BOREL L. DEVAUX J-P. LAVAGNE A. MOUTTE P. et WEISS H. 1970. Vers une caractérisation phytosociologique de la série méditerranéenne du chêne pubescent. Ann. Fac. Sci. Marseille. T. XLIV, pp. 17-42.
- ARMACESCU S., TABREA A. 1972. New studies and data on the mensurational characteristics of Quercus pubescens stands in Rumanian. Revista Padurilor, vol. 87, n° 10, pp. 479-483. (en Roumain).

- AUSSENAC G., CLEMENT A., VALETTE J-C. 1978. Potentiel de séve. Etude de quelques espèces forestières au Mont Ventoux. Campagne 1977. Doc. int. 78.03. 35 p. INRA Avignon.
- AYMARD A. 1967. Remarques sur le boisement des grands Causses dans l'Antiquité. (Discussion de l'article de E. LOIR, 1941). Etudes d'histoire ancienne. Série 'Etudes et Méthodes', 16, pp. 560-572.
- AYMONIN G. 1972. Le Larzac. *Courr. Nat.*, 24, 4, pp. 177-180.
- BALLEYDIER R., BERTRAND J. 1981-1982. La ressource forestière et sa disponibilité. *For. Médit.*, T.III,2,pp. 115-126 et T.IV,1 pp.25-32.
- BARBERO M., BONIN G., du MERLE P., GAMISANS J., GRUBER M., QUEZEL P. VIDAL P. 1980. Les peuplements végétaux de la zone d'étude du Diois-Baronnies. in Structure Dynamique et Utilisation des Formations à chêne pubescent en zone bioclimatique méditerranéenne. Rapport DGRST, pp.9-28.
- BARBERO M. 1980. La Gardiole de Rians. in Struct. Dyn. Util. Form. à Chêne pub. en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 122-128.
- BARRY J-P. 1960. Contribution à l'étude de la végétation de la région de Nimes. *Ann. Biol.*, 36, 7-12, pp. 311-550.
- BECKER M. 1973. Ecophytosociologie et production ligneuse. *Ann. Sci. For.*, 30,3, pp. 287-306.
- BECKER M., Le TACON F., TIMBAL J. 1980. Les plateaux calcaires de Lorraine, types de stations et potentialités forestières. 216 p. Ed. ENGREF. Nancy
- BIBE B., FLAMANT J-C., 1982. L'élevage et le pâturage dans les zones forestières et les parcours en méditerranée. 18 p. à paraître dans R.F.F.

- 2 + BICHARD D. 1982. Essai sur les relations entre milieu et productivité du Chêne vert en Lubéron. Thèse 3^o cycle. Univ. Aix-Marseille. 126 p.
- BILIK G.I., TKACHENKO V.S. 1978. Nouvelles données sur les forêts de chêne pubescent dans la région d'Odessa. *Ukraj. Bot. Zh.*, vol 35, 1, pp.15-18. (en Ukrainien).
- BLONDEL R. 1941. La végétation forestière de la région de Saint-Paul, près de Montpellier. *Mem. Soc. Vaudoise Sci. Nat.*, 46, 80 p.
- BONNEAU M., TIMBAL J. 1973. Définition et cartographie des stations. Conceptions françaises et étrangères. *Ann. Sci. Forest.*, 30, 3, pp. 201-218.
- BOLOS O. de 1973. Observations sur les forêts caducifoliées humides des Pyrénées catalanes. *Pirineos*, 108, pp. 65-85.
- BOSCH G. et M. 1975. Contribution à l'étude des peuplements de Quercus pubescens dans les Hautes Garrigues du Montpelliérais. *Dipl. Ing. Techn. Agric.*, 107 p.
- 3 + BOUCHON J. 1974. Les tarifs de cubage. CNRF. Nancy 57 p.
- 4 + BOUCHON J., RIEDACKER A. 1973 Relations allométriques dans un jeune taillis d'Eucalyptus camaldulensis. Indications pour l'échantillonnage de la biomasse aérienne. CNRF. Nancy. 6p.
- BOUCHON J., OTTORINI J-P., PARDE J., 1981. Contribution à une meilleure connaissance des potentialités ligneuses totales en France à partir des données de "Inventaire Forestier National" 18 p. + annexes INRA-CNRF Champenoux.
- BRAESCO A. 1981. Potentiel de sève, réactions à la sécheresse des cédres, pins et chênes en Provence calcaire. *Doc. Int.* 81/4 27 p. INRA Avignon.
- BRAUN-BLANQUET J. 1915. Les Cévennes méridionales (Massif de l'Aigoual) Etude phytogéographique. Thèse Doct. Sci., 207 p., Univ. Montpellier.

- BRAUN-BLANQUET J. 1947. Le tapis végétal de la région de Montpellier et ses rapports avec le sol. SIGMA n° 94, 11 p. Gard. Rev. For. Franç., 13. pp. 99-114.
- BRAUN-BLANQUET J., ROUSSINE N., NEGRE R. 1952. Les groupements végétaux de la France méditerranéenne. 297 p. Ed. CNRS.
- BULLETIN DE LA CARTE DE LA VEGETATION PROVENCE-ALPES DU SUD. 1974 et sq.. Lab. Phytosocio. et Cartographie Veg. Univ. Prov. Marseille St Charles
- BULLETIN DE VULGARISATION FORESTIERE. 1980. N° Spécial "Pâturage en forêt, 80, 8, 56 p.
- BURNAND J. 1976. Quercus pubescens - walder un ihre okologischen grenzen in wallis (Zentralalpen). Veroffenthichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Ruber, 59, 138 p.
- CALLOT G., BARTHES J-P. 1980. Les systèmes géopedologiques de la zone d'étude du Diois-Baronnies. in Struct. Dyn. Util. Form. à Chêne pub. en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 4-8.
- CAMUS A. 1936. Les Chênes. Ed. Le Chevalier Paris. pp. 263-405.
- CHAMPS J. de 1972. La production des taillis de chataignier. Rapport annuel de l'AFOCEL, pp. 219-278.
- CHARLES J-P. 1981. La chênaie pubescente dans le massif de la Sainte Victoire. DEA Univ. Aix-Marseille. 29p. + annexes.
- CHATIN A. 1873. Le chêne blanc en Provence. Rev. Eaux et For. pp. 297-303.
- CHATIN A. 1875. Le chêne pubescent et la truffe. Rev. Eaux et For. pp. 302-303.
- + CIAMPI C. DI TOMASO P.L., MAFFUCCI C. 1977. Studi morfogenetici sui processi di regenerazione delle ceppaie nel genere Quercus. Annali Accad. Ital. Sci. Forest., 26, pp. 3-11.

- COINTAT M. 1953. Surface terrière des taillis de chêne vert. Rev. For. Franç., 12, pp. 829-831.
- COINTAT M. 1954. La dégradation des forêts dans le département du Gard. Rev. For. Franç., 13, pp. 99-114.
- COLI. 1977. Osservazioni didattico-sperimentali in un bosco ceduo di roverella del Mugello. Gruppo ecologico del liceo scientifico di SansLorenzo Inf. Bot Ital., vol. 9, 3, pp. 270-280.
- COMTE J. 1955. Contribution à l'étude de la végétation forestière dans la Garrigue nimoise. DES Botanique, USTL, 66 p.
- 5 + CORTI R., PAVARI A., 1955. Roverella. Monti e Boschi, 6, pp. 529-538.
- COS de St BARTHELEMY J. du, GUEIT E. 1980. Etude phytohistorique de la commune de Rocbaron Var. in Struct. Dyn. Util. Form. à chêne pub. en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 196-201.
- 6 + CRPF LaNuguedoc-RoUssillon. 1976. Tarifs de cubage pour les taillis de chêne pubescent d'après les données Hérault de l'Inventaire Forestier National. Montpellier 3 p. non publié.
- 7 + CTFT. 1975. Rapport technique de l'inventaire accéléré du potentiel ligneux de 57 départements français. Nogent sur Marne, 71 p.
- DABONNEVILLE C. 1980. Evolution de l'occupation des terres sur une commune du Larzac : Ste Eulalie de Cernon. DEA Ecol. terrestre, USTL Montpellier, 29 p.
- DAGET Ph. 1980. Atlas d'aréologie périméditerranéenne. Nat. monsp., N° Hors-série, 1, 206 p.
- DEBUSSCHE M. 1980. Structure, dynamique et utilisation des formations à chêne pubescent dans les hautes garrigues du Montpellierais. Objectifs de recherche. in Struct. Dyn. Util. Form. à chêne pubescent en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 68-72.

DEBUSSCHE M., LEPART J. 1980. Etude des formations à chêne pubescent au niveau régional. in Struct Dyn. Util. Form. à chêne pub. en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 73-79.

8 + DECOURT N. 1973. Production primaire, production utile. Méthodes d'évaluation, indices de productivité. Ann Sci. Forest. 29, (I), pp. 35-48.

D.G.R.S.T. 1977 et 1980. Rapports de synthèse des interventions présentées lors des réunions sur le programme : Structure, Dynamique et Utilisation des formations à chêne pubescent en zone bioclimatique méditerranéenne. resp. 110 p. et 236 p.

Documents de la carte de la végétation des Alpes, puis Documents de cartographie écologique. 1966 à 1982. vol. IV à XXIV. Lab. de Biol. vég. Univ. Sci et Médicale de Grenoble.

DORVAULT M. 1945. voir le mot "Chêne" in "L'officine". Répertoire général de pharmacie pratique, 649 p.

DUCAMP R., FLAUGERES A., KUHNOLTZ-LORDAT G. 1933. Phytosociologie et Science forestière. Ann. Ec. Agric. Montpellier, XXII, 3 : pp. 217-235.

DUBOIS J-M., 1977. Essais sur taillis de charme dans le NE de la France. 56 p. Annales AFOCEL.

DUGRAND R. 1963. La garrigue montpellieraine. Essai d'explication d'un paysage. 292 p. P.U.F. Paris.

DURAND-TULLOU A. 1977. Problèmes passés et présents du reboisement des Causses. "Causses et Cévennes", 1977, 4, pp. 396-400.

DURAND-TULLOU A. 1980. Problèmes du reboisement. "Causses et Cévennes" 4, pp. 252-254.

ESCARRE J. 1976. Préliminaires pour une étude des formations à Quercus lanuginosa Lamk et Quercus ilex L. dans les Hautes garrigues du Montpellierais. DEA Univ. Sci. et Techn. Languedoc Montpellier, 3 p.

- ESCARRE J. 1979. Etude de successions post-culturelles dans les hautes garrigues du Montpellierais. Thèse 3° cycle Univ. Sci. Techn. Languedoc, 171 p.
- 9 + FERNANDEZ R. 1978. Les peuplements de chêne pubescent des hautes garrigues du Montpellierais. Etude dendrométrique et écologique Mém. 3° année, ENITEF-CNRS CEPE, 41 p.
- FLAUGERES A. 1933. Les forêts du Gard. Le Chêne, 5, pp. 3-51.
- Forêt méditerranéenne. 1982. Documents préparatoires aux rencontres des 14, 15 et 16 Mai à Avignon. 86 p. OREAM Marseille.
- FOURNIER P. 1947. Les Chênes, in Encyclopédie biologique, XXV, pp. 361-368, Ed. Lechevalier.
- FREITAG H. 1975. Zum Konkurrenzverhalten von Quercus ilex und Quercus pubescens unter mediterran-humidem klima. Bot. JB., Vol. 96, n° 1-4, pp. 53-70.
- FREZET D., TESSIER L., GUIOT J., PONS A., SERRE F. 1980. Dendro-climatologie de Quercus pubescens de la montagne de Saint Maurice et de la forêt de Bourdeaux-Bois de Vache (Drome) in Struct. Dyn. Util. Form. Chêne pubescent Zone Bioclimat. médit. Rapport DGRST pp. 31-48.
- FRON A. 1923. Sylviculture 335 p. Encyclopedie agricole
- GAMBI G. 1971. Esperienza di concimazione in foresta. Ann. Ist. Sper. Selv. II, pp. 163-199.
- GAJARDO-MICHELL R. 1979. Dynamique récente de la hêtraie du Caylar. DEA Univ. Sci. Techn. Languedoc, Montpellier, 20 p.
- 10+ GARBAYE J., LEROY Ph., LE TACON F., LEVY G. 1970. Réflexions sur une méthode d'étude des relations entre facteurs écologiques et caractéristiques des peuplements. Ann. Sci. Forest., 27 (3), pp. 303-321.

- GEMMIL B. 1979. Radial growth of Californica Black Oak in the San Bernardino Mountains. in Proceed. of the Symp. Ecology, Management and Utilization of California Oaks, Claremont, California.
- GODRON M. 1977. Deux hypothèses sur l'évolution de la végétation en Bas-Languedoc. Ann. Soc. Hort. Hist. Nat. Hérault ; 118, 1, 1978.
- GONNET P. 1977. Points de repère sur l'évolution de l'économie rurale en Provence orientale et pays niçois aux 19^e et 20^e siècles. in Struc. Dyn. Util Form. Chêne pubescent en zone bioclimat. Médit. Rapport DGRST, pp. 7-19.
- GONNET P. 1980. Le déclin de l'économie rurale et les problèmes forestiers ; le déclin de l'exploitation du chêne pubescent. Chronologie et concomitances. in Struc. Dyn. Util. Form. Chêne pubescent en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 212-236.
- GRILLAS P. 1980. Structure et phytomasse des taillis de chêne vert Quercus ilex L. Etude de trois stations du Montpellierais. DEA USTL Montpellier, 33 p.
- GRUBER M. 1974. Les forêts de Quercus pubescens et Quercus ro rotundifolia et les garrigues de Quercus coccifera dans les Pyrénées catalanes. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, vol. 110, n° 1-2, pp. 141-156.
- HALL G. 1979. Wood products from California oaks, Cal oak timber company style. in Proceed. Symp. Ecology, Management and Utilisation of Calif. Oaks, Claremont. California. pp. 362-378.
- HERBES M.- C. d'. 1977. Vitesse de cicatrisation dans la séquence à Chêne blanc dans les hautes garrigues du Montpellierais : essai d'applications à quelques types lithologiques. DEA USTL Montpellier.
- HOLYANKO W. S. 1978. Wood flora of the Caucasus forests ; a valuable reserve of genetical plasma, in Proceed. 8th World Forestry Congress, Jakarta.

- 11+ HOUSSARD C. 1979. Etude de la structure de quelques taillis de Chêne pubescent (Quercus pubescens Willd.) de la région des garrigues du Montpellierais. Thèse 3° Cycle, USTL Montpellier, 201 p.
- HOUSSARD C. 1980. Etude de la structure fine de quelques taillis de chêne pubescent. in Struct. Dyn. Util. Form. à chêne pubescent en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 87-90.
- HOUSSARD C, ESCARRE J. 1981. Mesures de la quantité relative de feuillage par strate dans des taillis de chêne pubescent. Ann. Sci. Forest., 38, 4, pp. 449-468.
- HOUSSARD C., ESCARRE J., ROMANE F. 1982. Méthodes d'étude du couvert de la végétation dans les taillis de chêne vert. Acta ecologica ; Oecologica applicata ; vol. 3, 1, pp. 53-70.
- INSTITUT DES AMENAGEMENTS REGIONAUX ET DE L'ENVIRONNEMENT, 1981. Inventaire des ressources en biomasse transformable en énergie calorifique. Département de l'Hérault, 88 p. Montpellier.
- ILLY G. 1972. Orientations régionales de production de la forêt privée. C.R.P.F. Languedoc Roussillon, 164 p.
- ILLY G. 1975. Les forêts en Languedoc-Roussillon. C.R.P.F. Languedoc roussillon, ronéo, 7 p.
- ILLY G., 1978. La forêt dans l'économie de la montagne languedocienne C.R.P.F. Languedoc-Roussillon, 8 p.
- ILLY G., NEVEUX M. 1979. Orientation de la production forestière privée méditerranéenne. Forêt méditerranéenne, I, 1, pp. 31-36.
- 12+ Institut pour le Développement Forestier - C.T.G.R.E.F. 1978. Les exigences écologiques de la forêt méditerranéenne. Dossier phase III, 20 p. + 5 annexes.
- Institut pour le Développement Forestier. 1979. Le balivage. 35 p. Paris.

- JAKUCS P. 1972. Dynamics association of forests and grasslands : quantitative and qualitative studies on the synecological, plant sociological and structural relations of the forest margin. En Allemand. Akademiai Kiado. 228 pp., Budapest.
- JICINSKA D., KONCHOVA M.,- N. 1979. Flowering and fertilization process in european Sambucus and Quercus species. Proceed. Symp. on Flowering and Seed development in Trees. Starkville, Mississippi, USA. Southe. For. Exp. Station, pp. 103-111.
- JOLAIN R. 1961. Essai sur les taillis de chêne vert et de chêne pubescent. Rev. For. franç., 2, pp. 81-89.
- JOUBERT A. 1930. Les essences : le Hêtre, le Chêne-rouvre, le Chêne pubescent, le Chêne yeuse. in Enseignements de la forêt de Valbonne. Imp. Dehan. Montpellier, pp. 141-147.
- JULIAN M., MARTIN J. 1980. Contribution géomorphologique à l'étude des substrats, des formations superficielles et des sols en milieu calcaire méditerranéen dans le domaine des formations à chêne pubescent. in Struct. Dyn. Util. Form. à chêne pubescent en zone bioclimat. médit. Rapport DGRST, pp. 131-147.
- 13+ KAZARJAN V. O., et al. .Le vieillissement des plantes supérieures. 194 p.
- KEAYS J.L. 1971. Complete tree utilization : an analysis of the literature. Forest Product Lab. Canadian Forestry Service. Vancouver B.C. 5 fasc., 400 p.
- KER J.W. 1952. An evaluation of several method of estimating site-index of immature stands. Forest Chron. 28-3, pp. 63-74.
- KESTEMONT P. 1971. Productivité primaire des taillis simples et concept de nécromasse. in UNESCO Productivité des écosystèmes forestiers. Actes du colloque de Bruxelles (1979).
- KESTEMONT P. 1971. Biomasse et productivité aérienne d'un taillis de Chênes et Bouleaux riches en Stellaires et Violettes du bois de Rope (Orchimont). Bull. Soc. Roy. belge, n° 104, 91 p.

- KESTEMONT P. 1971. Recherches sur l'écosystème forêt. Série F, les taillis simples de l'Ardenne. Contribution n° 1 et 2, Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique, n. 104, pp, 91-102 et 103-113.
- KESTEMONT P. 1975. Biomasse, nécromasse et productivité aérienne ligneuse de quelques peuplements forestiers en Belgique. Thèse, Bruxelles, 334 p.
- KIELHAUSER G. 1939. Zûr ôkologie des Quercetum galloprovinciale pubescentosum. Ost. Bot. Zeitschrift, 1/88 ; pp. 24-42.
- KONONOV V. N., SHABANOVA G.A. 1972. La végétation de la steppe arborée a Quercus pubescens Willd. et sa sauvegarde (en russe). Okrana Prirody Moldav., SSSR, n° 10, pp. 107-119.
- KUHNHOLTZ-LORDAT G. 1957. La végétation de la garrigue. Ann. Soc. Hort. Hist. nat. Hérault, pp. 5-14.
- KUHNHOLTZ-LORDAT G. 1958. L'écran vert. Mém. Mus. nation. Hist.nat., B, 276 p.
- LAFOUGE R. 1964. Le taillis sous futaie et ses problèmes. Publication ENGREF, ronéo, 51 p.
- LANIER L. 1978. Facteurs d'un choix pour une méthode visant à améliorer le taillis sous futaie en France. Symp. Régén. Trait. Forêts feuillues de qualité en zone tempérée, 11-15 Sept 1978, CNRF Nancy, 9 p.
- LAPIE G. 1928, La sylviculture française de la région méditerranéenne. Annales ENEF, 2,I, pp. 36-104.
- LE FLOC'H E, LONG G., POISSONET J., GODRON M. 1972. Cartographie de la végétation et de son écologie, in Atlas du Languedoc Roussillon, Berger-Levrault Ed., Paris, 1 notice 57 p. + Cartes.
- LOISEL R. 1976. La végétation de l'étage méditerranéen dans le Sud Est continental Français. Thèse Univ. Aix-Marseille III, 384 p.
- MAC DONALD Ph. 1979. Growth of thinned and unthinned hardwood stands in Northern Sierra Nevada. in Proceed. Symp. Ecol., Manag. Utiliz. of California Oaks, Claremont, California pp. 119-128.

- MAGLOCKY S. 1978. Comparative study of eco climatic conditions in plant associations on the Boroviste hill. *Biologia, Czechoslovaquia* vol, 33, n° 4, pp. 333-341. (en slovaque).
- MANIGLIER V. 1979. Problèmes posés par l'application de la tele-détection à l'étude des bois de Chêne blanc des garrigues du Montpellierais. DAA Rennes. 106 p.
- 14+ MARSTEAU Ch. 1979. Structure, dynamique et mise en valeur forestière d'une zone à Chêne pubescent. Mémoire ENITEF, 92 p.
- MARSTEAU Ch. 1980, La forêt de la Gardiole de Rians, Var. in Struct. Dyn. Util. Form. Chêne pubescent en zone bioclimat. médit, Rapport D.G.R.S.T., pp. 114-121.
- MATHEY A. 1929. Traité théorique et pratique des taillis. Ed. M. Villaire, Le Mans, 355 p.
- MER E. 1907. Influence de l'éclaircie des cépées sur la croissance des rejets. *Rev. Eaux et Forêts*, pp. 321-342.
- DU MERLE P. 1980. Présentation des études menées dans la région du Diois-Baronnies. in Struct. Dyn. Util. Form. chêne pubescent en zone bioclimat. médit., Rapport D.G.R.S.T., pp. 1-3.
- + METAYER S. 1979. Evaluation de la biomasse aérienne des taillis Etude méthodologique sur trois taillis de Charme, de Chêne et de Bouleau. I/N/R/A/, Stat. Rech. For. et Env., Doc. 79/32, 84 p.
- 15 + MONTGOLFIER J.de, BERTIER P. La forêt méditerranéenne : un patrimoine aux fonctions qui évoluent. *Forêt Médit.*; I, 1. pp. 59-62 ; I, 2, pp. 171-175.
- 16 + MORANDINI R. 1981. Sylviculture des forêts de Chênes méditerranéens, n° spécial "Sylviculture en forêt feuillue", *Rev. For. Franç.*, vol. 33, pp. 138-145.
- 17 + MOUNET J.-P. 1978. Production de quelques écosystèmes à Chêne pubescent. Evaluation de la biomasse des Chênes pubescents. Thèse Spécialité Marseille III, 151 p.

- 18 + MOUNET J. -P., MOUNET-SAULENC H. 1980. Etude de la production du Chêne pubescent et du Pin sylvestre dans le Diois-Baronnies. in Struct. Dyn. Util. Form. chêne pubescent en zone bioclimat. médit., Rapport D.G.R.S.T., pp. 29-30.
- MOOR M. 1976. Systematics of central European broadleaved forests. Schweizerische Zeitschrift für Fortwesen, vol. 127, 5, pp. 327-340. (en allemand).
- NEGRE M. 1931. Forêts et reboisements dans le département du Gard. Rev. Eaux et Forêts, pp. 830-838, 928-940, 1025-1038.
- NIVERT-RIOU Ph. 1978. Etude des critères de choix entre les différentes solutions de mise en valeur des taillis et taillis sous futaie. Mémoire ENITEF 152 p.
- OZENDA P. 1966. Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud. Doc. Cart. Vég. Alp., IV, 1-198.
- 19 + OZENDA P. 1975. Sur les étages de végétation dans les montagnes du Bassin méditerranéen. Doc. Cart. Ecol., XVI, pp. 1-32.
- 20 + PARDE J. 1961. Dendrométrie. 350 p., Ed. ENGREF, Nancy.
- PARDE J. 1977. Biomasses forestières et utilisation totale des arbres. Rev. For. Franç. XXIX, 5, pp. 333-342.
- PARDE J. 1980. Les biomasses forestières. 54 p., INRA-CNRF. Nancy.
- PERRIN H. 1954. Sylviculture tome II, le traitement des forêts. Théorie et pratique des techniques sylvicoles. 411 p. INEF, Nancy
- PONS A., VERNET J-L. 1971. Une synthèse nouvelle de l'histoire du chêne vert (Quercus ilex L.). Bull. Soc. Bot. Fr., 118, pp. 841-850.
- POSTOLAKE G.G. 1975. Parcelle de forêt à Quercus pubescens en Moldavie. Okhrana Prirody Moldav, 13, pp. 81-84 (en Russe).
- 21 + QUEZEL P. 1974. Les forêts du pourtour méditerranéen. UNESCO, Programme "Homme et Biosphère". Com Nat. Fr. MAB, pp. 1-53.

- QUEZEL P. 1976. Les forêts du pourtour méditerranéen : écologie, conservation et aménagement. UNESCO, Note techn. du MAB, 2, pp. 9-33.
- 22 + QUEZEL P. 1979. La région méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. For. Médit., I, 1, pp. 7-18.
- RAPP M. 1969. Apport d'éléments minéraux au sol par les eaux de pluviollessivage sous des peuplements de Quercus ilex L., Quercus lanuginosa Lamk et Pinus halepensis Mill. Oecol. Plant., IV, pp. 71-92.
- REVUE FORESTIERE FRANCAISE. 1954. Numéro spécial consacré aux problèmes de l'équilibre agro-sylvo-pastoral. N° 12.
- RIEDACKER A. 1959. Méthodes indirectes d'estimation de la biomasse des arbres et des peuplements forestiers. C.N.R.F., Nancy, 24 p.
- 23 + RIEDACKER A. 1972. Physiologie des souches d'Eucalyptus camaldulensis traitées en taillis au Maroc ; le problème de leur vieillissement. C.N.R.F. Nancy (Champenoux). 151 p.
- 24 + RIEDACKER A. 1973. Influence du traitement en taillis sur la croissance et la morphogenèse aériennes et souterraines d'Eucalyptus camaldulensis Dehn. au Maroc. Fac. Sci. Clermont Ferrand, Thèse, 122 p.
- RIEDACKER A. 1973. Les taillis d'Eucalyptus au Maroc. Ann. Rech. For. au Maroc, Tome 13, pp. 155-352.
- 25 + RIEDACKER A. sd. Physiologie des souches d'Eucalyptus camaldulensis traitées en taillis, au Maroc : le problème de leur vieillissement. in Compte rendu du 7° Congrès. For. Mondial, pp. 1868-1875.
- ROUSSEAU Th. vers 1890. Notice forestière sur le département de l'Aude. 99 p.
- ROUSSEL L. 1961. Physiologie comparée du Chêne vert et du Chêne pubescent. Rev. For. Franç., pp. 634-637.

ROUSSEL L. 1978. Influence de quelques facteurs naturels sur la naissance et le développement de gourmands et des rejets de souche. Congrès nat. Soc. Sav., Nancy, Sciences, fasc. I, pp. 181-188.

SAINT QUIRIN 1904 à 1906. Les verriers du Languedoc de 1290 à 1790. Soc. Languedoc. Géographie. Bull, XXVII, pp. 177-198 ; 285-326 ; XXVIII : 35-86 ; 166-204 ; 265-290 ; 339-384 ; XXIX : 35-83 ; 149-203.

SALANON R, TAUZER D. 1980. Aperçu synthétique sur l'organisation phytosociologique de la chênaie pubescente dans le Sud-Est méditerranéen français. in Struct. Dyn. Util. Form. Chêne pubescent en zone bioclimat. médit., Rapport D.G.R.S.T., pp. 148-158.

SAPORTA G. de. 1877. Etude des Chênes européens. Rev. Eaux et Forêts, 16, pp. 98-101.

26 + Service de l'Inventaire Forestier National. Résultats départementaux et cartogrammes de types de peuplements.

27 + Service de la carte de la végétation. Cartes au 1/20000. C.N.R.S. Editeur.

Service Régional d'Aménagement Forestier de la Corse. SODETEG. 1981-1982. Elements pour un zonage agro-sylvo-pastoral de la Corse. Cartes au 1/25000.

SHELYAG-SOSONKO YU, R. 1975. Les forêts de chênes à Quercus pubescens Willd. du Sud-Ouest de l'Ukraine. Ukrajin. Bot. Zhur., SSSR, vol. 32, n° 1, pp. 109-112. (en Ukrainien).

STAMOU N. 1981. Le taillis simple de Chênes en Grèce et ses traitements futurs. Aspects économiques, conversion, enrésinement. Forêt Médit., III, 2, pp. 155-160.

STASZKIEWICZ J. 1977. The systematic position of Quercus pubescens from the forest steppe reserve at BIELINEK on ODER, based on biometrical analysis of the leaves. Fragmenta Floristica et Geobotanica, vol. 23, n° 3/4, pp. 259-275 (en polonais).

- Symposium on the Ecology, Management and Utilization of California Oaks. 1979. Claremont, California. Proceedings. Gen. Techn. Rep. PSW-44, 368 p. U.S.D.A. Forest Service. Berkeley, Cal.
- TAUZER D. 1979. La chênaie pubescente et ses relations floristiques avec divers groupements sylvatiques dans le sud-est méditerranéen français. Etude phytosociologique et syntaxonomique par application de méthodes d'analyse multivariée. Thèse 3^e cycle. Univ. Marseille, 87 p. + annexes.
- THIAULT M. 1981. Paul, Jean, Jacques, la forêt et les autres. Forêt médit., III, 1, pp. 65-69.
- TIMBAL J. 1975. Chorologie des espèces ligneuses françaises. 1. Essences indigènes de la zone méditerranéenne française. C.N.R.F. Champenoux. 91 p.
- TIMBAL J. 1982. La typologie et la cartographie des stations forestières en France. Application aux forêts méditerranéennes. Forêts médit., IV, 1, pp. 5-13.
- TOMASELLI R. 1973. La végétazione forestale d'Italia. Collana verde, 33 pp. 25-53. 2 cartes au 1/2000000.
- TOTH J. 1973. Première approche de la production potentielle du Cèdre de l'Atlas dans le sud de la France. Rev. For. Franç., 25, pp. 381-389.
- TRABAUD L. et al. 1973. Notice des cartes à grande échelle des formations végétales combustibles du département de l'Hérault. Doc. n° 68, C.N.R.S. - CEPE, Montpellier, 36 p.
- 28 + TRIAT-LAVAL H. 1979. Histoire de la forêt provençale depuis 15000 ans d'après l'analyse pollinique. Forêt médit., I, 1, pp. 19-24.
- T'VOV P.L. 1974. Les forêts de Chênes et les peuplements très clairs de Quercus pubescens Willd. au Daghestan. Bot. Zh., vol 59, 1, pp. 53-61. (en russe).
- ULARU P. 1976. Quercus pubescens Willd. dans les monts Persani (Roumanie). Noutati Econ. Forest., 18, pp. 67-72. (en roumain).

- USECHE L. 1976. Quelques observations sur la croissance de Quercus lanuginosa Lamk. DEA USTL Montpellier, 36 p.
- VALETTE J.-C. 1981. Comportement hydrique du Cèdre, des Chênes et des Pins méditerranéens. Doc. Int. 81/1 INRA Avignon, 43 p.
- VERNET J.-L. 1975. Changements dans la végétation au nord de l'Hérault, du Néolithique au bronze ancien, d'après les charbons de bois de la grotte de Camprafaud. Ann. Soc. Hort. Hist. Nat. Hérault, 115, 2.
- VERNET J.-L. 1980. La végétation du bassin de l'Aude, entre Pyrénées et Massif central, au Tardiglaciaire et au Postglaciaire d'après l'analyse anthracologique. Rev. Paleobot. Palyn., 30, pp. 33-55.
- VIDAL J.-P. 1979. Eléments historiques et bases phytoécologiques pour une étude de la croissance du Chêne pubescent au bois de la Rouvière (Hérault). DEA USTL Montpellier, 38 p.
- VIDAL J.-P. 1980. Eléments historiques et bases phytoécologiques pour une étude de la croissance du Chêne pubescent au bois de la Rouvière. in Struct. Dyn. Util. Form. Chêne pubescent en zone bioclimat. médit., rapport D.G.R.S.T., pp. 84-86.
- VITKO K.R. 1976. Processus dynamiques dans les forêts à Quercus pubescens en Moldavie. Bot. Zh., 61, 8, pp. 1066-1076. (en russe).
- 29+ VUILLEMIN J. 1980. Etude expérimentale de la régénération de deux chênes méditerranéens, Quercus pubescens et Quercus ilex. Recherches d'indicateurs du développement des semis. Ecophysiologie comparée des deux espèces. Thèse 3^e Cycle Univ. Aix-Marseille. 126 p. + ann.
- 30 + VUILLEMIN J. 1980. Etude de quelques problèmes liés à la régénération naturelle des chênes méditerranéens. in Struct. Dyn. Util. des Form. à chêne pubescent en zone bioclimat. médit. rapport DGRST, pp. 159-169.

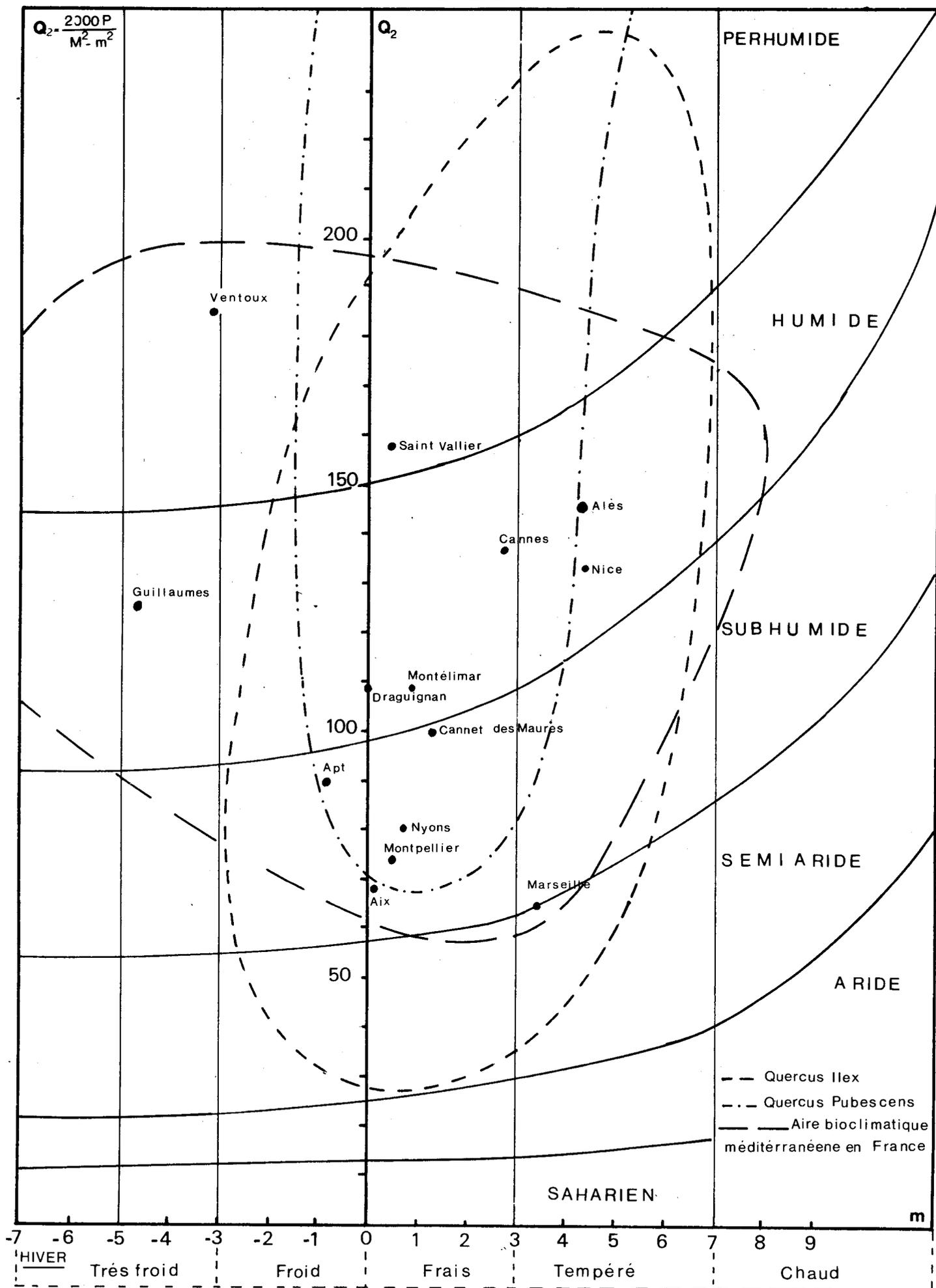
YOUNG E. 1978. Forest biomass inventory, in Proceedings of complete tree utilisation. Symposium of Southern Pine. New Orleans.

ZULUETA J. 1980. Recherches en vue de l'amélioration des pâturages dans les forêts de Quercus pyrenaica et Quercus faginea en Espagne. 8p. INIA, Madrid.

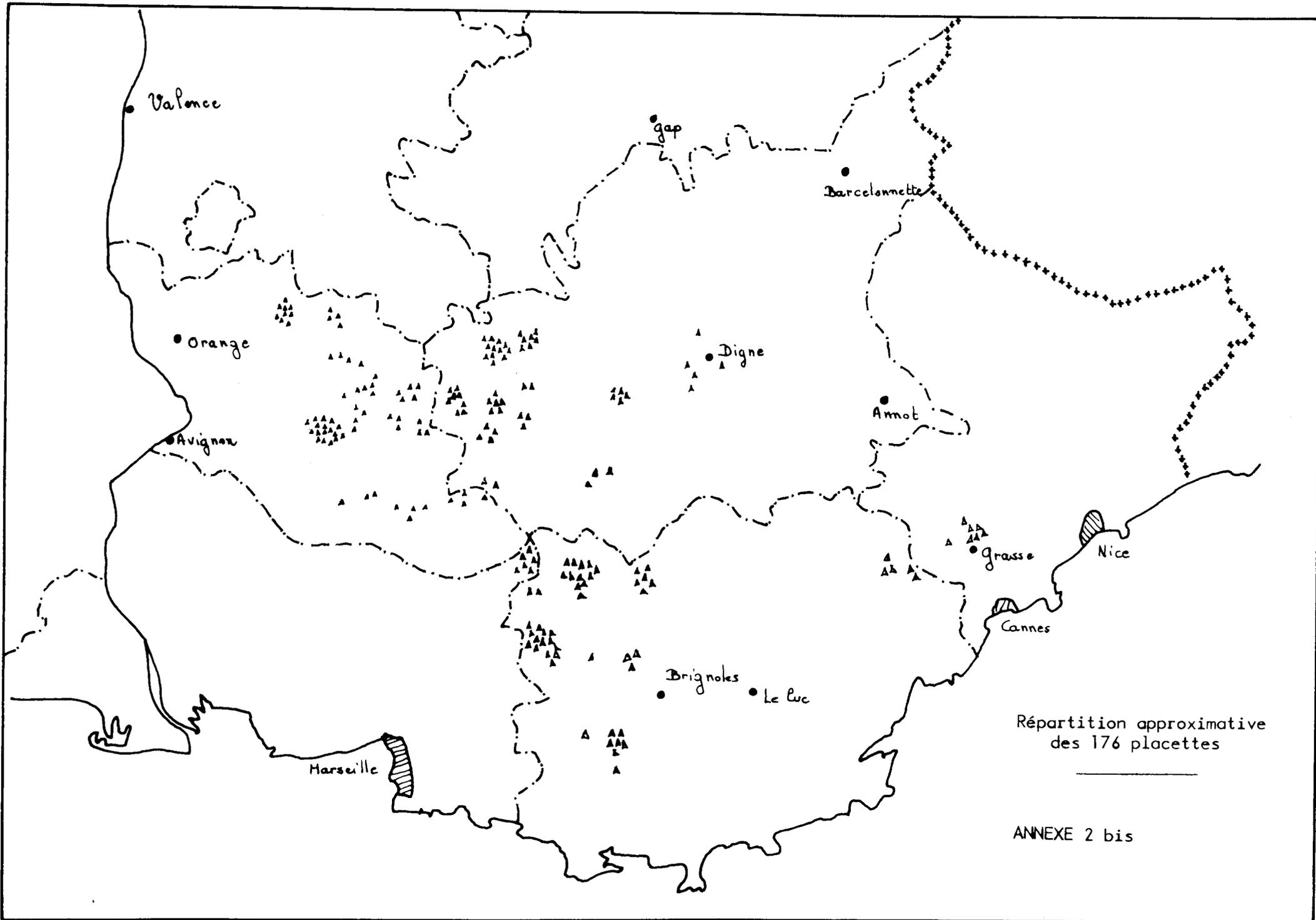
LISTE DES OUVRAGES TECHNIQUES CONSULTÉS

- 31 BARTET J.-H. et BOLLIET R. 1976. Méthode utilisée pour la construction de tables de production à sylviculture variable. Section technique de l'ONF, Document n° 76-9, 90 p.
- 32 BECKER M. 1979. Indices de climat lumineux combinant pente et exposition. Bulletin d'écologie, 1979, tome 10-2, pp. 125-137.
- 33 BRUCIAMACCHIE M. 1982. Structure, croissance et biomasse des régénérations naturelles de chêne rouvre. Mémoire 3ème année, ENITEF-INRA CNRF, Champenoux, pp. 10-11 et 15-16.
- 34 CABANNES B. et ROLLAND M. 1981. Méthode simple pour l'estimation d'un taillis. Forêts de France, n° 247, août-septembre 1981, pp. 44-47.
- 35 CABANNES B. et ROLLAND M. 1982. Enquête sur les possibilités d'amélioration des taillis de châtaigner en Languedoc-Roussillon, Bulletin de la vulgarisation forestière, n° 82-4, juillet-août 1982, pp. 19-32.
- 36 DECOURT N., GODRON M., ROMANE F., TOMASSONE R. 1969. Comparaison de diverses méthodes d'interprétation statistique de liaison entre le milieu et la production du pin sylvestre en Sologne. Annales des sciences forestières, vol. 26-4, pp. 413-443.
- 37 DECOURT N. 1973. Protocole d'installation et de mesure des placettes de production semi-permanentes. C.N.R.F. INRA, Champenoux, 25 p.
- 38 DUPLAT P. et BOLLIET R. 1979. Production de l'épicéa dans le sud du massif central. Section technique de l'ONF, Document 79-1, 87 p.

- 39 F.A.O. Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers. Vol. 2 : Etude et prévision de la production, 1980, pp. 49-76.
- 40 LEMOINE B. 1981. Application de l'analyse factorielle à l'étude de la croissance en hauteur des arbres : exemple du pin maritime. Annales des sciences forestières, vol. 38-1, pp. 31-53.
- 41 LEMOINE B. 1982. Croissance et production du pin maritime. I. Recherche d'un modèle et d'une méthode. Annales des sciences forestières, vol. 39-4, pp. 321-353.
- 42 OTTORINI J.-M., NYS C. 1981. Application des données de l'inventaire forestier national à l'étude de la production du pin sylvestre en Margeride. Etude de la croissance en hauteur. Annales des sciences forestières, vol. 38-2, 1981, pp. 223-236.



Amplitude de la répartition bioclimatique des espèces sur le climagramme d'EMBERGER (d'après QUEZEL, 1976)



Répartition approximative
des 176 placettes

ANNEXE 2 bis

ANNEXE 3

FICHE DE RELEVÉ

ET MANUEL DE CODIFICATION

LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION

Le protocole d'étude est largement inspiré de celui de l'IFN et de celui de l'étude sur l'écologie du cyprès et du pin pignon.

1) Situation

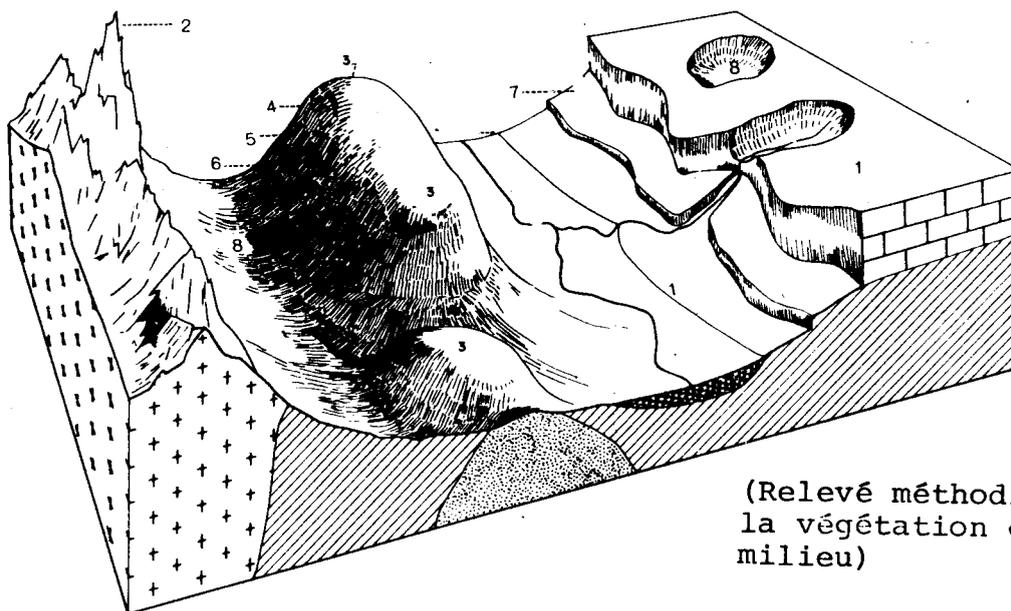
Le numéro du département précède le numéro d'ordre de la placette.

- . Le premier chiffre est
 - 1 si la placette a été repérée à partir des données de l'IFN
 - 2 si elle a été repérée autrement.
- . Le lieu dit, la localisation et l'accès sont remplis de manière à ce que la placette puisse être retrouvée le plus facilement possible.
- . Les régions IFN sont numérotées à l'intérieur de chaque département à l'aide du code IFN.
- . La distance au littoral est mesurée sur la carte au 1/100 000 ; elle est exprimée en kilomètres.
- . La latitude et la longitude sont également mesurées sur carte, et elles sont exprimées en grades.

2) Station

- . Altitude : elle est exprimée en m, et provient d'une extrapolation à partir des courbes de niveau de la carte IGN (1/100 000).
- . Topographie : (voir également le schéma). On considère le relief moyen autour de la placette d'étude :
 - (1) Plat : surface de pente inférieure à 3 % (plateau ou plaine)
 - (4) (5) (6) Versant : surface de pente supérieure à 3 %. De haut en bas on distingue le haut de versant (4), la mi-versant (5), le bas de versant (6).
 - (2) (3) Sommet (2) ou croupe (3) séparent 2 vallées ou thalwegs, ils diffèrent par leur forme plus ou moins aigue.
 - (7) Replat : surface de pente faible séparant 2 versants à pente assez forte.

- (8) Dépression : Relief généralement concave, la dépression est souvent le fond d'un thalweg de dimension modeste.
- (9) Anciennes restanques.
Banquette artificielle située à flanc de versant, autrefois utilisée en agriculture.



(Relevé méthodique de la végétation et du milieu)

- . Exposition : Elle est notée à l'aide d'une boussole. Pour un terrain plat on code toutes expositions (9).
- . Pente : Elle est mesurée à l'aide d'un clisimètre sur une distance d'environ 50 m sur la ligne de plus grande pente traversant la placette d'étude.
- . Confinement : c'est la pente p' de la direction du "faîte moyen" du versant opposé. On entend par "faîte moyen" la "moyenne" des points les plus élevés sur ledit versant, végétation comprise.
- . Indice de rayonnement global : il est calculé à l'aide d'abaques à partir de la pente de l'exposition et du confinement.

3) Lithologie

- . Affleurement rocheux : C'est un affleurement de la roche-mère en place. Un pourcentage d'affleurement sur la placette est estimé à l'oeil.

. Nature de la roche : Elle est relevée à partir des cartes géologiques au 1/50 000 ou 1/80 000 du BRGM et vérifiée sur le terrain.

. Pendage des couches : Il est dit :

- conforme s'il a le même sens que la pente du terrain,
- inverse s'il a le sens contraire à celui de la pente du terrain,
- parallèle s'il est intermédiaire.

Dans le cas d'un terrain plat, le pendage est conforme ou inverse suivant que les couches sont horizontales ou non.

. Réaction de la roche-mère à l'acide chlorhydrique ; elle est effectuée à partir d'une solution décimolaire.

4) Sol :

. Fissuration de la roche-mère : Elle est estimée à l'aide d'une canne pédologique d'un mètre, infiltrée dans toutes les directions, ou sur un profil (fosse ou talus).

. On appelle dépôt récent tout matériau transporté sur lequel on ne distingue pas de pédogénèse, ou sur lequel une partie de la pédogénèse est antérieure au transport.

. 5 sondages à la tarière à vis hélicoïdale de 3 cm de diamètre sont effectués au hasard sur la surface de la placette jusqu'à ne plus pouvoir s'enfoncer.

. On considèrera comme cailloux toutes les fractions minérales supérieures à 1 ou 2 cm.

Les cailloux en affleurement désignent les cailloux en place et affleurants. L'estimation du pourcentage est faite à l'oeil sur toute la placette.

Le pourcentage de cailloux dans le sol est apprécié dans un cube de 20 cm d'arête creusé à la pioche.

Le pH et la texture sont pris sur le terrain, à 20 cm de profondeur.

La réaction de la terre fine à HCl est faite également sur le terrain à l'aide d'une solution décimolaire.

II. VEGETATION ENVIRONNANTE ET ACCOMPAGNATRICE

Le relevé des espèces est effectué à l'intérieur même du peuplement et ceci pour l'ensemble de la placette. On considère comme espèces dominantes les quelques espèces les plus abondantes sur la station.

Recouvrement :

- . La strate arborescente est constituée des végétaux ligneux de l'étage dominant.
- . La strate arbustive est formée par les ligneux bas et les ligneux arborescents n'appartenant pas à l'étage dominant.
- . La strate herbacée est constituée des végétaux non ligneux. Le recouvrement est estimé en 1/10.

III. ESSENCES FORESTIERES

1) Mesures dendrométriques

- . Surface terrière de la placette : elle n'est mesurée que sur les placettes inventoriées.
- . Nombre de brins de la cépée : Il s'agit de la cépée sur laquelle on a prélevé une tige.
- . L'âge de la tige est égal au nombre de cernes de la rondelle prélevée à 0,30 m ; en effet, on considère qu'un taillis fait une pousse au moins égale à 30 cm dans sa 1ère année.
- . Longueur des n dernières pousses : Sur une branche dominante du houppier, on essaie d'estimer le maximum de limites entre pousses annuelles, à concurrence de 10 et on mesure la longueur de ces n pousses.

REGIONS DE L'INVENTAIRE FORESTIER NATIONALBouches-du-Rhône

- 1 Chaînon calcaires méridionaux
- 2 Plateaux de Provence
- 3 Côteaux de Basse Durance
- 4 Bassin de l'Arc
- 5 Plateau de Lambesc-Arbois
- 6 Comtat
- 7 Alpilles
- 8 Plaine de la Crau
- 9 Camargue

Var

- 1 Préalpes de Haute Provence
- 2 Plans et piémont de Haute Provence
- 3 Buttes et plateaux de Haute Provence
- 4 Chaînon calcaires méridionaux
- 5 Maures et bordure permienne
- 6 Estérel
- 7 Dépression varoise

Alpes maritimes

- 1 Haute Tinée
- 2 Haut Var et Var moyen
- 3 Alpes niçoises
- 4 Préalpes de Nice
- 5 Préalpes de Cheiron
- 6 Buttes et plans de Caussols
- 7 Côteaux de Grasse et de Nice

Alpes de Haute Pro-
vence

- 1 Ubaye
- 2 Haut Verdon et haute Bléone
- 3 Gapençais
- 4 Préalpes de Digne
- 5 Préalpes de Castellane
- 6 Collines et plateaux de Valensole
- 7 Côteaux de basse Durance
- 8 Plateaux et monts du Vaucluse
- 9 Montagne de Lure

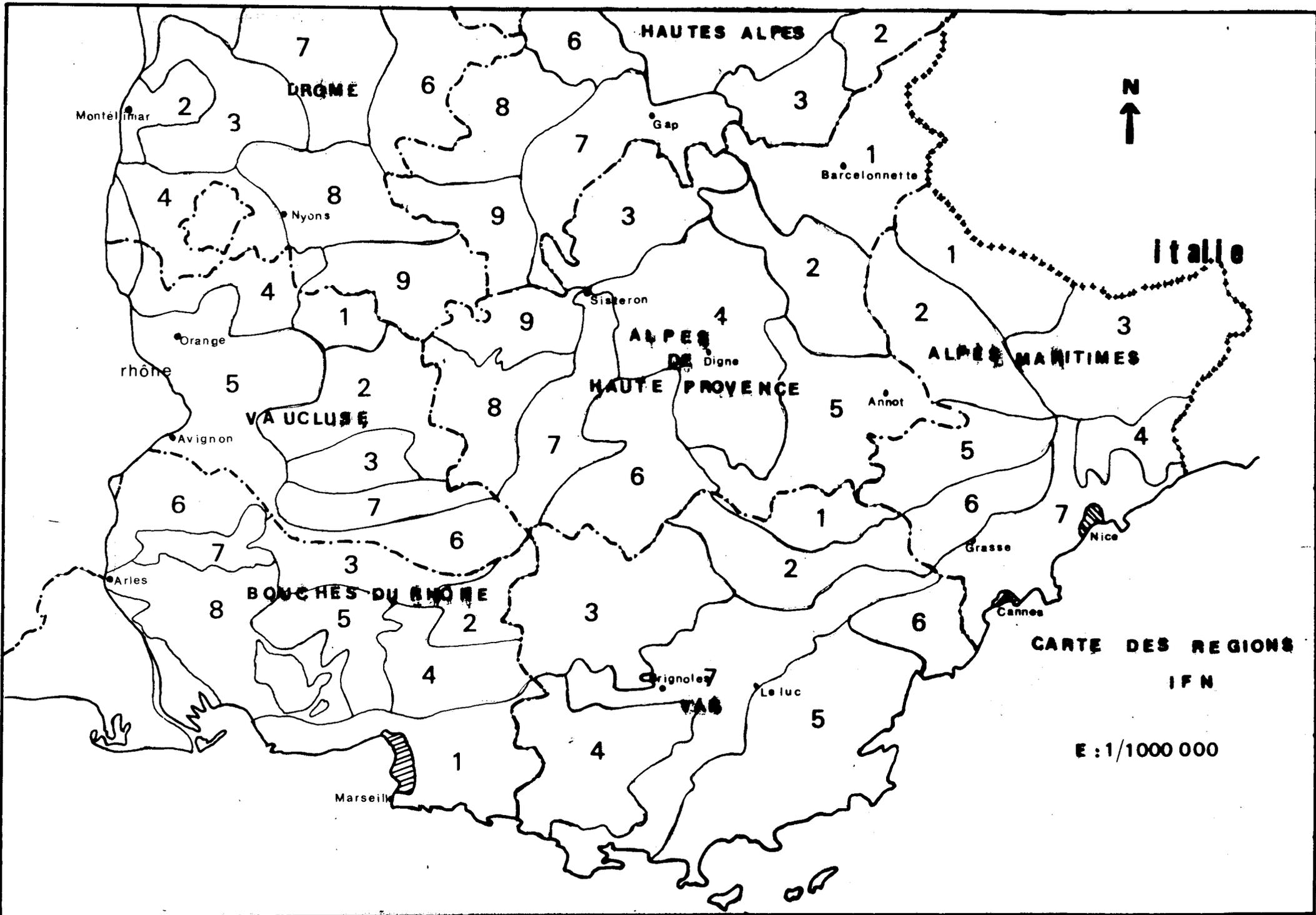
Vaucluse

- 1 Ventoux
- 2 Plateaux et monts du Vaucluse
- 3 Bassin d'Apt
- 4 Tricastin
- 5 Comtat
- 6 Côteaux de basse Durance
- 7 Montagne du Luberon

Hautes Alpes

- 1 Briançonnais
- 2 Queyras
- 3 Embrunais
- 4 Champsaur
- 5 Valgaudemar
- 6 Devoluy
- 7 Gapençais-Laragnais
- 8 Bochaine
- 9 Rosannais

- Région où les taillis de chêne pubescent étaient assez abondants, et où on a installé des placettes.



**CARTE DES REGIONS
IFN**

E: 1/1000 000

LISTE DES 133 ESPECES RENCONTREES (Nomenclature de la flore Coste)

Acer campestre	Hepatica triloba
Acer opalus	Helleborus foetidus
Acer monspessulanum	Ilex aquifolium
Amelanchier ovalis	Jasminus officinalis
Anémone hépatica	Juniperus communis
Aphyllantes monspeliensis	Juniperus oxycedrus
Arbutus unedo	Juniperus phoenicea
Asparagus acutifolius	Koeleria valesiaca
Asparagus albus	Lavandula vera
Asplenium adiantum nigrum	Lavandula latifolia
Asphodelus cerasifer	Leucanthemum corymbosum
Astragalus monspeliensis	Leuzea conifera
Bettonica officinalis	Lonicera etrusca
Beuplerum falcatum	Lonicera implexa
Bonjeania hirsuta	Lonicera xylosteum
Brachypodium phoenicoïdes	Ligustrum vulgare
Brachypodium pinnatum	Mentha sp
Brachypodium ramosum	Odontites lutea
Bromus erectus	Ononis spinosa
Buxus sempervirens	Osyris alba
Calycotome spinosa	Pinus sylvestris
Calluna vulgaris	Phyllyrea media
Catananche coerulea	Phyllyrea angustifolia
Carex glauca	Pistacia therebinthus
Carex halleriana	Poa nemoralis
Carlina corymbosa	Populus tremula
Carlina vulgaris	Potentilla tormentilla
Cerasus mahaleb	Primula officinalis
Cistus albidus	Prunus spinosa
Cistus monspeliensis	Prunus avium
Cistus saelvifolius	Psoralea bituminosa
Clematis flammula	Quercus cocciferae
Colutea arborescens	Quercus ilex
Coronilla emerus	Quercus suber
Coronilla minima	Rhamnus alaternus
Corylus avellana	Rhamnus infectoria
Cornus sanguinea	Rosmarinus officinalis
Cotinus coggygria	Rosa arvensis
Crataegus monogyna	Rubia peregrina
Cytisus monspessulanum	Rubus sp
Cytisus sessiliflorus	Ruscus aculeatus
Dactylis glomerata	Sambucus nigra
Daphné gnidium	Satureia montana
Daphné laureola	Sedum annopetalum
Dorycnium pentaphyllum	Seseli montanum
Euonymus europeus	Smilax aspera
Euphorbia characias	Sorbus aria
Euphorbia cyparissias	Sorbus aucuparia
Euphorbia nicaensis	Sorbus domestica
Euphorbia spinosa	Sorbus torminalis
Erica arborea	Staeblina dubia
Fagus sylvatica	Taxus baccata
Festuca ovina	Teucrium chamaedrys
Fragaria vesca	Teucrium polium
Genista cinerea	Thymus vulgaris
Genista hispanica	Ulex parviflorus
Genista pilosa	Ulmus campestris
Genista scorpius	Viburnum lantana
Hedera helix	Viola silvestris

TYPES DE ROCHE MERE RENCONTRES

- Colluvions sur calcaire compact
- Conglomérat comprenant : - Conglomérat calcaire
 . du miopliocène
 . du miocène
 . pontiques
 - Poudingues de Valensole
- Grès siliceux - Grès vert de l'albien
 - " du Santonien
- Calcaire en plaquettes - du Barrémien
 - de l'Autherivien
 - du Valanginien
 - du Portlandien
- Calcaire dolomitique du jurassique supérieur
- Calcaire à silex - du Bédoulien
 - du Barrémien de Lure
- Calcaire récifal - du Barrémien
 - à rudistes du Santonien
- Calcaire compact - de Reillane
 - du Stampien de Vachères
 - du Bédoulien
 - du Cénomaniens
 - du Portlandien
 - du Kimméridgien
 - du Callovien
 - du Muschelkalk.
- Marnes - Marnes et calcaires du miocène
 - Marnes consolidées de Viens
 - Marnes non consolidées du Toarcien
- Divers - Schistes
 - Grès calcaire
 - Autres calcaires
 - Diorite
 - Alluvions anciennes.

ANNEXE 4

ANALYSE DE LA NORMALITE DES RESIDUS DES REGRESSIONS AGE-HAUTEUR

Une régression est d'autant plus valable que la distribution de ses résidus (différence entre la valeur observée et la valeur calculée) est proche de celle d'une loi normale centrée. Il convient donc de tester la normalité de cette distribution.

Une méthode (longue, mais précise) consiste à comparer la distribution observée à la distribution théorique à l'aide d'un test du χ^2 (chi-2) aux effectifs.

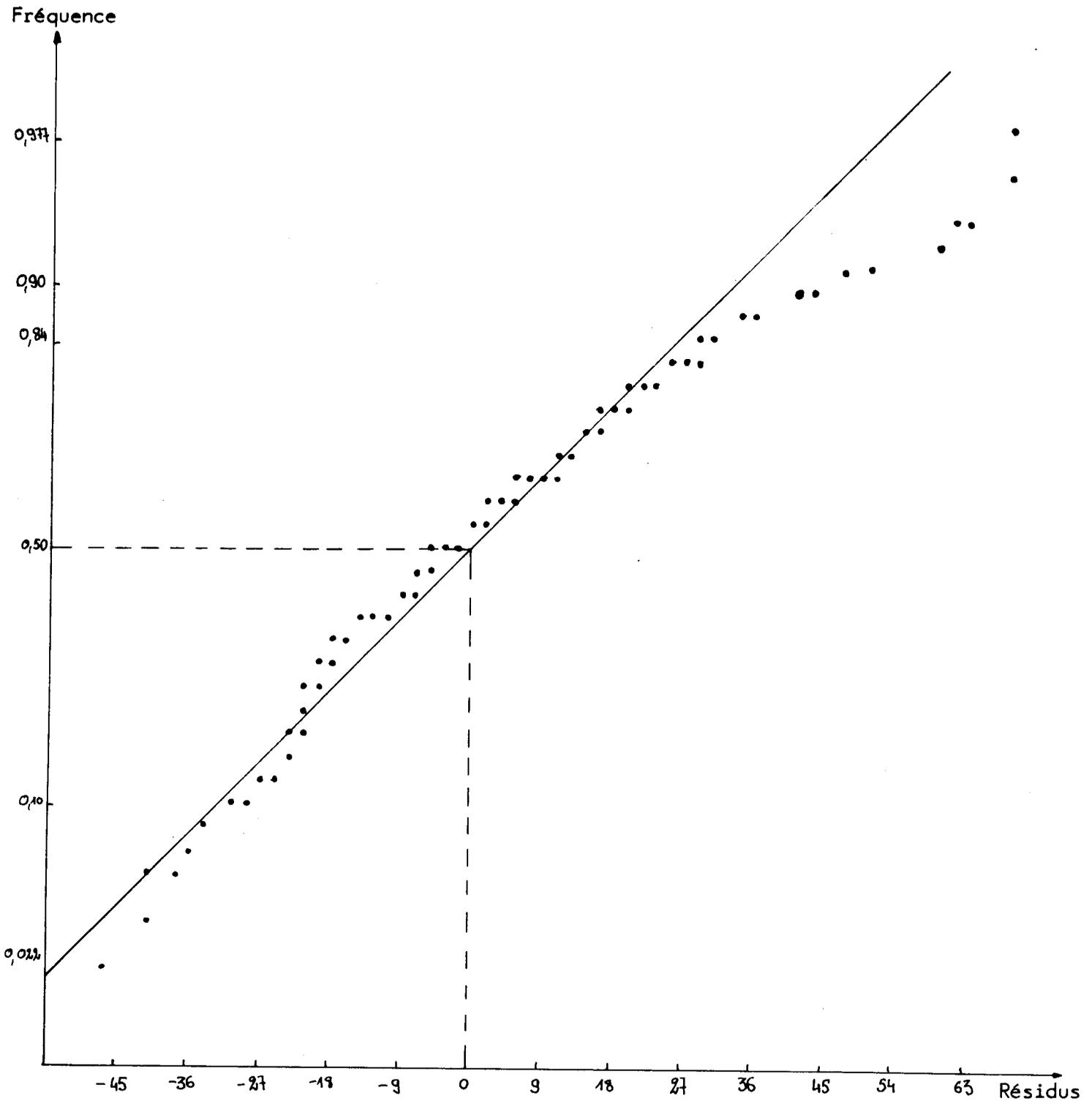
Nous avons employé une méthode graphique, plus rapide, et suffisamment puissante pour une première approximation. Le principe est le suivant :

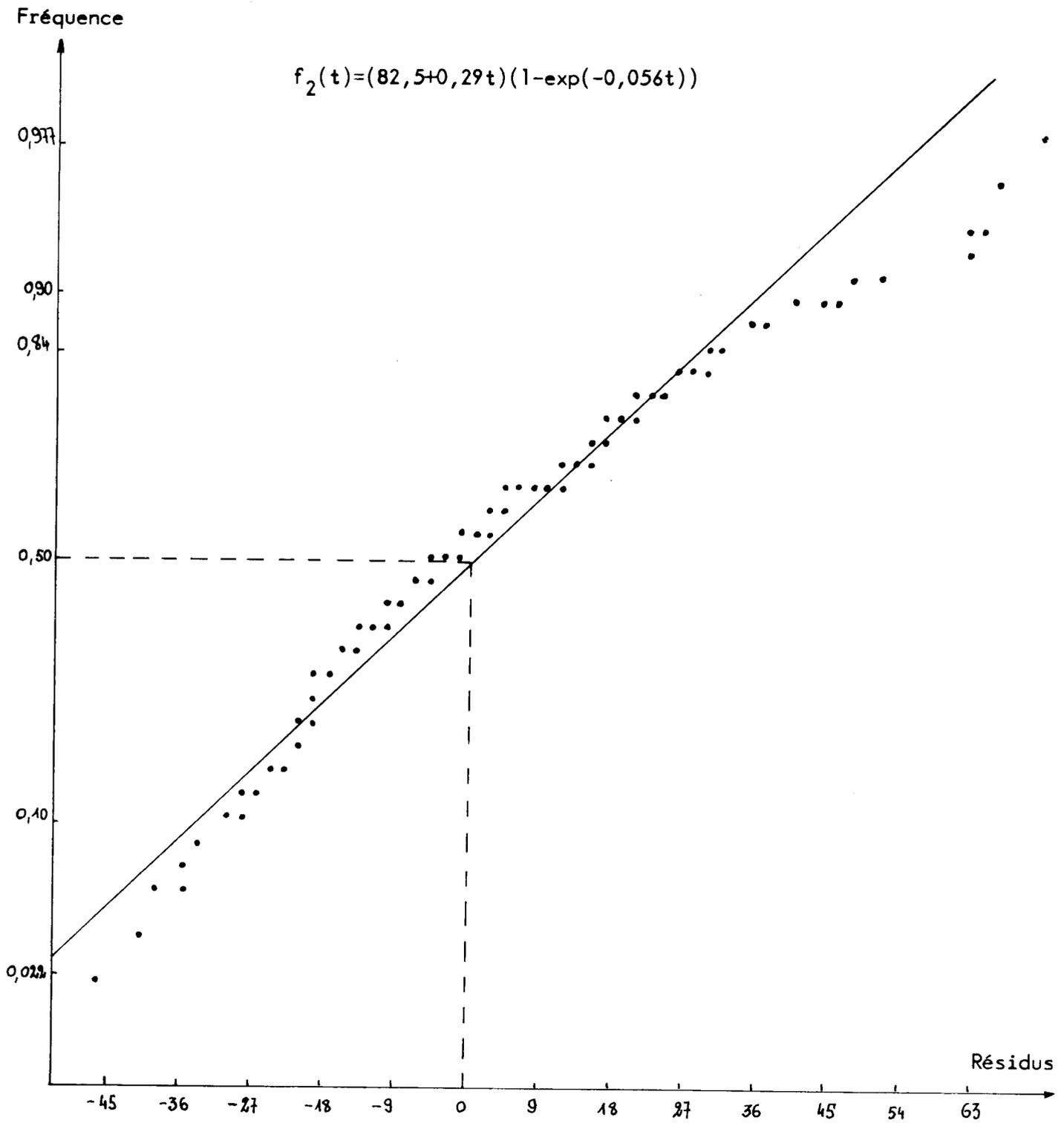
Quand une variable a une distribution normale, sa fonction de répartition est une courbe en S, que l'on peut, par changement d'échelle de l'axe des ordonnées, transformer en droite (dite droite de Henry). On reconnaît donc qu'une distribution est proche de la normale au fait que le graphique, dans ces nouveaux axes, de sa fonction de répartition est sensiblement linéaire.

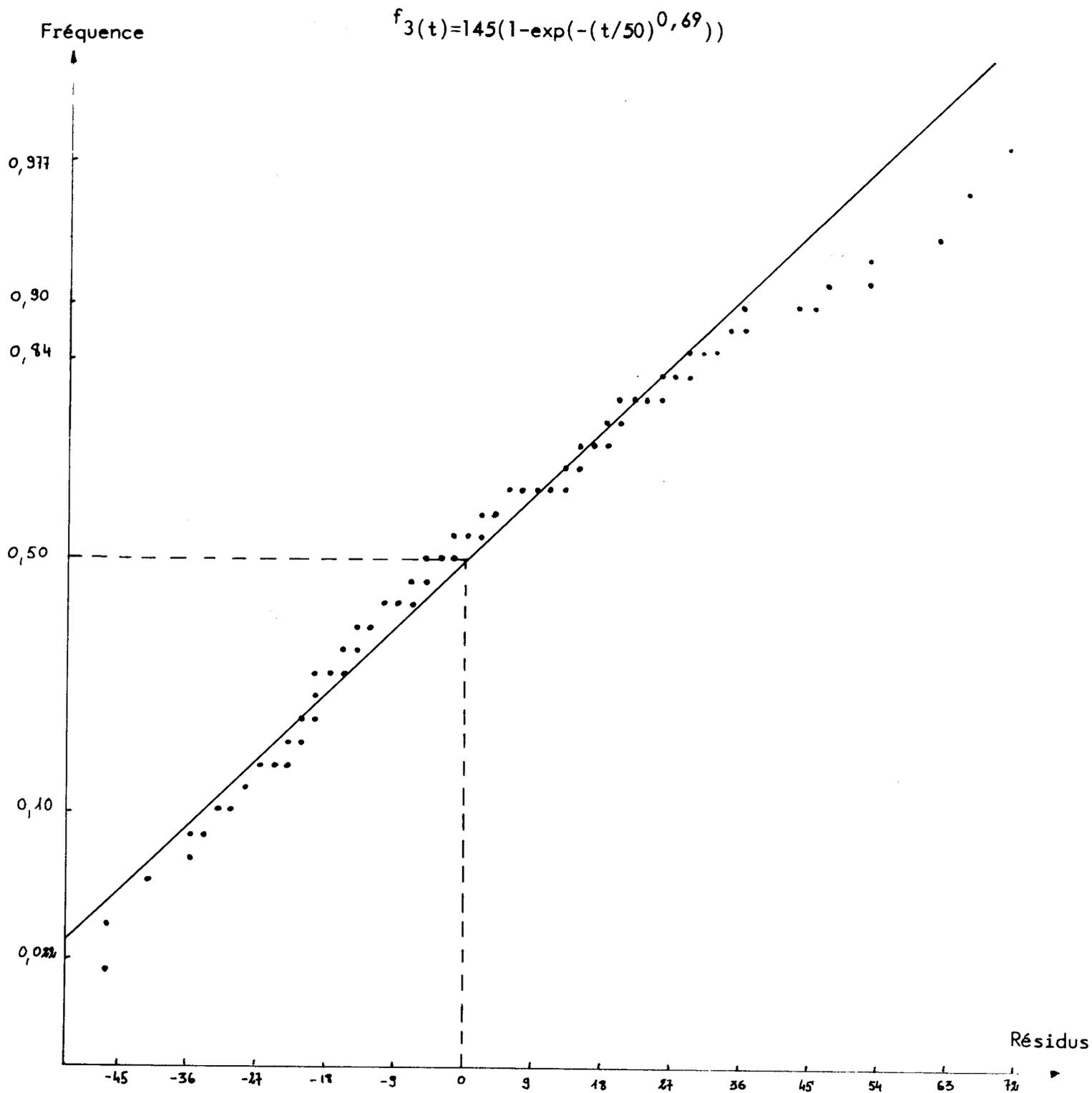
Pour que cette loi normale soit de plus centrée, il faut que pour $F = 0,5$ le résidu soit nul.

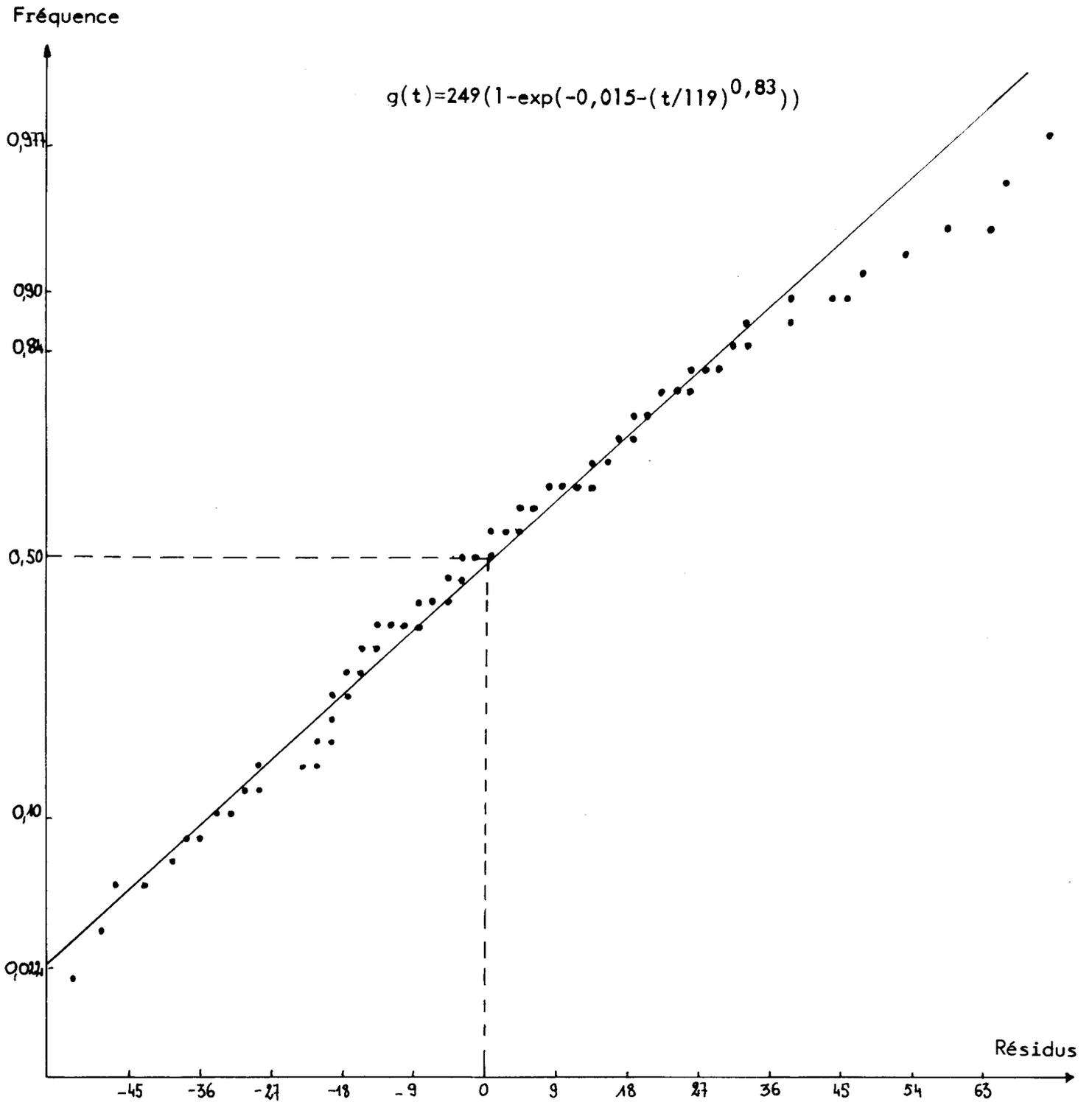
On trouvera ci-après, les graphiques, dans les axes transformés, des distributions des résidus des régressions Age-Hauteur pour les courbes f_1, f_2, f_3, f_4, g .

$$f_1(t) = 106,7 (1 - \exp(-0,0396t))$$









CALCUL DE k, a, b, DE LA REGRESSION SERIEE

Pour chaque analyse de tige i on dispose de 8 ou 9 couples (H_{i,j}; A_{i,j})

H_{i,j} : hauteur de l'extrémité du jème billon de la ième analyse de tige

A_{i,j} : âge à l'extrémité du jème billon de la ième analyse de tige

1) Calcul de k

On pose
$$U_{i,j} = L_n \left[\left(\frac{H_{i,j} - H_{i,j-1}}{A_{i,j} - A_{i,j-1}} \right) \times \left(\frac{2}{H_{i,j} + H_{i,j-1}} \right) \right]$$

il n'y a pas de valeur de U correspondant à la première mesure de hauteur. U_{ij} est le logarithme de l'accroissement moyen annuel relatif en hauteur entre les mesures j-1 et j sur l'analyse de tige i

$$V_{i,j} = L_n (2 / (A_{i,j} + A_{i,j-1}))$$

V_{i,j} est le logarithme de l'inverse de l'âge à mi-période entre les mesures j-1 et j sur la placette i.

La pente de la régression de la nouvelle variable U sur cette nouvelle variable V fournit une estimation de k+1.

2) Calcul de a et b

On effectue la transformation suivante :

$$Y_{i,j} = L_n \left(1 - \frac{H_{i,j}}{3H_m} \right)$$

$$X_{i,j} = (A_{i,j})^k$$

On a alors

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{ni} (X_{i,j} \times Y_{i,j}) - \sum_{j=1}^{ni} X_{i,j} \times \sum_{j=1}^{ni} Y_{i,j} / ni}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{ni} X_{i,j}^2 - \sum_{j=1}^{ni} X_{i,j}^2 / ni}$$

et

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{ni} Y_{i,j} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{ni} X_{i,j} \times \sum_{j=1}^{ni} (X_{i,j} \times Y_{i,j}) / \sum_{j=1}^{ni} X_{i,j}^2}{\sum_{i=1}^m ni - \sum_{i=1}^m \left[\left(\sum_{j=1}^{ni} X_{i,j} \right)^2 / \sum_{j=1}^{ni} X_{i,j}^2 \right]}$$

ANNEXE 6

METHODE DE CUBAGE DES BRINS DE L'ECHANTILLON

La méthode utilisée est celle des billons tronconiques de longueur égale à 1 mètre.

On appelle :

S_i : Surface terrière à i mètre $S_i = \frac{\pi}{4} D_i^2$ en 10^{-4} m²

S_D : " " à la hauteur découpe $S_7 = 49$
 $S_4 = 16$

D_i : Diamètre à i mètre

L_i : Longueur du billon en m

V_i : Volume du billon en 10^{-4} m³

H_D : Hauteur découpe

Pour éviter la surestimation due à l'empatement, on prendra par convention $S_0 = S_{0,3}$ (qui a été mesurée sur le terrain).

Formule du tronc de cône

$$V_i = \frac{L_i}{3} (S_{i-1} + S_i + \sqrt{S_i S_{i-1}})$$

L_i sera égal à 1, sauf pour le dernier billon qui s'achève à la hauteur découpe.

Dans ce cas, le volume du billon vaut :

$$v = \frac{H_D - E(H_D)}{3} (S_D + S_{E(H_D)} + \sqrt{S_D S_{E(H_D)}})$$

On en déduit aisément les volumes aux découpes 7 et 4 de diamètre :

$$V_7 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{E(H_7)} V_i + \frac{H_7 - E(H_7)}{3} (49 + S_{E(H_7)} + 7 \sqrt{S_{E(H_7)}})$$

$$V_4 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^{E(H_4)} V_i + \frac{H_4 - E(H_4)}{3} (16 + S_{E(H_4)} + 4 \sqrt{S_{E(H_4)}})$$

ANNEXE 7

PRECISION DU CUBAGE DES ARBRES ECHANTILLONS

La méthode de cubage par billons de 1 m fait intervenir des surfaces terrières fictives issues de diamètres pris au ruban ; dans le cas d'arbres sensiblement cylindriques, ces surfaces fictives sont très voisines des surfaces terrières réelles, définies comme les projections des sections sur du papier millimétré.

Par contre, pour les brins très irréguliers, il peut y avoir un fort écart.

Le cubage par billons de 1 mètre peut être effectué en utilisant les surfaces terrières réelles, mesurées sur papier millimétré.

Cette méthode a été appliquée à 2 tiges sélectionnées pour leur forme particulièrement irrégulière, que l'on a abattues et sur lesquelles on a prélevé 8 sections.

Soit V_1 le volume obtenu par la méthode classique. (Le ruban doit rester plaqué à l'écorce dans le cas de surfaces réniformes, afin d'assurer l'exactitude de la comparaison).

V_2 le volume obtenu à partir des surfaces mesurées sur papier millimétré.

	V_1	V_2	$\frac{V_1 - V_2}{V_1}$
Brin 1	0,0340	0,0288	15,2 %
Brin 2	0,1105	0,0985	10,9 %

Cette différence est due à l'approximation qui consiste à assimiler la surface "réelle" de périmètre connu, à un cercle ayant même périmètre. Or, à périmètre constant, le cercle est la figure qui délimite la plus grande surface. Le cubage par billons tronconiques conduit donc à une surestimation du volume qui peut atteindre 10 à 15 %, dans le cas d'arbres particulièrement irréguliers.

ANNEXE 8

CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES DES 34 PEUPLEMENTS INVENTORIES

N° de placette	Age	Hauteur m	Densité ($\phi \geq 4$) N/ha	Surface ter. m ² /ha	Volume (dé- coupe 4) m ³ /ha
3	33	5,6	3 100	16,0	56,5
6	34	7,3	3 300	18,7	72,6
13	32	13,7	2 050	30,6	145,6
21	37	11,3	3 100	26,0	119,5
27	32	9,0	2 800	18,4	71,6
30	37	9,2	2 400	21,2	86,9
35	41	6,9	3 400	18,2	67,4
39	35	9,6	4 500	25,4	108,6
44	44	9,6	2 050	21,8	85,8
54	19	5,9	5 950	15,9	72,6
55	55	8,1	1 900	28,5	104,6
58	38	8,5	3 400	20,1	83,3
66	30	10,0	2 250	19,5	89,3
68	33	5,4	2 050	8,0	27,1
71	41	6,4	1 900	9,6	33,9
73	36	9,4	2 200	18,7	111,6
74	35	4,5	830	3,8	11,6
78	38	10,2	2 150	19,8	86,5
83	29	5,2	3 400	13,4	46,5
92	27	7,3	3 900	19,3	79,9
100	31	5,5	3 100	11,8	45,7
105	37	7,5	3 600	24,0	89,7
114	25	6,0	4 100	14,8	59,0
127	97	17,3	700	23,2	163,4
130	40	7,8	4 400	18,7	70,1
131	40	6,8	3 350	16,1	57,3
133	36	10,8	4 800	31,4	158,4
139	39	10,0	5 300	35,6	176,9
149	44	7,2	3 500	22,5	79,6
150	44	7,0	5 600	25,3	97,7
154	27	8,1	4 200	20,2	87,5
168	32	9,4	5 800	23,8	113,0
169	31	8,9	4 700	26,6	114,3
170	38	7,7	3 200	16,1	67,0

ANNEXE 9

QUELQUES DONNEES SUR LES VARIABLES PEU EXPLICATIVES1) Fissuration

C'est un facteur difficile à apprécier sur le terrain, ce qui explique que le plus souvent la fissuration ait été jugée "moyenne" (102 fois sur 176). Nous pensons cependant qu'une meilleure technique de relevé doit permettre de mettre en évidence l'influence de ce facteur.

2) Distance à la mer

La station la plus proche de la mer se trouve à 19 km du rivage (près de Méounes les Montrieux, 83), la plus éloignée à 115 km (Séguret, 84).

3) Latitude

Elle varie de 48,09 grades pour la station la plus méridionale (Méounes, 83) à 50,17 grades pour la plus septentrionale (en forêt communale de Séguret, 84, au Sud de Vaison la Romaine).

4) Longitude

La station la plus occidentale se trouve à 3,42 grades (Séguret, 84), la plus orientale à 5,17 grades (Gourdon, 06 au Nord Est de Grasse).

5) Altitude

Son influence sur la croissance est faible. Il semble cependant que les placettes situées à moins de 400 m soient plus fertiles. Notons que l'on trouve des stations de 210 m (Seillans, 83) à 1200 m (montagne de Lure, 04).

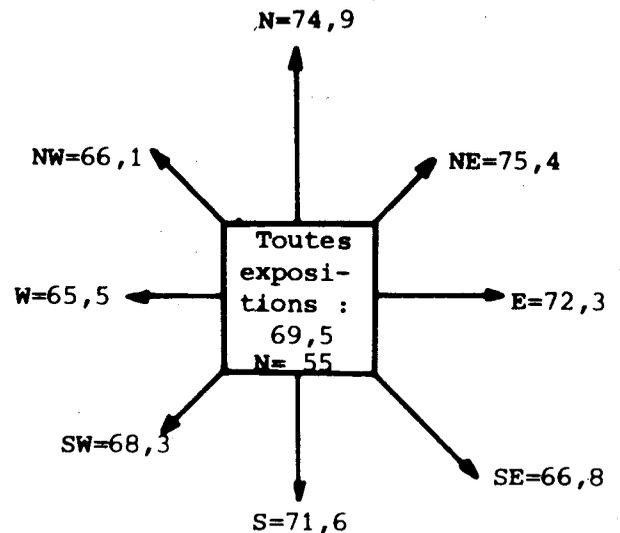
6) pH

Il a été mesuré sur le terrain, à l'aide d'un pHmètre à indicateur coloré.

pH	inf. à 5	5 à 6	6 à 7	sup. à 7
Moyenne de l'indice	79,2	71,7	69,8	68,0

Aucune de ces moyennes n'est statistiquement différente d'une autre les 2 extrêmes ne diffèrent qu'au seuil de 16 %.

7) Exposition



La longueur des flèches est proportionnelle aux effectifs.

8) Confinement

Confinement	0-5 %	5-10 %	10-20 %	20-30 %	> 30 %
Moyenne de l'indice	67,5	71,2	79,2	72	76,1

Aucune de ces moyennes n'est significativement différente des autres à un seuil de probabilité inférieur à 10 %.

9) IRG (Indice de rayonnement global)

Il semble n'avoir aucune influence sur la fertilité.

On trouve des valeurs variant de :

- 0,4 pour les stations les mieux abritées de la lumière (pente forte sur versant nord)
- à 1,1 pour les moins bien abritées (pente < 10 %, en versant sud et confinement faible).

10) Facteurs météorologiques

Nous avons résumé dans le tableau suivant l'amplitude de variation des facteurs météorologiques peu significatifs.

Pluie annuelle	633 à 1165 mm
Pluie du trimestre d'été	85 à 214 mm
Température annuelle	8,9 à 13,7°C
Maxima du mois le plus chaud	24,7 à 39,7°C
Minima du mois le plus froid	-2,7 à 2,5°C
Nombre de mois secs	0 à 3

ANNEXE 10

ANALYSE DES COMBINAISONS DE FACTEURS

Pour chaque case d'un tableau, on trouve la moyenne des indices de croissance suivie de l'effectif (entre parenthèses)
Pour chaque tableau, on a ensuite dressé le tableau réduit.

1) % de cailloux dans le sol x % de cailloux en affleurement

% sol	0-10 %	10-30%	30-60%	60-100%
0-10 %	86 (10)	(0)	(0)	(0)
10-30%	87 (21)	83 (20)	66 (2)	(0)
30-60 %	58,5 (3)	73 (40)	69 (28)	54,5 (1)
60-100%	(0)	65 (3)	60 (19)	54 (18)

	0-10 %	10-30%	30-60%	60-100%
0-10 %	Modalité 1 84,9 (61)			Mo- da- li- té 4 54 (19)
10-30%			Mo- da- li- té 4	
30-60%		lité 2 71,2 (70)		
60-100%	Mo- da- li- té 3	58,1 (26)		

Seuil de significativité inférieur à 10^{-5}

2) Profondeur x % cailloux dans le sol

	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100 %	0-10 %	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100 %
10	(0)	54 (2)	63,9 (14)	54,8 (24)	10cm	Modalité 1			58,3 (46)
10-20cm	(0)	73,4 (5)	71,5 (34)	63 (4)	10-20cm	Modalité 2			72,1 (63)
20-30cm	(0)	74,6 (4)	72,4 (20)	56,5 (2)	20-30cm				
30-40cm	67 (2)	89,5 (16)	102 (1)	(0)	30-40cm	Modalité 3			
40cm	90,8 (6)	90,8 (19)	70 (3)	(0)	40cm	88,4 (47)			

Seuil de significativité inférieur à 10^{-5}

3) Profondeur x % de roche-mère en affleurement

Prof	Aff	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100%		0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100%
10cm		54,8 (18)	61,8 (17)	55 (5)	(0)	10cm	Modalité 1 57,8 (42)			
10-20cm		69,7 (45)	71,8 (6)	63 (2)	(0)	10-20cm	Modalité 2			
20-30cm		74,6 (25)	66,8 (5)	72 (2)	56,5 (2)	20-30cm	69,5 (60)			
30-40cm		87 (19)	(0)	(0)	(0)	30-40cm	Modalité 3			
40cm		90 (27)	76 (3)	(0)	(0)	40cm	83,8 (74)			

Seuil de significativité inférieur à 10^{-5}

4) Fissuration x pendage

Pend	Fiss	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Sans objet		86,7 (7)	79,6 (7)	73,2 (5)	97,6 (3)
Conforme		63,2 (23)	67,2 (56)	82,2 (10)	83,6 (7)
Parallèle		63 (9)	75,2 (37)	81,7 (3)	(0)
Inverse		82,4 (4)	100,5 (2)	(0)	(0)

Seuil de significativité 2,2 ‰

D'autres croisements ont été testés ; certains ne sont pas ou peu significatifs ; c'est le cas de ceux qui suivent :

- pente x pendage : 5,4 %
- pente x confinement : 20,3 %
- exposition x confinement : 43 %

D'autres sont, semble-t-il, significatifs, mais ceci est dû à un trop grand nombre de modalités qui rend les effectifs de chacune d'entre elles trop faible pour que le test soit valide.

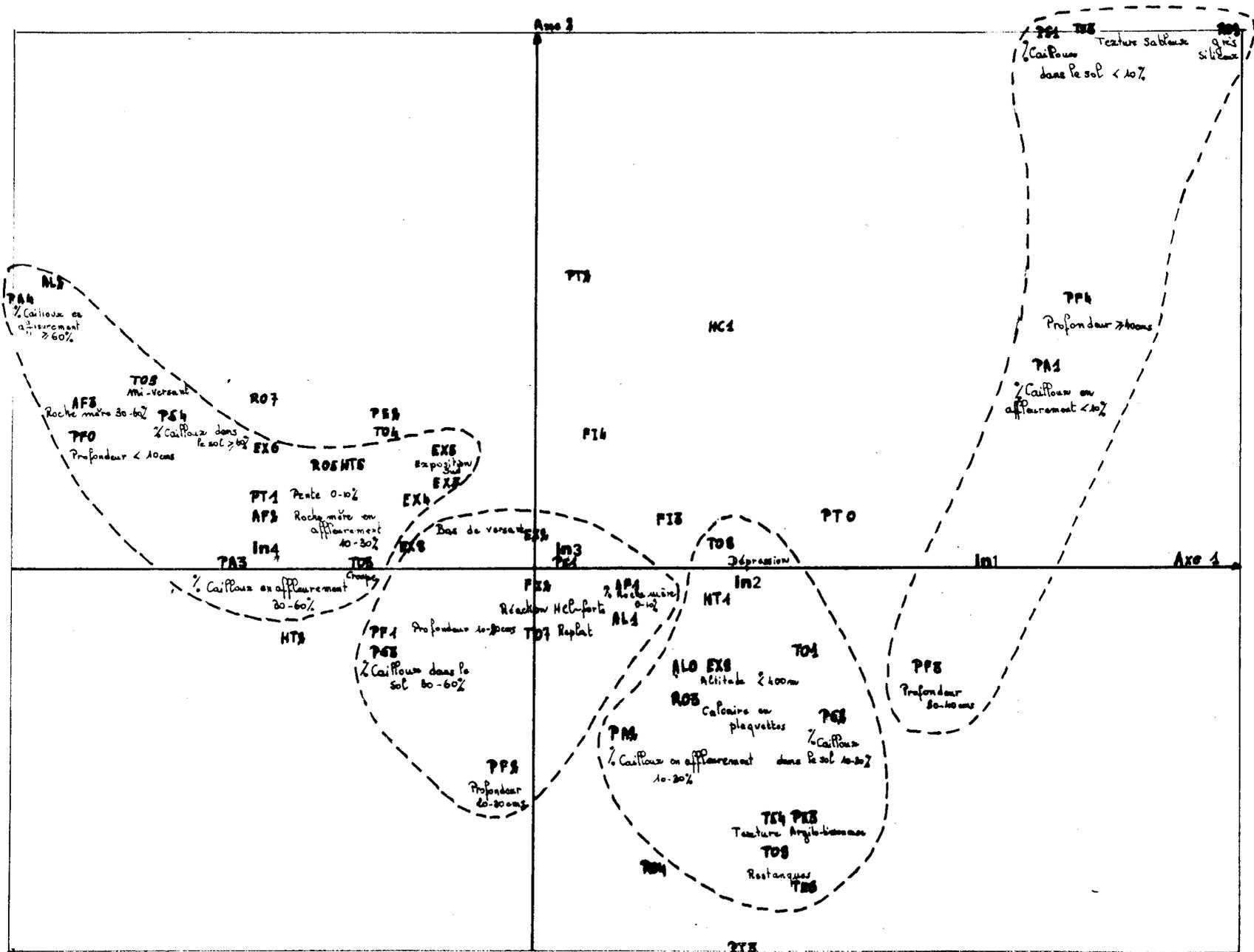
C'est ce qui se produit pour les deux croisements suivants :

- exposition x topographie : le seuil est inférieur à 10^{-5} , mais il y a 72 modalités (pour 176 relevés) ;
- de même fissuration x texture a un seuil de 4,7‰ pour 45 modalités.

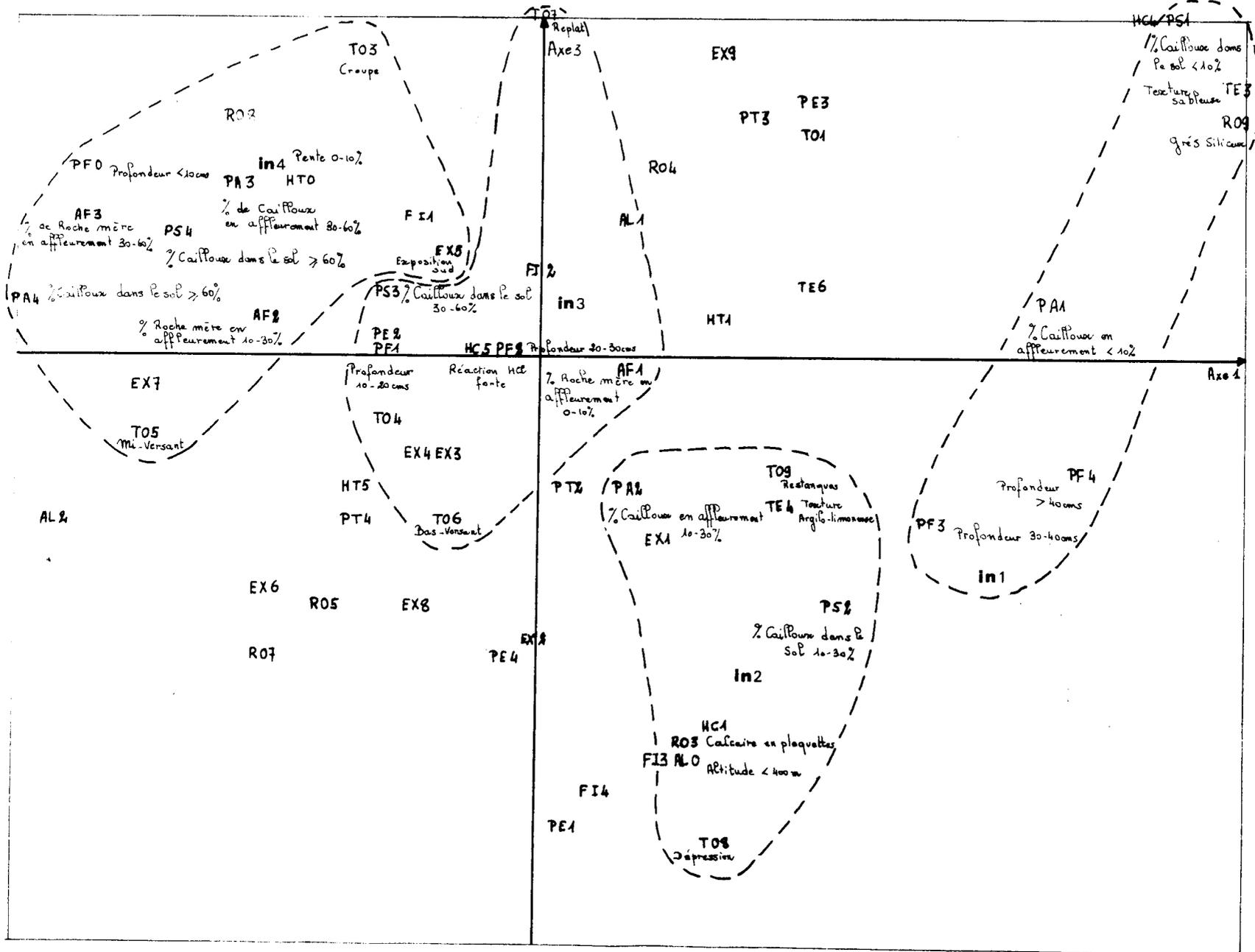
ANNEXE 11

DESCRIPTION DES PLANS FACTORIELS
DE L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES
ENTRE LES FACTEURS DU MILIEU ET LES 176 RELEVES

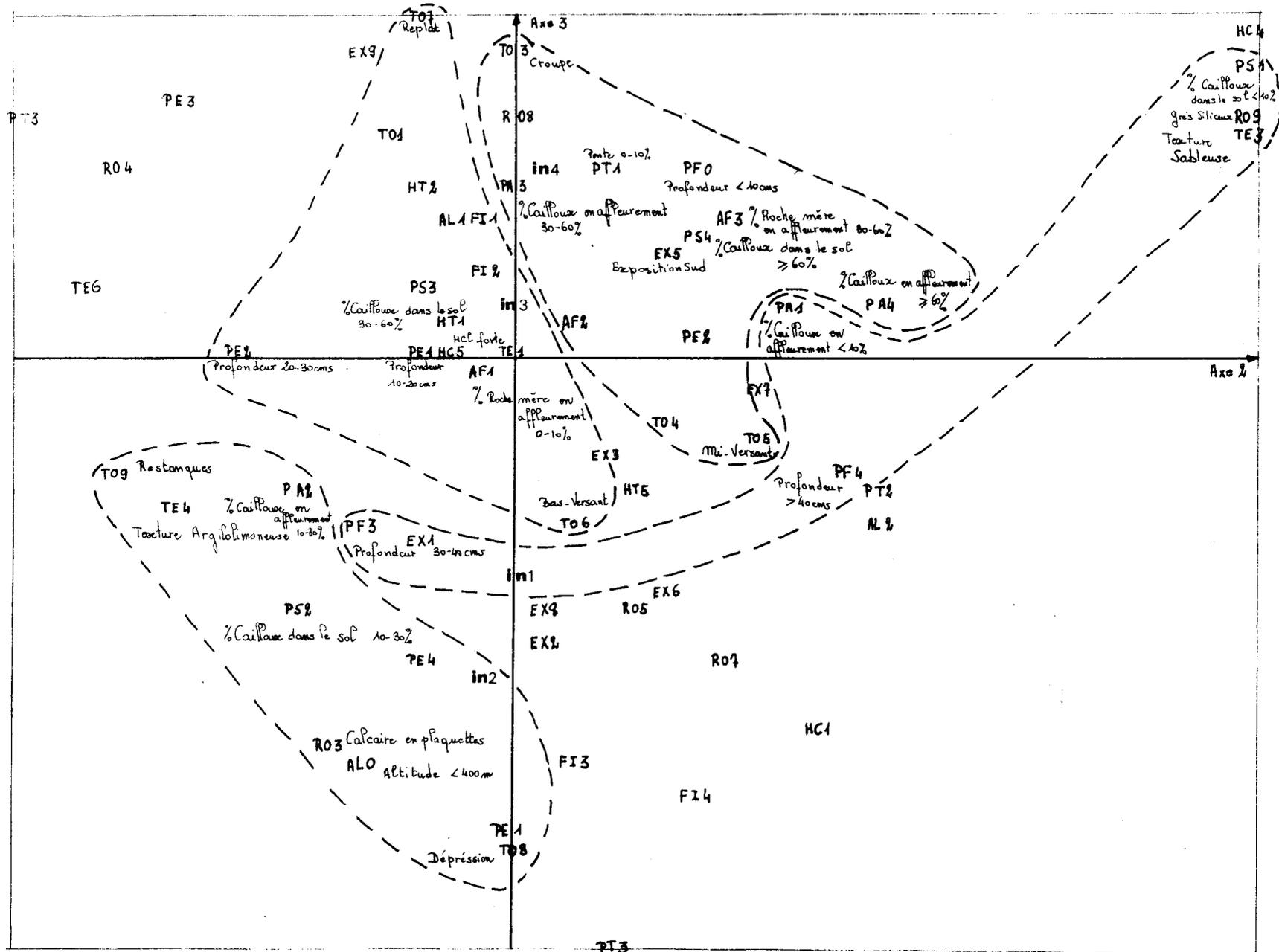
PLAN FACTORIEL 1-2



PLAN FACTORIEL 1-3



PLAN FACTORIEL 2-3



ANNEXE 12

METHODE DE SEGMENTATION

Le programme utilisé, dit programme AID (automatic interactions detector) ne s'applique que lorsque la variable à expliquer est quantitative (c'est bien le cas pour notre indice de croissance).

On a, au départ un ensemble N de n placettes. Chaque placette est caractérisée par

- H_i : son indice de croissance (hauteur à 30 ans)
- p_i : son poids

Dans notre cas, toutes les placettes ont le même poids :

$$p_i = 1$$

Le programme va scinder N en 2 sous-groupes N_0 et N_1 ; N, N_0 et N_1 sont caractérisés par :

- $P(N)$: poids du groupe N $P(N) = n$
- $P(N_0)$: " sous-groupe N_0 $P(N_0) = n_0$
- $P(N_1)$: " " N_1 $P(N_1) = n - n_0$
- \bar{H} : centre de gravité de N $\bar{H} = \frac{1}{P(N)} \sum_{i=1}^n p_i H_i$; $H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$
- \bar{H}_0 " " N_0 $\bar{H}_0 = \frac{1}{P(N_0)} \sum_{\substack{H_i \in N_0 \\ p_i=1}} p_i H_i$
 $\bar{H}_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} H_i$
- I_N inertie totale du groupe N

$$I_N = \sum_{i=1}^n p_i (\bar{H} - H_i)^2 \quad I_N = \sum_{i=1}^n (\bar{H} - H_i)^2$$

Cette caractéristique est notée T.S.S. dans le programme AID (Total sum of squares).

- (N_0, N_1) l'inertie interclasse, encore appelée B.S.S. (Between sum of squares) dans le programme AID

$$\Delta(N_0, N_1) = \frac{P(N_0) \times P(N_1)}{P(N_0) + P(N_1)} (\bar{H}_0 - \bar{H}_1)^2 \quad \Delta = \frac{n_0(n-n_0)}{n} (\bar{H}_0 - \bar{H}_1)^2$$

Pour chaque variable, la procédure calcule la moyenne des H_i de chaque modalité et elle classe ensuite ces modalités par ordre de fertilité croissante.

Pour une variable dont les k modalités sont ordonnées, il n'y a que $(k-1)$ dichotomies possibles :

N_0 placettes de la 1ère modalité N_1 : 2ème à kème modalité

N_0 placettes de la 1ère et 2ème modalité N_1 : 3ème à kème modalité

.
.
.

N_0 placettes de la 1ère à la $(k-1)$ ème N_1 : kème modalité.

Pour chaque variable, le programme retient la coupure qui fournit la plus grande inertie interclasse (B.S.S. maximum).

La dichotomie définitive se fait sur la variable pour laquelle la valeur précédemment retenue est la plus forte, c'est-à-dire pour laquelle les 2 groupes créés sont les plus distincts possibles.

La procédure se poursuit ensuite avec les groupes N_0 et N_1 considérés comme groupes de départ.

Conditions d'arrêt de la segmentation

. La dichotomie n'est possible que si l'inertie interclasse est supérieure à un pourcentage fixé à l'avance de l'inertie totale. Nous avons retenu la valeur $p_2=2\%$. On impose donc à la procédure B.S.S./T.S.S. $> 2\%$.

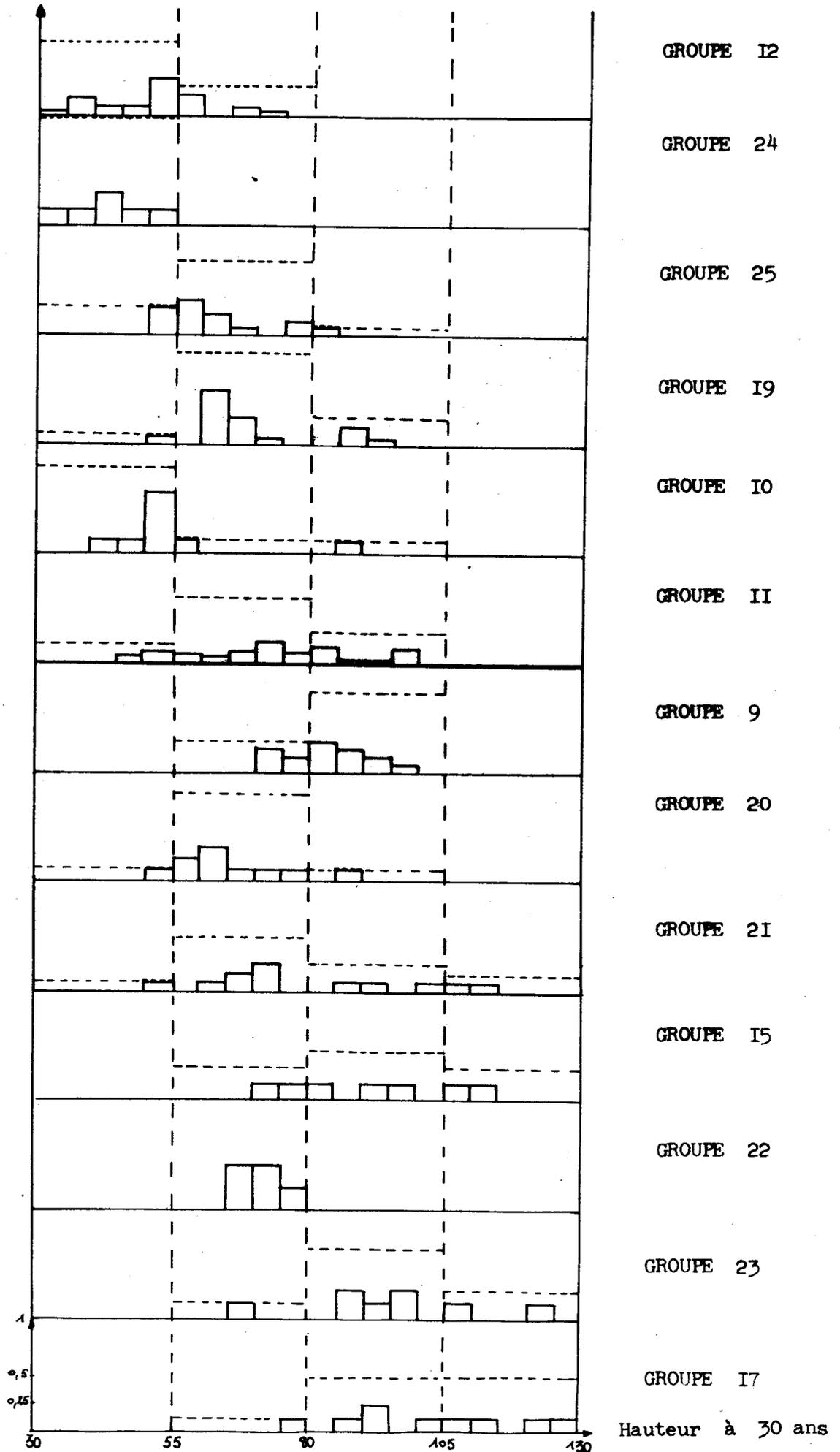
. Un groupe ne peut être créé que s'il renferme un nombre minimum de placettes (5 dans notre cas), et si la somme des H_i^2 de ce groupe est supérieure à un pourcentage p_1 de la somme de H_i^2 de la population de départ (nous avons choisi la valeur $p_1 = 1\%$).

ANNEXE 13

REPARTITION DES PLACETTES DES GROUPES FINAUX
DE LA SEGMENTATION EN FONCTION DE L'INDICE DE CROISSANCE

- Segmentation sans les variables floristiques p.56-57
- Segmentation avec les variables floristiques p.58-59

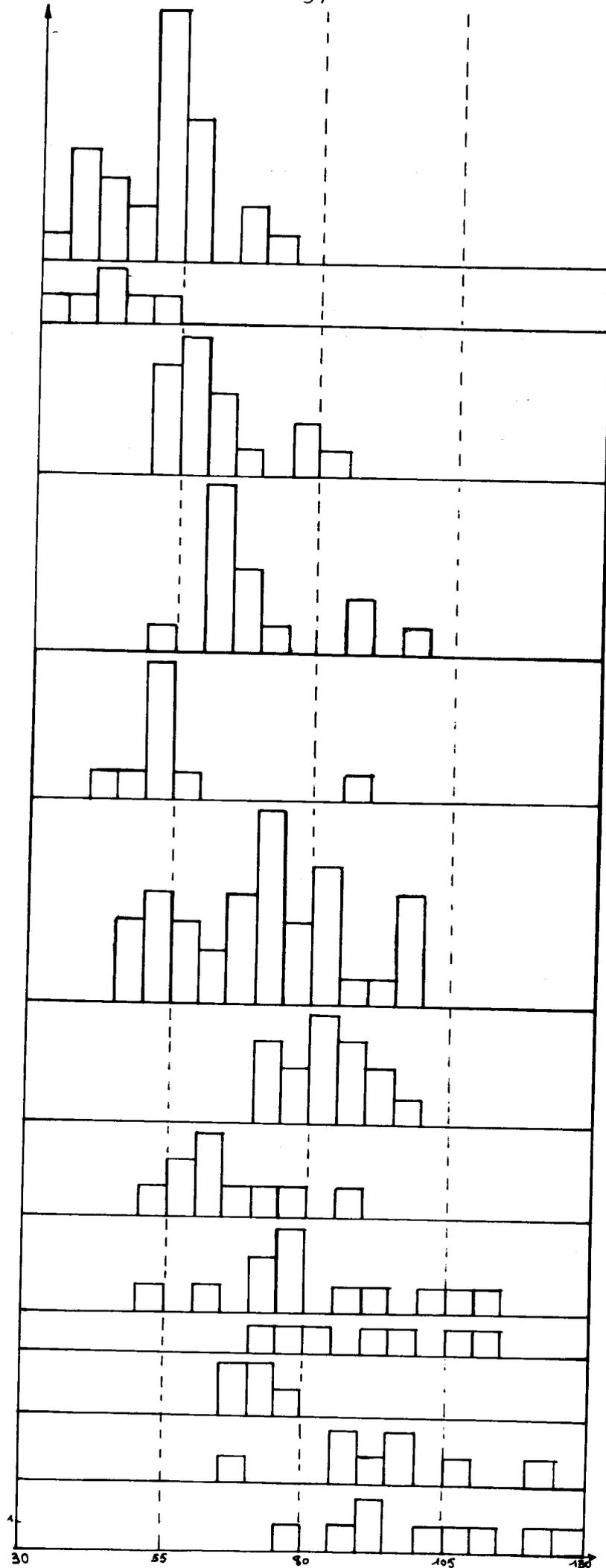
Frequence



Répartition des placettes en fonction de l'indice de croissance (Fréquence)

Nombre de placettes

57



GROUPE 12

GROUPE 24

GROUPE 25

GROUPE 19

GROUPE 10

GROUPE 11

GROUPE 9

GROUPE 20

GROUPE 21

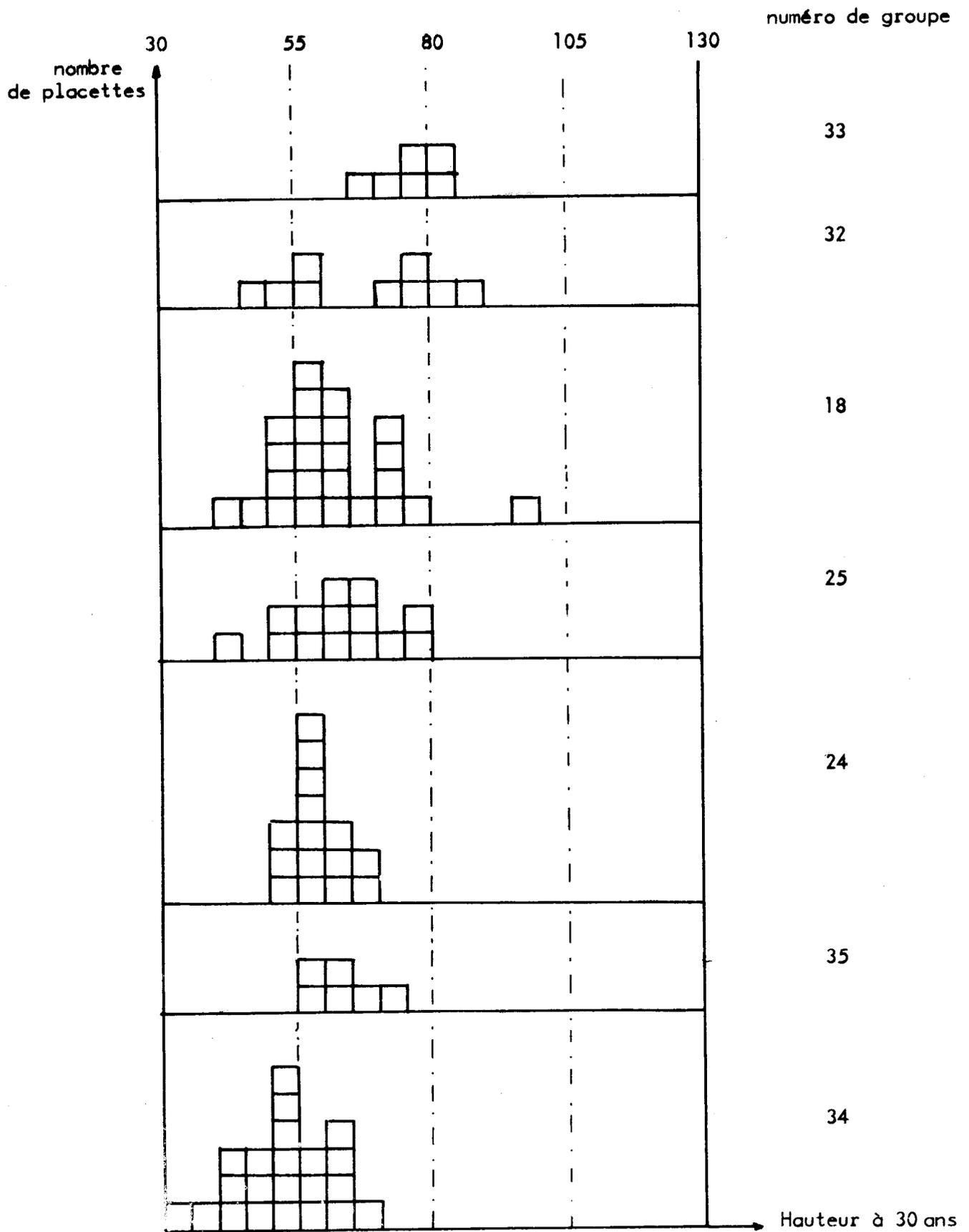
GROUPE 15

GROUPE 22

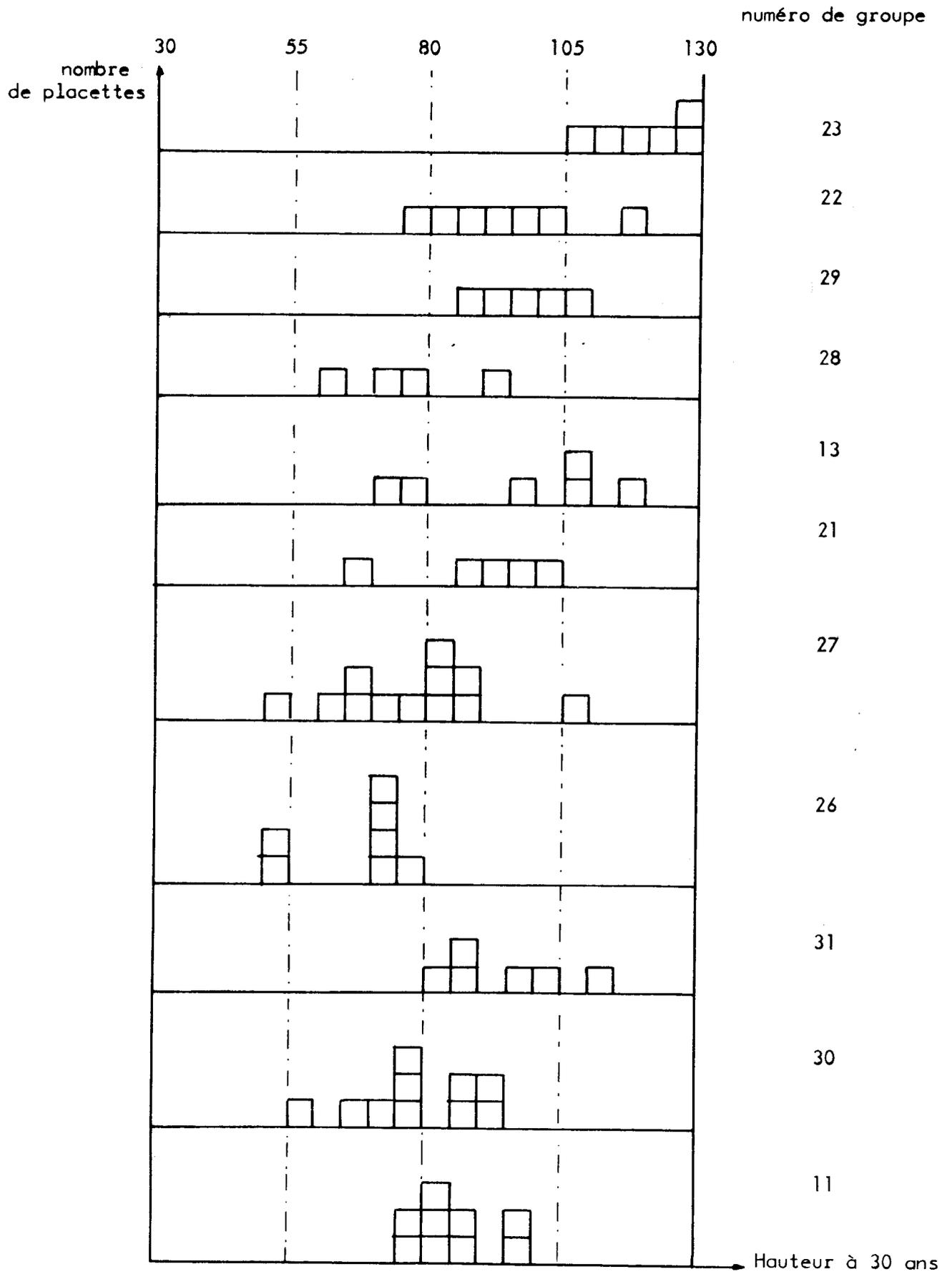
GROUPE 23

GROUPE I
Hauteur à 30 ans

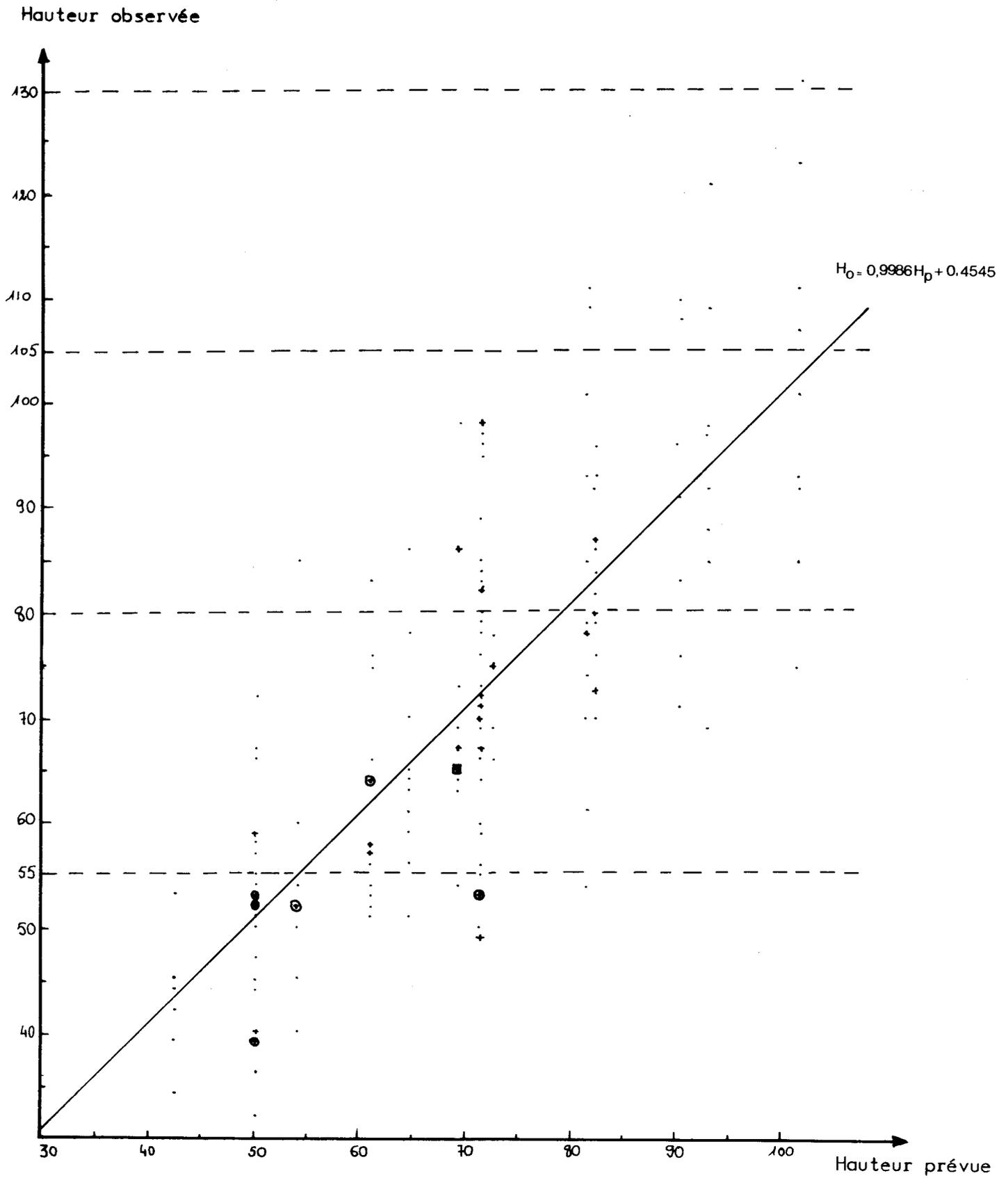
Répartition des placettes en fonction de l'indice de croissance



Répartition des placettes en fonction de l'indice de croissance
Segmentation avec les variables floristiques.



Répartition des placettes en fonction de l'indice de croissance
 Segmentation avec les variables floristiques (suite)

ANNEXE 14

REGRESSION DE LA HAUTEUR OBSERVEE SUR LA HAUTEUR PREVUE

ANNEXE 15

Elaboration de groupes floristiques à partir de l'analyse factorielle des correspondances entre les plantes et les 176 relevés.

Groupe I

Satureia montana
Lavandula latifolia
Teucrium polium
Sedum annopetalum
Thymus vulgaris
Phyllyrea media
Genista scorpius

Groupe II

Lavandula vera
Amelanchier ovalis
Genista cinerea
Brachypodium phoenicoïdes
Teucrium chamaedrys
Aphyllantes monspeliensis
Genista hispanica
Festuca ovina
Prunus spinosa
Helleborus foetidus

Groupe III

Rubia peregrina
Juniperus communis
Rosa arvensis
Crataegus monogyna
Euphorbia characias

Groupe IV

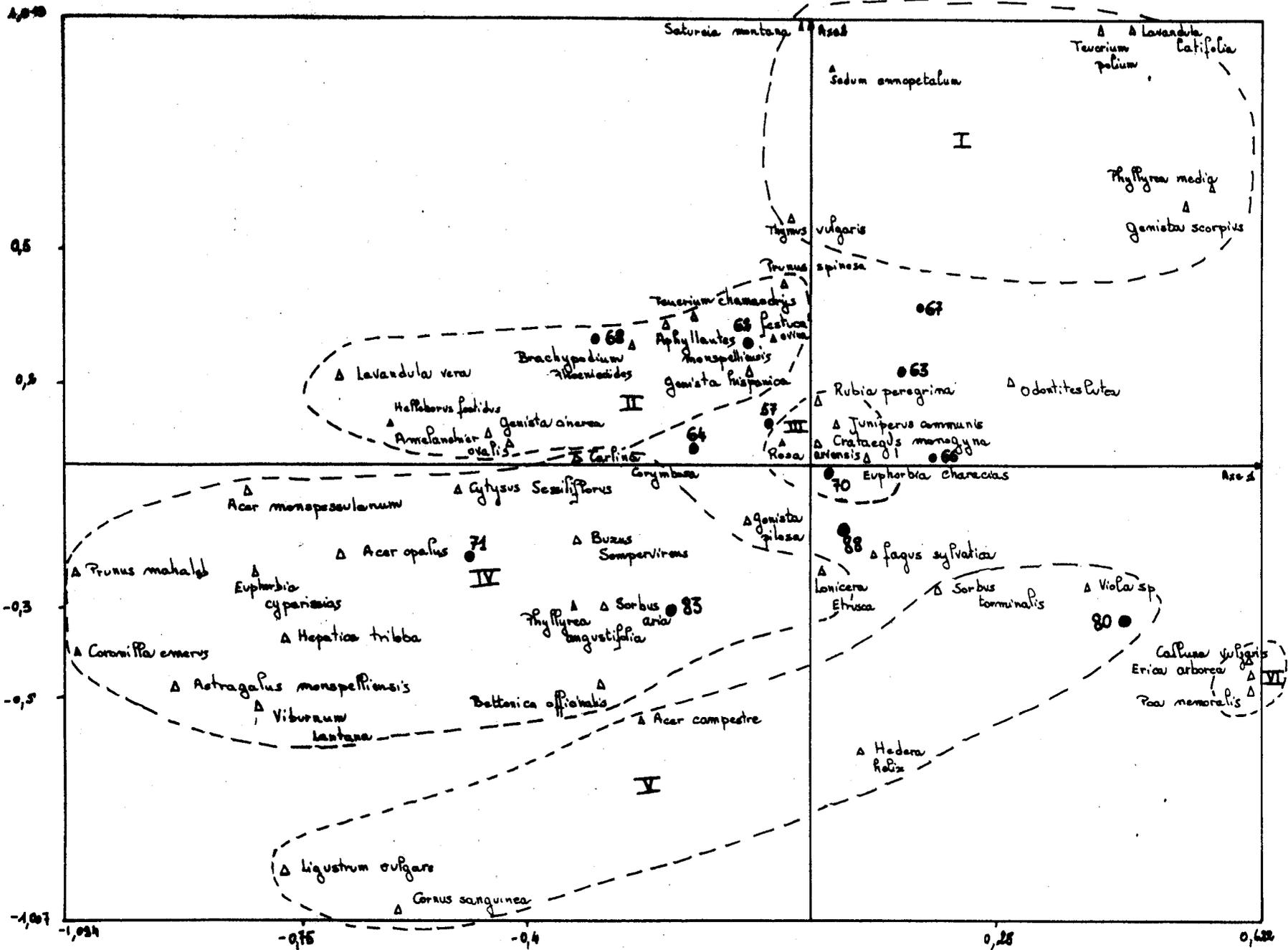
Cytisus monspeliensis
Acer monspessulanum
Acer opalus
Lonicera etrusca
Sorbus aria
Phyllyrea angustifolia
Bettonica officinalis
Buxus sempervirens
Euphorbia characias
Astragalus monspeliensis
Coronilla emerus
Viburnum lantana
Prunus mahaleb
Hepatica trilobata
Carlina corymbosa

Groupe V

Ligustrum vulgare
Cornus sanguinea
Sorbus torminalis
Viola Sp
Hedera helix
Acer campestre

Groupe VI

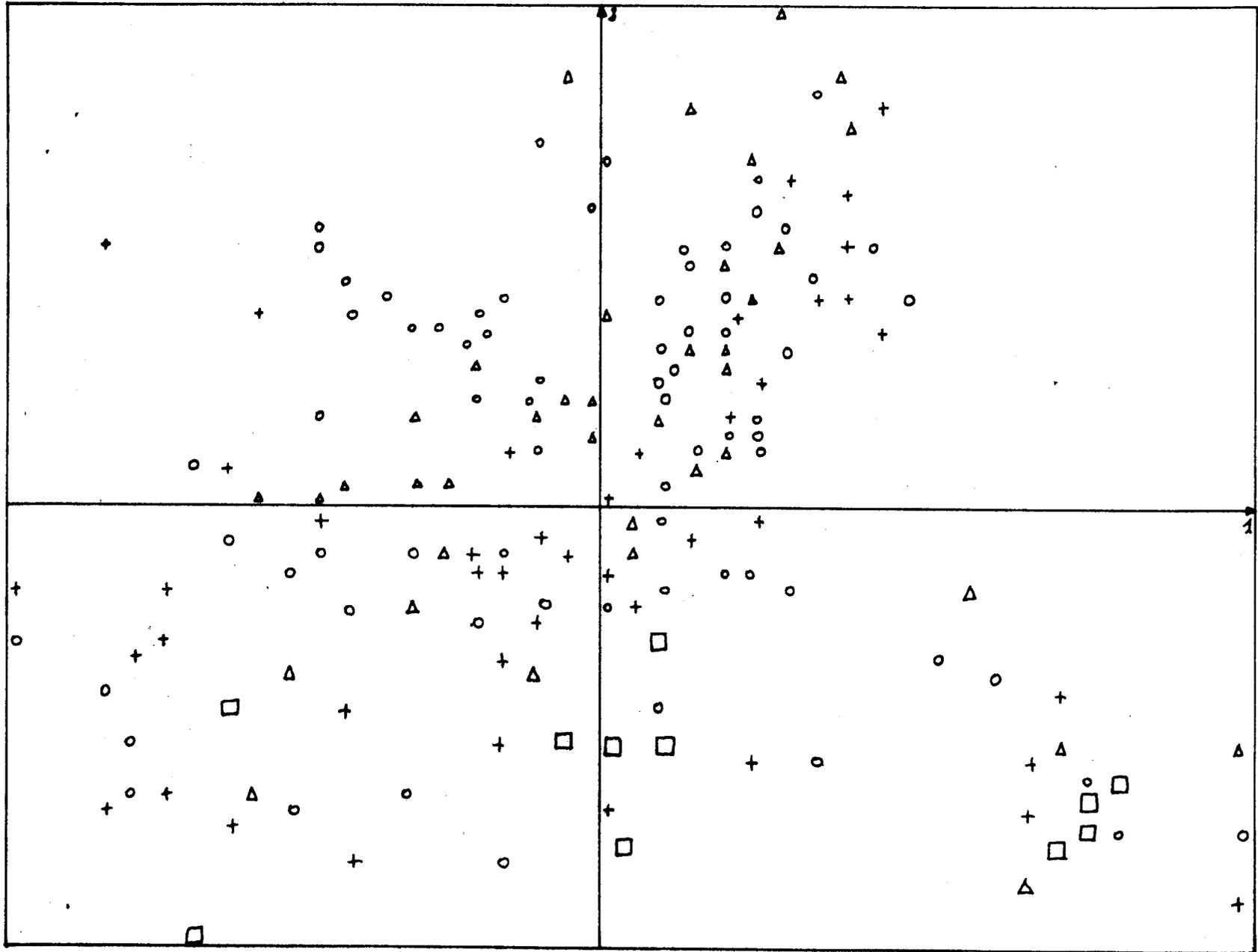
Calluna vulgaris
Erica arborea
Poa nemoralis



PLAN FACTORIEL 1-2

PROJECTION DES 176 POINTS SUR LE PLAN FACTORIEL 1-2

- Classe 1
- + " 2
- " 3
- △ Classe 4



LES PROFILS ECOLOGIQUES :

FREQUENCE CORRIGEE ET INFORMATION MUTUELLE

On considère les N placettes inventoriées se répartissant en

N_1 placettes de bonne croissance

N_2 placettes de croissance moyenne

N_3 placettes de mauvaise croissance

$$N_1 + N_2 + N_3 = N$$

L'espèce E est présente sur X placettes se répartissant en

X_1 placettes de bonne croissance

X_2 placettes de croissance moyenne

X_3 placettes de mauvaise croissance

$$X_1 + X_2 + X_3 = X$$

Fréquence corrigée :

On pourrait utiliser la fréquence relative d'apparition d'une espèce dans une classe (par exemple $\frac{X_1}{N_1}$). Mais cette méthode présente l'inconvénient de privilégier les espèces fortement représentées au détriment des espèces peu représentées même si elles sont absolument caractéristiques d'une classe de croissance. On pondère donc la fréquence relative ($\frac{X_1}{N_1}$) par l'inverse de la fréquence moyenne d'apparition de l'espèce sur l'ensemble des placettes ($\frac{N}{X}$).

La fréquence corrigée est donc définie par la formule $\frac{X_1}{N_1} \times \frac{N}{X}$.

Information mutuelle :

L'information mutuelle entre l'espèce et la croissance est définie par la formule

$$I M = \sum_1^3 \left[\frac{X_i}{N} \log_2 \left(\frac{X_i}{N_i} \times \frac{N}{X} \right) + \frac{N_i - X_i}{N} \log_2 \frac{N_i - X_i}{N_i} \times \frac{N}{N - X} \right]$$

La valeur de IM augmente lorsque la présence ou l'absence de E est corrélée aux classes de croissance.

Ainsi en utilisant la fréquence corrigée et l'information mutuelle on peut définir des espèces caractéristiques de la bonne ou la mauvaise croissance du chêne pubescent.

(Extrait de BOUVET J.Y. : Ecologie du cyprès vert en région méditerranéenne française. Publication CEMAGREF - 1983 - annexe 12).

ANNEXE 17

PROJET DE FICHE SIMPLIFIEE1) RELEVES DENDROMETRIQUES

Moyennes

Hauteur dominante
(en dm)

_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------

Age de la tige
(en années)

_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------

2) RELEVES ECOLOGIQUES

. Au bureau : Altitude (m) :.....

Roche mère :

(voir manuel de codification)

. Sur le terrain :

Profondeur en 5 sondages (cm) à la tarière à vis hélicoïdale

_____	_____	_____	_____	_____
-------	-------	-------	-------	-------

Pourcentages : - de roche mère en place en affleurement :

- de cailloux en affleurement :

- de cailloux dans le sol :

(0-10 %, 10-30 %, 30-60 %, 60-100 %)

Position topographique :

(plat, replat, croupe, haut de versant, mi-versant, bas de versant, dépression =
fond de vallon, anciennes restanques)

Pente (%) :

Pendage :

Pour les variables floristiques, voir au dos.

Indice de croissance estimé d'après les courbes âge-hauteur

Indice de croissance estimé d'après l'arbre de segmentation

Observations : facteurs pouvant expliquer la différence entre ces 2 estimations

.....
.....
.....

Plantes de bonne croissance	
Présence	absence
1	0
<i>Hedera helix</i>	
<i>Crataegus monogyna</i>	
<i>Cornus sanguinea</i>	
<i>Ligustrum vulgare</i>	
<i>Rosa arvensis</i>	
<i>Poa nemoralis</i>	
<i>Viola Sp</i>	
<i>Erica arborea</i>	
<i>Sorbus domestica</i>	
<i>Astragalus monspeliensis</i>	
<i>Calluna vulgaris</i>	
<i>Lonicera etrusca</i>	
<i>Corylus avellana</i>	
<i>Asplenium adiantum nigrum</i>	
<i>Coronilla emerus</i>	
<i>Viburnum lantana</i>	
<i>Sorbus aria</i>	
Nombre de plantes de bonne croissance $N_1 =$	

Plantes de mauvaise croissance	
Présence	absence
1	0
<i>Thymus vulgaris</i>	
<i>Aphyllantes monspeliensis</i>	
<i>Amélanchier ovalis</i>	
<i>Teucrium chamaedrys</i>	
<i>Lavandula vera</i>	
<i>Sedum annopetalum</i>	
<i>Brachypodium phoenicodes</i>	
<i>Satureia montana</i>	
<i>Brachypodium ramosum</i>	
<i>Genista hispanica</i>	
<i>Festuca ovina</i>	
<i>Teucrium polium</i>	
<i>Buxus sempervirens</i>	
<i>Rosmarinus officinalis</i>	
<i>Genista scorpius</i>	
Nombre de plantes de mauvaise croissance $N_2 =$	

$$\text{Test botanique } t = N_1 - N_2 =$$

**Etablissement de classes de croissance
des peuplements de chêne pubescent
en Provence.
Analyse de leurs facteurs explicatifs**

(Résumé)

Mémoire de 3ème année de l'E.N.I.T.E.F. présenté par Yvon DUCHE

ANNEXE 18

Septembre 1983

RESUME

Le but de cette étude était, à son lancement, la réalisation d'une typologie des taillis de chêne pubescent, débouchant sur la définition de pratiques sylvicoles aptes à valoriser chacun des types ainsi définis.

Seule la première partie de cet objectif a été atteinte, car les connaissances actuelles ne permettent pas de dicter des règles sylvicoles bien définies.

Nous avons ainsi établi des courbes de croissance en hauteur pour les peuplements de chêne pubescent de Provence et nous avons ensuite analysé leurs relations avec les facteurs du milieu.

Deux méthodes faisant appel à deux types de données distincts ont été utilisées : la première nous a permis de tester quatre équations de courbes, à partir de couples hauteur dominante x âge du peuplement, la seconde utilisant les résultats d'analyses de tiges, bien que moins rigoureuse du point de vue mathématique a fourni le type de courbes le plus approprié à notre problème, puisque se rapprochant le plus des courbes de croissance réelles que représentent les analyses de tiges.

L'équation de la courbe de régression moyenne issue de cette méthode est : $g(t) = 249 \left(1 - e^{-(0,015 + \frac{t}{119}) 0,83}\right)$.

Nous avons choisi d'établir un faisceau de courbes comportant quatre classes de croissance, ce qui revient à se donner cinq courbes, représentant les limites de classe (notées $l_5(t)$ à $l_1(t)$, $l_5(t)$ étant la limite inférieure de la classe IV, $l_1(t)$ la limite supérieure de la classe I).

Toutes les courbes du faisceau forment une famille d'équation de $kg(t)$. Le paramètre k caractérise chaque courbe de la famille. Il pourrait donc être utilisé comme indice de croissance. Cependant, ce paramètre prend des valeurs peu parlantes, et nous avons préféré lui substituer la hauteur à 30 ans comme indice définitif.

La faisceau peut être décrit par le tableau suivant. On pose
 $g'(t) = 1 - \exp(-0,015 - (\frac{t}{119})^{0,83})$

	Indice k	Hauteur à 30 ans (dm)	Equation de la courbe
$l_5(t)$	0,425	30	106 $g'(t)$
$l_4(t)$	0,78	55	194 $g'(t)$
$l_3(t)$	1,135	80	282 $g'(t)$
$l_2(t)$	1,49	105	370 $g'(t)$
$l_1(t)$	1,84	130	458 $g'(t)$

Outre les parties aériennes, nous avons pu, dans quelques cas, étudier les enracinements, ce qui nous a amené à formuler l'hypothèse suivante :

- . Il n'y a pas d'affranchissements de brins,
- . Les ensouchements s'épuisent un peu plus à chaque révolution.

Il est donc vraisemblable que la mauvaise qualité de l'appareil racinaire de certains de ces taillis provoque une baisse de la vitesse de croissance et de leur hauteur finale, comme c'est le cas pour d'autres essences (RIEDACKER - 1973 - 24 , KAZARDJAN - 13).

La hauteur dominante à un âge donné n'exprime plus dans ce cas toutes les potentialités de la station, et ne représente donc pas sa fertilité.

Les courbes de croissance devront donc être utilisées avec prudence et confrontées aux résultats issus de l'analyse des facteurs du milieu, notamment à ceux de la segmentation.

Nous avons finalement réalisé une typologie des taillis de chêne pubescent âgés de 30 ans.

Classe de croissance	Hauteur dominante (m)	Volume (m ³ /ha)	Accroissement moyen à 30 ans (m ³ /ha/an)	Surface terrière (m ² /ha)
Classe IV	3-5,5	18-51	0,6-1,7	8-14
Classe III	5,5-8	51-84	1,7-2,8	14-20
Classe II	8-10,5	84-117	2,8-3,9	20-26
Classe I	10,5-13	117-150	3,9-5	26-32

Les valeurs rapportées à l'hectare, de par leur mode de calcul, représentent des maxima, valables pour des peuplements ne comportant pas de trouées.

Le comportement de l'essence vis-à-vis des variables du milieu a été testé dans un premier temps par des analyses de variance à un facteur simple, puis à 2 facteurs combinés.

Les résultats de ces analyses laissent apparaître que le chêne pubescent présente les meilleures croissances sur les stations pouvant lui fournir une bonne alimentation, c'est-à-dire assurant :

- une bonne profondeur du sol,
- un fort volume de terre exploitable, c'est-à-dire une faible charge en cailloux (% de roche mère en affleurement, % de cailloux en affleurement et dans le sol)-
- une économie de l'eau de ruissellement, grâce à des pendages inverses, ou à des positions topographiques privilégiées subissant un faible drainage (dépressions, anciennes restanques, bas de versant et plat).

Le procédé de segmentation que nous avons ensuite utilisé permet de prédire l'indice de croissance d'un peuplement à partir des seuls facteurs écologiques. Ce diagnostic peut d'ailleurs être vérifié à partir des conclusions issues de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) entre les variables du milieu et les variables de croissance. (voir le tableau de segmentation page suivante).

Cas particuliers

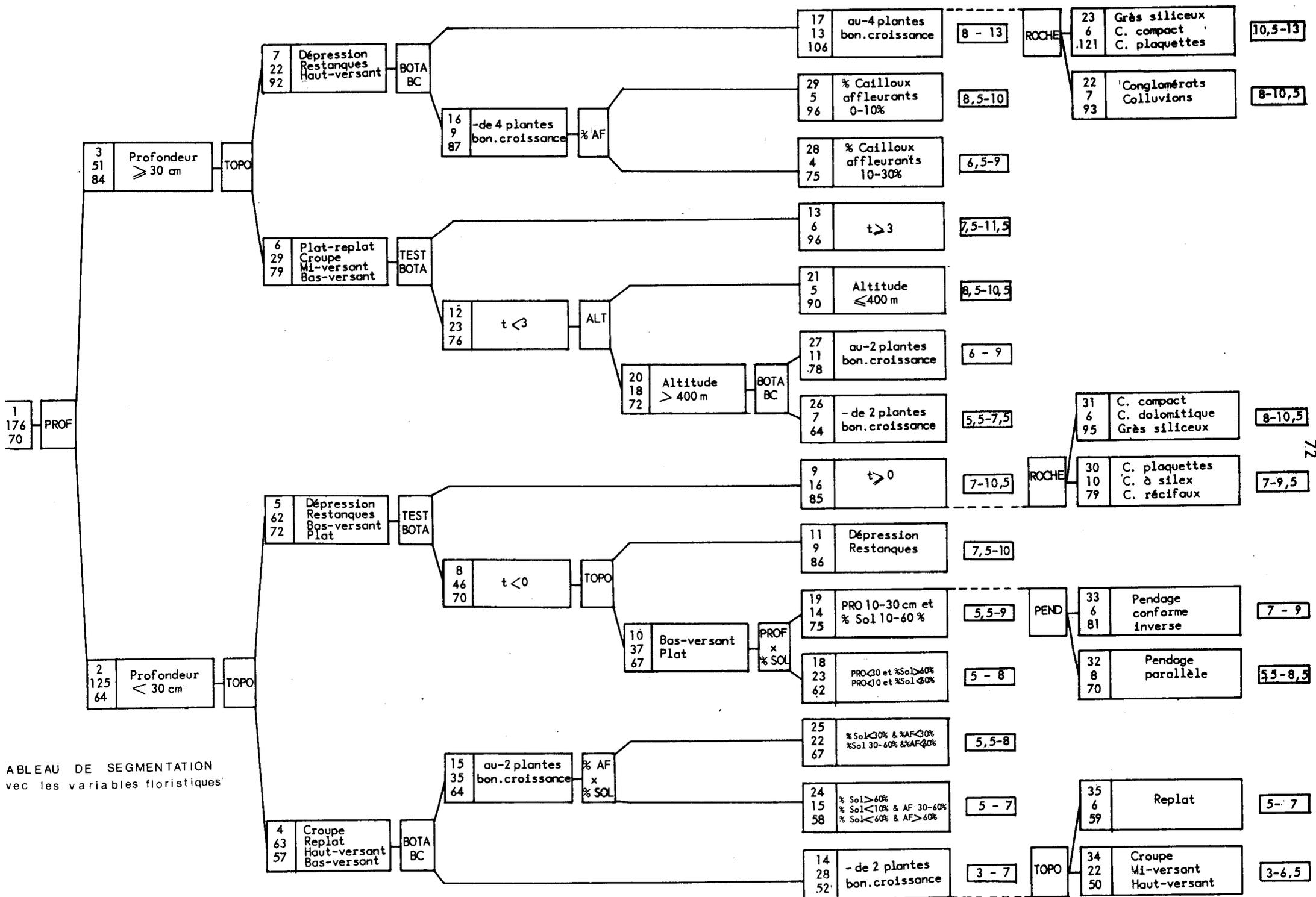


TABLEAU DE SEGMENTATION
vec les variables floristiques

Disposant de deux méthodes d'évaluation de l'indice de croissance d'un peuplement, nous proposons l'approche suivante, permettant d'éviter les erreurs flagrantes.

Sur le terrain, on relève la hauteur dominante et l'âge ainsi que les principaux facteurs du milieu.

De retour au bureau, on calcule l'indice par les deux méthodes d'une part à partir des caractéristiques dendrométriques (hauteur, âge), d'autre part à partir des variables écologiques.

Si les résultats sont semblables, le problème est résolu.

S'ils diffèrent, il faut réfléchir et bien analyser le cheminement de la segmentation ; la différence est en effet probablement due à un facteur très favorable, ou très défavorable non pris en compte dans ce cheminement.

Si le facteur en cause est un facteur naturel (microclimat, carence chimique...) on retiendra toujours l'indice issu du faisceau de courbes de croissance ; au contraire, s'il s'agit d'un facteur anthropique (feu, pratique sylvicole ayant entraîné une dégradation de la qualité de l'ensouchement...), c'est l'indice relatif à la segmentation qui sera retenu.

Disposant, en définitive, d'un indice de croissance, et de courbes permettant de connaître l'évolution dendrométrique des peuplements, on peut proposer divers scénarios d'aménagement, que le forestier retiendra en fonction des objectifs de gestion et des moyens financiers disponibles.

Il ne s'agit évidemment pas d'aménagements parfaitement définis, puisque bien des points restent imprécis.

Pour aller plus avant, il faudrait :

- améliorer les courbes de croissance par un complément de relevé essentiellement en classe I ;
- mettre au point des technologies d'utilisation du bois de chêne pubescent, et étudier la qualité du bois vis à vis de ces utilisations ;
- étudier :
 - . la réponse à l'éclaircie de ces taillis,
 - . les techniques de coupe du taillis en liaison avec la physiologie des souches,
 - . la régénération par semis naturels des futaies sur souches, ou des taillis vieilliss.