

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

CEMAGREF

DEPARTEMENT
FORETS

ETUDE DES EXIGENCES ECOLOGIQUES
DU PIN PIGNON
EN REGION MEDITERRANEENNE FRANCAISE

ETUDE FEOGA



DIVISION
PROTECTION DES FORETS — GROUPEMENT D'AIX-EN-PROVENCE — NOVEMBRE
CONTRE L'INCENDIE 1983

Mémoire de 3ème année de l'E.N.I.T.E.F. présenté par Jean LABADIE

REMERCIEMENTS

Que tous ceux avec qui j'ai eu le plaisir de travailler ou qui ont su orienter cette étude par leurs conseils judicieux trouvent ici l'expression de ma reconnaissance la plus vive.

Je tiens tout particulièrement à remercier Daniel ALEXANDRIAN et Sylvie PERMEZEL.

PLAN DE L'ETUDE

INTRODUCTION	1
1. RESUME DES CONNAISSANCES ACTUELLES	2
1.1. Généralités et situation du pin pignon dans le bassin méditerranéen	2
1.1.1. Les différents noms de l'arbre	2
1.1.2. Morphologie	2
1.1.3. Systématique	4
1.1.4. Aire naturelle	5
1.1.5. Les introductions de pins pignon	5
1.1.6. Autoécologie du pin pignon dans le bassin méditerranéen	6
1.1.7. Sylviculture	7
1.1.8. Production et utilisation du pin pignon	9
1.1.9. Qualité du bois	11
1.1.10. Génétique	12
1.1.11. Les maladies	12
1.2. Les principaux travaux déjà réalisés sur le pin pignon en France	16
2. L'ETUDE, LA METHODE ET LES MESURES	19
2.1. Le principe	19
2.2. Le repérage des stations	20
2.3. La détermination de la fertilité de la station	21
. Dans les peuplements	21
. Cas des peuplements inéquiennes	22
. Les classes de fertilité	23
. Les problèmes particuliers des mesures d'âge et de hauteur	24

2.4. La fiche de mesure	25
2.5. Le traitement des données	28
3. LES ELEMENTS FOURNIS PAR L'ETUDE	29
3.1. Etablissement des classes de fertilité	29
3.2. L'influence des différents facteurs sur la croissance	32
3.3. La combinaison de deux variables	50
3.4. La végétation	57
3.5. La segmentation	62
3.5.1. Algorithme	62
3.5.2. Segmentation sans pondération	63
3.5.3. Segmentation pondérée	64
3.5.4. Segmentation pondérée avec les varia- bles issues du traitement de la végétation ...	64
3.6. La production ligneuse	67
3.7. Les autres observations sur les peuplements ..	68
. La fructification	68
. L'abondance du semis	68
. L'épaisseur d'écorce	70
. La résistance au feu	70
CONCLUSION	72
1. Evaluation d'un indice de croissance pour l'essence	72
2. Choix du pin pignon pour un reboisement	74
3. Entretien du reboisement	74
BIBLIOGRAPHIE	76

Annexes

Liste des figures

- Figure 1 : Aire naturelle du pin pignon
- Figure 2 : Carte de localisation des peuplements
- Figure 3 : Détermination du nombre de mesures de hauteur nécessaire en fonction de l'âge
- Figure 4 : Graphe des courbes 1 et 3
- Figure 5 : Diagramme probit des courbes 1 et 3
- Figure 6 : Graphe des courbes 2 et 4
- Figure 7 : Diagramme probit des courbes 2 et 4
- Figure 8 : Classes de fertilité de type II (courbe 3) avec la courbe 1 et l'analyse de tige de Cabanettes
- Figure 9 : Classes de fertilité de type II (courbe 3) et classes de fertilité de Pita Parpenter.
- Figure 10 : Classes de fertilité de type I avec classes de fertilité de Pita Carpenter et analyse de tige de Cabanettes
- Figure 11 : Classe de fertilité de type I
- Figure 12 : Carte des régions IFN avec indice de fertilité et effectif
- Figure 13 : Climatogramme d'Emberger
- Figure 14 : Calcaire total et croissance
Calcaire actif et croissance
- Figure 15 : Profondeur de la nappe phréatique et croissance dans les peuplements sur sables littoraux
- Figure 16 : Axes 1 et 2 (analyse des correspondances multiples)
- Figure 17 : Axes 1 et 3 (analyse des correspondances multiples)
- Figure 18 : Axes 2 et 3 (analyse des correspondances multiples)
- Figure 19 : Analyse des correspondances binaires
- Figure 20 : Segmentation non pondérée

- Figure 21 : Segmentation pondérée
- Figure 22 : Segmentation pondérée avec les variables issues du traitement de la végétation
- Figure 23 : Abondance de la fructification en fonction de l'âge du peuplement
- Figure 24 : Abondance du semis en fonction de l'âge peuplement
- Figure 25 : Epaisseur d'écorce en fonction de l'âge de l'arbre

INTRODUCTION

Ce travail constitue une étape du projet de traité de reboisement dans la région méditerranéenne française envisagé par le CEMAGREF depuis 1976. Dans un premier temps, les travaux ont porté sur le cèdre en Languedoc (mémoire ENITEF de Bourdenet, 1977). Ces résultats sont complétés actuellement en Provence. Des études comparables sont entreprises sur les sapins méditerranéens et le cyprès vert. La méthodologie de l'étude est bien sûr la même pour ces quatre essences. Le but est de définir les exigences écologiques de chaque espèce pour permettre sa meilleure utilisation dans les reboisements.

Le mémoire débute par un résumé des connaissances actuelles qui tente de dégager les aspects importants déjà étudiés sur le pin pignon.

Dans une deuxième partie, le principe de l'étude et la méthodologie sont brièvement exposés : à partir d'un grand nombre de relevés dans les boisements, dégager les facteurs écologiques favorables ou défavorables à l'essence.

Dans la troisième partie, nous avons défini les classes de fertilité liées à la croissance en hauteur des arbres puis tenté d'expliquer ou de corrélérer cette croissance aux facteurs écologiques.

La conclusion rassemble les faits acquis et les nouveaux résultats afin de faciliter le choix de l'essence dans les reboisements. Elle tente également de discerner les questions en suspens.

1. RESUME DES CONNAISSANCES ACTUELLES

1.1. GENERALITES ET SITUATION DU PIN PIGNON DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN

Cette partie n'a pas la prétention d'être exhaustive mais aborde simplement les principaux aspects qui peuvent présenter un intérêt pour les utilisations du pin pignon en région méditerranéenne française.

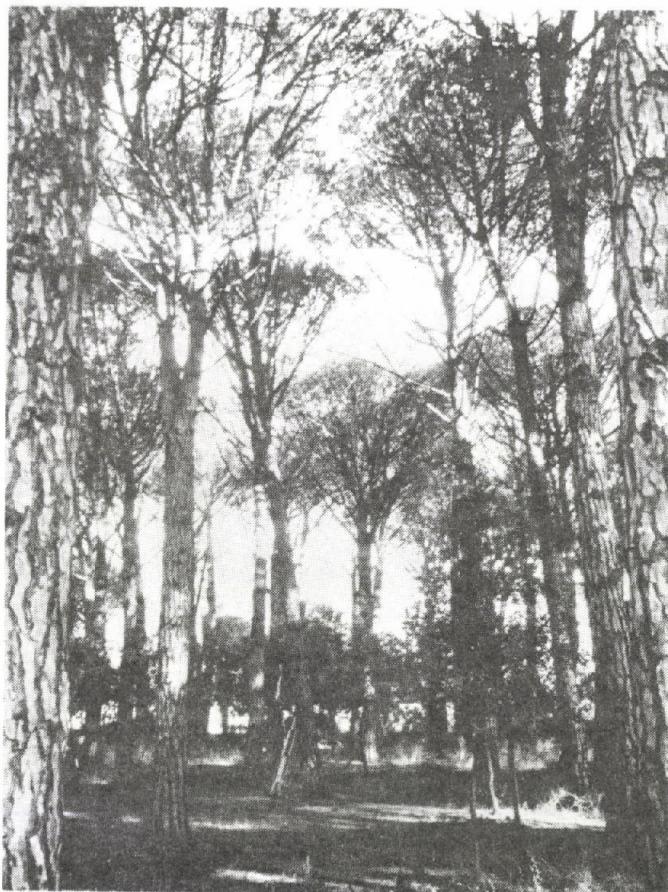
1.1.1. Les différents noms de l'arbre

Pinus pinea L. porte en France plusieurs noms : on l'appelle aussi bien pin pignon que pin parasol ou pin pinier. En Italie, c'est "il pino domestico" et en Espagne "el pino piñonero".

1.1.2. Morphologie

L'arbre, dans son jeune âge, forme une boule parfaite jusqu'à 25 ou 30 ans puis la forme évolue vers le parasol caractéristique de l'espèce qui devient très régulier vers 50 ans et dont la cime s'applatit de plus en plus avec l'âge.

Ce port en parasol est dû à une dominance apicale peu marquée de la pousse terminale. Il semble que l'on ait plutôt une zone apicale à dominance marquée avec une perte



Boisement âgé au Canet des Maures



Jeune reboisement à FONTFROIDE
(photo RIPERT)

de celle-ci de plus en plus forte à mesure que l'on s'éloigne du centre. Les modalités exactes restent à préciser.

Le fût est en général unique et droit. La rectitude du fût nous semble liée à la fertilité de la station. Il arrive que le fût soit dédoublé, les deux ou trois parties restent toutefois très verticales.

L'écorce, d'abord gris cendré et lisse devient écailleuse vers 5 ans puis se crevasse en formant de grandes plaques rouge brônâtre puis gris sur les bords en vieillissant.

De l'avis général, l'arbre peut atteindre 25 m de haut. En France, au cours de nos mesures, aucun arbre mesuré à l'aide de perches de modèle IFN n'a dépassé 20 m, mais nous n'avons pas mesuré les très beaux arbres des parcs.

Des arbres de 1,20 m de diamètre sont couramment cités, surtout dans la dépression permienne du Var (mais aussi vers Montpellier). Ce sont des arbres isolés et souvent très âgés. Quelques individus atteignent l'âge respectable de 250 ans (notamment le pin de fer du mas Petit Saint-Jean), mais en peuplement, les arbres de 140 à 150 ans sont rares et souvent en très mauvais état.

Le pin pignon est régulièrement verticillé dans son jeune âge et c'est un arbre monocyclique. Dans la forêt communale de Fréjus, les pins pignons font, cas exceptionnel, une pousse de printemps et une pousse d'automne. Le rameau de l'année est brun gris verdâtre avec un bourgeon cylindrique pointu à écailles brun clair, frangées de blanc, réfléchies.

Les aiguilles fasciculées par deux, parfois par trois (observé par Alexandrian dans les reboisements de Luminy à Marseille), sont longues de 10 à 20 cm avec une épaisseur de 1,5 à 2 mm. De couleur vert glauque, nettement plus foncées que celles du pin d'Alep, elles tombent la troisième ou quatrième année.

L'arbre possède une biomasse vivante importante avec des aiguilles à décomposition lente et qui constituent

donc un combustible potentiel pour l'été. La litière épaisse est visible dans les peuplements denses. La strate herbacée est alors absente et la strate arbustive peu développée.

Le cônelet de 1 an, ovoïde, mesure 2 cm. Il est porté par un pédoncule court et dressé. Les ombilics sont hérissés mais non mucronés.

Le cône est mûr à la fin de la 3ème année. Il mesure alors de 8 à 14 cm et se présente sous un aspect ovoïde avec des écailles à écusson renflé, d'un brun lustré portant un ombilic peu saillant. Le cônesessile peut toutefois persister sur le rameau plus d'un an.

La graine grosse et courtement ailée est protégée par un solide tégument.

1.1.3. Systematique

Avec un cône ligneux à maturité, des écailles portant deux ovules et une bractée indépendante de l'écaille, *Pinus pinea* L. appartient à la famille des Pinacées.

La présence de rameaux nains (Brachyblastes) en plus des rameaux longs (Auxiblastes) et le nombre de deux aiguilles par brachyblaste classent le pin pignon dans la tribu des Pinées. Mais, exception chez les Pinées, le cône est chez le pin pignon à maturation trisannuelle.

Il appartient au sous-genre *Pinus* avec qui il a en commun :

- les euphylls décurrentes
- les aiguilles diplostelées
- l'ombilic de l'écaille dorsal.

La section *pinea* se distingue dans le sous-genre *Pinus* par :

- les trachéides horizontales qui sont lisses
- la croissance monocyclique de l'arbre
- le cône caduc.

Le pin pignon est la seule espèce de la section *pinea*. Cette section a parfois été rattachée à la section *parryana*

à cause de sa graine dure à aile courte et de ses trachéides transversales à paroi mince. Mais, dans le sous-genre *strobilus* auquel appartient la section *parryana*, les aiguilles sont haplostelées, les euphylls ne sont pas décurrentes sur le rameau et l'ombilic est mucroné.

La seule variété de l'espèce *Pinus pinea* L. est la variété *fragilis* qui se distingue par une graine à coque tendre qui peut se briser entre les doigts.

L'espèce est remarquablement homogène.

1.1.4. Aire naturelle (figure 1)

L'aire naturelle du pin pignon est très difficile à définir car ce pin est planté depuis très longtemps pour ses pignons comestibles. Certains auteurs ont même pensé que le pin pignon avait été introduit en Italie.

Les travaux de Feinbrun (1959) cités par Mirov (1967) contestent seulement l'indigénat du pin pignon au Liban et sur la côte Nord-Est de la Turquie. Feinbrun pense que le pin pignon est originaire du Portugal, de l'Espagne, de la Corse, de la côte thyrrhénienne de l'Italie, du Péloponnèse et de la côte de l'Asie Mineure.

D'autre part, Triat, cité par Loisel, a découvert récemment du pollen de pin pignon âgé de 4000 ans dans un sondage géologique de la région de Fos. Son indigénat est donc très probable en région méditerranéenne française.

1.1.5. Les introductions de pins pignon

. Dans le monde : L'introduction du pin pignon en Afrique du Nord (Tunisie essentiellement mais aussi Maroc et Algérie) est récente. L'hypothèse qu'il y ait jadis existé n'est toutefois pas exclue. Des plantations ont été effectuées en Argentine où il donne de fort bons résultats et en Afrique du Sud.

. En France : Le pin pignon est supposé avoir été in-

troduit dans la partie ouest du Languedoc. Il existe beaucoup de pins pignons dans la vallée de la Garonne et on peut voir quelques peuplements sur la côte atlantique jusqu'au Sud de la Bretagne où on trouve encore des arbres d'ornement.

1.1.6. Autoécologie du pin pignon dans le bassin méditerranéen

Le pin pignon occupe généralement les plaines littorales et les collines mais on le trouve jusqu'à mille mètres d'altitude sur les hautes plaines de la région de Valladolid en Espagne et à la même altitude dans le sud de l'Italie.

Au niveau climatique, Giordano (1967) considère que le pin pignon est surtout sensible aux températures minima absolues. Leurs actions varient d'intensité avec la latitude, l'exposition, la distance à la mer, l'époque où elles se situent et l'état du plant.

Les basses températures combinées à une humidité atmosphérique élevée seraient encore beaucoup plus néfastes : des pins pignon ont supporté des températures de -25°C sans grand dégât, par temps sec, mais l'hiver 1962-63, Jedlowski, cité par Giordano, a signalé dans la pinède de Ravenna, où la température est alors descendue à $-12,2^{\circ}\text{C}$, le rougissement répété des bourgeons et le dessèchement de vastes superficies avec la perte de milliers de plants.

Giordano met également l'accent sur l'action dévastatrice des neiges lourdes sur les arbres âgés. Toute la neige est retenue par le houppier dense en forme de parasol des arbres de plus de cinquante ans et pèse sur quelques grosses branches qui risquent de casser. Ces dégâts, cités pour l'Italie, sont visibles en France au nord de Carcassonne sur la route d'Aragon : plusieurs peuplements ont été touchés par les neiges lourdes de l'hiver 1980-81.

Les arbres ainsi affaiblis sont alors plus sensibles aux attaques parasitaires.

Aire naturelle du pin pignon (d'après Timbal)

- Limite de l'aire
? Indigénat contesté

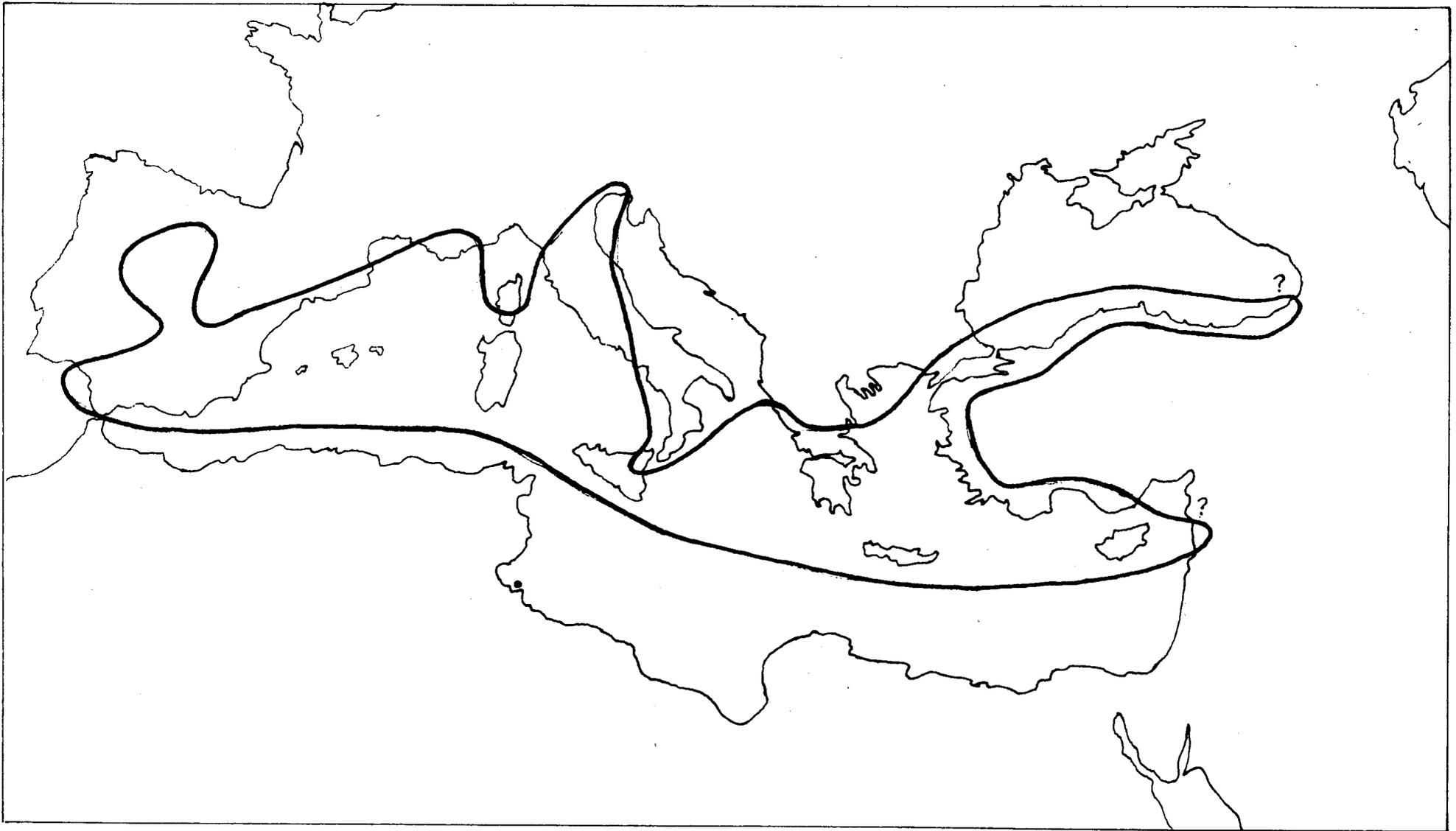


FIGURE N° 1



Peuplement clair dans la dépression
permienne du Var



Boisement dans la région de Carcassonne (11)
(endommagé par les neiges lourdes de l'hiver 80-81)

On trouve généralement le pin pignon sur des terrains sableux ou alluviaux. Djaziri (1971) constate toutefois qu'en Tunisie, le pin pignon supporte mieux les encroûtements que le pin d'Alep et il considère que c'est une essence plastique tolérante en particulier envers la teneur en calcaire, la "lourdeur" des sols et l'hydromorphie de faible profondeur.

On n'a encore jamais trouvé de pin pignon sur des sols fortement salés. Les sols où poussent les peuplements de petite Camargue sont peu salés et la salinité n'est qu'un facteur pédologique secondaire (cf. travaux de M. Hibrâhim et M. Rapp, 1978).

1.1.7. Sylviculture

Nos voisins Italiens et Espagnols se sont beaucoup intéressés à la sylviculture du pin pignon principalement pour la production de pignons, mais l'Italie s'est également préoccupée des reboisements de protection et de production ligneuse.

Les travaux dans ces derniers type de reboisement sont comparables à ceux effectués en France (Djaziri, 1971) :

- élagage
- dépressage
- puis éclaircies.

. Le premier élagage s'effectue vers 8-10 ans et ne dépasse pas le tiers inférieur de l'arbre. Les forestiers Espagnols et Italiens sont d'accord pour affirmer que l'élagage favorise la croissance en hauteur de cet arbre. Des études seraient certainement à entreprendre pour connaître l'intensité idéale de l'élagage et son influence sur la croissance (faut-il un élagage plus dynamique ?).

En France, des élagages très forts ont été réalisés dans des reboisements des Pyrénées Orientales (Banyuls et Millas) et il semblerait que, contrairement aux attentes des forestiers, les arbres aient bénéficié de l'opération.

Ce type d'élagage, qui laisse sur l'arbre un petit plumet est actuellement visible à La Gardiole de Montpellier.

. Le dépressage n'est pas effectué en France où la technique du semis direct n'est pas employée pour le pin pignon et où l'on met en général un plant par potet pioché.

. Pour les éclaircies dans les reboisements de protection, les forestiers espagnols et italiens ne précisent pas de facteur d'espacement. Dans les peuplements de production fruitière, il est préconisé de maintenir les peuplements très clairs. D'autre part, Giordano pense que le pin pignon, par sa forme particulière, n'est pas naturellement un arbre de formations arborées denses. Pour lui, les peuplements denses actuels sont ou auraient été favorisés par l'homme.

L'accroissement en volume est soutenu jusque vers 30 ans puis décroît rapidement et s'arrête presque aux alentours de 80 ans. La révolution de la forêt de Ravenna est justement de 80 ans. Pour un peuplement de production ligneuse, il est déconseillé de trop rallonger cette révolution.

Pour l'Espagne et l'Italie, la production la plus importante du point de vue économique est la production fruitière. Elle fait l'objet d'une sylviculture très suivie. Les peuplements espagnols sont généralement issus de régénération naturelle complétée par des semis dans les endroits où celle-ci est un peu déficiente. En Italie, la régénération naturelle est aussi courante mais on utilise également les techniques d'élevage et de plantation en motte, à racines nues et en godet polyéthylène.

Les peuplements font l'objet de dépressages et d'entretiens avec notamment un passage de disque conseillé tous les deux ou trois ans.

Les arbres sont élagués pour "nettoyer le fût et stimuler la croissance". Il faut se limiter à n'élaguer au maximum que les deux tiers de la hauteur totale (F. Baudin-Sanchez, 1966).

Les densités conseillées sont :

- 400 tiges à l'hectare à 20 ans
- 100-150 tiges à l'hectare à 40 ans
- 80 à 120 tiges à l'hectare à 60 ans et plus.

La fructification débute de 17 à 20 ans et la pleine récolte commence vers 35 ans. L'optimum se situe de 50 à 80 ans.

La révolution a une durée de 100 ans en général. Elle est plus courte lorsque les arbres ont un mauvais état sanitaire (forêts gravement atteintes par *Trametes pini*). Les Espagnols prévoient pour l'avenir des révolutions plus longues.

Les peuplements font l'objet de nombreux traitements sanitaires pour éliminer tous les parasites des graines qui ont souvent remis en cause la rentabilité des exploitations.

La récolte des cônes se fait de la fin de l'automne au courant de l'hiver suivant. Les ouvriers sont équipés d'une perche de 4 à 5 mètres de long munie d'un crochet de fer à son extrémité pour faire tomber les cônes de trois ans. Ils s'aident d'une grande échelle.

Les cônes tombés sont transportés et étalés sur des aires de séchage. Ils sont laissés en plein air ou stockés dans des magasins jusqu'à l'été. Ils sont alors mis au soleil ce qui provoque leur ouverture. L'extraction des graines peut être faite à la main ou mécaniquement. Le décorticage des graines se fait de façon mécanique.

1.1.8. Production et utilisation du pin pignon

. Production de bois : La production ligneuse varie en général entre 0,5 et 2 m³ par hectare et par an (accroissement moyen annuel). Les peuplements sur sables littoraux atteignent dans des conditions favorables (nappe phréatique pas trop profonde) plus de 10 m³ par hectare et par an (accroissement courant) (Illy, cité par Cabanettes, 1979). La production est tout à fait remarquable en Argentine : certains peuplements ont des productions de 17m³ par hec-

tare et par an avec 14,50 m de hauteur à 27 ans (ceci pour 850 à 900 mm de pluie par an et une température moyenne annuelle de 16°C) (D. Cozzo, 1969).

En plus de ces productions spectaculaires, le pin pignon possède en Argentine une autre particularité : son fût se dédouble dans la plupart des cas au-dessous de 2 m.

Des tables de production existent pour les grandes forêts italiennes de pin pignon (C. Castellani, 1970) : Viareggio, Ravenna, Castel Porziano, San Rossore, Cecina, Feniglia.

D'autre part, des classes de fertilité ont été établies en Espagne par la Section d'Aménagement des Forêts de l'Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (Pita Carpenter, 19) (cf. Annexe).

. Utilisation du bois : Le bois du pin pignon est souvent utilisé pour la construction rurale et pour l'artisanat local dans le cas de peuplements limités au point de vue surface. On l'utilise également en Espagne et en Italie comme bois de mine, bois de charpente, poteaux de lignes et menuiserie grossière.

. Production fruitière : La production fruitière peut varier de 0,2 à 7 tonnes de cônes par hectare et par an (0,2 tonnes pour les peuplements espagnols touchés par les parasites des graines et non traités à 7 tonnes pour les plus beaux peuplements italiens). D'une tonne de cônes, on extrait en moyenne 220 kg de graines avec tégument et finalement 40 kg de pignons.

La greffe du pin pignon et même le bouturage (difficile à réussir) constituent un des espoirs de la production fruitière. Ces techniques en sont encore au stade de l'expérimentation et leur rentabilité pour la production des pignons n'est pas encore assurée.

. Autres ressources : Au niveau du revenu de la forêt, on peut rappeler qu'en Italie, le camping et la chasse constituent une très bonne valorisation des boisements.

1.1.9. Qualité du bois

L'étude sur la qualité du bois de pin pignon effectuée par Polge en 1978 montre que :

- la stabilité dimensionnelle de ce bois est particulièrement satisfaisante : la rétractabilité est plus faible que pour les bois de pin sylvestre et de pin maritime, notamment en ce qui concerne la rétractabilité axiale ;
- il a un très bon comportement en flexion statique (planches ou éléments de charpente), moins bon en compression axiale (soutènement) où il reste tout de même supérieur au pin maritime et au pin sylvestre.
- phénomène assez rare chez les résineux, la densité du bois (et donc sa qualité) augmente avec l'élargissement des cernes.

Mais le pin pignon est parfois gorgé de résine et pour obtenir des débits de bonne qualité, il faut nettoyer fréquemment la lame de scie. C'est sans doute là qu'il faut chercher la raison de la désaffection pour le bois de pin pignon en France.

Tableau comparatif de la qualité du bois de pin pignon par rapport au pin maritime, au pin Laricio, au pin sylvestre et au cèdre (d'après Polge)

	Pin maritime	Pin Laricio	Pin sylvestre	Cèdre
Retrait	S	S	S	
Retrait axial	TS	TS	TS	
Largeur des cernes/augmentation densité	I	S	S	I
Compression axiale. Contrainte rupture	S	I	S	I
Flexion statique	S	I	S	S

S pin pignon supérieur

I pin pignon inférieur

TS pin pignon très supérieur

1.1.10. Génétique

Les graines de pin pignon actuellement plantées en France viennent d'Espagne et d'Italie et sont importées par Vilmorin et Versepuits. A notre connaissance, seule la pépinière domaniale des Pradineaux dans la forêt du Rouet (83) effectue sa propre récolte de graines sur un beau peuplement situé à côté de la pépinière.

Des peuplements de pins pignons ont déjà été sélectionnés en Espagne (4 régions de provenance) et en Turquie. En Italie, en plus des peuplements sélectionnés, un parc à clones a été aménagé. Ce parc à clones est constitué par greffe de ramets femelles sur des jeunes plants.

Mais la sélection pour les peuplements espagnols et italiens porte sur la production de cônes. Les ramets du parc à clones de Cecina ont été choisis sur des arbres sélectionnés pour leur production de cônes sur une période de 4 ans.

1.1.11. Les maladies

Le fait que les peuplements de pins pignons soient en général peu étendus et relativement distants entre eux en région méditerranéenne française joue certainement un rôle important dans la faible sensibilité aux maladies de cette essence en France par rapport aux problèmes espagnols et italiens. Toutefois, le pin pignon est quelquefois touché ; deux causes en sont souvent à l'origine :

- des insectes ou des champignons des pins à deux feuilles existent dans des peuplements voisins et peuvent s'attaquer au pin pignon : dans ce cas-là, en général, les attaques sont moins virulentes sur le pin pignon mais existent quand même. Par exemple, on voit souvent des pins pignons attaqués par la processionnaire du pin à proximité de pins noirs touchés ;
- des arbres affaiblis, soit par l'âge, soit par des bles-

sures sont des cibles privilégiées pour les parasites.

L'action conjuguée des chutes de neige lourde qui affaiblissent l'arbre en le mutilant et des parasites nous a paru être la plus néfaste.

Nous dresserons simplement une liste des insectes et des champignons trouvés sur des pins pignons. Les renseignements sur les symptômes de la maladie, la biologie du parasite et les moyens de lutte se trouvent dans les fiches du CEMAGREF de Grenoble Information technique pour la surveillance phytosanitaire de la forêt.

. Les insectes

- La processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff). Les dégâts ne provoquent pas la mort des pins pignons même s'ils sont gravement attaqués. Nous avons pu observer une attaque importante dans la forêt domaniale de Fréjus sur des pins pignon plantés en 1966 avec le sachet polyéthylène. La nuisance est beaucoup plus importante pour les personnes à cause des poils urticants des chenilles. Il est nécessaire d'effectuer un traitement dans les boisements attaqués entourant les habitations. La processionnaire est très gênante en Espagne pour la récolte des pignons où elle cause de graves ennuis aux ouvriers (boursoufflements) (signalé en France, Italie, Espagne).

- La bombyx disparate (*Lymantria dispar*) n'attaque que secondairement le pin pignon et préfère d'abord le chêne et le pin d'Alep (signalé en France dans les forêts communales de Cessenon sur Orb et Creissan).

- La tordeuse des pousses terminales du pin (*Rhacionia buolina* Schiff) ravageur des jeunes pins, elle est signalée en France sur le pin pignon par le CEMAGREF de Grenoble (également en Espagne où elle cause des dégâts importants dans les pinèdes de production fruitière).

- L'hylésine du pin (*Blastophagus piniperda*) et l'hylésine destructeur (*Blastophagus destruens* Wall). Répandu dans le midi, c'est un ravageur sous-corticole des pins (dégâts au

Portugal, signalé en France).

- Pissode du pin (*Pissode notatus* Fab.) attaque de préférence les jeunes plantations et les arbres en cours de dépérissement.

- Pissodes Validirostris Gyll. cause en Espagne et en Italie de graves dégâts dans les pinèdes de pins pignons où il détruit la production fruitière. En Espagne, il est traité de manière très expéditive au D.D.T. et au Lindane. Loisel le signale en France.

- Le sténographe (*Ips sexdentatus* Boern.) (*Ips erosus* sur pin pignon au Portugal) est signalé en France sur de nombreux pins et en Italie sur le pin pignon. La pratique d'une bonne sylviculture avec enlèvement des arbres dépérissants constitue un bon traitement préventif (CEMAGREF Grenoble). C'est peu souvent le cas pour le pin pignon en France.

- La pyrale du tronc (*Dioryctria sylvestrella* Ratz.) ravageur sous-corticole, elle est signalée en France par le CEMAGREF sur le pin pignon. *Dioryctria mendacella* Schiff. signalé en Espagne, attaque les bourgeons.

. Les champignons :

- La maladie du rond (*Fomes Annosus*). Présent en France il est signalé en Italie sur le pin pignon par Giordano (dégâts importants près de Pise) ;

- l'armillaire (*Armillaria mellea* Karst.) attaque les arbres affaiblis ou dépérissants. *Armillaria Riouseti* a été découvert par Josserand en 1977 près d'Aigues Mortes dans le voisinage de *Pinus pinea*.

- la rouille vésiculeuse de l'écorce des pins (*Cronartium flaccidum* Schw. et *Cronartium ribicola* Fischer.) est signalée sur le pin pignon en France par le CEMAGREF. *Cronartium flaccidum* cause de très graves dégâts sur les peuplements de pins pignons en Italie. Des tests de provenance pour la résistance à cette rouille ont été réalisés en Italie mais ils n'ont donné aucun résultat sur *Pinus*

pinea L..La rouille complète son cycle sur le dompte-venin (Vincetoxicum officinale).

- la rouille courbeuse des rameaux de pins (Melampsora pinitorqua) signalée en Italie et en France (CEMAGREF) ;

- la fonte des semis : la pulvérisation par des fongicides est conseillée à titre préventif.

- la rouille vésiculeuse des aiguilles de pin (Coleosporium spp.) peut détruire les jeunes plants. L'hôte alternant est Inula viscosa. Signalé en France et en Italie sur le pin pignon.

1.2. LES PRINCIPAUX TRAVAUX DEJA REALISES SUR LE PIN PIGNON EN FRANCE

Depuis l'après-guerre, la production de pignons en France a régressé jusqu'à devenir absente de nos jours. Autrefois, les joueurs de boules avaient une petite pince dans la poche qui leur servait à casser la coque du pignon lors des temps morts des parties de boules. Le bois était utilisé pour les charpentes des maisons alors qu'on l'utilise aujourd'hui comme pâte à papier ou bois de feu, emploi pour lequel il se révèle d'ailleurs médiocre.

Ce sont les autres fonctions de la forêt (protection du milieu, rôle social et touristique) qui ont suscité un regain d'intérêt pour le pin pignon en France.

Les travaux français sont essentiellement et dans l'ordre chronologique l'oeuvre de :

- Loisel (1967) qui s'est intéressé plus particulièrement à la germination du pin pignon au niveau de certaines associations végétales ;
- puis Godin (1974) s'est efforcé de préciser les exigences pédologiques de l'arbre ;
- A. Cabanettes (1979) a étudié en détail un écosystème à pins pignon. L'étude de ce dernier a été effectuée dans un peuplement de pins pignon de petite Camargue entre Aigues-Mortes et Sylveréal. Elle comprend de nombreux résultats sur la croissance de l'essence :
 - le début de la croissance en longueur commence entre le 20 février et le 5 mars ;
 - la période de croissance active s'étend du 28 avril au 18 juin avec 36 jours de croissance en moyenne. L'allongement représente dans cette période 40 à 70 % de la longueur totale de la pousse ;
 - au total, la croissance en longueur dure de 82 jours à 177 jours avec une moyenne de 120 jours ;
 - le début de la croissance en épaisseur du tronc semblerait sensible aux basses températures. Le déclenchement lui-

même qui se produit pour des températures relativement basses (températures minimales journalières de 8°C) serait sous la dépendance des précipitations et de la photopériode ;

- la forte croissance en épaisseur se fait en avril et début mai sous l'action combinée des facteurs thermiques et hydriques, puis le déficit hydrique limite cette croissance qui reprend seulement en fin de saison (septembre-octobre).

- Deux causes d'arrêt de croissance sont possibles : des températures minimales journalières inférieures à 8°C ou la saturation en eau du sol.

D'autre part, la diminution progressive de la longueur des pousses annuelles débute dès 13 ans en moyenne pour le Mas Petit St-Jean (lieu de l'étude). Poupon constate en Tunisie que c'est dès 8 ans. C'est donc surtout la courte durée de la période des allongements importants qui pourrait expliquer les hauteurs relativement modestes atteintes par les pins pignons (moins de 20 m dans presque tous les cas).

Il est alors essentiel, connaissant ce phénomène, de soigner les plantations et de bien entretenir les jeunes reboisements de manière à ce qu'ils puissent atteindre une hauteur suffisante, ceci en particulier pour résister au feu.

- De plus, des analyses de tiges ont été effectuées sur 5 arbres du peuplement. Malheureusement pour notre étude, ce peuplement est jeune (l'arbre le plus vieux était âgé de 30 ans) et les 5 arbres poussaient sensiblement de la même manière (cf. tableau). Une comparaison avec les classes de croissance que nous avons établies est effectuée par la suite. Du point de vue de la production du peuplement, nous avons relevé que l'accroissement courant était pour le peuplement de 7,6 m³/ha.an de bois fort.

L'accroissement de la biomasse aérienne est de 5,70 t/ha.an alors que la chute annuelle de litière est de 7,80 tonnes/ha.an. Le rapport $\frac{\text{production foliaire}}{\text{production ligneuse}}$ est de 52 % (en poids),

soit un rapport particulièrement élevé. Le taux volumique d'écorce varie de 21 à 37 %.

D'autre part, Cabanettes constate qu'au Mas Petit Saint Jean, la population, toute issue de régénération naturelle se divise en 4 classes d'âge :

- 5-6 ans
- 19-20 ans
- 24-25 ans

- 28-29 ans et il est possible de distinguer des placettes ne contenant que des arbres de la classe la plus âgée et des placettes ne contenant que des arbres de la classe la plus jeune. Cette irrégularité de la régénération suivant les années est expliquée par Loisel : il faut trois années favorables pour la maturation des cônes et des semences et il en faut encore au moins deux pour la survie et le développement des semis.

Loisel constate d'autre part que le maximum de germination a lieu en automne et que les sols les plus favorables sont à texture sableuse. La présence de sel dans le sol empêche toute germination.

La mortalité au cours des premiers mois est totale dans les sols d'épaisseur inférieure à 5cm. Les sols profonds et meubles sont alors les plus favorables.

Ces quelques éléments sont très importants quant à la structure et à la localisation des peuplements naturels ou à régénération d'origine naturelle.

L'étude de Godin (1975) porte sur 40 peuplements de pin pignon du Languedoc. Elle révèle que cette essence est peu exigeante vis à vis des propriétés chimiques du sol. Godin conclut également que le calcaire actif et la salinité sans interdire le développement de l'arbre, limitent de façon considérable la croissance. L'auteur précise toutefois que des analyses précises des sols avec du calcaire actif seraient nécessaires et d'autre part qu'il faudrait faire une étude complète des peuplements littoraux pour préciser la salinité.

II. L'ETUDE, LA METHODE ET LES MESURES

2.1. LE PRINCIPE

Le but de l'étude est de mettre en évidence les facteurs les plus explicatifs pour la croissance du pin pignon. Pour arriver à la fois à créer une hiérarchie parmi ces facteurs et permettre une évaluation de la qualité de la station à partir de ceux-ci, la méthode employée a été la segmentation.

A partir d'un ensemble de relevés de stations portant à la fois sur la croissance des arbres et sur les facteurs susceptibles de l'influencer, un premier tri est effectué pour déterminer le facteur qui, par ses différentes modalités, explique le mieux la variation de la croissance. Deux groupes sont alors constitués et la même opération est recommencée pour chacun d'eux et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un groupe ne puisse plus être divisé, soit parce qu'aucun facteur n'est suffisamment explicatif, soit parce que le groupe est trop petit.

Pour une telle étude, il a donc fallu :

- 1) avoir un nombre de stations de pins pignon qui soit important et par conséquent effectuer un repérage préalable des stations ;
- 2) une évaluation de la croissance du pin pignon sur la station ;
- 3) une fiche de mesure qui puisse prendre en compte tous les facteurs susceptibles d'être importants ;
- 4) des moyens informatiques suffisamment puissants.

2.2. LE REPERAGE DES STATIONS

Il a été commencé en 1975 avec l'aide d'un contrat d'étude financé par la DGRST. Ce repérage porte en Languedoc-Roussillon uniquement sur les reboisements artificiels et a été effectué avec l'aide de l'Office National des Forêts, des Directions Départementales de l'Agriculture, du Centre Régional de la Propriété Forestière et du Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques de Montpellier. 101 fiches de reboisements concernaient le pin pignon.

En Provence, seule une localisation approximative de certains peuplements naturels ou issus de régénération naturelle a été effectuée lors de ce programme d'étude. Le Centre Régional de la Propriété Forestière de Provence nous a communiqué sa carte de repérage des peuplements de pins pignon qu'il a dû établir pour son propre usage.

Tous ces résultats ont été complétés par le repérage sur carte des relevés de l'Inventaire Forestier National contenant du pin pignon.

A partir d'un peuplement, nous avons souvent pu observer plusieurs stations écologiques - ou par définition les facteurs écologiques sont supposés homogènes - qui différaient simplement entre elles par une ou deux variables : par exemple des positions topographiques et des expositions différentes dans un même reboisement. Un point de repérage nous a donc souvent permis d'effectuer plusieurs fiches de mesures. Une carte de localisation des peuplements a été établie.

Tous n'ont pu faire l'objet de mesures car la période des relevés a été limitée dans le temps. Si cela s'avère nécessaire, il sera donc toujours possible de récolter des données manquantes ou de préciser l'étude pour certaines régions.

Carte de localisation des boisements de pin pignon en région méditerranéenne française

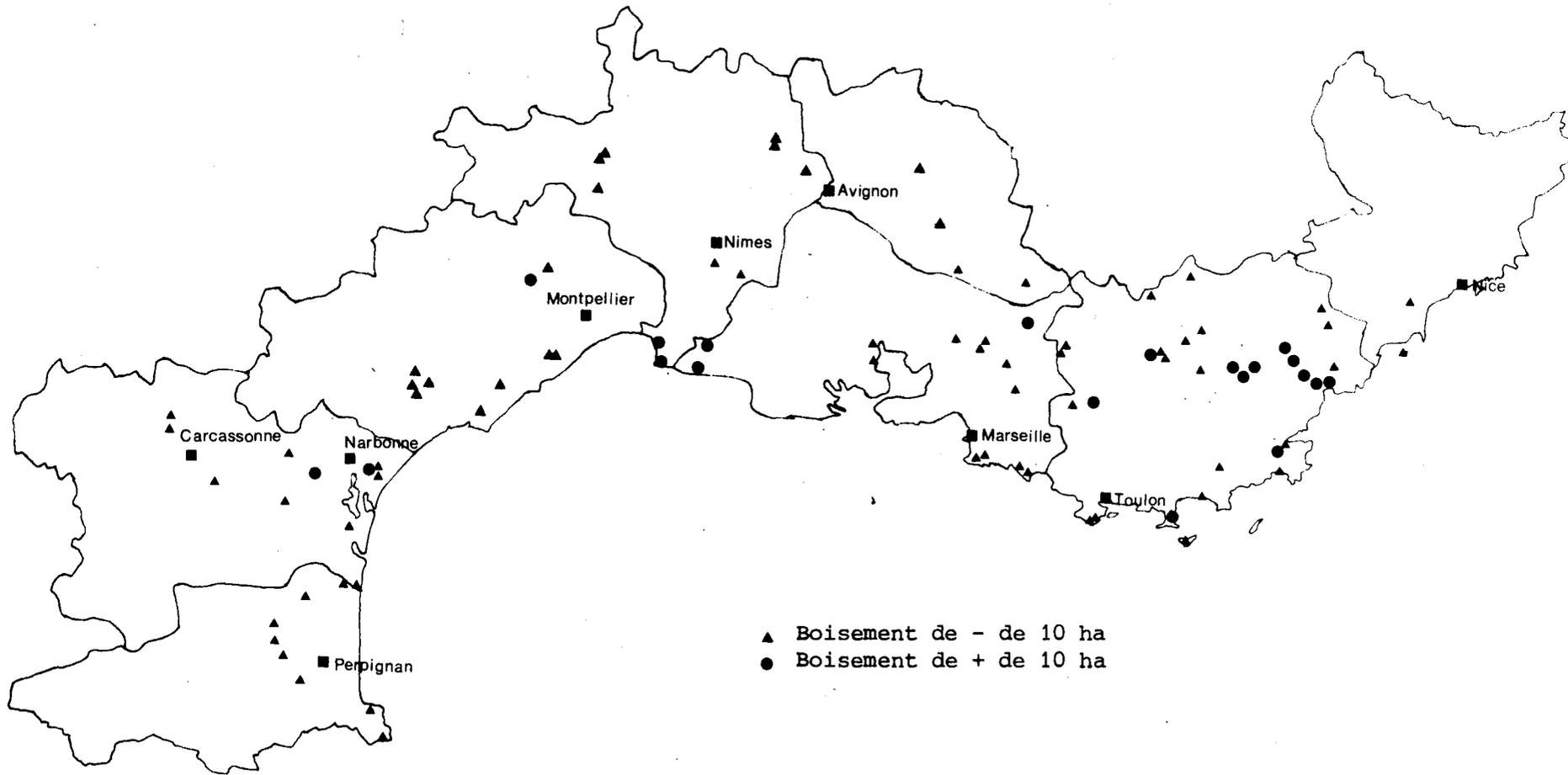


FIGURE N° 2

2.3. LA DETERMINATION DE LA FERTILITE DE LA STATION

. Dans les peuplements équiennes, le critère de fertilité de la station est sa production totale. Or, celle-ci est corrélée à sa hauteur moyenne dans un territoire aux conditions climatiques homogènes (Assmann, 1957, cité dans Dendrométrie de Pardé).

Il est impossible, en région méditerranéenne et pour une telle étude, de prendre la production totale comme critère de fertilité. La hauteur est le seul accès simple à ce critère. D'autre part, il n'est pas envisageable de prendre une hauteur moyenne ou une hauteur dominante au sens de la définition classique : nous sommes en région méditerranéenne et les peuplements sont en général très clairs et très peu réguliers. De plus, le comportement particulier du pin pignon en fait souvent un arbre de peuplement de surface très limitée.

Il faut donc se contenter de prendre une moyenne de hauteurs d'arbres non dominés. Pour que cette moyenne ait une certaine significativité, nous avons essayé de déterminer le nombre d'arbres à mesurer pour avoir une erreur maximum sur la moyenne estimée de 10 % au seuil de 95 %. Nous nous sommes servi du tableau de Dagnélie (Théories et méthodes statistiques, volume 2, 1973) qui lie le nombre de mesures au coefficient de variation et à la marge d'erreur relative pour un degré de confiance de 95 %.

Il aurait été fastidieux de recalculer à chaque fois le nombre de mesures à effectuer. Aussi, nous avons essayé de préciser ce chiffre avant le début de l'enquête en le calculant sur quelques stations puis en le surestimant dans les stations ultérieures afin d'avoir un ordre de grandeur de sa valeur par rapport à l'âge du peuplement.

Deux stations ont fait l'objet de l'étude préliminaire : l'une au Mas des Sablons près d'Aigues Mortes ; l'autre à la Gardiole de Montpellier.

- Dans la première, nous avons mesuré 13 individus et tariéré 4 arbres : nous avons trouvé un âge moyen de 63 ans (de 62 à 65 ans à la tarière Pressler) ; la hauteur moyenne a été évaluée à 12,10 m avec un écart type de 8,7 %. Le graphique de Dagnélie nous permet de préciser que 6 mesures auraient été suffisantes.

- Pour le second peuplement, l'âge moyen est de 18 ans ; nous avons mesuré la hauteur de 31 arbres. La hauteur moyenne a été évaluée à 2,56 m avec un écart type de 0,44 m soit un coefficient de variation de 17,1 %. 15 mesures auraient été suffisantes.

Pour les premières fiches, nous avons supposé que le nombre de mesures était linéairement décroissant par rapport à l'âge et que la droite passait par les points de coordonnées (63,6) et (18,15) - âge et nombre. Une détermination graphique était alors possible directement à partir de l'âge. Nous avons pris au début trois mesures de hauteur d'arbre de plus que prévu. Nous avons observé très rapidement que ce modèle linéaire ne correspond pas à la réalité mais que la courbe (âge, nombre de mesures) doit plutôt ressembler à un fragment d'hyperbole (cf. graphe).

Plus le peuplement est jeune et plus le nombre de mesures doit être important. Cela a été la raison principale pour ne pas effectuer de fiches dans les peuplements de moins de 10 ans. 40 à 50 mesures de hauteur seraient souvent nécessaires dans ceux-ci.

Dans la station écologique, les arbres mesurés ont ainsi défini une placette. C'est dans cette surface qu'ont été effectués les autres relevés.

. Cas des peuplements inéquiennes

Il n'était pas question de définir une moyenne de hauteur dans ce cas et nous avons donc procédé de manière différente : une dizaine de couples, âge, hauteur, ont été mesurés sur

la placette. Un indice de croissance défini par la suite a été associé à chaque couple ; la moyenne de ces premiers indices a été considérée comme indice de fertilité de la station.

Nous n'avons eu, au cours de nos mesures, qu'à effectuer 4 placettes où les arbres n'avaient pas le même âge : la régénération irrégulière suivant les années favorise le développement des arbres en petits bouquets équiennes (cf. travaux de Loisel, 1967, et Cabanettes, 1979).

A l'usage, il est plus facile de reconnaître dans un peuplement des bouquets d'arbres du même âge. De plus, la tarière Pressler lève tout doute quant à l'appartenance d'un arbre à un groupe équienne. Pour la commodité des mesures nous avons recherché ces groupes pour y installer les placettes.

Dans les 4 placettes inéquiennes, le coefficient de variation de l'indice de croissance est toujours inférieur à 10 %.

. Les classes de fertilité

Il n'a pas été possible d'établir des analyses de tiges principalement pour une question de temps. Les mensurations des entrenœuds ne sont possible que pour des arbres jeunes. De même, les analyses de tige de Cabanettes ne concernent que des arbres de moins de 30 ans et pris sur la même station écologique. Une méthode différente a donc été utilisée ici. Pour chaque arbre, où l'âge a été mesuré, nous avons relevé le couple âge-hauteur.

Une régression curvilinéaire peut être effectuée dans ce nuage de points. Nous avons essayé deux types d'équations :

$$1) \quad y = a e^{-bx^c} \quad \begin{array}{l} y : \text{hauteur} \\ x : \text{âge} \end{array} \quad (\text{Duplat 1980})$$

$$2) \quad y = a (1 - e^{-bx}) \quad (\text{Ottorini 1981})$$

Cette méthode peut comporter un biais : un sur-échantillonnage dans une partie du nuage déplace la courbe de régression

vers la partie sur-échantillonnée. Cela a pu se produire ici :

- actuellement, il semble y avoir beaucoup plus de reboisements sur les mauvais terrains que sur les bons ;
- les très mauvaises stations ont par contre moins de chance de résister au feu. Il peut donc y avoir un sur-échantillonnage des mauvaises stations avec des arbres jeunes et un sous-échantillonnage des mauvaises stations avec des arbres plus âgés.

Pour remédier à ce type de biais, une pondération du nuage de points a été effectuée :

- lorsque la densité des points est forte, ils ont moins de poids pour la corrélation et si la densité est faible, les points ont plus de poids ;
- les deux mêmes types d'équation ont été essayés. La courbe qui présentait les résidus avec la meilleure répartition a été retenue.

Nous avons ensuite paramétré cette courbe pour établir les classes de fertilité.

. Les problèmes particuliers des mesures d'âge et de hauteur

- Les mesures d'âge ont été effectuées à la tarière Pressler suivant le mode prescrit dans le protocole de mesure. Les cernes sont en général bien visibles. Quelquefois un petit trait blanc nacré coupe le cerne sombre mais la détermination de l'âge de l'arbre ne pose pas trop de problèmes. Il est facile de distinguer le bois de printemps clair du bois d'été sombre.

- Les mesures de hauteur n'ont pu être faites au dendromètre optique car, de par sa forme en parasol, il faut souvent s'éloigner très loin du pin pignon pour ne pas surestimer la hauteur. Les problèmes ont été résolus par l'emploi de deux jeux de perches du modèle IFN (18 mètres).

2.4. LA FICHE DE MESURE

(Le détail de la fiche et le protocole de mesure figurent en annexe). Une fiche d'enquête a déjà été établie au CEMAGREF d'Aix-en-Provence. Elle est utilisée pour les relevés sur le cèdre. Cette fiche est principalement inspirée du Relevé méthodique de la végétation et du milieu (CEPE).

Toutes les observations sont faites sur le terrain. Les facteurs topographiques et pédologiques sont d'abord observés. Dans l'étude du sol, les aspects chimiques sont volontairement écartés. Une description de la végétation est ensuite prévue, suivie par une description du peuplement et des travaux qui y ont été effectués.

Le fait que les aspects chimiques du sol ne soient pas étudiés ne nous a pas gêné. Il semble de plus en plus qu'en région méditerranéenne, l'aspect physique soit prédominant. Cela a été confirmé pour le pin pignon par l'étude de Godin (1974).

Cette fiche a toutefois été remaniée en essayant de prendre en compte les particularités du pin pignon : par exemple la profondeur de la nappe phréatique dans les sols sur sables littoraux. D'autre part, nous avons essayé d'avoir la plus grande objectivité possible au niveau de l'appréciation de certains facteurs. Ceci à la fois par des classes qui soient le plus facilement discernables à l'oeil . Par exemple, pour les pourcentages d'affleurements rocheux :

classe 1 = 0.10 % d'affleurement rocheux

classe 2 = 10 à 30 % d'affleurement rocheux

classe 3 = 30 à 60 %

classe 4 = + de 60 %

D'autre part en tentant de codifier tous les facteurs , par exemple l'abondance de la fructification:

On examine sur le houppier une surface approximative de 4 m². Si l'on voit

- de 1 à 4 cônes dans cette surface, on note fructification peu abondante ;
- de 4 à 20 cônes, fructification abondante ;
- plus de 20 cônes, fructification très abondante.

Enfin, nous avons essayé d'intégrer à la fiche des variables nouvelles qui nous ont paru intéressantes :

- pourcentage de cailloux dans les 20 premiers centimètres du sol ;
- estimation de l'indice de rayonnement global établi par Becker. Un petit tableau permet d'estimer le confinement de la station.

D'autre part, des précisions sur l'effet du calcaire dans la croissance du pin pignon et la salinité de certains sols étaient nécessaires. La texture et la couleur étaient difficiles à observer sur le terrain. Nous avons donc décidé de prendre systématiquement un échantillon de terre sur la placette dans les 20 premiers centimètres du sol. C'est au laboratoire que nous avons ensuite observé la couleur et la texture, puis mesuré le pH. Le pH a constitué un guide pour deux autres types d'analyses : en Provence, pour les sols à pH supérieur à 7, nous avons fait effectuer des analyses de calcaire total et de calcaire actif et en Languedoc pour les sols à pH supérieur à 8,5 et susceptibles d'être salés, nous avons demandé un dosage de la salinité.

Les relevés de végétation se sont faits pour la plupart en hiver. Seules les plantes visibles et identifiables en cette saison ont donc pu être utilisées. Le travail de Charles (1981) nous a servi à reconnaître les plantes qui étaient identifiables en hiver et pouvaient avoir une signification écologique.

117 plantes ont été relevées (liste en annexe) mais certaines que l'on avait trouvé sur un petit nombre de placettes ont dû être éliminées du dépouillement.

Le couvert qui intervient fortement dans la caractéri-

sation de la station a également été codifié : le pourcentage de recouvrement a été estimé en 1/10ème pour chacune des strates (arborée, arbustive et herbacée).

La description du peuplement a comporté en plus des mesures de hauteur et d'âge des observations sur la hauteur de la première branche vivante et l'épaisseur d'écorce.

L'historique des interventions a pu être noté uniquement dans le cas des reboisements répertoriés en Languedoc.

Les données météorologiques ont été recueillies ensuite. Elles ont été fournies par la Météorologie Nationale. A chaque placette, nous avons associé les données de la station météorologique la plus proche qui relevait les températures et les précipitations. Nous avons conscience que les placettes étaient parfois très éloignées de ces stations météo.

2.5. LE TRAITEMENT DES DONNEES

Il a été fait au CEMAGREF d'Aix-en-Provence. Nous avons utilisé le logiciel de programmes BMDP établi par l'université de Californie (1975) pour le dépouillement des variables par groupe de 2 ou 3, puis un programme AID pour la segmentation.

Le traitement de la végétation (analyse factorielle des correspondances) s'est fait à l'aide du logiciel d'analyse des grands tableaux établi par L. Lebart, A. Morineau et N. Tabard (1980). L'ordinateur est un IRIS 80.

3. LES ELEMENTS FOURNIS PAR L'ETUDE

3.1. ETABLISSEMENT DES CLASSES DE FERTILITE

Les deux types d'équation

$$y = a e^{bx^c}$$

et

$$y = a e^{(1-ebx)} - \text{où } y \text{ représente la hauteur de l'arbre}$$

et x l'âge -

ont été essayés sur le nuage de points représentant des couples (âge, hauteur). Le programme de régression curvilinéaire prévoit un diagramme probit qui teste la normalité des résidus R (différence entre la hauteur réelle et la hauteur prévue par la régression) et le calcul d'une sorte de coefficient de corrélation relatif à la régression courbe. Celui-ci est appelé "Serial Correlation" et est égal à :

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

$R(i)$ = Résidu de l'arbre i .

Les deux courbes se ressemblent beaucoup :

équation de la courbe 1:

$$y = 173,635 e^{-15,483x^{-0,8632}} \quad (\text{figure 4})$$

S.C. = 0,1783

Les résidus semblent suivre une loi normale. Seule une petite anomalie apparaît pour les résidus très élevés en valeur absolue (figure 5).

Equation de la courbe 2:

$$y = 147,02(1 - e^{-0,0225x}) \quad (\text{figure 6})$$

S.C. = 0,20293

même remarque que précédemment pour la distribution des résidus (figure 5), mais la courbe 1 avec 3 paramètres de modèle plus souple que la courbe 2 semble plus apte à rendre compte de la croissance réelle du pin pignon ("serial"correlation" plus faible).

Pour les raisons que nous avons déjà évoquées, il nous paraissait judicieux d'effectuer une pondération qui soit fonction de la densité de points. Nous avons calculé l'effectif par tranches de 5 ans découpées en éléments de 1 m. Soit n l'effectif d'une de ces classes, si $n \neq 0$, le poids d'un couple appartenant à l'élément $(x, x+5 \text{ ans})$ et $(y, y+1m.)$ sera $\frac{1}{n}$.

Après cette pondération, nous avons obtenu deux nouvelles courbes qui ressemblaient encore aux premières par leur forme.

Equation de la courbe 3 :

$$y = 305,55 e^{-5,4885x - 0,40357} \quad (\text{figure 4})$$

S.C. = 0,1607 .

Equation de la courbe 4 :

$$y = 142,854 (1 - e^{-0,023756x}) \quad (\text{figure 6})$$

S.C. = 0,17051 .

Si les valeurs fixées aux paramètres des courbes 2 et 4 se ressemblent, il n'en est pas de même pour les courbes 1 et 3 : les 3 paramètres ont des valeurs très différentes bien que les courbes soient très proches.

Le phénomène s'est répété lorsque nous avons voulu trouver l'équation des courbes qui traduisent les analyses de tiges effectuées par Cabanettes.

Là pondération ne change pas la valeur des résidus.

La courbe 3 a un "serial correlation" légèrement plus faible. De plus, pour la courbe 1, ce coefficient est plus convenable que celui de la courbe 2 ; la courbe 3 qui était apparentée au premier type d'équation avait toutes les raisons d'être améliorée par la pondération.

FIG. 4: COURBES 1 ET 3

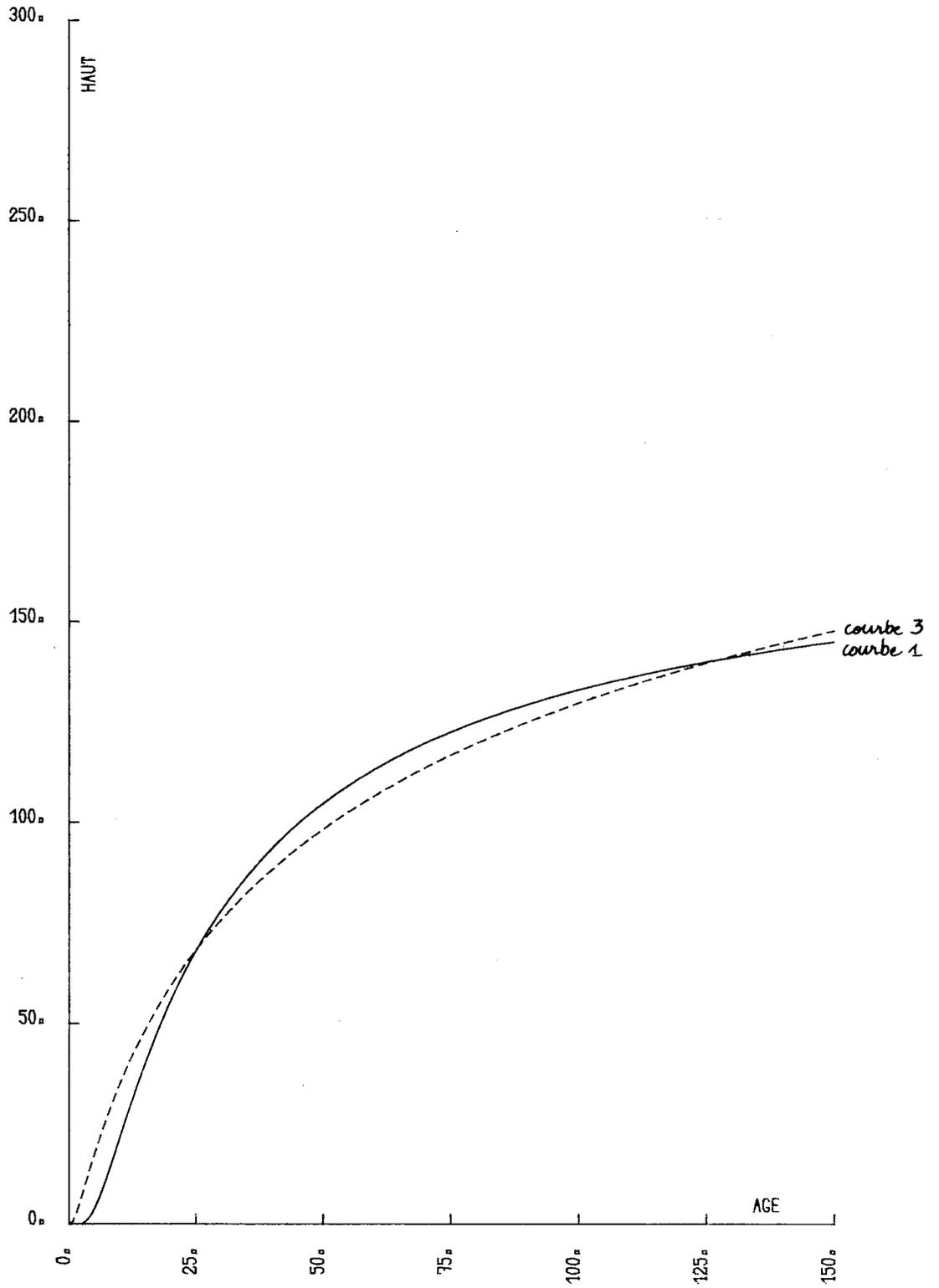


FIG6: COURBES 2 ET 4

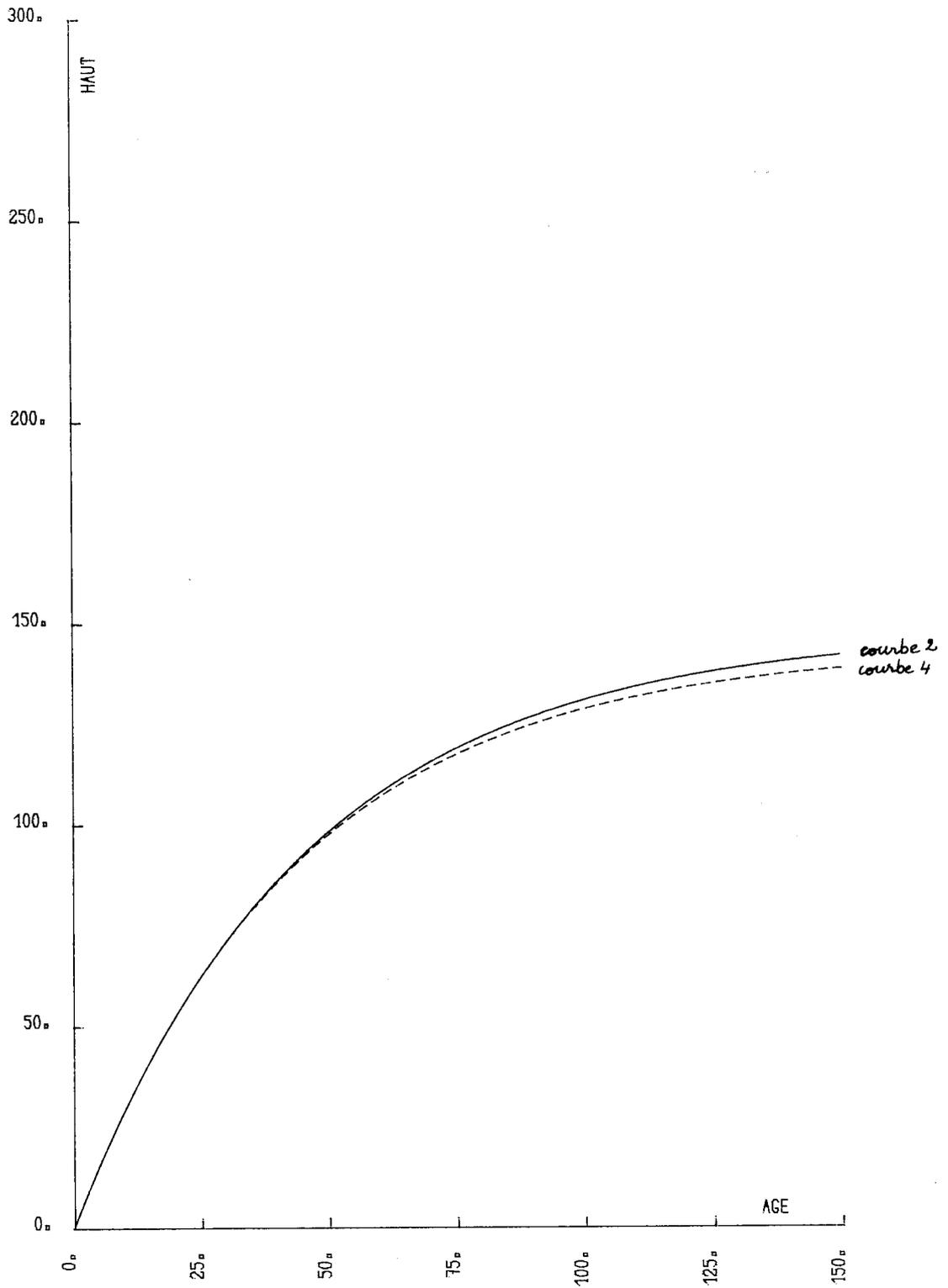
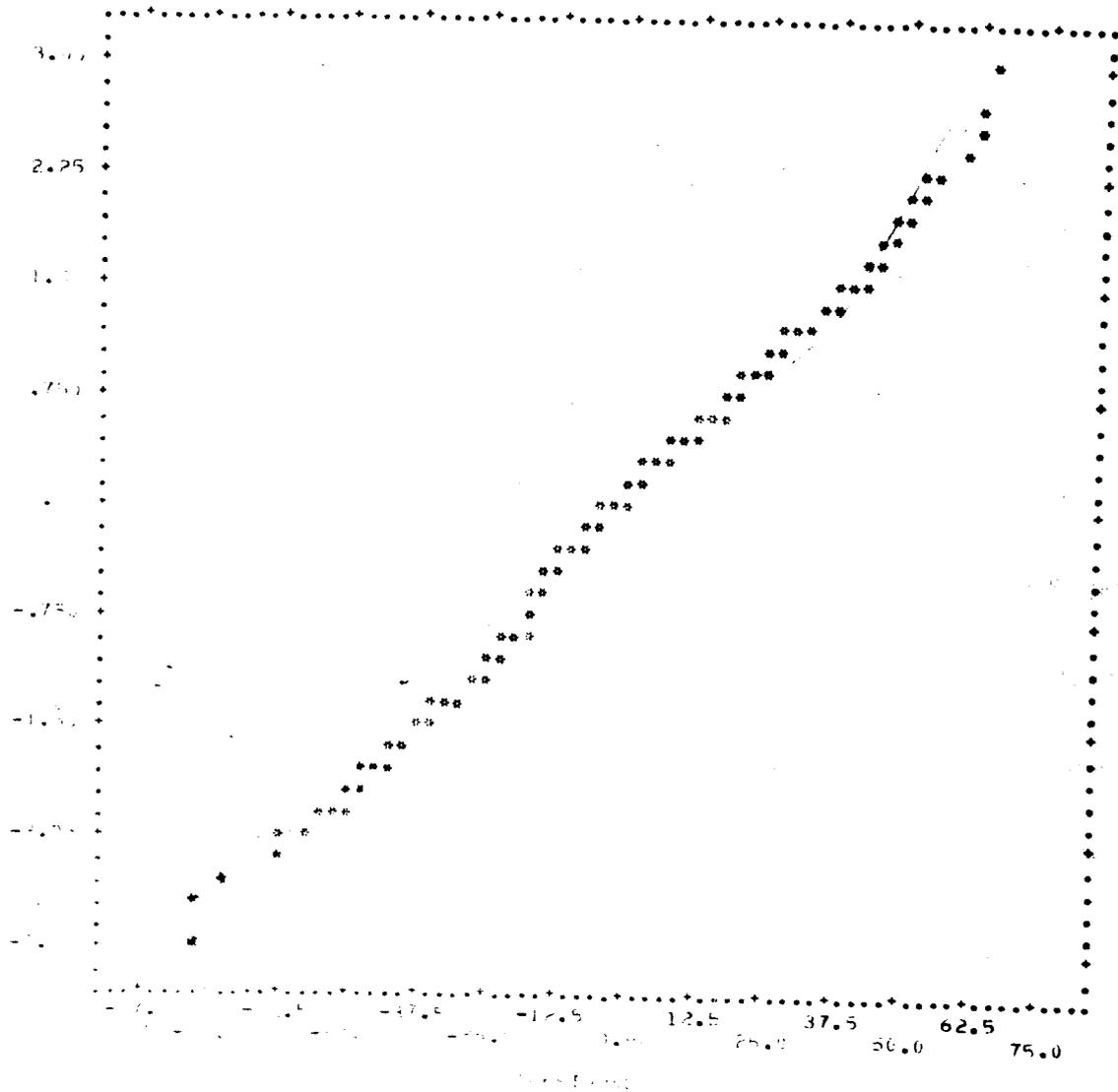


FIGURE N° 7

Diagramme probit des courbes 2 et 4

013901***PUN3P01***P013901***PUN3P01***PUN3P01*** 11*36*02

NTY PLOT OF RESIDUALS



Nous avons donc immédiatement choisi la courbe 3 pour commencer les analyses de variance à 1 et 2 facteurs puis la segmentation.

Mais, en effectuant ensuite la comparaison graphique avec les analyses de tiges de Cabanettes et les courbes de Pita Carpenter, nous nous sommes aperçu que la courbe 1 était beaucoup plus satisfaisante que la courbe 3 pour les arbres de moins de 20 ans (cf. figures 8, 9 et 10).

L'établissement des classes de fertilité à partir de l'une ou de l'autre courbe ne pose pas de problème. Par chaque point du nuage, il est possible de faire passer une courbe de la famille

$$y = P(\alpha) e^{Bx^C}$$

(B et C fixés = B = -15,483 et C = -0,8632 ou

B = -5,4885 et C = -0,40357)

$\alpha = 1$ pour le P (α) maximal :

$\alpha = 5$ pour le P (α) minimal

Nous avons alors pour tout arbre un coefficient α_i caractérisant sa croissance

$$\alpha_i = 4 \left(\frac{P(\alpha_i) - P(1)}{P(5) - P(1)} \right) + 1 \quad *$$

avec α_i compris entre 1 et 5

à chaque placette de mesure nous pouvons donc attribuer un indice de fertilité.

Que l'on choisisse la courbe 1 ou la courbe 3 pour établir les classes de fertilité a peu d'importance pour notre étude : dans les classes de fertilité établies d'après la courbe 3, les seules stations où la croissance est véritablement sous-estimée sont les stations où l'âge moyen est inférieur à 15 ans et se trouvant en classe de fertilité I (avec la courbe 1).

Toutefois, nous avons préféré recommencer la segmentation avec les classes de fertilité établies à partir de la courbe 1 (figure 11).

Nous n'avons pas eu le temps de recommencer tout le travail qui prépare la segmentation. Aussi il sera précisé

*

Valeur des paramètres

Courbe	Type I	Type II
P (1)	352,83	512,82
P (5)	33,19	150,43

lorsqu'il s'agit des classes de fertilité de type I (courbe 1) ou de type II (courbe 3) :

- pour le dépouillement avec le type II, l'effectif était de 183 fiches de relevés,
- pour le dépouillement avec le type I, l'effectif était de 191 fiches (8 fiches avaient disparu et ont été retrouvées entre-temps !).

De plus, les indices de fertilité de type I varient de 1,0 à 5,0 pour les arbres et de 1,2 à 4,9 pour les placettes. Pour les indices de fertilité de type II, les indices pour les placettes varient de 0,9 à 5,9. On ne peut donc comparer les indices qu'entre tableaux qui ont la même référence : Type I et N = 191

ou

Type II et N = 183

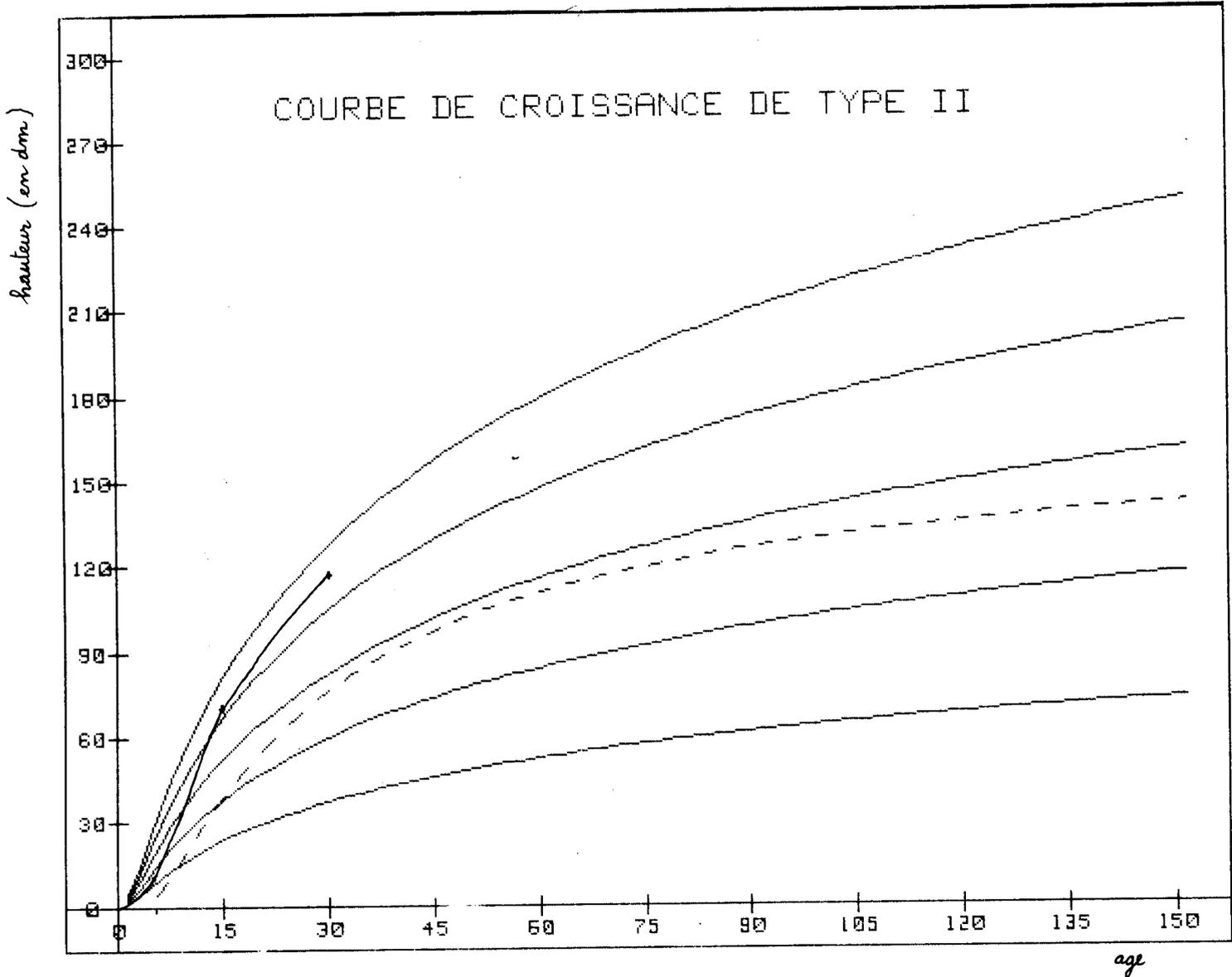
3.2. L'INFLUENCE DES DIFFERENTS FACTEURS SUR LA CROISSANCE

Nous analyserons d'abord les variables les unes après les autres puis nous nous intéresserons à la combinaison des variables deux à deux avant de passer à la segmentation de la population.

. La distance au littoral est considérée en général comme un gradient climatique. On trouve des peuplements de pins pignon jusqu'à 87 km du littoral (vers Bagnols-sur-Cèze à Sabran) mais la très grande majorité des peuplements se trouve à moins de 50 km de la mer ($m = 23$ km $\sigma = 21$ km). La fertilité croît avec la distance au littoral.

FIGURE 8

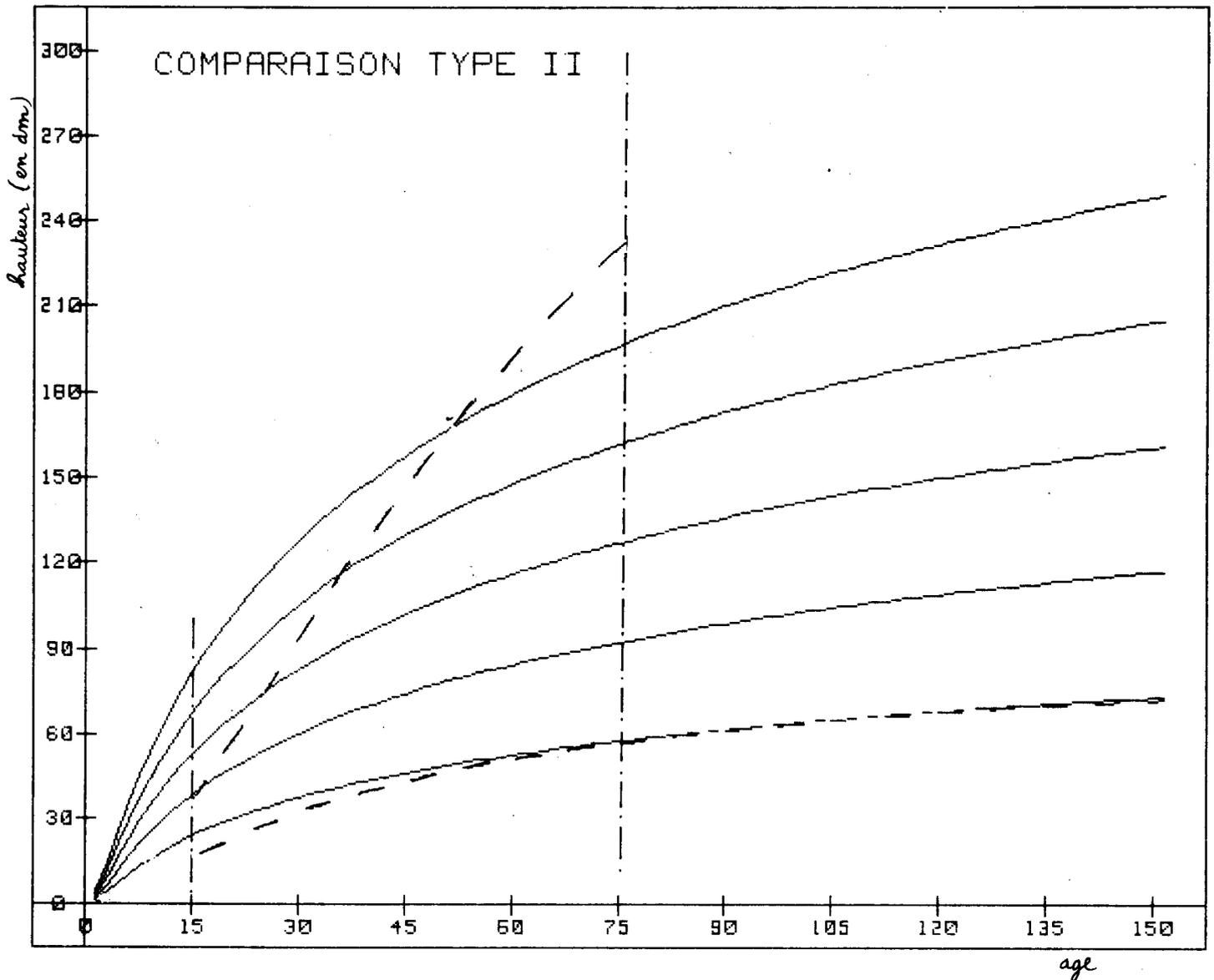
Classes de fertilité de type II
(courbe 3) avec courbe et analyse
de tige de Cabanettes.



- Courbes des classes de fertilité de type II
- Courbe 1
- Courbe représentant une analyse de tige

FIGURE 9

Classes de fertilité de type II
(courbe 3) avec classes de ferti-
lité établies par Pita Carpenter
pour l'Espagne.

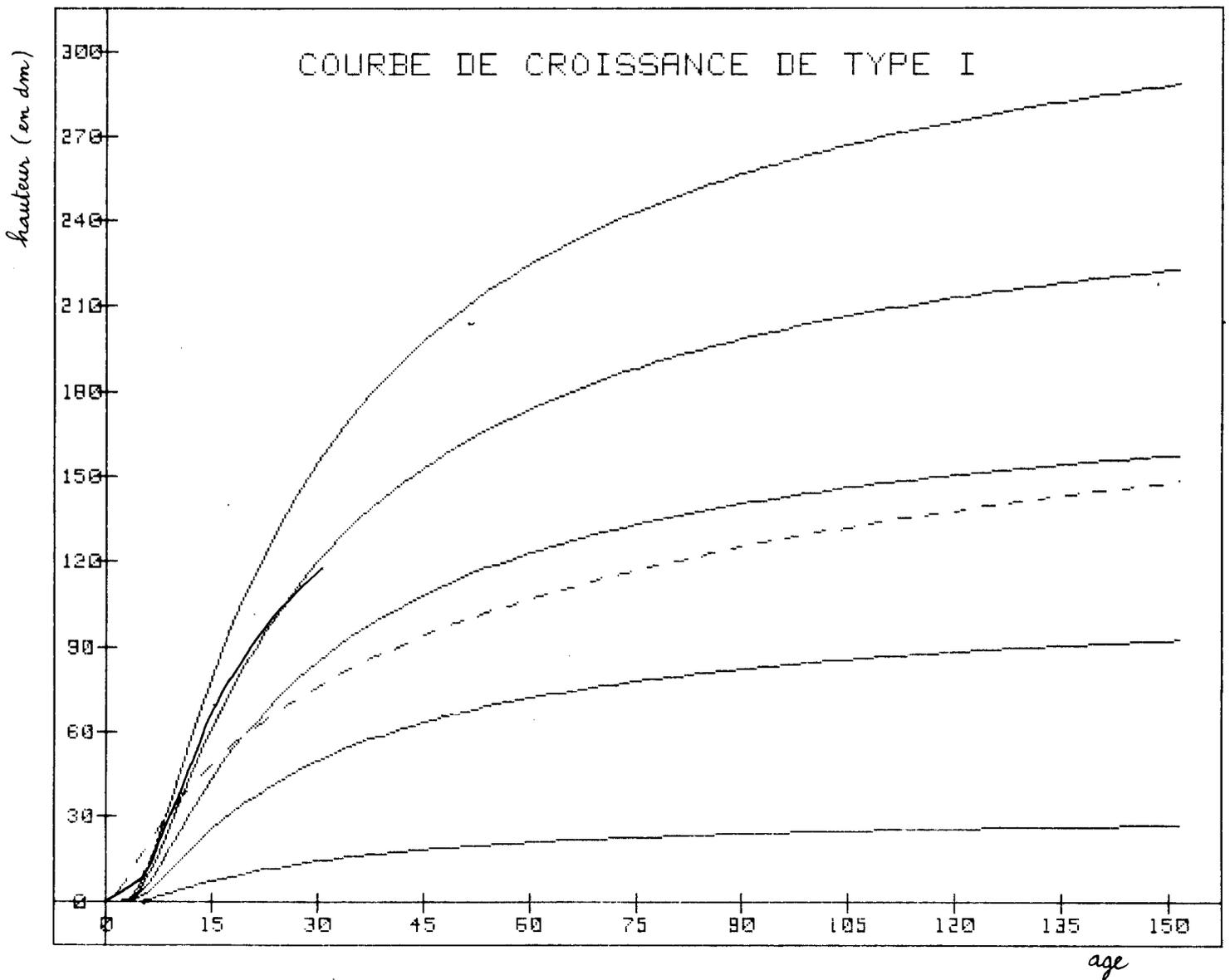


----- Courbes des classes de fertilité de type II

— — — Courbes des classes de fertilité établies
par Pita Carpenter.

FIGURE 10

Classes de fertilité de type I
(courbe 1) avec courbe 3 et
analyse de tige de Cabanettes.



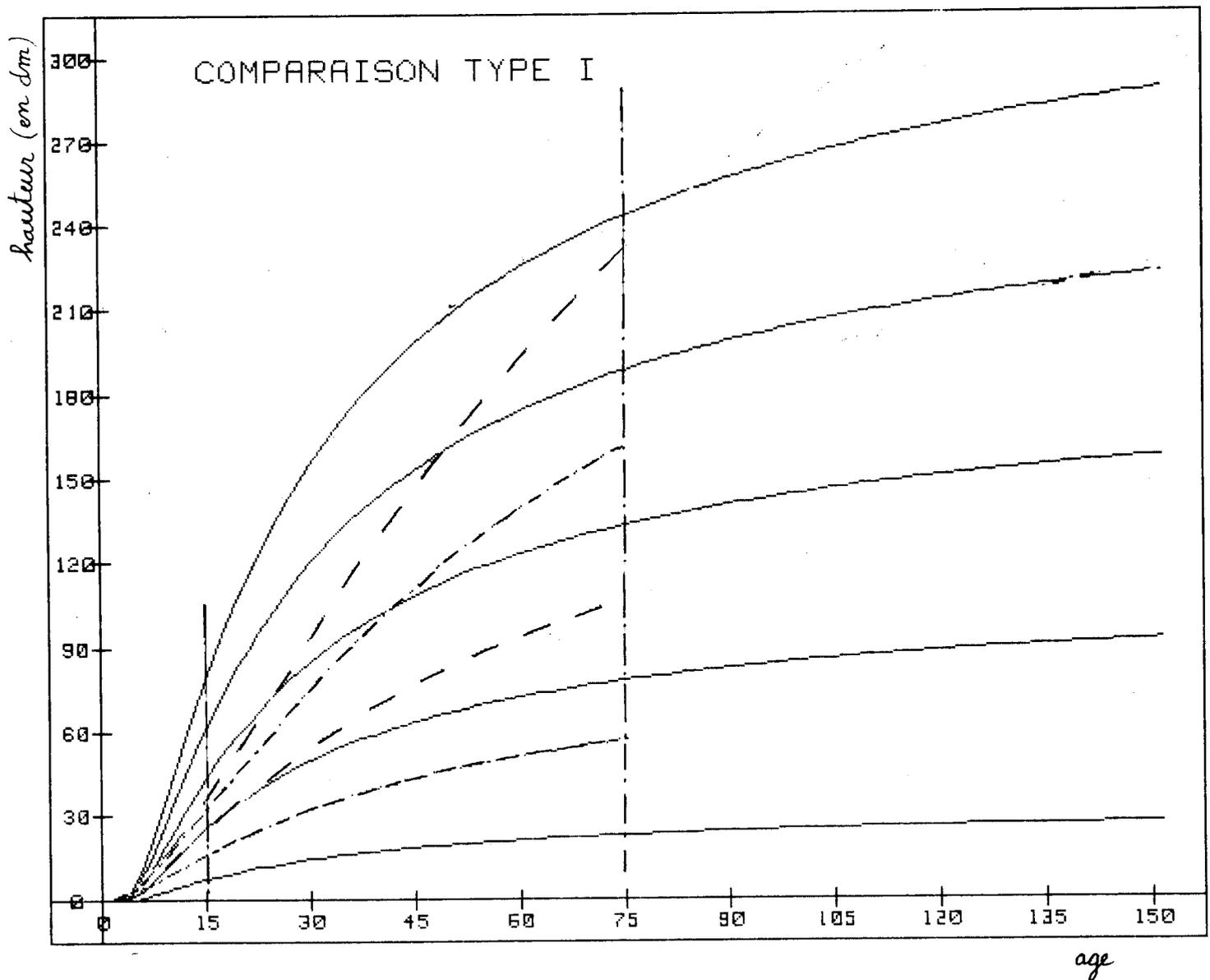
----- Courbes des classes de fertilité de type I

----- Courbe 3

----- Courbe représentant une analyse de tige

FIGURE 10(44)

Classes de fertilité de type I
(courbe 1) avec classes de ferti-
lité établies pour Pita Carpenter
pour l'Espagne.

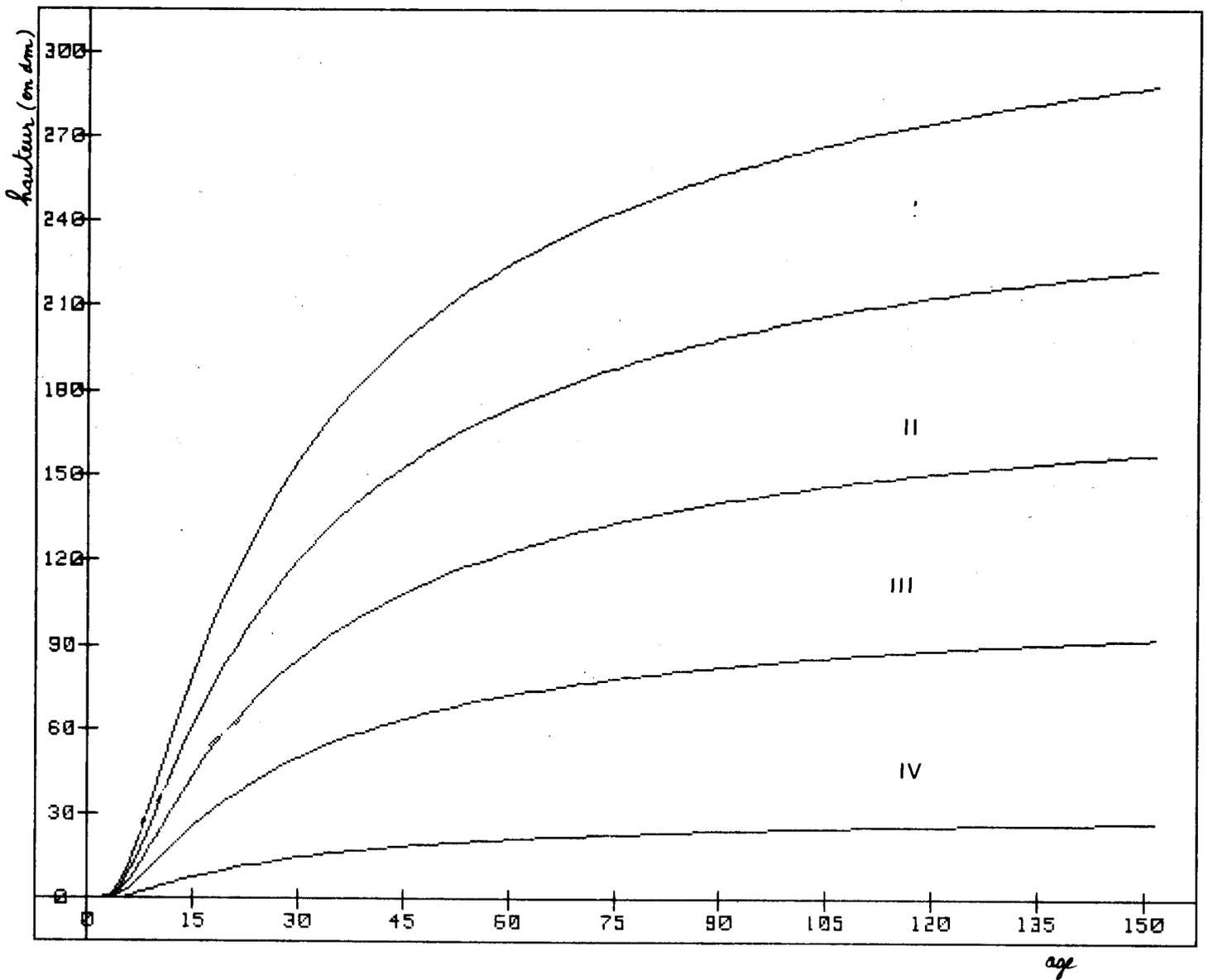


— Courbes des classes de fertilité de type I

- - - Courbes des classes de fertilité établies
par Pita Carpenter.

FIGURE 11

Classes de fertilité pour le
pin pignon en région méditerra-
néenne française.



Distance au littoral	0-3 km	3-10 km	10-30 km	30-60 km	+ de 60 km
Moyenne de l'indice de fertilité	3,73	3,60	3,40	3,05	2,96
Ecart type	1,28	1,16	1,03	0,82	0,81
Effectif (°)	36	30	54	48	15

N = 183 (type II)

(°) Aucune différence n'est significative au seuil de 5 %

Cette différence est faible entre chaque groupe. Si le pin pignon pousse légèrement mieux lorsqu'il est éloigné du littoral, les chutes de neiges peuvent accélérer le dépérissement des arbres. De plus, le reboiseur peut s'orienter vers des essences aux possibilités de production ligneuse bien meilleures.

. La latitude et la longitude apparaissent comme des facteurs explicatifs de la croissance, mais la position géographique des placettes est beaucoup plus explicite en considérant le département et la région IFN.

Le département

Département	66	11	34	30	84	13	83	06
Moyenne indice de fertilité		3,43	3,92	2,64	3,42	4,14	3,12	2,30
Ecart-type		0,90	1,13	0,78	0,77	1,10	0,94	1,82
Effectif	21	27	20	25	11	23	61	3

N = 191 (type II).

Nous avons eu des difficultés pour trouver des stations dans le Vaucluse où il y a très peu de peuplements. Les

Bouches-du-Rhône ont également peu de boisements, mais les renseignements ont été plus nombreux pour le département où se trouvait la base de départ. Dans le Var, nous avons trouvé des pins pignon en abondance sur des roches mères variées (grès siliceux, calcaires, sables littoraux, schistes, gneiss, rhyolite). C'est pour cette raison que nous avons effectué un nombre important de placettes. Très peu de boisements nous ont été signalés dans les Alpes maritimes et aucun dans les Alpes de Haute Provence.

Si le pin pignon pousse en moyenne assez bien dans le Gard, c'est parce qu'on trouve dans ce département les beaux peuplement de petite Camargue et ceux sur les alluvions de type plio-villafranchien .

Dans les Bouches-du-Rhône, les peuplements se trouvent souvent dans des conditions très difficiles : reboisements de la Gardiole de Marseille où les conditions climatiques et pédologiques sont extrêmement dures, boisements sur marnes où toute végétation a peine à s'installer (Vauvenargues).

. La région IFN

La carte des régions IFN peut fournir quelques indications :

- est-ce que le pin pignon est abondant dans la région ?
- si oui est-ce une région favorable ?

Il est indispensable ensuite de compléter ces réponses avec les autres éléments notamment les tableaux issus de la segmentation. En effet, ces disparités régionales proviennent de facteurs climatiques et géologiques, mais elles proviennent également de facteurs humains : les terrains qui ont été laissés pour le reboisement et le choix de l'implantation du pin pignon dans ces reboisements (fond de vallon ou croupe étant les deux extrêmes).

Région IFN	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Département										
06		-/0	-/0	-/0	-/0	-/0	-/0	3,30/3		
11		-/0	2,98/5	-/0	-/0	2,20/1	-/0	36,2/21		
13		5,00/9	4,16/6	3,45/2	3,37/3	3,40/2	-/0	-/0	1,50/1	-/0
30		2,74/5	2,45/6	2,51/11	-/0	-/0	3,10/1	-/0		
34		-/0	-/0	4,47/4	-/0	3,51/8	4,05/8			
66	3,86/3	3,32/5	-/0	3,33/3	2,50/4	3,92/6	-/0	-/0	-/0	-/0
83		-/0	-/0	2,36/6	2,58/5	3,44/31	3,73/7	2,52/12		

N = 191 (type II)

Chaque case contient moyenne et effectif.

Nous n'avons pas trouvé les régions IFN du Vaucluse.

. L'altitude : Nous avons découvert des pins pignon à 600 m d'altitude au-dessus de Ville-sur-Auzon (84) mais en général les peuplements sont au-dessous de 400 m. L'altitude moyenne des placettes est de 160 m avec un écart type de 120 m.

Altitude	0-50 m	50-100 m	100-200 m	200-300 m	300-400 m	+ de 400 m
Moyenne indice croiss.	2,65	3,10	3,48	3,47	3,35	3,20
Ecart type	0,90	0,67	0,63	0,63	0,91	0,46
Effectif	29	41	37	46	31	7

N = 191 (type I)

La classe "0 à 50 m" est significativement différente de chacune des autres ; la classe "50 à 100 m" est en plus significativement différente des classes "100 à 200 m", "200 à 300 m", "300 à 400 m".

Nous pensons que ce tableau ne doit pas être interprété à partir du seul facteur altitude. La topographie éclaire mieux ces résultats.

. La topographie : L'échantillonnage n'a pas été homogène puisque nous avons observé seulement

- 3 peuplements en sommet
- 4 peuplements en replat
- et 14 en croupe,

alors que nous avons observé 47 peuplements dans des topographies dites "plates" (le repérage des positions topographiques est exposé dans le protocole de mesures). On ne peut pas en déduire qu'il y a peu de peuplements en positions sommitales en proportion de celles-ci, car les positions sommitales sont plus rares que les positions plates étendues. Ce rapport numérique s'est retrouvé dans nos effectifs.

Posit. topogr.	Sommet	Croupe	Haut de versant	Mi-versant	Bas de versant	Replat	Dépression	Plat
Moy. indice de croiss.	3,82	3,58	3,62	3,49	3,34	3,09	2,51	2,77
Ecart type	0,23	0,56	0,54	0,60	0,94	0,40	0,52	0,82
Effectif	3	14	27	56	28	4	16	43

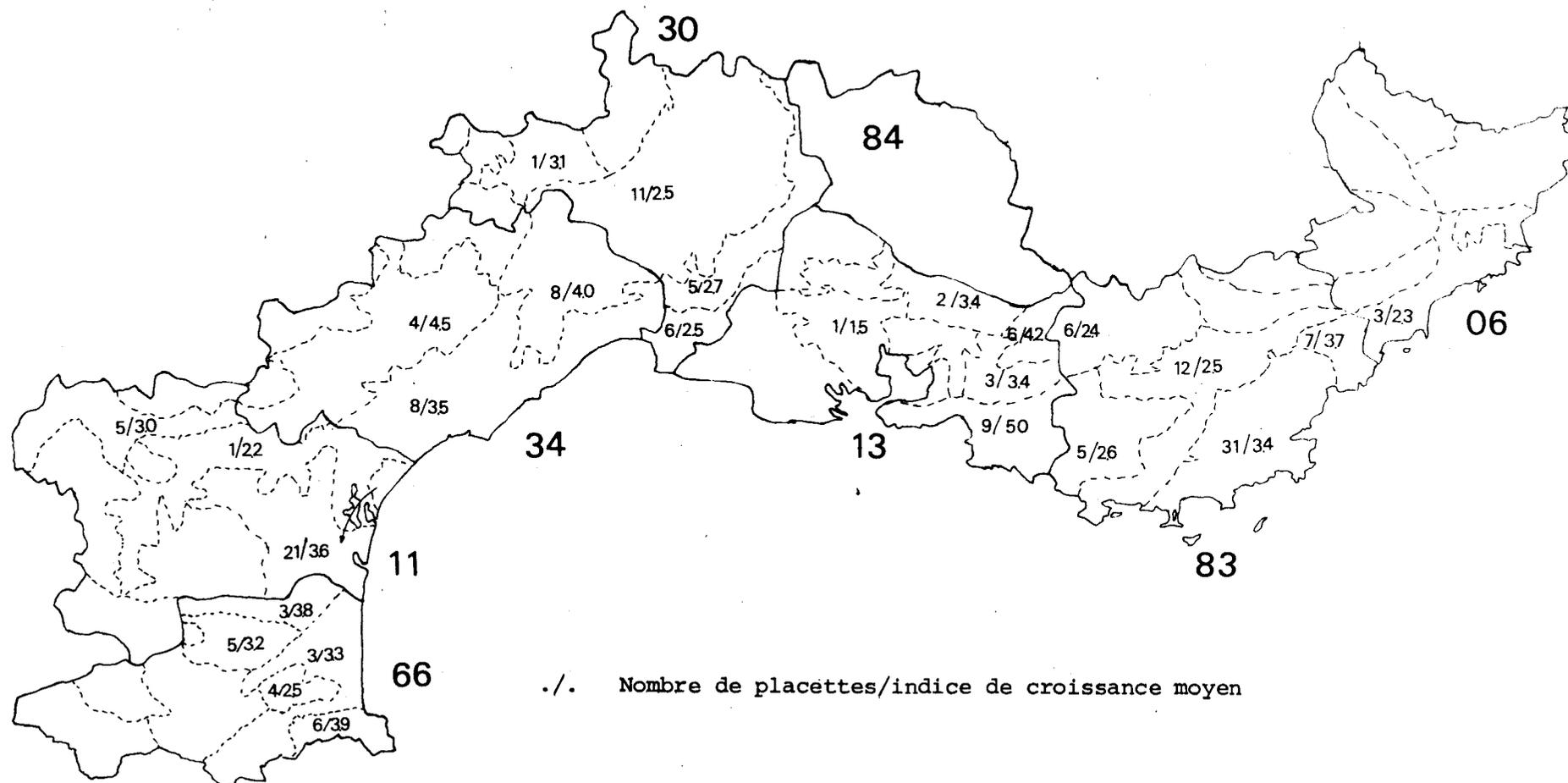
N = 191 (type I).

"Plat" et "dépression" sont chacun significativement différents de "sommet", "croupe", "haut de versant", "mi-versant", "bas de versant", au seuil de 5 %.

On s'aperçoit nettement de l'importance de la position topographique sur la croissance de l'arbre : les positions hautes (sommet, croupe, haut de versant) se distinguent des positions basses (dépression, replat). Nous nous apercevons également que la pente joue un rôle défavorable.

. La pente : Nous avons trouvé un reboisement dans une pente de 75 % (Cerbère : reboisements RTM). Toutefois, ce genre de reboisement est exceptionnel.

Carte des régions I.F.N. avec indice de fertilité pour le pin pignon et nombre de placettes de mesures effectuées
dans la région



./. Nombre de placettes/indice de croissance moyen

La moyenne des pentes est de 14,7 % ; l'écart type de 14,9 %.

Pente	0-3 %	3-10 %	10-30 %	+ de 30 %
Moy. indice de croissance	2,82	3,09	3,63	3,51
Ecart type	0,81	0,72	0,71	0,62
Effectif	52	52	59	28

N = 191 (type I)

Différence significative entre pente de 0 à 3 % et (3 à 10 %, 10 à 30 %, plus de 30 %) et entre pente de 3 à 10 % et (10 à 30 %, plus de 30 %).

Il est donc confirmé que le pin pignon préfère les terrains plats .

. L'indice de rayonnement global (IRG) est très difficile à interpréter tout seul. Le fait que la moyenne soit meilleure pour IRG = 1,0 traduit peut-être simplement le fait que les positions plates sont meilleures. La position topographique semble encore la plus explicative pour ce tableau (l'indice de rayonnement global varie de 1,1 versant sud bien exposé à 0,3, position très confinée).

IRG	-de 0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
Moy. indice croiss.	3,79	3,24	3,93	3,59	3,54	3,09	2,90	3,52
Ecart-type	0,14	0,49	0,36	0,69	0,75	0,62	0,77	0,80
Effectif	3	6	7	3	16	24	81	51

N = 191 (type I)

Différence significative entre (IRG = 1,0) et (IRG = - de 0,5, 0,5, 0,6, 0,8 et 1,1) et entre (IRG = 0,9) et (IRG = 1,1) (seuil de 5 %).

. La nature de la roche aurait pu sembler un facteur important. Aucune différence vraiment significative qui puisse être attribuée qu'à la nature de la roche n'apparaît pourtant lorsqu'on analyse le tableau. Nous avons, de plus, beaucoup de roches différentes, mais souvent peu représentées.

Roche	Moyenne	Ecart type	Effectif
Calcaire dur (°)	3,33	0,59	40
Calcaire en plaquette	4,30		1
Calcaire tendre	3,07	0,39	4
Calcaire dolomitique	2,84	0,64	5
Autre calcaire	2,20		1
Marne consolidée	3,38	0,71	5
Marne non consolidée	4,90		1
Alternance calcaire/marne (°)	3,27	0,56	11
Dolomie	3,02	0,36	4
Sable dolomitique	2,70		1
Sable littoral (°)	2,69	0,92	12
Autres sables	2,44	0,39	5
Grès calcaire (°)	3,19	0,42	16
Grès siliceux (°)	3,50	0,50	21
Conglomérat calcaire	2,90	0,60	6
Conglomérat de type plio villafranchien (°)	3,06	0,51	16
Argile meuble	2,90	0,54	9
Argile consolidée	3,30		1
Basalte	3,60		1
Rhyolite	3,90		1
Roche volcanique acide non cristallisée	3,30	0,22	3
Schistes (°)	3,49	0,70	21
Micaschistes et gneiss	3,12	0,66	6

N = 191 (type I)

(°) Roches apparues plus de 10 fois.

La hiérarchie dans les roches qui apparaissent plus de 10 fois peut tout de même être retenue (du meilleur au plus mauvais) :

1) sable littoral	m = 2,69	$\sigma = 0,92$	N = 12
2) conglomérat de type plio-villafranchien	m = 3,06	$\sigma = 0,51$	N = 16
3) grès calcaire	m = 3,19	$\sigma = 0,42$	N = 16
4) alternance calcaire-marne	m = 3,27	$\sigma = 0,56$	N = 11
5) calcaire dur	m = 3,33	$\sigma = 0,59$	N = 40
6) grès siliceux	m = 3,50	$\sigma = 0,50$	N = 21
7) schistes	m = 3,49	$\sigma = 0,70$	N = 21

Toutefois, seul le sable littoral se distingue significativement des autres roches, excepté le conglomérat de type plio-villafranchien qui se distingue lui uniquement du grès siliceux (seuil de 5 %).

. La profondeur moyenne : (des 5 profondeurs mesurées à l'aide du profondimètre à vis hélicoïdale) est assez bien corrélée à la croissance. Pourtant, dans de nombreux sols, la profondeur estimée a été très dépendante de l'humidité au moment des mesures (surtout pour les sols argileux).

Profondeur moyenne	- de 10 cm	10-25 cm	25-50 cm	+ de 50 cm
Moy. indice de croissance	4,14	3,46	2,97	2,78
Ecart-type	0,34	0,50	0,57	0,73
Effectif	12	74	79	26

N = 191 (type I)

Toutes les modalités sont significativement différentes au seuil de 5 %.

Ce facteur et les trois qui suivent sont tous plus ou moins liés. Ils apparaissent tous comme bien corrélés à la

croissance. La segmentation permettra de faire un choix pour faire ressortir celui qui a la plus grande part d'explication ou les modalités les mieux choisies.

. L'affleurement rocheux

Affleurement rocheux	0-10 %	10-30 %	30-60 %	+ de 60 %
Moy. indice de croissance	3,01	3,71	3,93	3,77
Ecart type	0,59	0,56	0,32	0,15
Effectif	140	40	7	4

N = 191 (type I)

La classe 0-10 % est significativement différente de chacune des 3 autres classes au seuil de 5 %.

. Cailloux en affleurement :

Cailloux en affleurement	0-10 %	10-30 %	30-60 %	+ de 60 %
Moy. indice de croissance	2,89	3,39	3,67	4,11
Ecart type	0,57	0,53	0,54	0,22
Effectif	101	53	25	12

N = 191 (type I)

Toutes les différences sont significatives au seuil de 5 %.

. Cailloux dans le sol : Ce facteur est plus difficile à apprécier que le précédent, mais il apporte une information un peu différente.

Cailloux dans le sol	0-10 %	10-30 %	30-60 %	+ de 60 %
Moy. indice de croissance	2,94	3,27	3,52	4,05
Ecart-type	0,64	0,55	0,65	0,28
Effectif	79	68	38	6

N = 191 (type I)

Toutes les différences sont significatives au seuil de 5 %.

. Sol perturbé : Le fait que le sol ait été perturbé (sous-solage ou labour) apparaît comme un facteur significativement défavorable à la croissance. Ce résultat va à l'encontre de ce à quoi l'on pourrait s'attendre. Nous avons essayé de combiner cette variable avec la nature de la roche pour avoir plus de précisions, mais sans autre résultat.

. Le pendage fournit des indications plus intéressantes :

Pendage	Indéterminé	Sans objet	Conforme	Parallèle	Inverse
Moy. indice croissance	3,03	2,90	3,55	3,37	3,30
Ecart-type	0,71	0,61	0,55	0,50	0,68
Effectif	14	72	53	26	26

N = 191 (type I)

Toutefois, la différence est significative entre les pendages sans objet et (conforme, parallèle, inverse) et indéterminé et conforme (seuil de 5 %).

. La réaction HCl : La réaction de la terre fine à l'action de l'acide chlorhydrique n'est pas du tout corrélée à la croissance.

. L'humus est brut sous les peuplements de pin pignon fermés. Il n'existe souvent pas dans les peuplements ouverts et nous l'avons alors considéré comme "incorporé". Ceci explique les résultats du tableau :

Humus	Brut	Non incorporé	Incorporé
Moy. indice de croissance	3,08		4,33
Ecart-type	0,89		1,06
Effectif	141	0	14

N = 183 (type II)

. La texture a été estimée de façon sommaire sur un échantillon de terre humidifié. C'est peut-être la raison de l'absence de significativité vis à vis de la croissance. Pourtant, les textures sableuses les plus nombreuses et les plus faciles à apprécier au toucher ne sont pas plus favorables que les autres.

Texture	A	L	S	A>L	A>S	L>A	L>S	S>A	S>L	Equi-libr.
Moy. indice de croissance	3,26	3,37	3,09	3,37	3,63	3,19	2,68	3,28	3,13	3,40
Ecart-type	0,65	0,73	0,69	0,50	0,82	0,56	0,53	0,48	0,65	0,59
Effectif	25	12	60	25	7	12	6	13	23	8

A : argile ; L : limon ; S : sable

Pas de différence nettement significative au seuil de 5 %.

. Le pH ne fournit pas de renseignements intéressants. Les peuplements avec un pH supérieur à 8,5 sont légèrement meilleurs que les autres. Ce sont généralement les sols sur sable littoraux.

. La précipitation annuelle moyenne : elle est maximale à Saint-Jean du Gard (1525 mm) et minimale à Fitou (545 mm).

Moyenne : 746 mm

Ecart-type : 139 mm

Cette variable ne fournit pas d'explication simple de l'indice de croissance.

. La précipitation du trimestre d'été

Maxima : 196 mm à Millas (Pyrénées orientales)

Minima : 48 mm à Fitou (Aude).

C'est une variable qui présente un optimum à peine marqué :

Précipitation du trimestre d'été	- de 70 mm	70-100 mm	100-130mm	130-160mm	160-190mm	+ de 190mm
Moy. indice croissance	3,35	3,24	3,22	3,00	3,08	3,17
Ecart-type	0,78	0,69	0,57	0,65	0,52	0,33
Effectif	35	66	65	14	5	6

N = 191 (type I)

Différences non significatives au seuil de 5 %.

. La température moyenne annuelle

Moyenne de 14,2°C avec un écart type de 1,3°C

Valeur maximale : 17,1°C à Laure-Minervois dans l'Aude.

Valeur minimale : 9,5°C à Sault dans le Vaucluse

Le tableau ne présente pas de variations vraiment explicables avec ces seuls éléments.

T° moy. annuelle	- de 11°C	11-12°C	12-13°C	13-14°C	14-15°C	15-16°C	+ de 16°C
Moy. indice de croiss.	3,30	2,98	3,10	3,19	3,23	3,36	2,79
Ecart type	0,70	0,45	0,57	0,44	0,58	0,87	0,73
Effectif	2	10	6	30	90	42	11

N = 191 (type I)

Différences significatives au seuil de 5 % entre + de 16°C et 13-14°C, 14-15°C.

. La température minimum absolue varie de -22,4°C (Apt Vaucluse, 1956) à -3°C (Cap Béar, Pyrénées Orientales). Nous n'avons pas trouvé de traces écrites des dégâts causés par des températures minimales sur le pin pignon en région méditerranéenne française.

. La température maximum absolue la plus élevée a été de 41°C à Cruscades (11) et à Collobrières (83).

. Moyenne des minima du mois le plus froid :

Valeur minimale : -2°C à St Paul les Durance (13)

Valeur maximale : 6,3°C à Porquerolles (83)

Moyenne de 2,2°C

Ecart type égal à 2°C

Elle ne fournit pas d'explication simple de la croissance

m	-de-0,5°C	-0,5°C à +0,5°C	0,5°C à 1,5°C	1,5°C à 2,5°C	2,5°C à 3,5°C	3,5°C à 4,5°C
Moy. indice croiss.	3,30	3,49	3,98	3,31	3,15	3,23
Ecart-type	0,70	0,67	0,65	0,78	0,57	0,57
Effectif	2	18	38	37	36	49

m	de 4,5°C à 5,5°C	de 5,5°C à 6,5°C
Moyenne indice de croissance	3,56	2,98
Ecart-type	0,61	0,36
Effectif	5	6

N = 191 (type I)

Différences non significatives au seuil de 5 % entre 0,5°C à 1,5°C et -0,5 à +0,5°C

. La moyenne des maxima du mois le plus chaud varie de 32,1°C à Lorgues (83) à 27,5°C à Sault (84) (où se trouve la station la plus haute) Moyenne de 29°C avec un écart type de 1,5°C. Sa corrélation avec l'indice de croissance est nulle.

. Nombre de mois secs (où $P < 2T$). Il varie de 2 à 6.

Nb de mois secs	2	3	4	5	6
Moy. indice de croiss.	3,12	3,06	3,57	3,5	3,26
Ecart-type	0,52	0,70	0,59	0,55	0,83
Effectif	62	70	31	16	12

N = 191 (type I)

Différences significatives au seuil de 5 % entre les modalités

2 et 4 3 et 4
2 et 5 3 et 5

. Le coefficient d'Emberger $\left(\frac{2000P}{M^2 - m^2} \right)$

(P : précipitation annuelle moyenne,

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud exprimé en K

m : moyenne des minima du mois le plus froid en K)

Il a été calculé à partir des données précédentes. Il permet de situer l'aire climatique du pin pignon en région méditerranéenne française sur le climatogramme d'Emberger. Il n'apporte pas d'information directe sur la croissance :

Coeff.d'Emberger	70 à 80	80 à 90	90 à 100	100 à 110	110 à 120	120 à 130	130 et +
Moy. indice de croiss.	3,11	3,29	3,02	3,30	3,47	3,13	2,70
Ecart-type	0,72	0,72	0,45	0,62	0,63	0,68	0,52
Effectif	26	43	26	67	6	19	4

N = 191 (type I)

Les différences ne sont pas significatives au seuil de 5 %.

Certaines variables n'ont pas été prises en compte dans la fiche de mesure et n'ont été mesurées que pour un nombre réduit de stations. Ces résultats ne seront pas repris dans la segmentation.

. Calcaire total : Les mesures faites par un laboratoire extérieur au CEMAGREF ont porté sur l'ensemble des placettes sur sol calcaire en Provence, soit 54 placettes (figure 14).

Certains sols contenaient plus de 50 % de calcaire total

à Rognes (13) : 535 g/kg
à St Cannat (13) 510 g/kg
à Vauvenargues (13) 545 g/kg pour la première placette
685 g/kg pour la deuxième
525 g/kg pour la troisième
à Jouques (13) 555 g/kg.

Si nous tentons d'obtenir une corrélation linéaire entre le calcaire total du sol et la croissance de l'arbre, nous obtenons :

_____ Localisation schématique du chêne kermès
 Localisation schématique du chêne vert
 m : moyenne des minima du mois le plus froid (en °C)
 E : coefficient d'Emberger
 + : localisation d'une station météorologique proche de peuplements de pins pignon

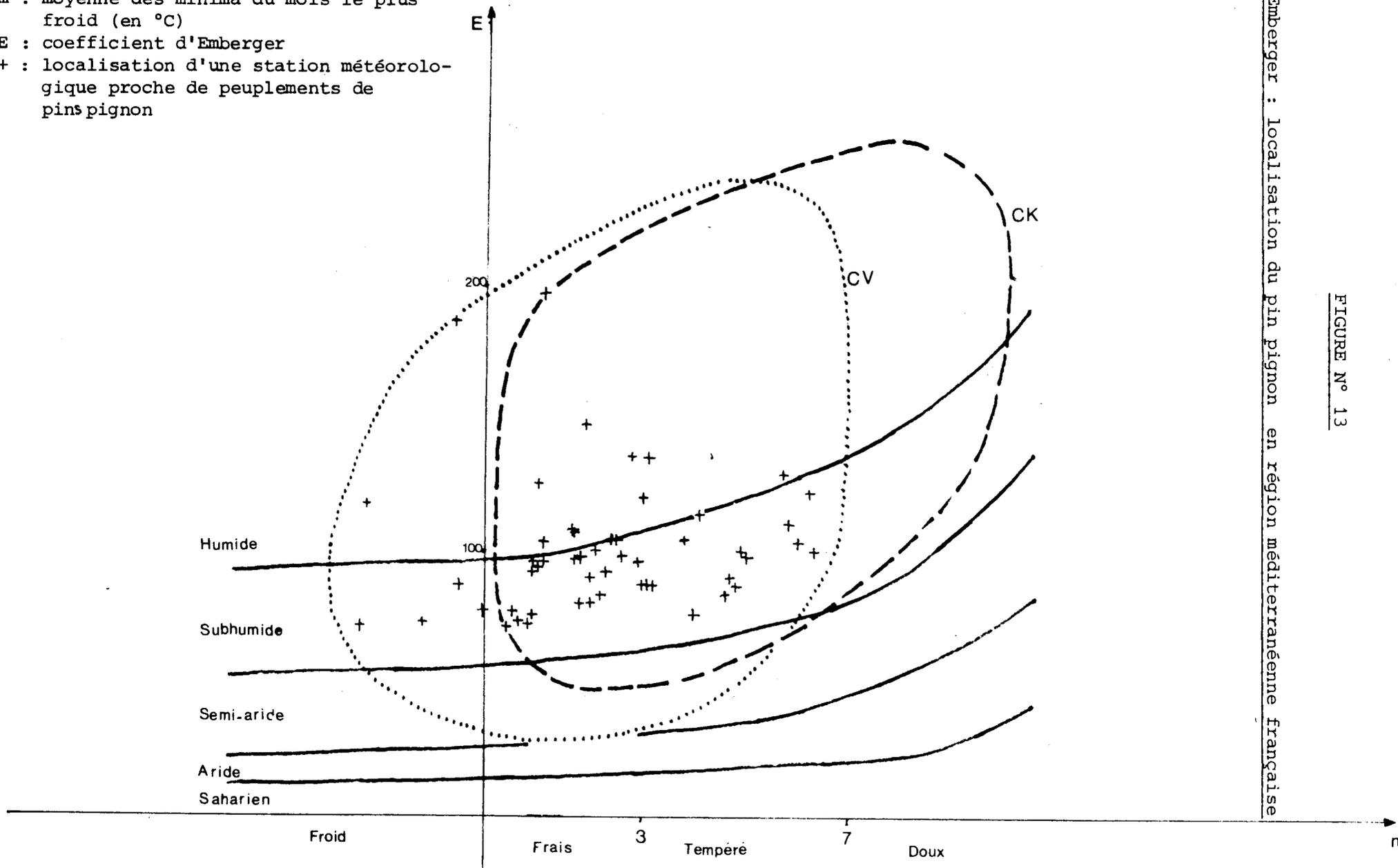
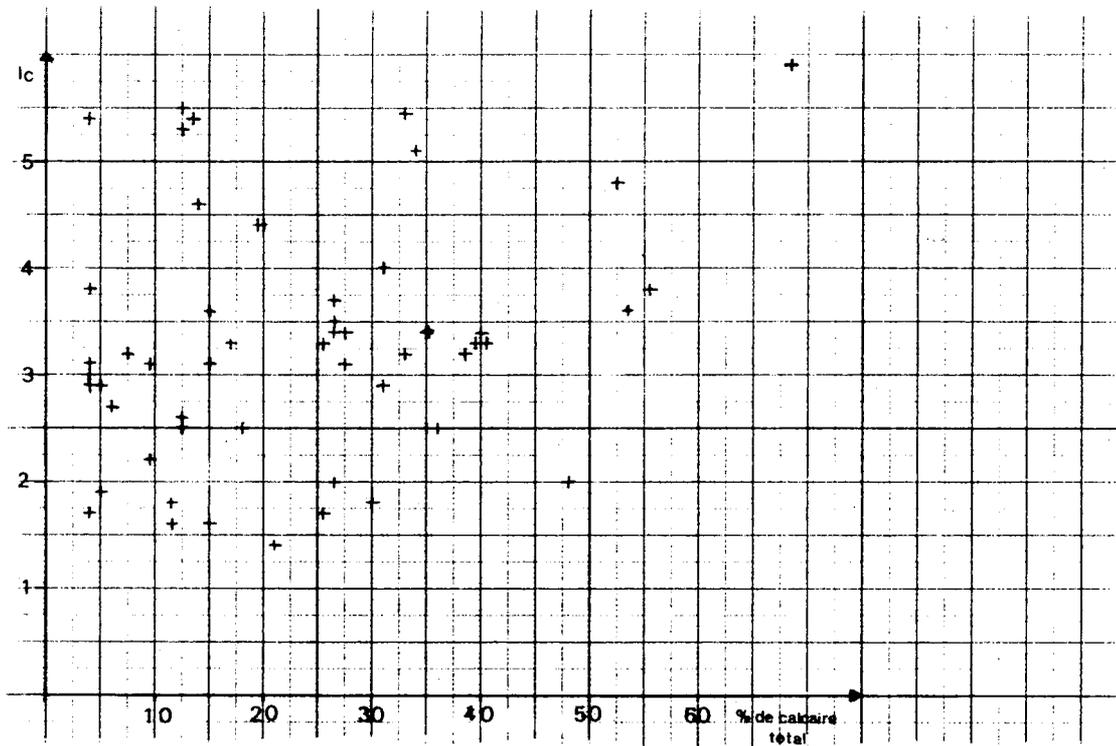


FIGURE N° 13

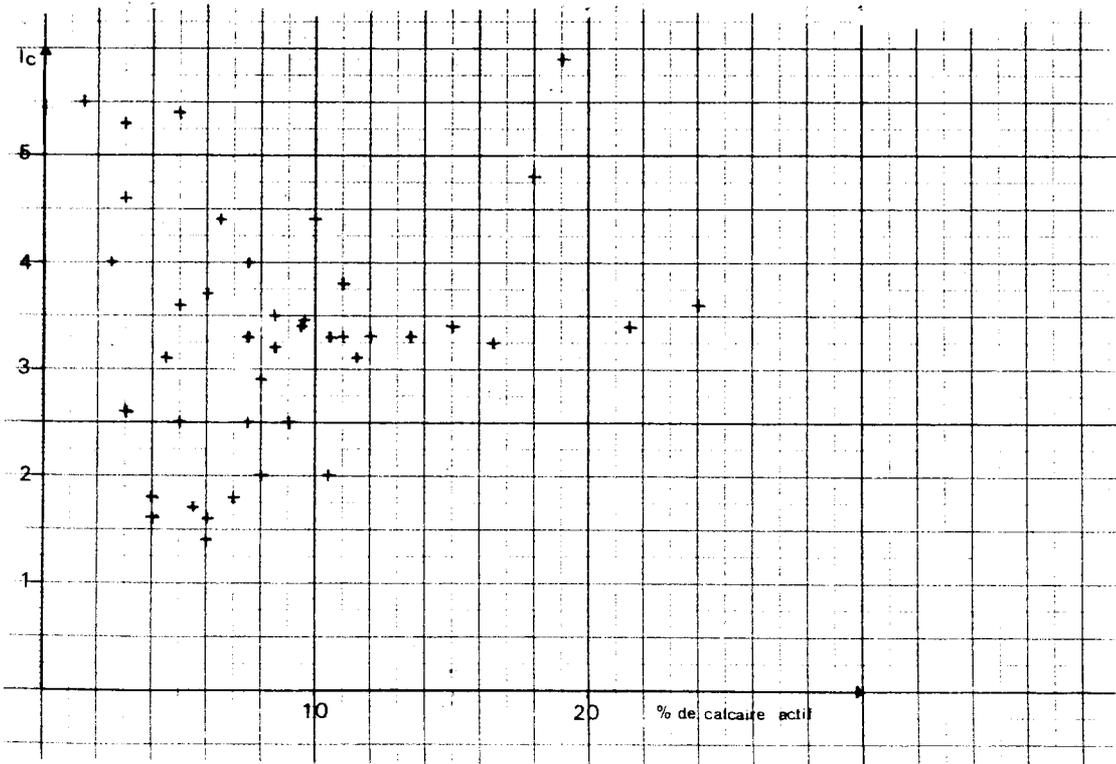
Diagramme d'Emberger : Localisation du pin pignon en région méditerranéenne française

FIGURE N° 14

Pourcentage de calcaire total et croissance du pin pignon



Pourcentage de calcaire actif et croissance du pin pignon



(indice de croissance de type II)

$$I = 0,0012 \text{ CT} + 2,9327$$

où I est l'indice de croissance et CT le poids de calcaire total en g par kg de terre.

Le coefficient de corrélation est égal à

$$r = 0,186$$

Le calcaire total du sol n'a donc aucune influence sur la croissance.

. Calcaire actif. Il a été mesuré pour les peuplements de Provence chaque fois que le calcaire total était supérieur à 100 g/kg de terre (fig. 14). Certaines placettes dépassent les 15 % de calcaire actif :

- Vauvenargues (13) jusqu'à 190 g/kg
- Eguilles (13) 150 g/kg
- Rognes (13) jusqu'à 215 g/kg
- La Tour d'Aigues (84) jusqu'à 240 g/kg.

Si nous tentons, de même que précédemment, d'établir une corrélation linéaire entre le calcaire actif et l'indice de croissance, nous obtenons les résultats suivants :

$$I = 0,004 \text{ CA} + 2,927$$

avec $r = 0,1828$

La corrélation peut être considérée comme nulle.

Ces résultats sont étonnants. Pourtant, certains sont en concordance avec les mesures précédentes : à Rians, Loisel signale des pins pignons sur un sol avec 3 % de calcaire actif. Nous avons effectué à Rians 2 placettes, l'une à 50 g/kg de calcaire total, l'autre 125 g/kg de calcaire total et 30 g/kg de calcaire actif (soit 3 %).

Le calcaire n'est donc pas un facteur préjudiciable à la croissance du pin pignon.

. La salinité : Nous avons demandé une mesure de la salinité des placettes situées sur sables littoraux avec nappe saumâtre du Languedoc et susceptible d'être sur sol salé. Aucun des échantillons n'est salé. Cela est en accord avec les travaux d'Hibrahim qui estime qu'au Mas Petit

St Jean (Aigues-Mortes), la salinité n'est qu'un facteur pédologique secondaire.

Nous avons personnellement mesuré le pH d'un sol reconnu comme salé et son pH était supérieur à ceux enregistrés sous les peuplements de pins pignons sur sable (pH = 9,2 sur le sol sur sable salé ; pH au maximum de 9,0 pour les sols sur sable avec des pins pignons).

Les mesures de conductivité ont suffi à éliminer l'hypothèse de salinité :

	Conductivité
- placette du phare de l'Espiguette (30) (sol qui était le plus susceptible d'être salé)	0,073 m S/20°C
- route de St Romans, l'Espiguette (30)	0,136 m S/20°C
- cave de la pinède (domaine de Bec) (30)	0,127 m S/20°C
- Port Leucate (11)	0,123 m S/20°C

. La profondeur de la nappe a été mesurée dans les sols sur sables littoraux à l'aide d'une tarière pédologique classique qui comportait une rallonge. La profondeur a été appréciée sur 12 peuplement. Nous avons remarqué, à partir du tableau, l'influence probable des embruns sur la croissance des peuplements.

Repérage de la placette	Prof. de nappe (m)	Conductivité (mS/20°C)	Indice de croissance	Embruns
30102 Mas des sablons	2,30		2,9	
30103 L'Espiguette (phare)	1,50	0,073	3,6	E
30104 L'Espiguette (St Romans)	4,00		3,7	
30105 L'Espiguette (St Romans)	1,80	0,136	1,5	
30309 Mas Petit StJean	1,50		2,1	
30310 Cave de la pinède	1,80	0,127	2,3	
30311 id	8,0		3,4	
11116 Port Leucate		0,123	1,2	
11117 id	1,00		1,3	
83501 Hyères (La Capte)	1,90		3,3	E
83502 Hyères (domaine des Salins)	1,90		3,4	E
83503 id	3,50		3,6	E

L'influence des embruns semble prédominante d'après ce tableau. Toutefois, certains peuplements (Iles de Lérins, 06, et Domaine de Léoube à La Londe les Maures, 83) sont très près du bord de mer. La croissance y est pourtant bonne mais les endroits sont très protégés.

Les belles plantations de Port Leucate ont été protégées du vent par des rideaux de cannes de Provence.

On peut donc penser qu'en l'absence de vents marins l'optimum se situe pour une nappe entre 1 et 2 m de profondeur. L'influence de la nature de la nappe ne peut être précisée ici. La croissance reste bonne pour une nappe entre 2 et 3 m. Au-delà de 3 m, l'influence de celle-ci s'estompe.

3.3. LA COMBINAISON DE DEUX VARIABLES

Nous avons essayé de déceler les interactions éventuelles entre variables en vue de créer des variables combinées traduisant mieux la réalité chaque fois que cela était possible.

Les seuls tableaux qui nous aient paru intéressants sont les suivants :

a) Affleurement rocheux et cailloux en affleurement

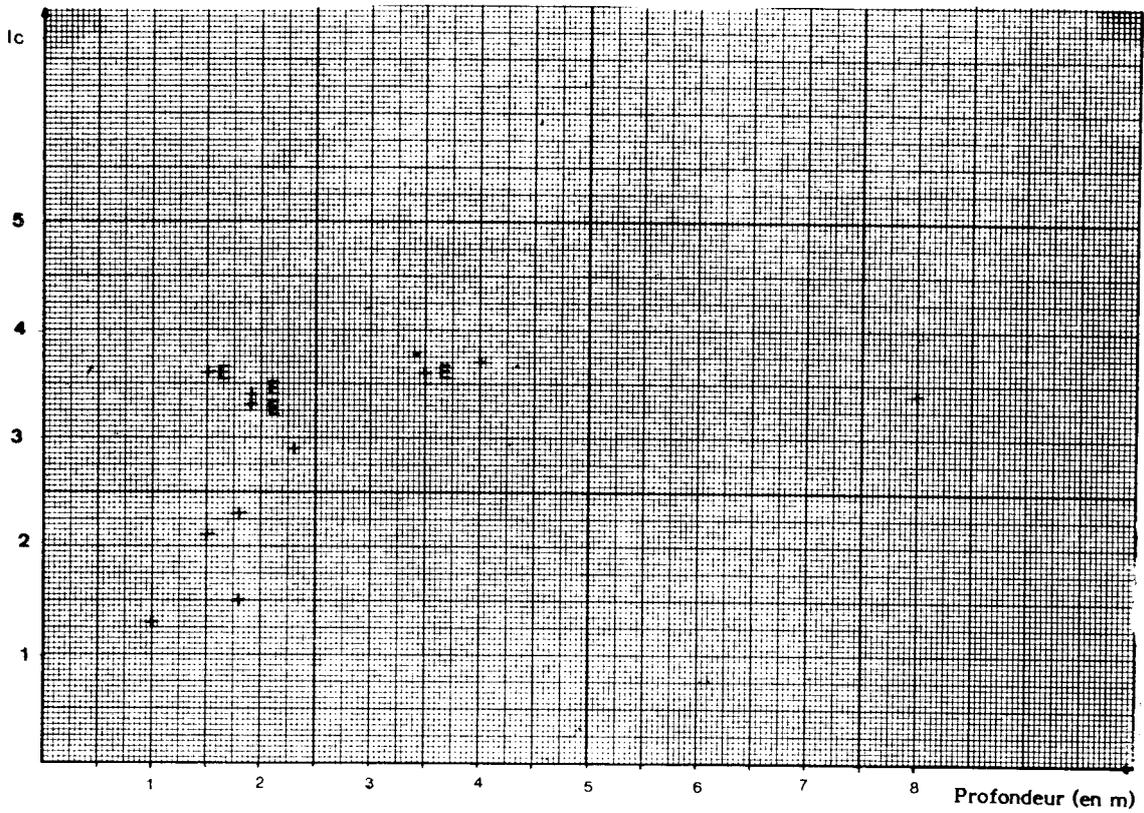
Affleur. rocheux Cailloux en affleur.	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100 %
0-10 %	2,7/88	3,2/9	3,8/2	-/0
10-30 %	3,3/34	4,0/15	4,4/1	4,8/1
30-60 %	4,4/12	4,5/7	4,7/1	4,6/1
60-100 %	4,9/2	5,0/6	5,3/2	4,4/2

N = 183 (type II) ; courbe II

Chaque case contient les 2 données : moyenne/effectif.
La variable combinée tient compte de la liaison des deux facteurs vis à vis de la croissance.

FIGURE 14

Indice de croissance en fonction de la profondeur de la nappe
dans les peuplements sur sables littoraux



E peuplement exposé aux embruns

Groupe	Cailloux en affleurement <u>et</u> Affleurement rocheux	m	σ	N
I	(0-10 % et 0-10 %)	2,84	0,57	90
II	(0-10 % et 10-30 %) (10-30 % <u>ou</u> et 0-10 %)	3,21	0,37	44
III	(0-10 % et 30-60 %) (10-30 % et { 10-30 % 30-60 % } <u>ou</u> (30-60 % et { 10-30 % 30-60 % }	3,69	0,58	42
IV	(60-100 % <u>ou</u> (60-100 %) <u>ou</u> (30-60 % <u>et</u> 30-60 %)	4,04	0,25	15

N = 191 (type I)

soit, si nous numérotons les cases du tableau croisé de 1 à 16 de gauche à droite et de haut en bas.

Groupe	Cases
I	1.
II	2, 5.
III	3, 6, 7, 9, 10.
IV	4, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16

b) Cailloux dans le sol et affleurement rocheux

Cailloux ds le sol	Affleur. rocheux	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100 %
	0-10 %		2,8/16	3,5/7	4,4/1
10-30 %		3,1/45	3,7/16	3,8/2	-/0
30-60 %		3,6/2	4,6/11	5,0/2	4,6/1
60-100 %		-/0	5,4/3	5,4/1	4,4/2

N = 183 (type II)

De même que précédemment si nous numérotions les cases de 1 à 16 de gauche à droite et de haut en bas.

Groupe	Cases	m	σ	N
I	1, 5, 9	2,98	0,59	117
II	2, 3, 6, 7	3,39	0,57	52
III	4, 10, 11, 12, 14, 15, 16	4, 02	0,36	22

N = 191 (type I)

c) Cailloux en affleurement et profondeur moyenne

Cailloux en affleur.	Profond.	0-10 cm	10-25 cm	25-50 cm	+ de 50 cm
0-10 %		-/0	3,0/21	2,7/54	2,6/24
10-30 %		5,0/3	3,6/29	3,3/17	3,5/2
30-60 %		4,9/2	4,2/13	4,8/6	-/0
+ de 60 %		5,0/6	4,9/6	-/0	-/0

N = 183 (type II)

Groupe	Cases	m		N
I	3, 4, 5	3,01	0,60	128
II	2, 6, 7, 8	3,17	0,45	22
III	10, 11	3,63	0,53	23
IV	5, 9, 13, 14	4,12	0,30	18

N = 191 (type I)

c) Cailloux dans le sol et profondeur moyenne

Cailloux ds le sol	Profond. moy.			
	0-10 cm	10-25 cm	25-50 cm	+ de 50 cm
0-10 %	-/0	3,6/10	2,9/41	2,7/26
10-30 %	4,7/1	3,5/35	2,9/27	-/0
30-60 %	5,0/6	3,8/22	3,8/9	-/0
+ de 60 %	5,1/4	-/0	-/0	-/0

N = 183 (type II)

Groupe	Cases	m		N
I	3, 4, 7	2,90	0,60	96
II	2, 6, 10, 11	3,42	0,53	81
III	5, 9, 13	4,09	0,34	14

N = 191 (type I)

e) Affleurement rocheux et profondeur moyenne

Profondeur	Affleur. rocheux			
	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100 %
0-10 cm	-/0	5,0/9	5,3/1	4,1/1
10-25 cm	3,4/44	4,0/17	4,4/5	4,7/3
25-50 cm	2,9/66	3,4/11	-/0	-/0
+ de 50 cm	2,7/26	-/0	-/0	-/0

N = 183 (type II)

Groupe	Cases	m	σ	N
I	9, 13	2,87	0,59	94
II	5, 10	3,31	0,50	57
III	2, 3, 4, 6, 7, 8	3,85	0,44	40

N = 191 (type I)

f) Cailloux en affleurement x cailloux dans le sol

Cailloux en affleurement cailloux dans le sol	Cailloux en affleurement			
	0-10 %	10-30 %	30-60 %	60-100 %
0-10 %	2,7/65	3,8	-/0	4,8/1
10-30 %	2,9/29	3,4/27	4,4/6	4,8/1
30-60 %	2,6/5	3,6/12	4,5/15	4,8/5
60-100 %	-/0	4,8/1	-/0	5,1/5

N = 183 (type II)

Groupe	Cases	m	σ	N
I	1, 5, 9	2,89	0,57	101
II	2, 6, 10	3,39	0,53	52
III	7, 11	3,68	0,54	25
IV	4, 8, 12	4,05	0,28	6
V	14, 16	4,08	0,22	7

N = 191 (type I)

g) Autres essais

Nous avons également croisé les variables suivantes :

- l'exposition avec :
 - . la distance au littoral
 - . l'altitude

- . le pH
- . la topographie
- . la pente
- la topographie avec : l'altitude et le pendage
- le pendage avec : le pourcentage de cailloux dans le sol et le pourcentage de cailloux en affleurement
- la texture avec le pourcentage de cailloux en affleurement
- . la moyenne des précipitations du trimestre d'été
- . la profondeur
- . les affleurements rocheux
- la moyenne annuelle des précipitations avec la profondeur et la texture
- la moyenne des minima du mois le plus froid avec le nombre de mois secs
- la précipitation du trimestre d'été avec la profondeur moyenne

Nous n'avons pu tirer aucune conclusion intéressante de ces tableaux.

D'autre part, pour le pin pignon, la nature de la roche a semblé importante. Nous avons essayé de retrouver ceci dans les tableaux croisés. Certains facteurs sont corrélés directement à la nature de la roche et ils n'apportent donc pas de résultats nouveaux (pH, texture), mais le problème majeur dans ces tableaux a été la grande diversité des roches et le sous-échantillonnage pour beaucoup d'entre elles.

La comparaison ne peut être intéressante et significative que pour les roches suffisamment représentées, c'est à dire :

- les calcaires durs (39 placettes)
- alternance calcaire/marne (11 placettes)
- grès siliceux (20 placettes)
- grès calcaire (15 placettes)
- argile meuble (9 placettes)
- conglomérat de type plio-villafranchien (16 placettes)

- sable littoral (12 placettes)
- schistes (21 placettes)

Toutefois, malgré ces précautions, les conclusions de ces tableaux sont difficiles à tirer. L'influence et la profondeur sur la croissance du pin pignon semble relativement peu dépendante de la nature de la roche :

Profondeur	0-10 cm	10-25 cm	25-50 cm	+ de 50 cm
Calcaire dur	5,0/6	3,6/23	2,7/11	-/0
Calcaire/marne	-/0	4,1/5	3,0/6	-/0
Grès siliceux	4,5/2	3,8/8	3,5/9	3,1/2
Grès calcaire	-/0	3,4/9	2,9/5	2,5/2
Argile meuble	-/0	-/0	3,3/6	2,7/3
Conglomérat pliocène	-/0	3,2/8	2,8/6	2,9/1
Sable littoral	-/0	-/0	-/0	2,8/12
Schistes	4,4/1	4,5/9	3,5/4	3,8/1

A travers tous ces premiers résultats, il est déjà possible de tirer quelques conclusions :

- Les facteurs qui semblent les plus importants sont d'ordre physique :

- profondeur moyenne
 - affleurements rocheux
 - pourcentage de cailloux dans le sol et en affleurement
- Ceci confirme en partie les hypothèses de Godin.

La profondeur moyenne qui, de la façon dont elle est appréciée, dépend beaucoup de l'humidité du sol, reste malgré cela un facteur intéressant.

- L'importance de la texture (facteur physique) sur la croissance n'est pas prépondérante comme on aurait d'abord pu le croire.

- Le taux de calcaire (actif ou total) ne semble avoir aucune influence sur la croissance.

- Les peuplements de pin pignon ne se trouvent pas sur sol salé. La croissance est souvent ralentie lorsque les peuplements en bord de mer se trouvent exposés aux vents marins.

Toutefois, nous n'avons pas pu, à partir de ces tableaux, préciser l'influence exacte du climat, de la nature de la roche, de la texture.

La segmentation aura également ce rôle.

Nous pensons qu'une étude des peuplements sur sables littoraux pour préciser l'influence de la profondeur de la nappe et de sa nature chimique sur la croissance serait intéressante.

Les résultats des mesures de pH et de couleur qui ont été fastidieuses et ont demandé un temps considérable, nous ont paru bien décevants. Nous n'avons pas su tirer d'information intéressante du pH et nous n'avons pas su dépouiller les mesures de couleur.

3.4. LA VEGETATION

117 plantes ont été reconnues sur les placettes. Parmi celles-ci, 51 plantes ont été trouvées chacune sur 8 placettes au moins.

Les relevés ont été faits en hiver. C'est pourquoi ils sont souvent fort incomplets.

Il faut également tenir compte de l'influence du couvert (souvent très fermé dans les beaux peuplements) et de la concurrence racinaire très forte du pin pignon dans les sables sur la végétation arbustive et herbacée.

Au Mas Petit St Jean, par exemple, Cabanettes avait relevé la présence de 37 plantes dans sa zone d'étude ; parmi celles-ci, 22 figurent dans nos 117 plantes. Pourtant nous avons relevé la présence d'une seule plante sur notre placette.

Le traitement informatique de la végétation a pour but de déterminer de nouveaux critères bien corrélés à la croissance qui amélioreront la segmentation. Nous avons effectué :

- une analyse des correspondances multiples pour établir des groupes écologiques ;
- une analyse des correspondances binaires pour établir des groupes de plantes caractéristiques de la croissance (groupes qui ne tiennent pas compte de tous les facteurs écologiques comme précédemment) ;
- une analyse de l'information mutuelle apportée par une plante pour les critères de croissance telle que l'avait effectuée Bourdenet pour le cèdre.

3.4.1. L'analyse des correspondances multiples

Elle devrait permettre de pouvoir déterminer les groupes de plantes que l'on retrouve dans les mêmes conditions écologiques. Seuls les 9 premiers axes ont été retenus pour établir la part d'explication relative de ceux-ci :

axe 1 :	31,30 %
axe 2 :	20,06 %
axe 3 :	14,89 %
axe 4 :	12,62 %

Nous avons cherché à établir des groupes écologiques à partir de ces 4 axes. Les groupes écologiques sont représentés sur les graphiques (figures 16, 17, 18).

Groupe 1

Quercus coccifera
Brachypodium ramosum
Dorychnium pentaphyllum
Rosmarinus officinale

Genista scorpus
Staezelina dubia

Thymus sp

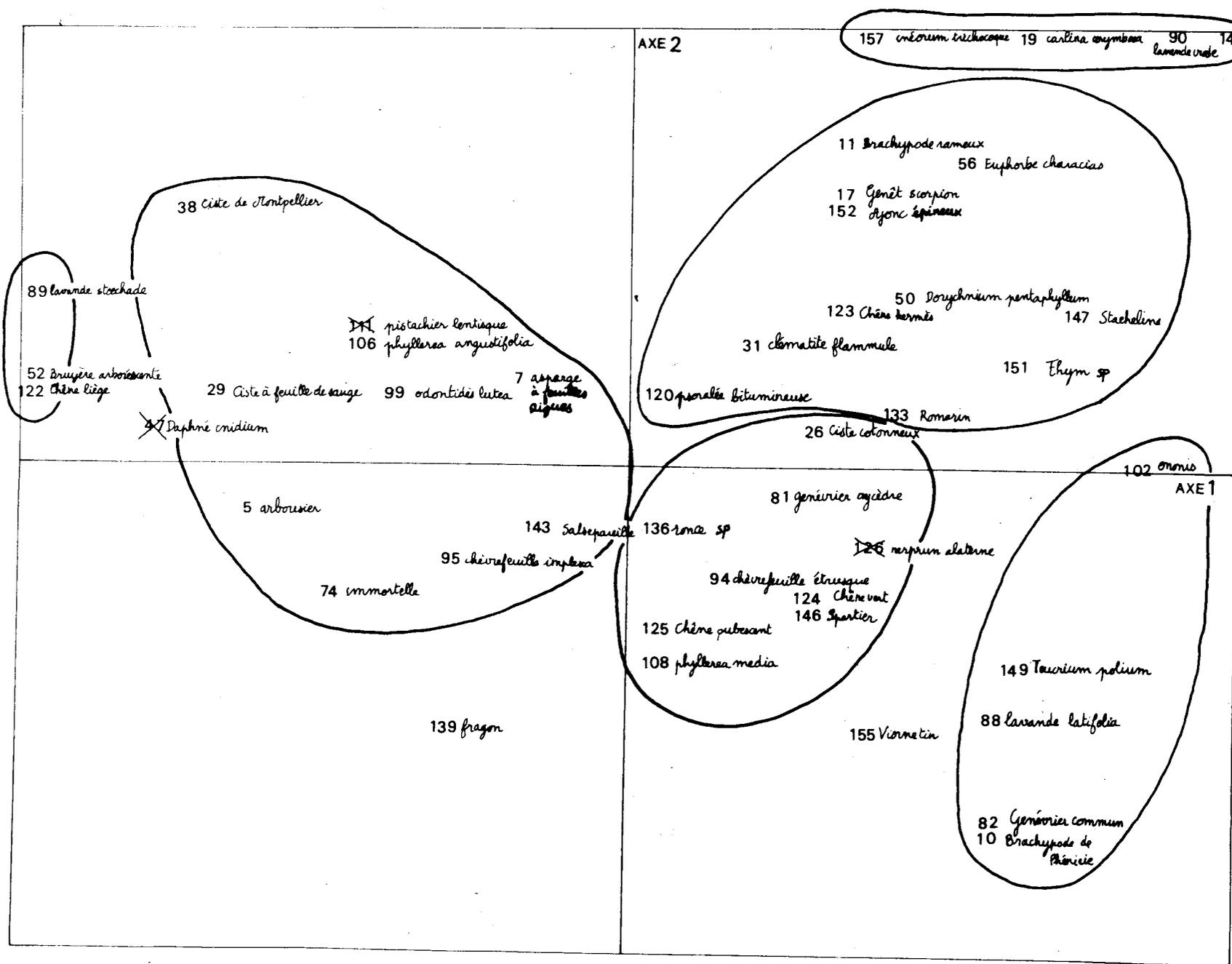
Psoralea bituminosa

Clematis flammula

Groupe 2

Teucrium chamaedris
Lavandula vera
Cneorum trichococum
Carlina corymbosa

Figure 16 : axes 1 et 2



TABLEAUX DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (ESSAI D'ELABORATION DE GROUPES ECOLOGIQUES)

Figure 17 :
axes 1 et 3

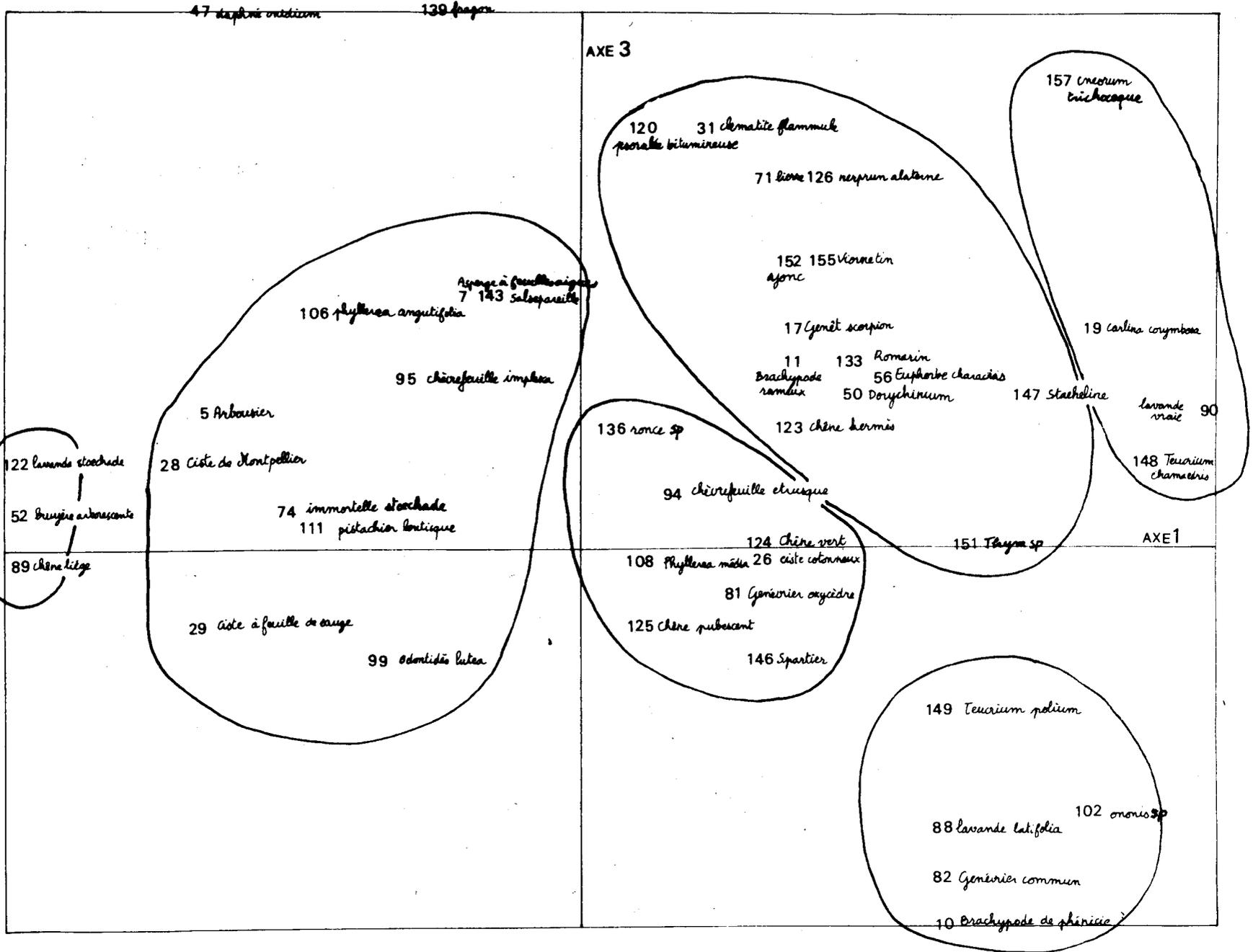
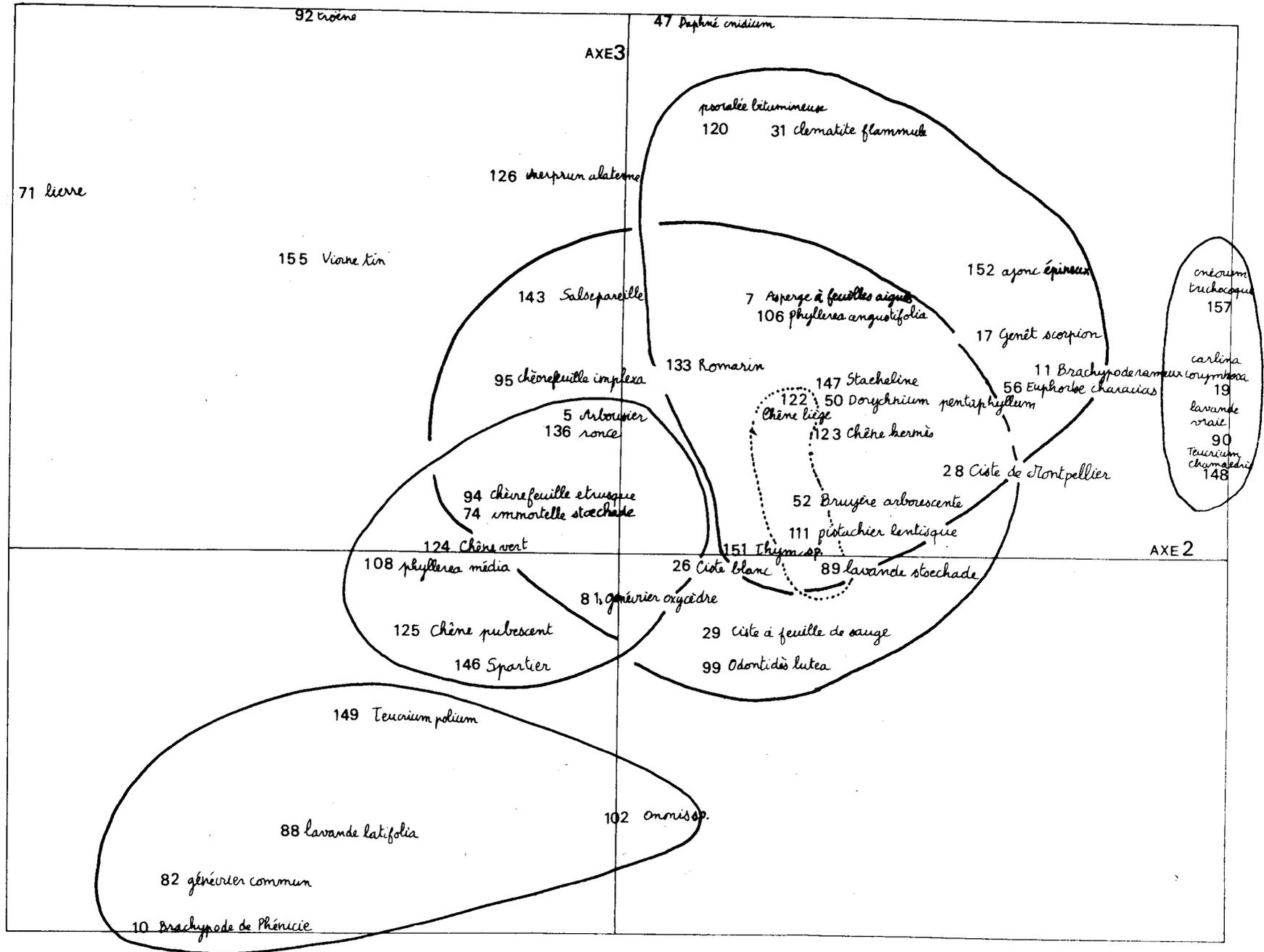


Figure n° 18 : Axes 2 et 3

TABLEAUX DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES



Groupe 3

Juniperus communis
 Brachypodium phoenicoides
 Lavandula latifolia
 Teucrium polium

Groupe 4

Quercus ilex
 Quercus pubescens
 Spartium junceum
 Lonicera etrusca
 Phyllerea media
 Juniperus oxycedrus
 Cistus albidus
 Rubus sp

Groupe 5

Smilax aspera
 Asparagus acutifolius
 Phyllerea angustifolia
 Lonicera implexa
 Cistus monspeliensis
 Arbutus unedo
 Helycrisum stoechas
 Odontides lutea
 Cistus salvifolius

Groupe 6

Quercus suber
 Erica arborea
 Lavandula stoechas

Les placettes sont très difficiles à situer dans ces groupes écologiques. Nous avons donc conscience de l'imperfection de ceux-ci. Le dépouillement aurait certainement pu être plus performant, mais cette approche n'est pas satisfaisante pour une telle étude. La région étudiée est beaucoup trop grande, les relevés beaucoup trop succincts pour que l'on puisse obtenir des groupes écologiques convenables.

Nous avons néanmoins essayé de les introduire dans la segmentation, mais sans résultats.

3.4.2. L'analyse de correspondance binaire

Elle correspond mieux à notre attente. Elle permet d'établir des groupes de plantes qui sont fonction de la croissance du pin pignon (figure 19). Nous avons établi 3 groupes de croissance pour les placettes :

1 - Bon :	de 1,2 à 2,5
2 - Moyen :	de 2,6 à 3,8
3 - Mauvais :	de 3,9 à 4,9

Ceci nous a permis d'établir un groupe de plantes indicatrices de bonne croissance pour le pin pignon :

Osiris alba
 Rubus sp
 Phyllerea latifolia
 Lonicera etrusca
 Rosa sp
 Viburnum tinus
 Hedera helix
 Ligustrum vulgare

et un groupe de plantes indicatrices de mauvaise croissance :

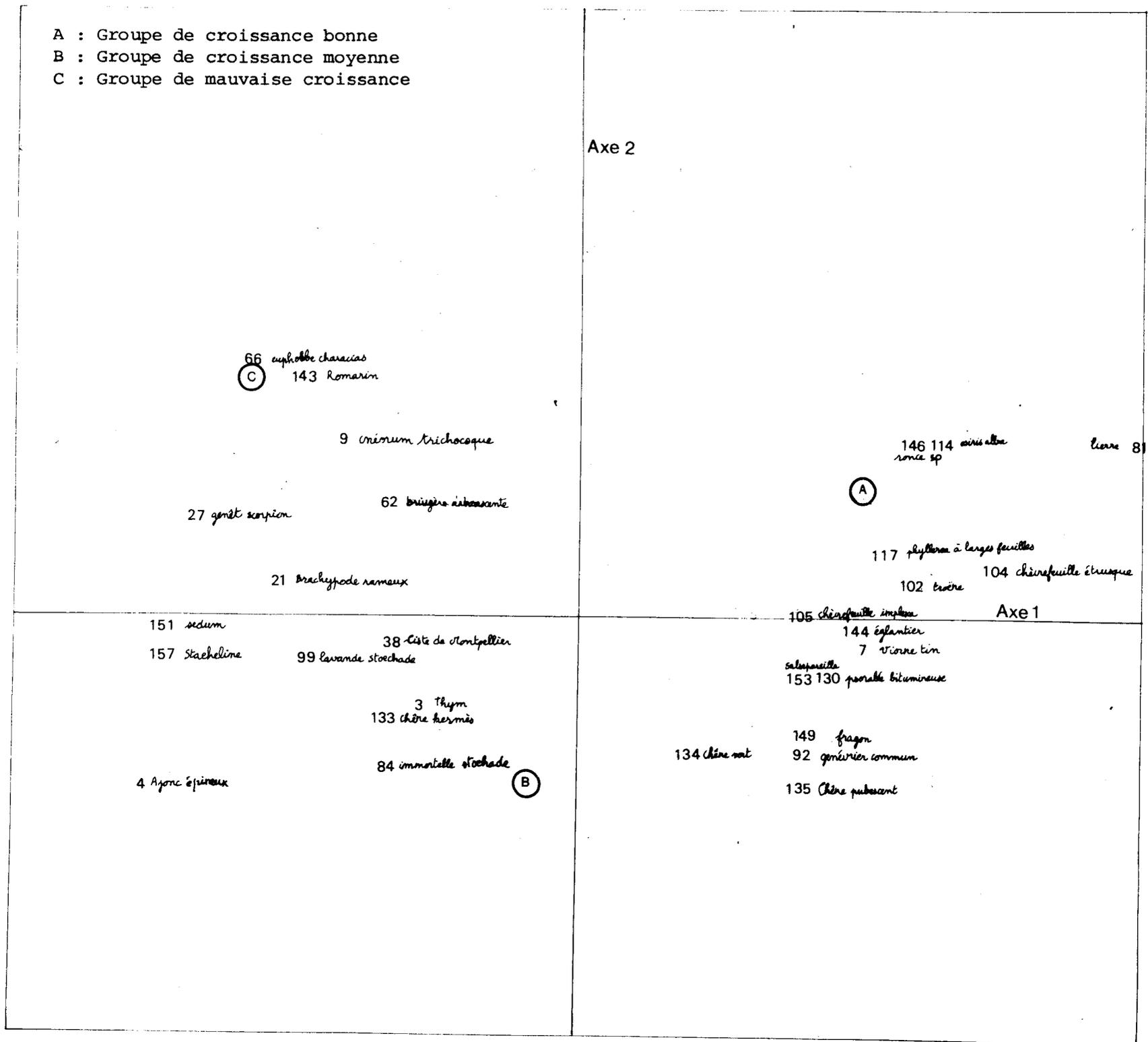
Euphorbia characias
 Rosmarinus officinale
 Cneorum trichocoque
 Erica arborea
 Genista scorpus
 Brachypodium ramosum
 Sedum
 Staehelina dubia
 Ulex parviflorus
 Lavandula stoechas

3.4.3. L'information mutuelle de la plante pour la croissance

Elle nous a permis de compléter les résultats obtenus précédemment. Un coefficient (information mutuelle) qui estime la contribution de la plante dans les trois groupes de croissance permet de faire un classement de la végétation.

Les plantes retenues pour l'établissement des deux groupes sont les suivantes :

Tableau de correspondance binaire plantes-groupes de croissance



Plantes indicatrices de bonne croissance (par ordre décroissant)

Plante	Fréquence	Informa- tion mu- tuelle	Contribution à la		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3
<i>Hedera helix</i>	18	0,05507	2,857	0,934	0
<i>Rubus</i> sp	54	0,03549	1,905	0,905	0,707
<i>Lonicera etrusca</i>	30	0,03414	1,224	1,222	0,159
<i>Rosa</i> sp	19	0,02081	1,933	1,045	0,251
<i>Ligustrum vulgare</i>	9	0,01709	1,632	1,188	0
<i>Viburnum tinus</i>	23	0,01088	1,278	1,129	0,415
<i>Osiris alba</i>	15	0,00359	1,469	1,019	0,637

Certaines plantes du tableau de résultat brut ont été éliminées parce qu'elles étaient trop peu représentées. D'autres, malgré un coefficient d'information mutuelle très faible (*Viburnum tinus* et *Osiris alba*) ont été récupérées parce qu'elles apparaissaient intéressantes dans l'analyse de correspondance binaire.

Plantes indicatrices de mauvaise croissance

Les coefficients sont plus importants et les plantes plus nombreuses :

Plante	Fréquence	Informa- tion mu- tuelle	Contribution à la		
			Classe 1	Classe 2	Classe 3
<i>Brachypodium ramosum</i>	65	0,09247	0,226	0,893	1,837
<i>Genista scorpus</i>	36	0,07143	0,204	0,764	2,255
<i>Stachelina dubia</i>	34	0,05491	0,216	0,809	2,107
<i>Thymus</i> sp	70	0,05310	0,315	0,982	1,501
<i>Lavandula stoechas</i>	37	0,04111	0,397	0,826	1,936
<i>Ulex parviflorus</i>	17	0,03779	0	0,809	2,247
<i>Euphorbia characias</i>	20	0,03768	0,367	0,688	2,387
<i>Helycrisum stoechas</i>	25	0,03076	0	1,100	1,337
<i>Cistus monspeliensis</i>	48	0,02357	0,612	0,891	1,592
<i>Quercus coccifera</i>	56	0,02287	0,394	1,037	1,279
<i>Rosmarinus officinale</i>	34	0,02286	0,432	0,899	1,685
<i>Sedum</i>	7	0,02169	0	0,655	2,729
<i>Erica arborea</i>	24	0,02141	0,918	0,700	1,990

Nous avons créé pour la segmentation trois nouvelles variables :

- 1) nombre de plantes indicatrices de bonne croissance présentes sur la placette ;
- 2) nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance présentes sur la placette ;
- 3) différence entre le nombre de plantes indicatrices de bonne croissance et le nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance présentes sur la placette.

3.5. LA SEGMENTATION

Nous exposerons d'abord brièvement l'algorithme de la segmentation ; puis nous résumerons les différentes segmentations intéressantes en essayant d'établir un modèle utilisable.

3.5.1. Algorithme

Soit E la population d'individus (ici les placettes de mesures).

Soit C l'indice de croissance qui est la variable à expliquer.

Soit deux sous-populations de E telles que

$$E = E_1 \cup E_2 \quad \text{et} \quad E_1 \cap E_2 = \emptyset$$

le poids P_i de chaque individu de E est défini par

$P_i = \frac{1}{NC_i}$ NC_i étant l'effectif de la tranche de croissance C_i (découpage de 0,1 unité) de la population totale.

Le poids de E_0 est défini par

$$P(E_0) = \sum_{i \in E_0} P_i$$

et le barycentre g_0 de la population E_0 par :

$$g_0 = \frac{\sum_{i \in E_0} C_i}{N_0} \times \frac{1}{P(E_0)} \times \sum_{i \in E_0} P_i C_i$$

(soit \bar{C}_0) (de même pour E_1)

L'inertie interclasse entre E_1 et E_0 est définie par :

$$\Delta(E_0, E_1) = \frac{P(E_0)P(E_1)}{P(E_0)+P(E_1)} \quad d(g_0, g_1) = \text{BSS}$$

A chaque nouvelle dichotomie :

- pour chaque variable explicative, la valeur maximum de l'inertie interclasse est recherchée parmi tous les découpages possibles. Cette valeur est retenue.

- parmi toutes les variables et leur découpage optimum, c'est la variable qui réalise l'inertie interclasse maximum qui est utilisée pour l'éclatement du groupe.

Les conditions minimales d'éclatement que nous avons fixées étaient très réduites. Nous avons surtout considéré la cohérence de l'éclatement. Dans la dernière segmentation et dans le cas où il ne l'était pas, nous avons recherché nous-même le découpage convenable à l'aide de tous les BSS.

3.5.2. Segmentation sans pondération et sans les variables issues du traitement de la végétation (figure 20).

Les variables ayant trait au pourcentage de cailloux, à l'affleurement rocheux et à la topographie apparaissent au premier et au second niveau. Tous les découpages cohérents du 3ème niveau font apparaître la roche mère. Nous n'avons retenu le résultat que lorsque la roche mère était représentée plus de 4 fois. Le tableau n'est donc pas toujours utilisable.

L'apparition du facteur nature de la roche présente donc cet inconvénient, mais il y en a un autre plus important sans doute: les natures de roche, souvent peu représentées, ne peuvent pas être ordonnées comme peuvent l'être les modalités de la distance au littoral ou du pourcentage de cailloux. Les petits groupes sont alors ordonnés par indice de fertilité croissant. Cela facilite un découpage qui peut être pourtant moins significatif.

3.5.3. Segmentation pondérée sans les variables issues du traitement de la végétation (figure 21)

Cette deuxième segmentation précise les influences climatiques sur la croissance du pin pignon. Si l'on exclue les stations très mauvaises qui se caractérisent par un sol très superficiel ou très dur (moins de 10 cm au profondimètre) ou par un pourcentage de caillou en affleurement important (plus de 60 %), on constate que :

- . dans les bonnes stations, du point de vue physique du sol, l'optimum se situe plutôt pour des températures moyennes annuelles favorables, c'est-à-dire une période de végétation plus longue,
- . dans les mauvaises stations, de ce même point de vue, la quantité de pluie peut compenser en partie la plus faible réserve en eau du sol.

3.5.4. Segmentation pondérée avec les variables issues du traitement de la végétation (figure 22)

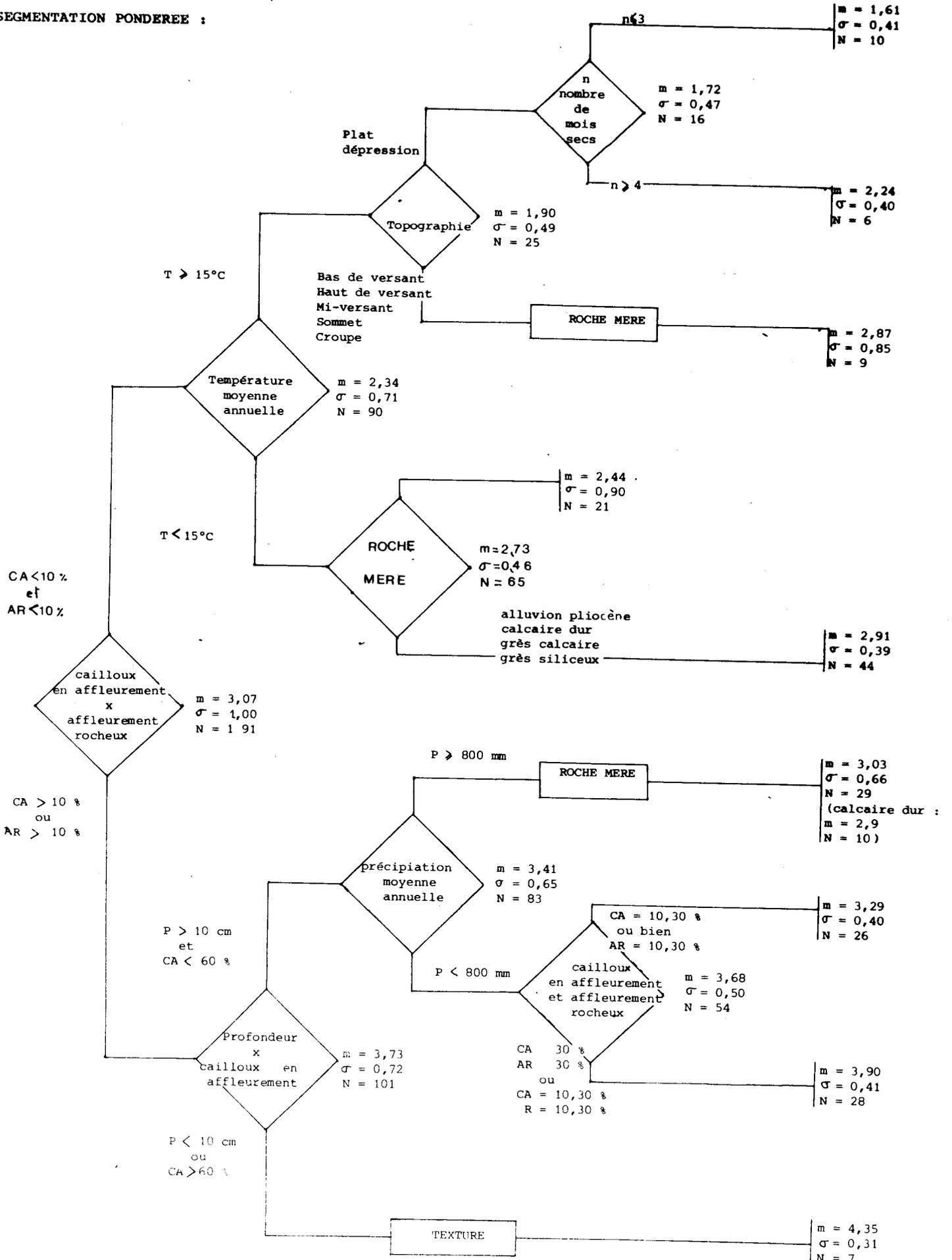
La seule variable nouvelle qui apparaisse dans ce tableau est celle qui représente la différence entre le nombre de plantes indicatrices de bonne croissance et le nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance. Il est surprenant que les variables ainsi créées pour expliquer la croissance et qui sont le reflet de toutes les conditions écologiques de la placette n'apparaissent pas dès le premier niveau. Cela peut venir du fait qu'il n'existe pas suffisamment de plantes indicatrices de la bonne croissance du pin pignon et que celles-ci ne sont pas des indicatrices très fidèles.

On s'aperçoit en effet que le groupe combiné apparaît chaque fois que l'on élimine le 1er groupe du 3ème niveau ($m = 1,90$). On constate également que le groupe combiné, partout où il apparaît, améliore légèrement les écarts-

types des groupes finaux (maximum précédent $\sigma = 0,66$
maximum actuel $\sigma = 0,46$)

FIGURE N° 21

SEGMENTATION PONDEREE :



La végétation traduit donc légèrement mieux que les autres facteurs les conditions de croissance sauf lorsque celles-ci deviennent très bonnes. Dans ce cas , cela pourrait être dû :

- à un effet du couvert (peu probable)
- à la litière épaisse dans ces beaux peuplements
- à une concurrence racinaire du pin pignon plus forte.

Cette segmentation nous permet également de constater que pour les bonnes stations et pour une température moyenne annuelle convenable ($T > 15^{\circ}\text{C}$), c'est le nombre de mois secs qui détermine le mieux la croissance. On peut penser que ceci est également lié à la longueur de la période de croissance annuelle : les meilleures stations se trouvent donc aussi dans les régions où il y a peu de mois secs.

Il nous a semblé utile d'essayer d'améliorer cette segmentation pour les groupes (.3) (.5) (.6) (.8).

Pour le groupe (.3), le tableau qui nous a paru intéressant est celui-ci :

Variable : groupe combiné (différence entre le nombre de plantes indicatrices de bonne croissance et le nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance).

Différences des nb de plantes	Effectif	Moyenne	Ecart-type
-4	1	4,10	-
-3	1	3,60	-
-2	2	3,10	0,14
-1	1	3,40	-
0	3	3,50	0,32
+2	1	1,90	-

Nous avons effectué la coupure pour $N \leq -3$ et $N > -3$ (la placette avec 1,9 pour indice de croissance est très particulière : elle a fait l'objet d'une plantation extrê-

mement soignée et elle a été arrosée durant les premiers étés).

Ceci nous donne, pour moyenne des deux nouveaux groupes :

.3.1. : $m = 2,68$ $\sigma = 0,83$ $N = 7$
 .3.2. : $m = 3,91$ $\sigma = 0,04$ $N = 2$

Les groupes ont des effectifs trop réduits pour qu'on puisse juger de la significativité de la différence des moyennes.

Groupe .5 : Le groupe combiné pourrait permettre un découpage qui n'amènerait rien de plus.

Groupe .6 : Le facteur topographie est cohérent, mais il est en-dessous des limites fixées pour l'éclatement.

Topographie	Effectif	Moyenne	Ecart-type
Dépression	3	2,62	0,30
Mi-versant	8	2,80	0,31
Plat	9	3,11	0,21
Bas-de-versant	5	3,13	0,42
Haut-de-versant	5	3,50	0,28
Croupe	3	3,56	0,47

Le groupe .6.1. contient les modalités : dépression, mi-versant, plat et bas de versant.

Le groupe 6.2. les modalités : haut de versant, croupe.

.6.1. $m = 2,93$ $\sigma = 0,36$ $N = 25$
 .6.2. $m = 3,51$ $\sigma = 0,35$ $N = 8$

La différence est significative au seuil de 1 %.

Groupe .8 : Le facteur affleurement rocheux, de même que la topographie pour le groupe .6, est cohérent, mais il est en dessous des limites fixées pour l'éclatement:

Affleurement rocheux	Effectif	Moyenne	Ecart-type
0-10 %	24	3,52	0,46
10-30 %	13	4,05	0,31
30-60 %	2	4,00	0
60-100 %	2	3,67	0,43

Le groupe .8.1. contient les modalités AR=0-10 %

Le groupe .8.2. contient la modalité AR=10-100 %

.8.1. m=3,52 $\sigma = 0,46$ N=24

.8.2. m= 4,01 $\sigma = 0,30$ N=17

La différence est significative au seuil de 1 %.

3.6. LA PRODUCTION LIGNEUSE

Il est presque toujours impossible de corrélérer l'indice de fertilité trouvé sur les placettes à l'accroissement courant des placettes de l'IFN (placettes qui n'ont pas été installées au même endroit).

Nous avons toutefois constaté que sur les 70 placettes de l'IFN où l'accroissement courant a été mesuré, seules 17 placettes ont un accroissement courant supérieur à 2,00 m³/ha.an.

Pour les deux parcelles de pin pignon les plus connues :
- Forêt domaniale du Rouet, sous la pépinière des Pradi-neaux (83)

volume sur pied : 90m³ à 70 ans
accroissement courant : 2,85 m³/ha.an environ

Ce peuplement a pour indice de fertilité 2,3.

- Mas Petit St Jean, Aigues Mortes (30)

volume sur pied : 68 m³ avec pour
accroissement courant 7,52m³/ha.an âge moyen
24 ans

Indice de fertilité : 2,1

- Ces chiffres confirment d'abord que l'accroissement cou-

rant est fortement lié à l'âge pour le pin pignon.

- D'autre part, ces deux peuplements les plus connus ne sont donc pas pourtant les plus productifs (une station à Port Leucate avec un indice de fertilité de 1,2 mériterait sans doute des mesures de volume) ;
- Les placettes de l'IFN ont été installées plutôt dans des peuplements médiocres.

3.7. LES AUTRES OBSERVATIONS SUR LES PEUPEMENTS

Nous n'avons pas pu consacrer le temps nécessaire pour un bon dépouillement de ces données, mais il faut surtout reconnaître que la fiche de mesure n'était certainement pas adaptée à de telles observations.

. La fructification : On peut voir quelques cônes sur les arbres dès l'âge de 10 ans. En général, on trouve des cônes dans tous les peuplements âgés de 20 ans. La fructification est optimum aux alentours de 40 ans et semble baisser légèrement vers les 80 ans. (figure 23)

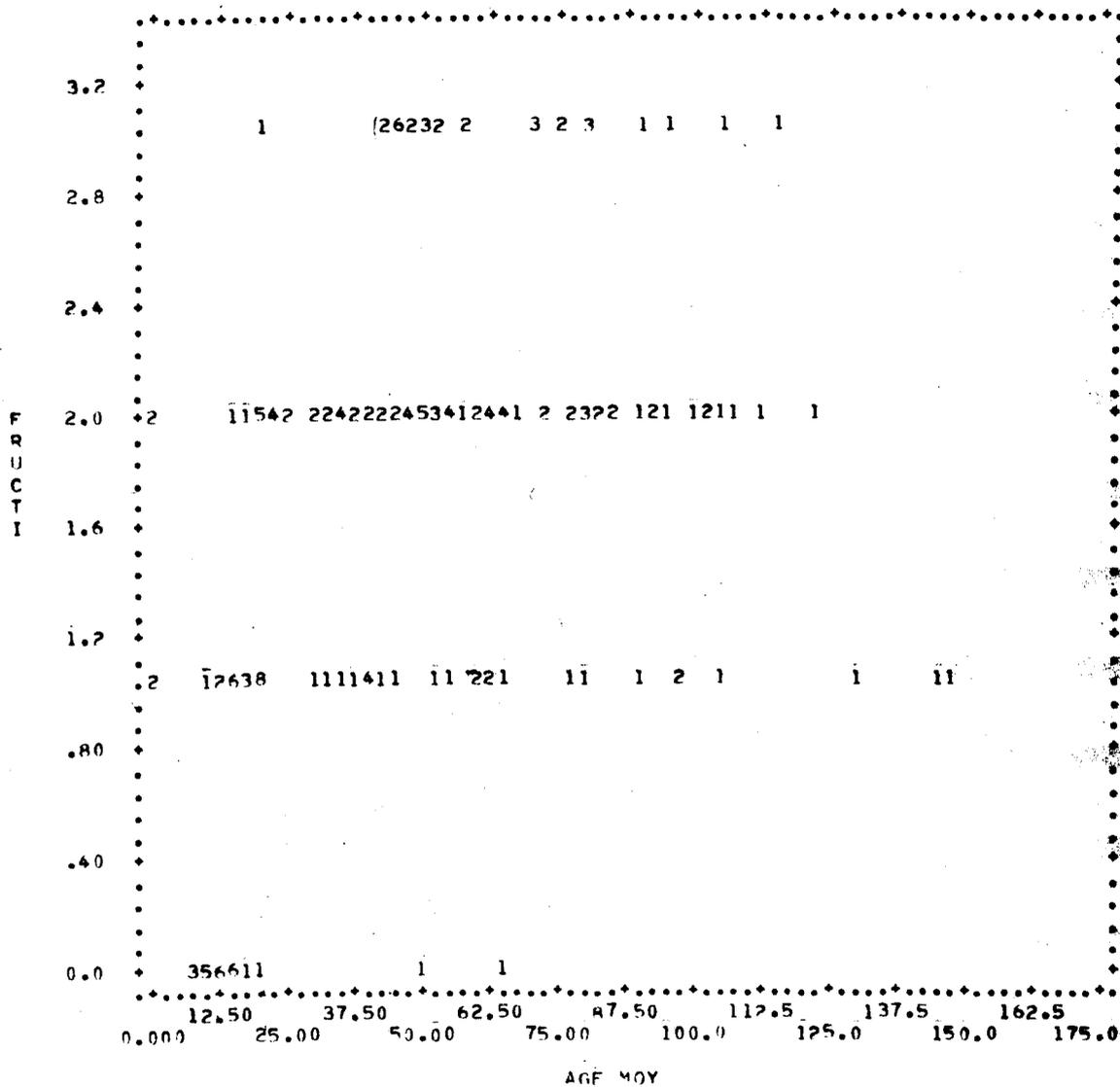
. L'abondance du semis : Les semis ne sont abondants que lorsque les arbres ont plus de 30 ans. L'optimum se situe entre 35 et 60 ans. On continue de voir des semis sous des arbres âgés mais ils sont plus rares en général lorsque le peuplement est âgé de plus de 110 ans. (figure 24)

On trouve le plus souvent les semis en position de plein découvert (Il a fallu toutefois avoir un endroit découvert sur la placette). Ce sont de plus les seuls semis qui aient un avenir.

Pour apprécier la régénération du pin pignon, nous n'avons considéré que l'abondance du semis sur la placette. Nous avons essayé de corrélérer cette abondance à l'altitude, l'exposition, l'indice de rayonnement global, la profondeur moyenne, la texture et le pH.

FIGURE N° 23

Abondance de la fructification en fonction de l'âge du peuplement



- 0 Pas de cônes
- 1 Fructification peu abondante
- 2 Fructification abondante
- 3 Fructification très abondante

Nous avons calculé la moyenne de l'indice d'abondance du semis et c'est cette moyenne qui sera considérée pour juger la régénération.

Le facteur qui nous a semblé le plus déterminant est la texture :

Texture	Equi-libr.	A	L	S	A>L	A>S	L>A	L>S	S>A	S>L
Moy. indice d'abondance	0,62	0,72	0,54	1,00	0,64	0,43	0,70	0,67	0,67	0,63
Ecart-type	0,92	0,89	0,82	0,97	0,66	0,53	0,95	0,82	0,89	0,90
Effectif	8	25	11	60	22	7	10	6	12	22

N = 183

Aucune différence n'est toutefois significative au seuil de 5 %.

. La texture sableuse est pourtant plus favorable que les autres.

. Dans les tableaux, l'altitude apparaît également comme un facteur important :

Altitude	0-20 m	20-50 m	50-100 m	100-200m	200-300m	+ de 300m
Moy. indice d'abondance	0,57	0,40	0,82	0,52	0,87	1,18
Effectif	21	15	40	40	40	27

N=183

Nous expliquons ce phénomène de la manière suivante. Lorsque l'on trouve du pin pignon au-dessus de 300 m et loin du littoral, il est en général issu de régénération naturelle qui s'est faite à partir d'un arbre planté pour ses pignons ou à titre décoratif. Cette régénération se trouve généralement sur sol sableux.

Cette régénération plus facile sur les textures sableuses explique également la répartition des boisements naturels de pins pignon qui sont très souvent sur sables. Ce type de substrat n'est pourtant pas plus favorable à la croissance qu'un autre.

Toutefois, dans les boisements mélangés de pin maritime et de pin pignon sur sol sableux, la régénération du pin maritime est beaucoup plus dynamique.

Nous avons remarqué que, malgré la graine très lourde, on trouve des arbres à plus de 200 m des semenciers (par exemple à Vinassan (11) ou Lagrasse (11)). La dissémination des graines serait assurée par les corneilles qui mangeraient des pignons.

. Épaisseur d'écorce : Nous avons pensé que l'épaisseur d'écorce était corrélée à la fertilité de la station. Cela ne semble pas être le cas. Le tableau épaisseur d'écorce x âge par rapport à l'indice de croissance est sans intérêt. Nous retiendrons seulement le graphique épaisseur d'écorce en fonction de l'âge. (figure 25)

. Nous n'avons pu tirer aucune conclusion intéressante des relevés sur l'élagage.

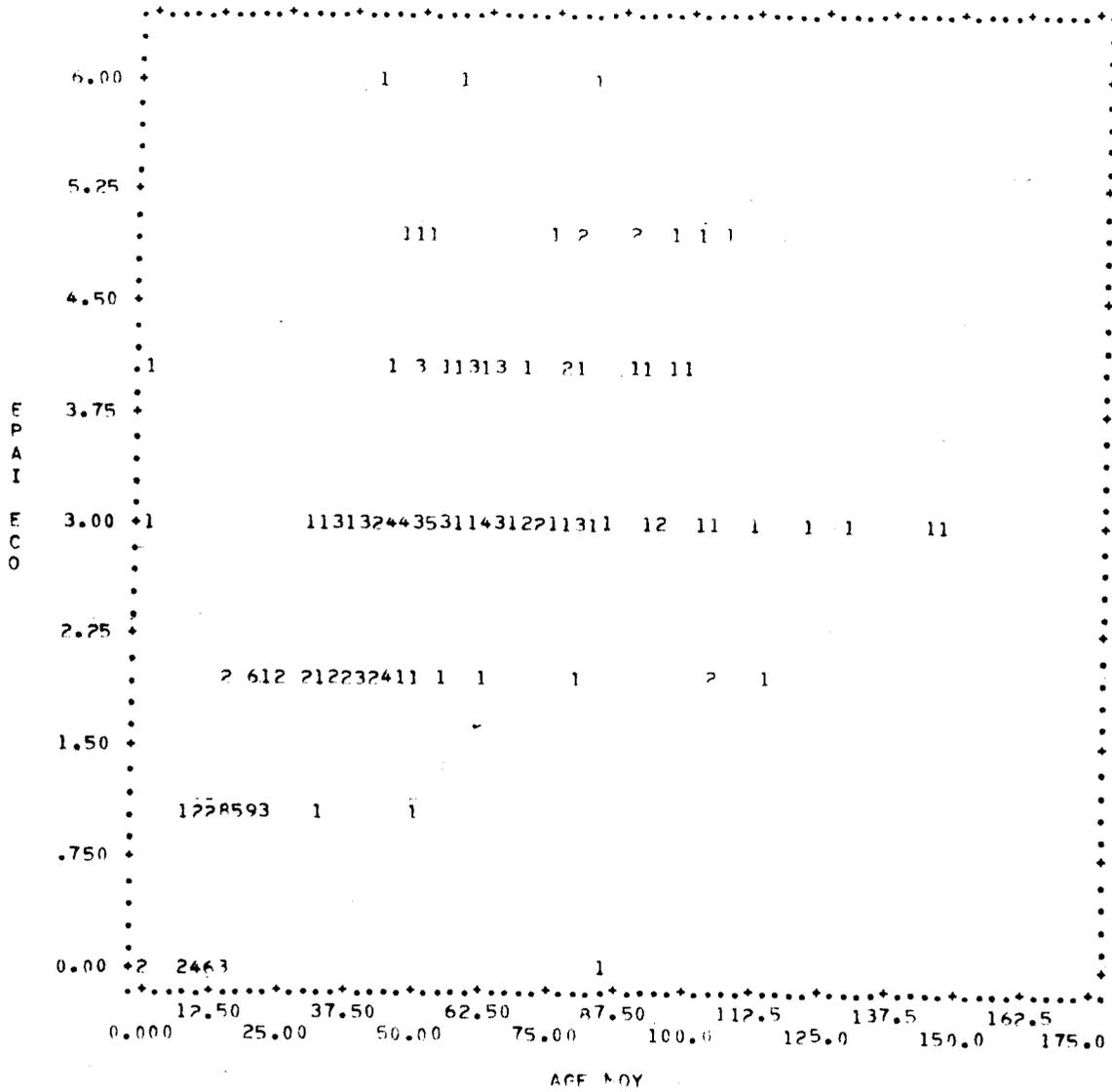
. La résistance au feu : Sur les 191 placettes, nous en avons trouvé 19 qui avaient été parcourues par le feu (écorce carbonisée) seules 4 placettes avaient véritablement souffert. On ne peut pas en conclure que le pin pignon résiste aux incendies : dans certains boisements brûlés, il n'y avait plus de placettes à installer.

Toutefois, on a constaté que dans les boisements clairs, un feu de broussailles est possible sans dommage apparent pour les arbres. Les agriculteurs du Languedoc semblent avoir assez souvent recours à cette pratique, qui protège ensuite le peuplement du feu lorsque la saison dangereuse arrive.

Les peuplements les plus exposés sont les peuplements

FIGURE N° 25

Epaisseur d'écorce (en cm) en fonction de l'âge



denses avec une épaisse litière.

Les jeunes reboisements qui ne sont pas encore tout à fait sortis de la strate arbustive ou à cimes jointives sont également entièrement détruits en cas d'incendie. Pourtant, un peuplement âgé et suffisamment clair devrait bien résister à l'incendie.

CONCLUSION

1. EVALUATION D'UN INDICE DE CROISSANCE POUR L'ESSENCE

Le tableau suivant, issu de la dernière segmentation, a été retenu pour cette conclusion. D'utilisation facile, il devrait permettre, avec les tableaux qui ont été établis pour le cèdre et le cyprès et celui qui sera établi pour les sapins méditerranéens de rechercher la place optimum pour ces essences dans un reboisement en région méditerranéenne française.

Toutefois, la fiabilité de notre tableau n'a pas encore été estimée. D'autre part, certains facteurs très importants pour la croissance telle la profondeur du sol (estimée avec une tarière pédologique à vis hélicoïdale) n'apparaissent pas.

Il est donc utile de rappeler l'importance de chacun des facteurs pour la croissance :

- Les facteurs qui permettent d'abord de distinguer une bonne station d'une mauvaise sont (ordre indifférent) :
- profondeur moyenne (5 tariérages)
- pourcentage d'affleurement rocheux
- pourcentage de cailloux dans le sol
- pourcentage de cailloux en affleurement

Dès qu'une station possède une faible profondeur de sol ou un fort pourcentage d'affleurement rocheux ou de cailloux dans le sol ou en affleurement, celle-ci peut être éliminée des stations très favorables à la croissance du pin pignon.

ESSAI D'ESTIMATION DE LA CROISSANCE DU PIN PIGNON EN FONCTION DES FACTEURS DU MILIEU

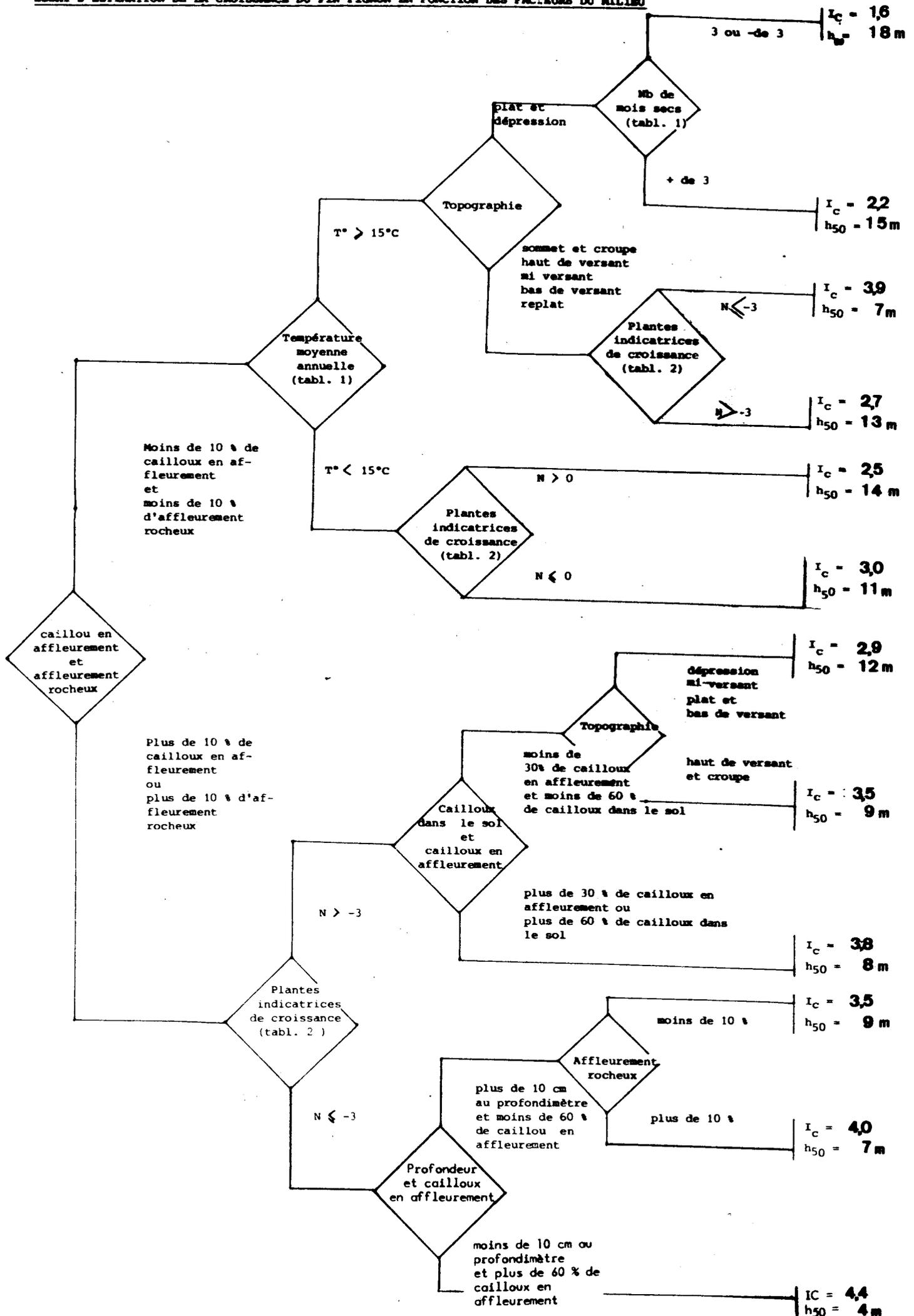


TABLEAU 1

Station météo	T° moyenne annuelle (°C)	Nb de mois secs
<u>83</u>		
Bandol	15,6	4
Comps	9,5	0
Collobrières	13,7	2
Cuers	15,4	2
Draguignan	14,0	2
Fréjus	14,4	2
Le Cannet des Maures	14,4	2
Lorgues	13,9	2
Porquerolles	15,3	4
Ramatuelle	15,5	3
Toulon	15,7	3
<u>13</u>		
Aix-en-Provence (Puyricard)	12,3	3
Arles-ville	14,3	4
Arles-Tour du Valat	14,3	2
Aubagne	14,3	4
Cassis	15,1	4
Chateaurenard	14,7	4
La Ciotat	13,8	5
Gardanne	13,1	3
Gémenos	13,8	4
Marseille-Obs.	14,9	4
Martigues	14,9	6
Salon	13,4	4
Rousset	13,0	4
St Paul-les Durance	11,5	3
<u>84</u>		
Apt	13,0	3
Sault	9,5	2
Meyrargues	12,1	3
<u>06</u>		
Cannes	14,3	2
Antibes	15,4	3

Station météo	T° moyenne annuelle(°C)	Nb de mois secs
<u>34</u>		
Bedarieux	13,0	3
Combes	12,1	2
Roquebrun	14,6	4
Avene	12,3	2
Roquedonde	9,7	1
St Maurice de Navacelles	11,6	2
St Geniès le bas	14,5	5
Béziers-ville	14,7	5
Gignac	14,3	3
Sète	14,6	5
Montpellier	14,0	4
Ganges	14,4	3
St Martin de Londres	12,2	4
St Gely du Fesc	14,4	3
<u>30</u>		
Aramon	13,1	3
Nîmes	14,3	3
Sommières	14,5	3
Aigues-Mortes	17,1	3
Uzès	12,0	3
Bagnols sur Cèze	13,1	2
Lussan	12,9	-
St Ambroix	13	-
Alès	14	-
St Jean du Gard	13	2
La Grand Combe	13	2

Station météo	T° moyenne annuelle (°C)	Nb de mois secs
<u>66</u>		
Cap Bear	15	6
Canohes	15	6
Corsavy	9	2
Fillols	11	3
Monferrer	14	2
Millas	14	5
Prades	12	6
Maury	15	5
Matemale	6	1
<u>11</u>		
Saissac	8,6	0
Laure-Minervois	17,6	4
Castelnaudary	12,8	1
Bram	12,5	0
Plaigne	11,8	1
Gramazie	13,3	2
Narbonne	14,2	3
Argeliers	14,2	5
Cruscades	14,0	3
Lézignan	13,4	3
Carcassonne	13,4	2
Limoux	13,3	2
Quillan	13,0	1
Auriac	11,3	2
Fitou	15,3	3
Lagrasse	13,1	2
Tuchan	14,6	3
Axat	12,6	0

TABLEAU 2

Le nombre N est égal à la différence du nombre de plantes indicatrices de bonne croissance pour le pin pignon et le nombre de plantes indicatrices de mauvaise croissance pour cette même essence.

Liste des plantes indicatrices de bonne croissance pour le pin pignon

- *Hedera helix* (lierre)
- *Rubus* sp (ronce)
- *Lonicera etrusca* (chèvrefeuille étrusque)
- *Rosa* sp (églantier)
- *Ligustrum vulgare* (troëne)
- *Viburnum tinus* (Viorne tin)
- *Osiris alba*

Liste des plantes indicatrices de mauvaise croissance pour le pin pignon

- *Brachypodium ramosum* (Brachypode rameux)
- *Genista scorpius* (genête scorpion)
- *Stachelina dubia* (stacheline)
- *Thymus* sp (thym)
- *Lavandula stoechas* (lavande stoechade)
- *Ulex parviflorus* (ajonc, épineux)
- *Euphorbia characias*
- *Cistus monspeliensis* (ciste de Montpellier)
- *Quercus coccifera* (chêne kermès)
- *Rosmarinus officinale* (romarin)
- *Sedum* sp.
- *Erica arborea* (bruyère arborescente)

La topographie oppose nettement ensuite les positions hautes (sommet, croupe, haut de versant) aux positions basses (dépression, plat) bien meilleures.

Ces 5 facteurs sont beaucoup plus explicatifs de la croissance que la nature de la roche.

La texture sableuse paraissait d'abord plus favorable au pin pignon. Ce n'est pas le cas pour la croissance mais pour la régénération. Il est toutefois certain que les plus beaux peuplements de pin pignon se trouvent sur sable avec une nappe entre 1 et 2 m de profondeur. Dans ce cas, la croissance du pin pignon est remarquable par rapport à la croissance des autres essences (sauf le pin maritime). Le résultat des autres enquêtes devrait permettre de déterminer si le fait que le pin pignon ne soit pas défavorisé par la texture sableuse est un facteur favorable sur ce genre de texture.

Au niveau climatique, la segmentation a permis de mettre en évidence des résultats très intéressants. Dans les stations plutôt favorables du point de vue des facteurs physiques du sol, la température moyenne annuelle élevée est favorable à la croissance ($T \geq 15^{\circ}\text{C}$).

Par contre, dans les stations moins favorables du point de vue des facteurs physiques du sol, les précipitations plus abondantes peuvent compenser légèrement ces faibles capacités du sol. La température devient alors un facteur secondaire.

La végétation fournit des indications importantes en complément des données apportées par ces premiers facteurs. Elle permettra peut-être surtout dans les cas douteux qui se présenteront, de préciser si la croissance peut être plutôt bonne, plutôt mauvaise ou très mauvaise.

Ce sera en particulier le cas des peuplements sur marnes consolidées : pas de cailloux, pas d'affleurement rocheux. Le pin pignon a pourtant une croissance très défavorable lorsque la profondeur de sol est très faible. L'utilisation de la végétation permet certainement dans ce cas d'éviter une grosse erreur.

2. CHOIX DU PIN PIGNON POUR UN REBOISEMENT

Il nous a paru souhaitable d'essayer de fixer quelques limites dans l'utilisation du pin pignon. Nous pensons qu'un reboisement de production ligneuse devrait se situer au-dessus d'un indice de croissance 2,5. Il est certain que dans les conditions actuelles, la valorisation du bois est très mauvaise, mais on peut penser que, compte tenu des qualités technologiques du bois et dans la mesure où les bons reboisements pourraient couvrir une plus grande surface, les perspectives du marché ont le temps d'évoluer. Il est conseillé de faire ce reboisement dans une zone aux températures moyennes annuelles élevées.

Il est difficile de fixer une telle norme pour les reboisements de protection. Cela dépend en effet de la nature de l'objectif à atteindre. Nous déconseillerons simplement la classe de fertilité IV (de 4,0 à 4,9). Le pin pignon apparaît en effet comme une essence très résistante et son emploi peut être envisagé dans les terrains les plus difficiles lorsque aucune autre essence ne semble convenir. Il faut simplement envisager le fait que ces arbres ne dépasseront peut-être jamais 5 m de hauteur et ne produiront pas plus de 0,50 m³/ha.an.

3. L'ENTRETIEN DU REBOISEMENT

Ce chapitre n'a pas été abordé dans l'étude. Ce sont simplement les conclusions de lectures ou d'observations personnelles qu'il nous semble nécessaire de faire figurer ici. La période de croissance en hauteur optimale est très courte chez le pin pignon et dès 13 ans au Mas Petit St Jean à Aigues Mortes (Cabanettes, 1978), on observe une

diminution de la croissance en hauteur. Cela signifie donc que les premières années sont capitales pour le peuplement. Il est donc très important de soigner la plantation et de suivre le reboisement durant ce temps. c'est à dire, en plus d'une plantation soignée,

- binages ou passage de disques
- élagages dynamiques tout au long de la phase de croissance importante (premier élagage vers 8 ans : un tiers des branches vertes)
- maintien du peuplement très clair. Les cimes ne doivent pas être jointives.

Ces travaux onéreux présentent en plus l'avantage de protéger le peuplement du feu même lorsque la phase des opérations culturales importantes sera terminée.

L'arrosage des plantations, dès qu'il est possible, est à envisager ; il aboutit souvent à des résultats surprenants pour l'essence.

Nous pensons que c'est à ces conditions que l'on obtiendra des reboisements durables et de qualité. Toutefois, ces affirmations demanderaient à être confirmées par d'autres études utilisant une méthodologie plus adaptée.

PRINCIPAUX OUVRAGES CONSULTÉS

- BACHILLER, P. (), Estudio sobre la biología y tratamientos del *Pinodes validirostris* Cyll., Boletín del servicio de plagas forestales, Espagne, pp. 133-136.
- BARONI, A. (1973), Ricerche alsometriche sulle pinete di pinodomestico dei Tomboli di Cecina, Italia Forestale e Montana, vol. 5, pp. 191-197.
- BAUDIN-SANCHEZ, F. (1966), Ordenación y selvicultura intensiva en los montes de *Pinus pinea* L. en Valladolid, Comptes rendus du 6ème congrès forestier mondial, vol. 2, pp. 2442-2447.
- BAUDIN, F. (), Tratamientos contra el gorgogo de la pino (*Pissodes validinostri* Gyll.) en las masas de pino pinonero (*Pinus pinea* L.) de Valladolid, Boletín del Servicio de Plagas Forestales, Espagne, pp. 43-50.
- BAUDIN-SANCHEZ, F. (), Mejoras del pino pinonero (*P. Pinea*) en Valladolid, Montes, Espagne, pp. 215-219.
- BECKER (1979), Indice de climat lumineux combinant pente et exposition, Bulletin d'Ecologie, t. X, fasc. 12, avr.-juill. 1979, pp. 125-137.
- BERTIER, P., BOUROCHE, J.-M. (), Analyse des données multidimensionnelles, Presses Universitaires de France, 270 p.
- CABANETTES, A. (1979), Croissance, biomasse et productivité de *Pinus pinea* L. en petite Camargue (thèse), Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 175 p.
- CARRIERE (1867), Traité général des conifères, pp. 456-459.

- CANTIANI, M. (1971), Sui rimedi per salvare del deperimento la pineta litoranea di Tecina, Italia forestale e Montana (Italie), 1971, 6, pp. 213-221.
- CASTELLANI, C. (1970), Tavole stereometriche e alsometriche costruite per boschi italiani, Annali dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento et per l'Apicoltura, Italie, 1970, vol. 1, pp. 148-157.
- CEMAGREF-Grenoble (1973 et 1975), Information technique pour la surveillance phytosanitaire de la forêt, tomes I et II.
- CENTRE D'ETUDES PHYTOSOCIOLOGIQUES ET ECOLOGIQUES (1968), Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu, Ed. CNRS, Montpellier.
- COZZO, D. (1969), Noticia sobre el crecimiento de Pinus pinea en la provincia de Buenos Aires, Argentina, Revue forestière, Argentine, t. 13, n° 4, pp. 119-124.
- CUEVAS, P., BACHILLER, P. (1970), Estudio de los insectos que danan la producción frutera del pino pinonero y métodos utilizados para su combate, Boletín del Servicio de Plagas Forestales, Espagne, 1970, vol. 26, pp. 227-231.
- CUEVAS, P., BACHILLER, P. (), Síntesis de los diferentes métodos utilizados para la protección de pino de p. pinea, Boletín del Servicio de Plagas Forestales, Espagne, pp. 77-87.
- DAGNELIE, P. (1973 et 1975), Théories et méthodes statistiques, Les Presses Agronomiques de Gembloux, Belgique, vol. 1 : 365 p. (1973) ; vol. 2 : 463 p. (1975).
- DANG, V. D., KUBLER (1981), Le genre Pinus : dendrologie (Exposé de l'ENITEF), 89 p.
- DE BELLIS, E., CAVALCASELLE, B. (), La lotta contro la processionaria del Pino (Thaumetopoea pityocampa Schiff.) mediante l'uso del Bacillus thuringiensis Berliner, Cellulosa e Carta (Italie), pp. 37-42.
- DE PHILIPPIS, A., MAGINI, E., PIUSSI, P. (1966), Influenza biologica della resinazione. Ricerche sui pini domestico, marittimo e silvestre, Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali, Italie, pp. 435-570.

- DUPLAT, P. (1980), Tables de production et sylviculture des résineux dans le massif du Jura, Bulletin technique de l'Office National des Forêts, n° 11, pp. 3-26.
- DURANTI, G., GIULIMONDI, G., Indagine su un fenomeno di disseccamento in una fascia costiera di pino d'Aleppo e pino domestico, Cellulosa e carta, Italie, vol. 5, pp. 33-45.
- DJAZIRI, A. (1971), Etude stationnelle du pin pignon en Italie, Institut National de la Recherche Forestière, Tunisie, Variété scientifique, n° 9, 80 p.
- DJAZIRI, A. (1971), Etude stationnelle du pin pignon en Italie, Bulletin d'information de l'Institut National de Recherche Forestière, Tunisie, vol. 18, pp. 37-42.
- ETIENNE, J. (1956), Le pin pinier dans le département du Var, Voyage d'étude en France dans la région provençale, Sous-Commission de coordination des questions forestières méditerranéennes.
- FRANCIET, A. (1970), Stimulation de l'ouverture des cônes de pins, note technique n° 13, Institut National de Recherche Forestière de Tunisie, 14 p.
- GERRETSON-CORNELL (1972), La moria del pino domestico ("Pinus pinea") a San Rosore (Pisa) nel 1964, Informatore Botanico Italiano (Italie), vol. 4, pp. 120-122.
- GHALI, M.-M. (1970), Premiers résultats sur la multiplication végétative du pin pignon, Annales de l'Institut National de Recherche forestière de Tunisie, vol. 3, fasc. 2, 10 p.
- GIANNINI, R., MITTEMPERGER, L., RADDI, P. (1976), Stima dell'eretabilità dell'altezza in giovani semenzali di pino marittimo e pino domestico, Italia forestale e montana, Italie, vol. 31, 4, pp. 142-157.
- GIORDANO, E. (1967), Qualche osservazione sull'ecologia del Pinus pinea L., Ente Nazionale per la cellulosa e per la carta, Centro di Sperimentazione agricole e forestale, vol. IX, fasc. 2, 1967.
- GODIN, P. (1975), Le pin pignon (Pinus pinea L.) sur différents sols du Languedoc, Mémoire I.N.A., 76 p.

- IBRAHIM, M., RAPP, M. (1979), Variations spatio-temporelles de la salinité du sol d'un peuplement de pins pignons (*Pinus pinea* L.) du littoral méditerranéen, Ecologia mediterranea, n° 4.
- IBRAHIM, M.-M. (1979), Recherche sur la dynamique et le bilan de l'eau d'un écosystème à pin pignon (*Pinus pinea* L.) sur sable dunaire, Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 256 p.
- JOSSERAND, M. (1977), *Armillariella rioussetii*, sp. nov., Kew Bulletin, vol. 31, n° 3, pp. 525 à 527.
- LOISEL (1976), La végétation de l'étage méditerranéen dans le Sud-Est continental français.
- LOISEL (1967), Contribution à l'étude biologique des pins de Basse Provence. Germination du pin pignon au niveau de certaines associations végétales, Bulletin de la Société Botanique Française, fasc. 114, pp. 163-174.
- LORENZINI, G., GAMBOGI, P. (1976), Un caso di "moria" di *Pinus pinea* associata alla presenza di *Verticicliella* sp. (nota preliminare), Informatore fitopatologico, Italie, n° 5, pp. 5-8.
- MAGINI, E., GIANNINI, R. (1971), Prime osservazioni sulla produzione di stroboli e semi di un parco di cloni di pino domestico (*pinus pinea* L.), Italia forestale et montana, vol. 2, pp. 63-78.
- MAGNANI, G. (), Sulla susceptibilita di alcune specie di conifere alle morie in semenzaio, Cellulosa e carta, Italie, pp. 19-23.
- MAGNANI, G. (1974), Sulla susceptibilita e sulla resistenza di alcune specie di pino alla ruggine vesicolosa degli aghi, Cellulo e carta, Italie, pp. 19-23.
- MIROV, N.T. (1967), The Genius Pinus, The Ronald Press Company, New York, 573 p.
- MONTOYA, R., ROBREDO, F. (), Anomalias en el desarrollo de *P. pinaster* sol., *Pinus pinea* L. y *Pinus halepensis* Mill., Un importante problema selvicola, Boletin del Servicio de Plagas Forestales, Espagne, pp. 103-108.

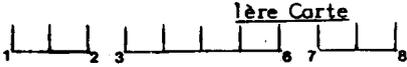
- MORANDINI, R., Selezione di boschi da seme di conifere mediterranee, Annali dell Istituto Sperimentale per la selvicoltura, Italie, pp. 388-403.
- OTTORINI, J.-M., NYS, C. (1981), Production du pin sylvestre en Margeride, Annales des sciences forestières, vol. 38, n° 2 (INRA).
- OYAMA, M., TAKEHARA (1967), Revised Standard Soil Color Charts, Japon.
- PADULA, M. (1968), Ricerche sulle condizioni ecologiche dei boschi di San Vitale e di classe (Ravenha) ai fini del loro miglioramento culturale, con saggi di ^ degli apparati radicali di pinus e quercus, Accademia Italiana di Scienze Forestali, pp. 173-246.
- PAIERO, P. (1971), Sul deperimento della pineta litoranea di Cecina, Italia forestale e montana, Italie, n° 5, pp. 196-207.
- PELLEGRINO GROSSI (1974), Considerazioni e ricerche sull'applicazione irrigara in campo forestale, Monte e boschi, Italie, n° 4, pp. 23-31.
- PILLET, P. (1973), Le pin d'Alep, le pin pignon, Bas-Rhône Languedoc, n° 67, pp. 13-17.
- PITA CARPENTER, A. (1966), Clasificacion provisional de las calidades de la estacion en las masas de pino pinonero, Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias, Espagne.
- PITA CARPENTER (1966), Crecimiento y produccion de las masas forestales espanolas, Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Espagne, pp. 184-206.
- PLAISANCE, G. (1977), Le pin parasol, Forêt privée, n° 115, pp. 47-51.
- POLGE, H. (1978), Etude de la qualité du bois de pin pignon, Station de Recherche sur la Qualité des Bois, Institut National de la Recherche Agronomique, Centre National de Recherches forestières, 10 p.
- PUTOD (1978), Les exigences écologiques de la forêt méditerranéenne : fiche d'identité des essences forestières (Pinus pinea L.), non publié.

TIMBAL (1975), Chorologie des espèces ligneuses françaises, t. 1 : Essences indigènes de la zone méditerranéenne, INRA-CNRF, 91 p.

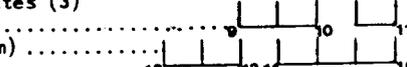
TOURING CLUB ITALIEN (), Conoci l'Italia, t. II : La flora, pp. 172-174.

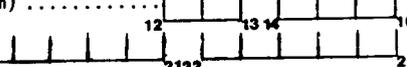
I - LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION

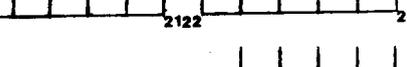
1) Situation :

Département/N° d'ordre/Canton 

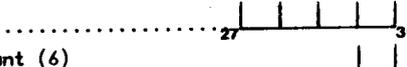
Commune/Lieu-dit, localisation et accès

Région I F N/Propriétaire : Etat (1) Départements (2) Communes & Collectivités (3)
 Particuliers (4)..... 

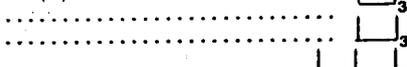
Carte I G N au 1/100 000^e édition normale/ Distance au littoral (km) 

Latitude/longitude (grades) 

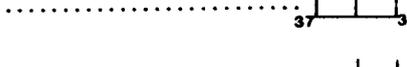
2) Station :

Altitude (en mètres) 

Topographie : plat (1) sommet (2) croupe (3) haut de versant (4) mi-versant (5) bas de versant (6)
 replat (7) dépression (8)

Exposition : N (1) NE (2) E (3) SE (4) S (5) SW (6) W (7) NW (8) Toutes (9)..... 

Pente : (en %) 

Confinement : (en %) 

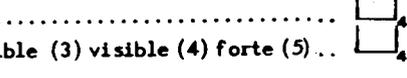
Indice de rayonnement global 

3) Lithologie :

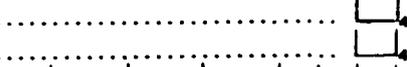
Affleurements rocheux : 0-10% (1) 10-30% (2) 30-60% (3) 60-100% (4) 

Nature de la roche :

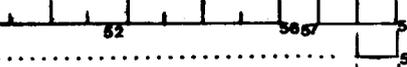
Pendage : sans objet (1) conforme (2) parallèle (3) inverse (4)

Réaction Hcl de la roche : nulle (1) léger^t audible non visible (2) nettem^t audible peu visible (3) visible (4) forte (5) .. 

4) Sol :

Dépôt récent : absent (1) présent (2) 

Sol perturbé : oui (1) non (2)

Profondeur en 5 sondages (en cm)/épaisseur des horizons A 

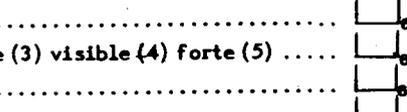
Pourcentage de cailloux en affleurement: 0-10% (1) 10-30% (2) 30-60% (3) 60-100% (4)

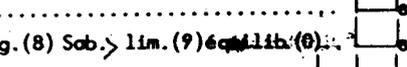
Pourcentage de cailloux dans le sol : 0-10% (1) 10-30% (2) 30-60% (3) 60-100% (4)

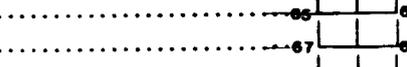
Réaction Hcl terre fine : nulle (1) léger^t audible non visible (2) nettem^t audible peu visible (3) visible (4) forte (5)

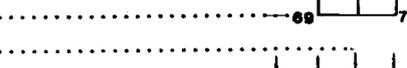
Type d'humus : brut (1) non incorporé (2) incorporé (3)

Structure : oui (1) non (2)

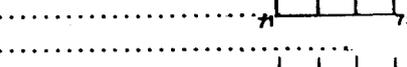
Texture : Arg. (1) lim. (2) Sab. (3) Arg. > lim. (4) Arg. > Sab. (5) lim. > Arg. (6) lim. > Sab. (7) Sab. > Arg. (8) Sab. > lim. (9) équilibré (10) .. 

PH : 

Couleur : 

Dosage labo : 

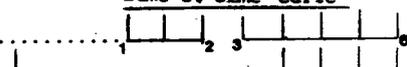
Facteurs déterminants éventuels :

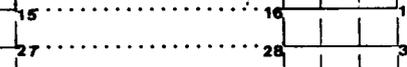
..... 

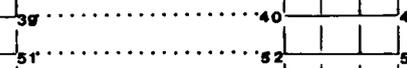
Observations :

..... 

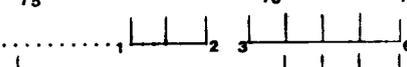
II - VEGETATION ENVIRONNANTE ET ACCOMPAGNATRICE

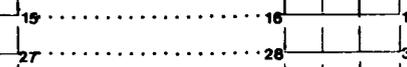
Département: N° d'ordre 

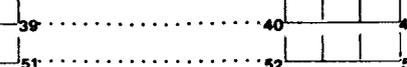
..... 

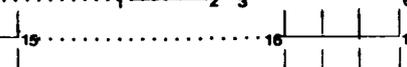
..... 

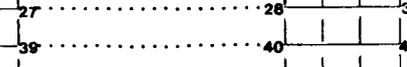
..... 

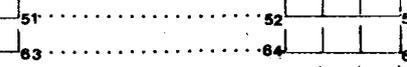
..... 

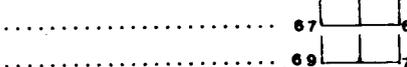
..... 

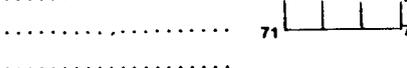
..... 

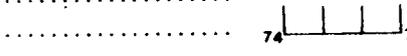
Département: N° d'ordre 

..... 

..... 

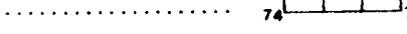
..... 

..... 

..... 

Groupe de végétation : 

Espèces dominantes : 

Recouvrement : strate arborescente/arbustive/herbacée en 1/10 

Observations :

..... 

ANNEXE I

PROTOCOLE DE MESURE

PREAMBULE : Choix des peuplements de la station, de la placette

- Seuls les peuplements forestiers purs ou mélangés et les bouquets d'arbres d'importance suffisante situés en conditions forestières sont retenus pour l'étude. Sont par conséquent à éliminer les bouquets dont le nombre d'arbres est insuffisant, les arbres en conditions non forestières (parc, jardins, alignements de bords de route...)

- Dans chacun des boisements retenus, on distingue une ou plusieurs stations (par définition : "Surface de terrain où les conditions écologiques sont homogènes, elle est caractérisée par une végétation uniforme" - Duchaufour). Une placette par station est implantée.

- Dans tous les cas où cela est possible, on distingue dans un même peuplement deux ou plusieurs stations différant uniquement d'un ou d'un très petit nombre de facteurs écologiques (pente ou exposition ou, etc..) ceci afin de faciliter l'étude du ou des facteurs particuliers concernés.

- La placette de mesure est définie par le nombre d'arbres qu'il est nécessaire de mesurer pour obtenir une moyenne statistiquement acceptable. Ce nombre a été défini par l'étude préliminaire. On commencera donc par faire les mesures de hauteurs d'arbres avant de faire le relevé des facteurs écologiques. La placette aura nécessairement une forme convexe.

I. LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION

1. Situation

. Le numéro d'ordre de la placette est précédé du numéro du département.

. Le premier chiffre du numéro d'ordre de la placette est :

1) si la placette a été repérée à l'aide des fiches remplies en 1975-1976 lors de l'action concertée sur les essences méditerranéennes ;

2) si la placette a été repérée avec l'aide de l'I.F.N. ;

3) si la placette a été repérée personnellement

5) si la placette a été repérée avec l'aide du CRPF Provence.

Les chiffres suivants représentent l'ordre de remplissage.

. Le lieu-dit, la localisation et l'accès sont remplis de manière à ce que le boisement puisse être retrouvé avec facilité.

. Les régions I.F.N. sont numérotées à l'intérieur de chaque département.

. La distance au littoral, mesurée sur carte, est exprimée en kilomètres.

. La latitude et la longitude sont mesurées sur carte.

. On portera sur la carte la position de la station le plus précisément possible.

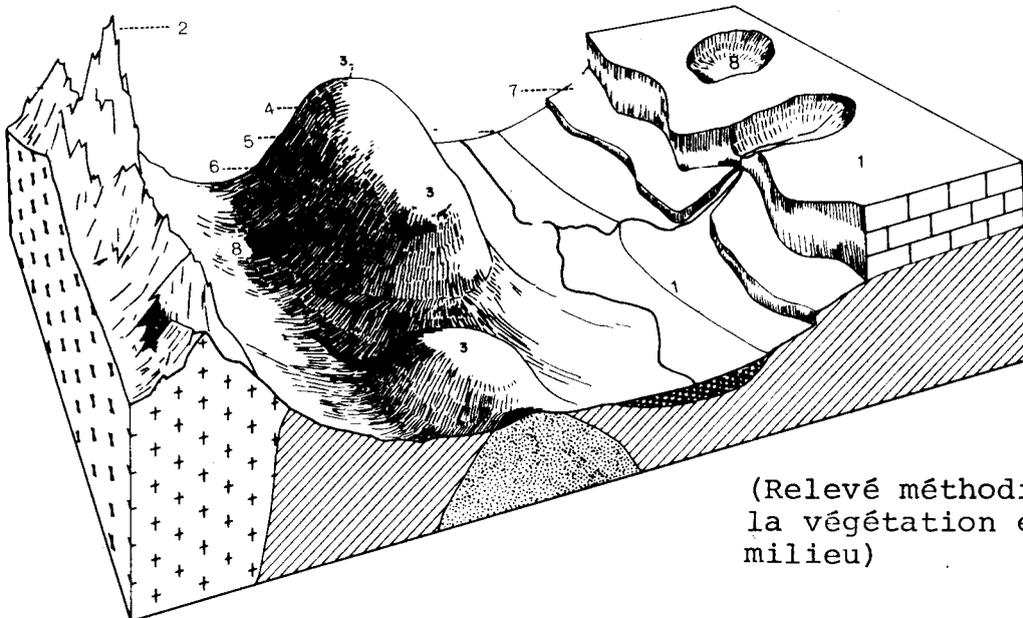
2. Station

. Altitude : exprimée en mètres, elle est extrapolée à partir des courbes de niveau.

. Topographie : On définit 8 positions topographiques que l'on code :

- (1) Plat : surface de pente inférieure à 3 % (plateau ou plaine)

- (4) (5) (6) Versant : surface de pente supérieure à 3 % ; on peut y distinguer le haut de versant (3), le mi-versant (4), le bas de versant (5)
- (2) (3) Sommet (2) ou croupe (3) séparent 2 vallées ou thalwegs, le premier a une forme aigüe, le second une forme arrondie.
- (7) Replat : espace de pente faible séparant 2 versants de pente assez forte.
- (8) Dépression : relief généralement concave, la dépression est souvent le fond d'un thalweg de dimension modeste.



(Relevé méthodique de la végétation et du milieu)

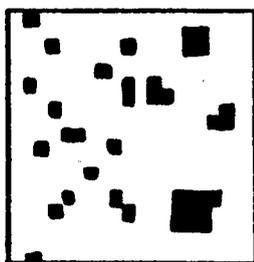
- . Exposition : Elle est notée à l'aide d'une boussole.
- . Pente : Elle est mesurée à l'aide d'un clisimètre.
- . Confinement : On appelle ici confinement la pente p' de la direction du faite du versant opposé. On utilise aussi pour cela un clisimètre.

N.B. La notion de faite considérée ici doit être celle d'un "faite moyen" correspondant non pas au point le plus élevé mais plutôt à la "moyenne" des points les plus élevés sur le versant considéré. Les arbres situés en crête du versant opposé doivent être pris en compte.

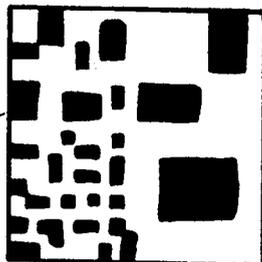
. Indice de rayonnement global : Fourni par des abaques, cet indice combine la pente, l'exposition et le confinement. Les abaques ayant été calculées pour 48° de latitude Nord, les indices trouvés n'auront qu'une valeur relative.

3. Lithologie

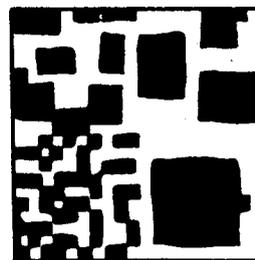
. Affleurement rocheux : Un affleurement rocheux est un affleurement de la roche en place. Un pourcentage d'affleurement rocheux sur la surface de la placette est estimé à l'oeil. On pourra aussi utiliser les tableaux extraits de la "Charte pour l'estimation visuelle des rapports de surface" (Folk, 1951).



10%



30%



50%

. Nature de la roche : Elle est indiquée en clair à l'aide de la carte géologique et de l'observation sur le terrain.

. Pendage : Le pendage des couches géologiques est dit :

- conforme s'il a le même sens que la pente du terrain ;
 - inverse s'il a le sens inverse de la pente du terrain ;
 - parallèle si les couches géologiques sont horizontales.
- Dans le cas d'un terrain plat, le pendage est conforme ou

inverse suivant que les couches sont horizontales ou non.

. Réaction à l'acide chlorhydrique de la roche : on utilise pour cela une solution d'HCl de normalité N (dilué à 10 %).

4. Sol

. On appelle ici 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.

. Le sol est considéré comme perturbé lorsqu'il y a eu perturbation artificielle (labour, sous-solage).

. 3 sondages à la tarière à vis hélicoïdale sont effectués sur la surface de la placette. Si les profondeurs de sondage diffèrent de plus de 20 cm, un 4ème et un 5ème sondage sont réalisés.

Le sondage ne doit pas être fait dans la raie de sous-solage ou dans le labour lorsque l'on a un sol perturbé. Dans le cas d'un sol meuble, une profondeur de l'horizon A sera estimée (rappelons que l'horizon A est défini comme l'horizon de surface contenant de la matière organique).

. Nous appellerons cailloux les fractions minérales grossières supérieures à 2 cm.

Les cailloux en affleurement désignent les cailloux en place et affleurant. Leur estimation est faite à l'oeil sur toute la surface de la placette.

Le pourcentage de cailloux dans le sol est apprécié dans un volume de 20 cm de profondeur et de 20x20 cm de surface minimum. Un trou à la pioche est donc creusé sur la placette et à cette occasion, 4 à 500 g de terre fine sont récupérés et serviront à faire des mesures au laboratoire : couleur, pH, texture.

. La réaction à l'acide chlorhydrique de la terre fine est faite sur le terrain à l'aide de la solution diluée à 10 %.

. Humus :

- l'humus est dit "brut" si les débris végétaux ne sont pas décomposés ou très faiblement.
- l'humus est dit "non incorporé" si les débris végétaux sont décomposés et si l'on distingue des agrégats organiques juxtaposés aux particules minérales.
- l'humus est dit "incorporé" si les débris végétaux sont décomposés et intimement liés à la matière minérale (séparation à l'oeil impossible).

. Structure : Seuls les sols à structure fragmentaire sont considérés ici comme structurés. Les sols à structure particulaire (exemple : sables) ou continue (exemple : ciment) sont donc considérés comme non structurés (les qualificatifs des structures sont ceux donnés par G. Monnier, "Techniques agricoles").

. Les facteurs déterminants éventuels sont notés en clair et seront codés ultérieurement.

II. VEGETATION ENVIRONNANTE ET ACCOMPAGNATRICE

. Relevé des espèces :

- On s'inspire pour faire ce relevé du travail de Charles. Les 148 espèces retenues par celui-ci sont systématiquement relevées. En plus de celles-ci d'autres espèces peuvent aussi être relevées.
- Le relevé est d'abord fait sur la placette elle-même et noté dans le premier tableau. Puis dans tous les cas où cela est possible et nécessaire on effectue un relevé sur la station en plein découvert. Deux cas se présentent :
 - a) l'espèce relevée en plein découvert est présente sur la placette. On la fait précéder d'une astérisque dans le premier tableau,
 - b) l'espèce relevée en plein découvert est absente de la placette. Elle est alors notée dans le 2ème tableau.
- Les espèces les plus abondantes dans les 2 tableaux sont soulignées d'un trait.

- La numérotation des espèces est celle qui a été donnée par Charles. Les espèces supplémentaires seront numérotées au fur et à mesure.

. Groupe de végétation : On appelle ici groupe de végétation une notion de structure globale et de végétation. Exemple : garrigue à romarin... Ces différents groupes seront définis au fur et à mesure de l'étude et codés ultérieurement.

. Espèces dominantes : sont considérées comme espèces dominantes les quelques espèces les plus abondantes sur la station. Elles seront codées ultérieurement.

. Recouvrement :

- La strate arborescente, si elle existe, est constituée de végétaux ligneux arborescents dominants ;

- La strate arbustive est constituée de végétaux ligneux arbustifs et arborescents non dominants ;

- La strate herbacée est constituée de végétaux non ligneux. Le recouvrement est estimé en 1/10. On pourra, éventuellement, employer la méthode IFN d'estimation des couverts : on installe sur la placette 25 points équidistants sur lesquels on se place. Pour une strate on note le nombre de points couverts par cette strate. Ce nombre multiplié par 4 donne une estimation du couvert de la strate (en %)

Recouvrement : 0-10 %	0
10-20 %	1
⋮	⋮
90-100 %	9

III. ESSENCES FORESTIERES

1) Observations sur le peuplement :

. Essence : indiquer celle dont il s'agit.

. Type de boisement : Le boisement étudié peut être pur ou mélangé. Un terme précise sa forme.

. Surfaces : Les surfaces données sont estimées sauf si l'on peut disposer d'autres sources de renseignement

plus précises.

. Mesures dendrométriques :

- Age du peuplement : 2 sondages à la tarière de Pressler sont effectués à 30-40cm du sol sur 2 arbres vifs de l'étage dominant le plus gros diamètre et le plus petit diamètre. Si le sondage n'atteint pas le coeur de l'arbre, on recommence un sondage sur le même arbre ou bien on estime l'âge par "extrapolation si le sondage est suffisamment proche du coeur. L'âge d'un arbre est donné par le nombre de cernes (comptés éventuellement à la loupe) auquel on ajoute le temps nécessaire pour atteindre la hauteur de 30-40 cm (2 à 3 ans).

- Cas d'un peuplement équienne : On dispose de 2 ou 3 mesures de hauteur que l'on complète pour obtenir le nombre de mesures défini par l'étude préliminaire pour l'âge considéré. Une fois le tableau rempli, un prétraitement déterminera le nombre d'arbres mesurés, la hauteur moyenne et l'écart-type de l'échantillon mesuré.

- Cas d'un peuplement inéquienne : On essaiera de mesurer l'âge et la hauteur d'une dizaine d'arbres.

Quel que soit le type de peuplement où l'on se trouve, les arbres mesurés doivent être vifs, sains et non dominés. Les mesures de hauteur se feront soit à la perche emboîtable de l'I.F.N. graduée de 25 en 25 cm, soit pour les arbres inférieurs à 5 m à la perche télescopique (graduations en cm).

- Surface de la placette : elle est estimée à l'oeil et correspond à la surface occupée par les arbres mesurés.

2) Observations particulières :

. Recouvrement relatif à l'essence dans sa strate
On note en dixièmes quelle est la part du couvert de la strate qui est réalisée par l'essence. L'estimation se fait à l'oeil.

. Croissance comparée des autres essences : Chaque fois que cela est possible, on mesure l'âge et la hauteur

des arbres d'une autre essence présents sur la placette ou à proximité immédiate sur la station. L'essence est indiquée en clair et codée dans les cases de l'extrême-droite. Les âges sont mesurés à la tarière de Pressler, les hauteurs au dendromètre ou à la perche.

. Peuplement remarquable : On précise en clair pourquoi le peuplement est remarquable.

. L'épaisseur d'écorce est estimée sur l'arbre le plus vieux de la placette ou sur un des arbres de diamètre moyen si le peuplement est équienne. Cette épaisseur (ep) est estimée à l'aide d'un poinçon enfoncé dans les crevasses et jusqu'à l'extrémité des crêtes d'écorce et exprimée en cm.

. L'élagage est noté de la façon suivante.

Elagage artificiel : à moins de 1 m	1
de 1 à 2 m	2
plus de 2 m	3
Pas d'élagage artificiel :	
la première branche vivante se trouve : à moins de 2 m	4
entre 2 et 4 m	5
entre 4 et 6 m	6
plus de 10 m	9

. Le polycyclisme peut être apprécié uniquement dans les jeunes reboisements.

3) Régénération

. Fructification : On examine sur les arbres et dans le houppier la présence de cônes. On adopte le critère suivant.

Si sur une surface de 4m ² dans le houppier on trouve en moyenne :	0 à 4 cônes :	fructification peu abondante
	4 à 20 cônes :	" abondante
	Plus de 20 cônes :	" très abondante

. Semis :

- l'abondance se rapporte à la répartition ponctuelle des semis
- l'extension est estimée à l'oeil, elle représente le pourcentage de la surface sur lequel on trouve des semis :

0-10 %	0	
10-20 %	1	etc...

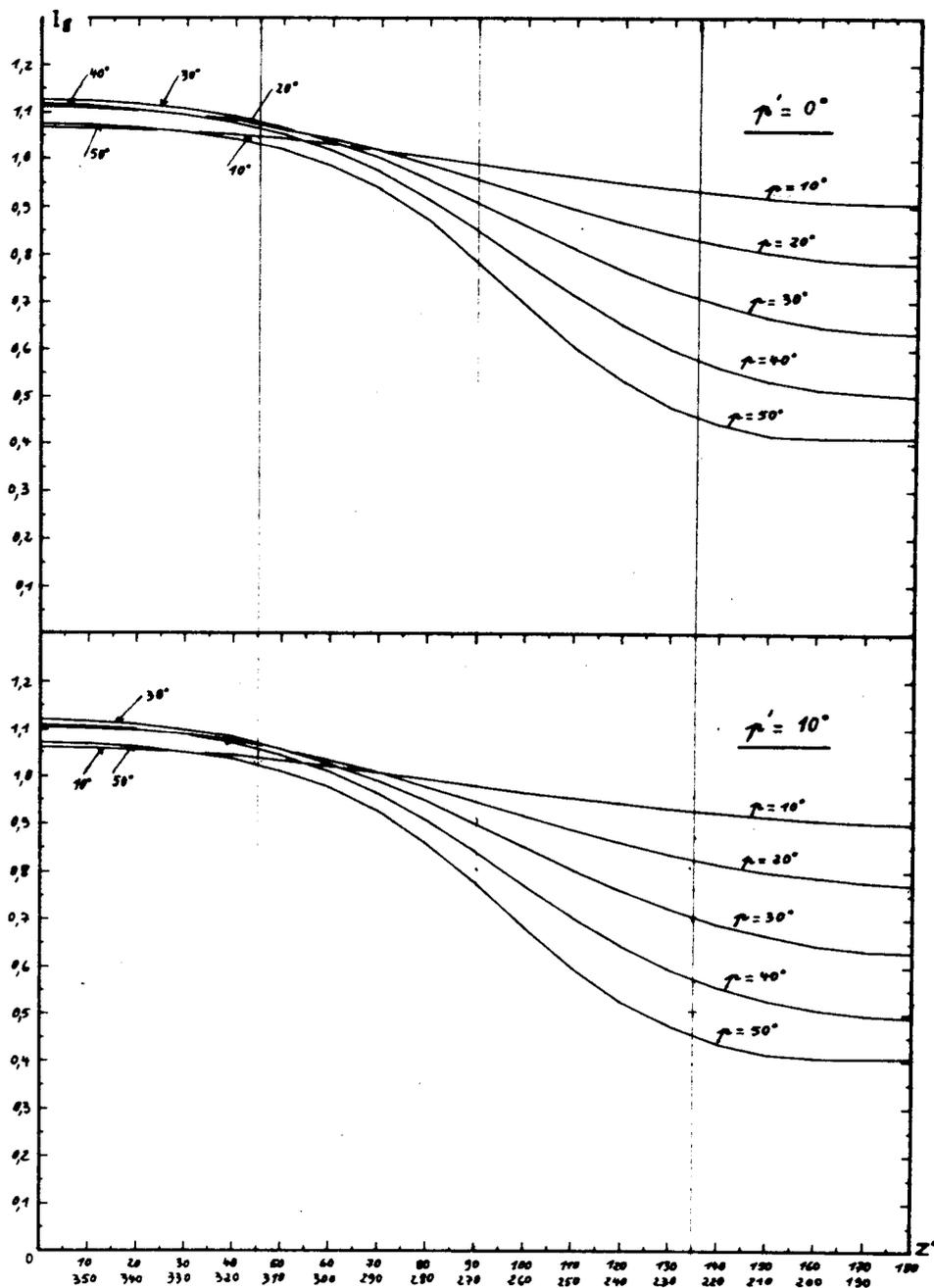
4) Plantations-travaux

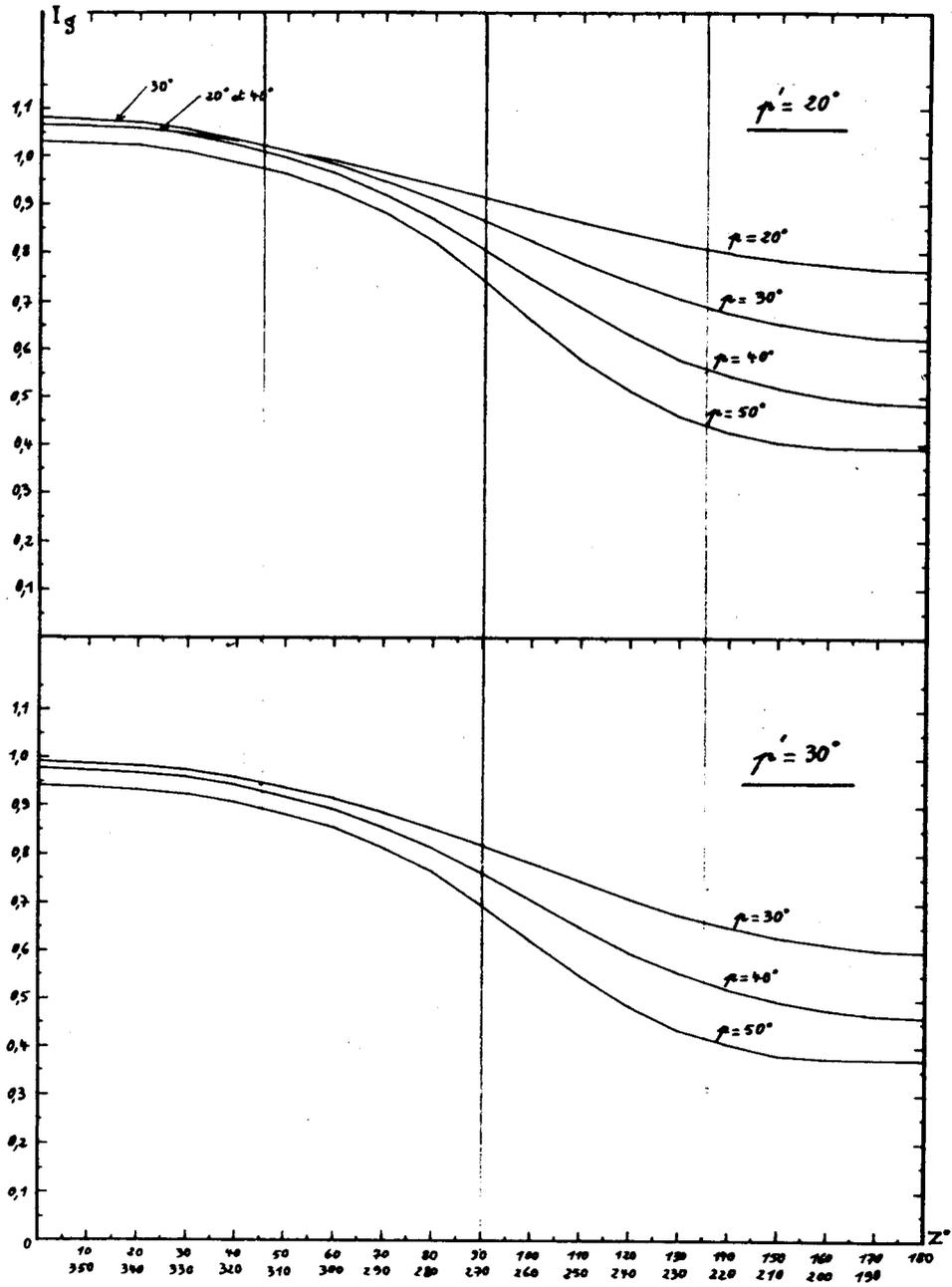
Cette rubrique est remplie en fonction des informations disponibles.

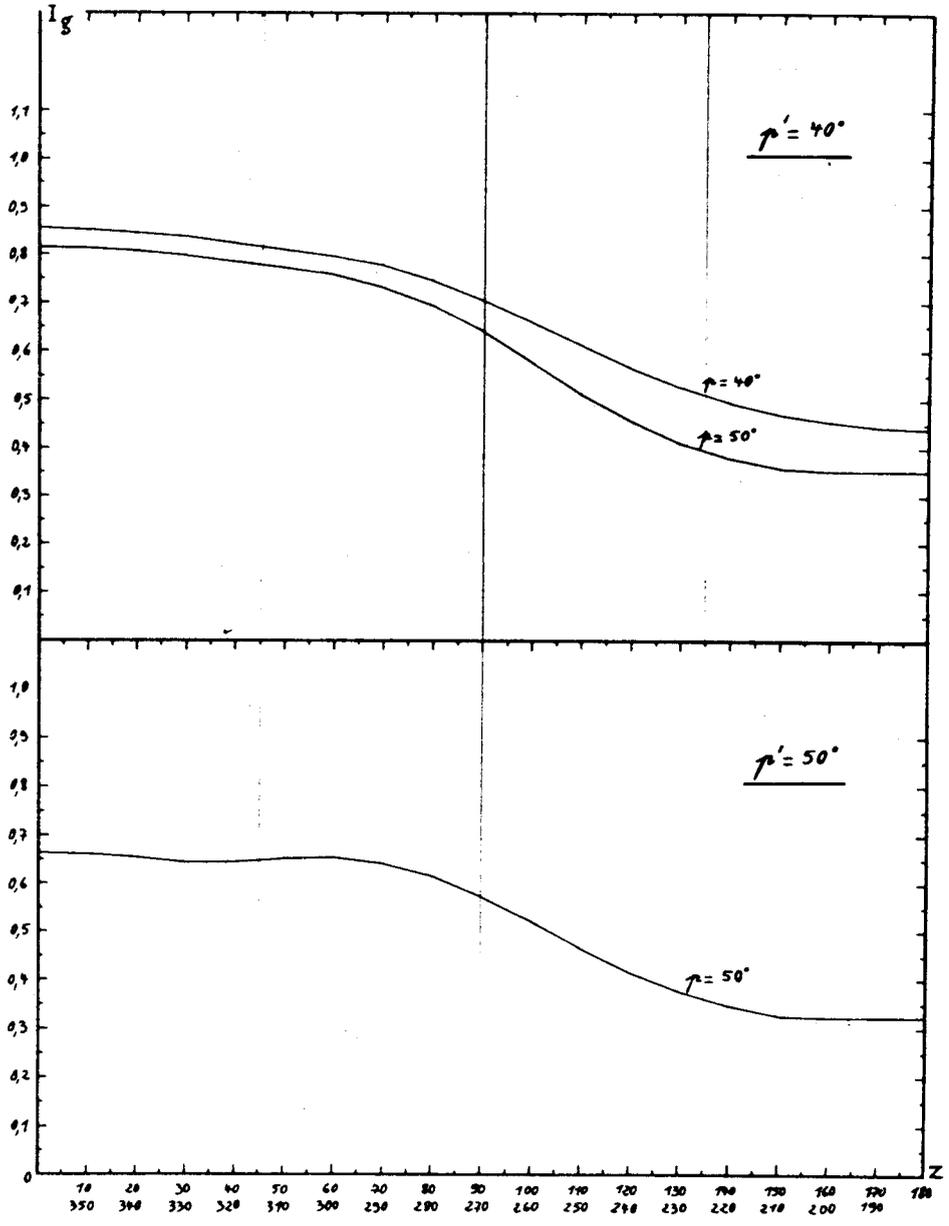
ANNEXE N° 2

Indice de rayonnement global combinant pente et exposition (d'après Becker)

Indice de rayonnement global I_G d'une station en fonction de sa pente p et de la pente p' de la direction du faite du versant opposé (1, 2 et 3)

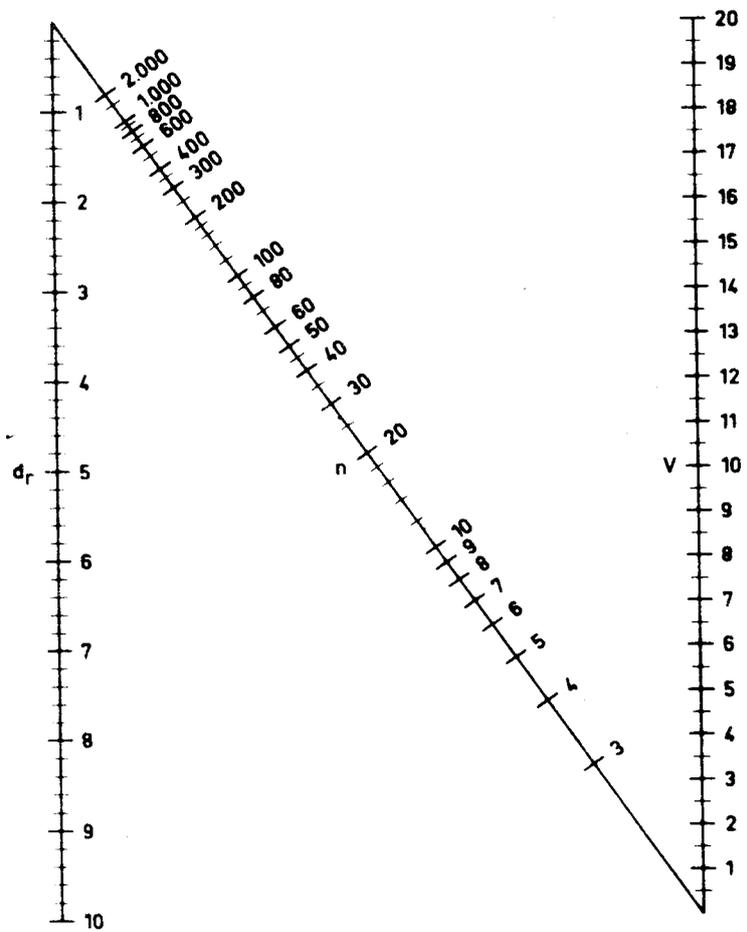






ANNEXE N° 3

Relation entre le nombre de mesures n , le coefficient de variation V et la marge d'erreur relative d_r pour un degré de confiance de 95 % (d'après Dagnélie)



Stations utilisées	Précipitations		Températures			m °C	M °C	Nb de mois secs	Coefficient d' Emberger
	moy. ann. (mm)	trim.d'été (mm)	moy. ann. °C	max. abso- lue (°C)	min. abso- lue (°C)				
<u>/66/</u>									
Cap Béar	596	117	15	33	-3	6	26	6	103
Canohès	652	138	15	37	-10	3	29	6	87
Millas	698	196	14	37	-11	2	29	5	90
Maury	871	155	15	-	-	2,5	31	5	105
<u>/11/</u>									
Carcassonne	748	128	13,4	39	-15	2,4	27,3	2	104
Lagrasse	756	50	13,1	40	-10	1,1	28,5	2	96
Narbonne	644	53	14,2	37	-9	3,1	28,6	3	87
Fitou	547	48	15,3	38	-6	4,0	28,9	3	76
Cruscades	643	53	14,0	41	-13	2,0	29,7	3	80
Lézignan	638	54	13,4	38	-9	2,2	28,8	3	83
<u>/34/</u>									
Roquebrun	733	103	14,6	37	-8	1,2	30,3	4	87
Argeliers	653	88	14,2	39	-14	1,8	30,1	5	80
Béziers	599	71	14,7	37	-8	0,4	29,7	5	71
Gignac	810	120	14,3	37	-10	1,0	30,8	3	94
Sète	628	94	14,6	33	-5	4,9	26,6	5	100
Montpellier	746	115	14,0	35	-8	2,1	28,1	4	100
Ganges	1213	167	14,4	38	-10	1,9	30,4	3	147

Données météorologiques

Stations utilisées	Précipitations		Températures			m °C	M °C	Nb de mois secs	Coefficient d' Emberger
	moy. ann. (mm)	trim.d'été (mm)	moy. ann. °C	max. abso- lue (°C)	min. abso- lue (°C)				
<u>/30/</u>									
Aramon	670	95	13,1	38	-15	0,9	31,2	3	76
Nîmes	720	120	14,3	40	-14	2,3	29,5	3	92
Sommières	765	100	14,5	37	-12	0,9	29,6	3	92
Aigues Mortes	610	90	17,1	36	-7	3,2	27,7	3	86
Uzès	826	137	12,0	38	-18	1,7	28,6	3	107
Bagnols/Cèze	750	138	13,1	39	-14	1,7	28,6	3	97
St Jean du Gard	1525	163	13,0	35	-12	1,1	28	2	197
<u>/13/</u>									
Aix-en-Prov.	621	112	12,3	38	-16	-1,2	28,6	3	73
Cassis	751	71	15,1	40	-6	3,8	28,7	4	104
Marseille	620	69	14,9	24,4	-9	4,6	27,6	4	93
Martigues	582	67,3	14,9	38	-10	4,7	27,0	6	90
Rousset	618	92	13,0	40	-16	2,6	27,6	4	73
St Paul-les-D.	644	117	11,5	39	-20	-2,4	29,4	3	71
Meyrargues	645	110	12,1	37	-15	0	29,2	3	77

Stations utilisées	Précipitations		Températures			m °C	M °C	Nb de mois secs	Coefficient d' Emberger
	moy. ann. (mm)	trim.d'été (mm)	moy. ann. °C	max. abso- lue (°C)	min. abso- lue (°C)				
<u>83/</u>									
Collobrières	1100	85	13,7	41	-19	1,0	31,4	2	125
Draguignan	876	103	14,0	40	-19	1,1	30,5	2	103
Fréjus	834	83	14,4	40	-12	3,0	27,2	2	120
Le Cannet/maures	904	98	14,4	40	-17	1,7	30,8	2	107
Lorgues	858	107	13,9	40	-16	1,0	32,1	2	95
Porquerolles	591	52	15,3	35	-8	6,3	26,8	4	100
Ramatuelle	736	61	15,5	36	-10	6,2	27	3	122
Toulon	710	60	15,7	37	-9	5,8	28	3	110
<u>84/</u>									
Apt	775	134	13,0	40	-22	-0,5	30,4	3	87
Sault	932	174	9,5	34	-17	-2,3	25,7	2	117
<u>06/</u>									
Antibes	819	78	15,4	35	-6	5,7	27,7	3	129
Cannes	935	93	14,3	35	-9	2,8	26,6	2	136

ANNEXE N° 5

LISTE DES PLANTES RECONNUES SUR DES PLACETTES DE MESURE ET NUMERO DE CODE FICHE

1	<i>Acer campestre</i>	147	<i>Coronilla glauca</i>
5	<i>Acer monspessulanum</i>	148	<i>Coronilla umerus</i>
10	<i>Agrimonia eupatoria</i>	160	<i>Crataegus monogyna</i>
11	<i>Amelanchier vulgaris</i>	171	<i>Cytisus triflorus</i>
15	<i>Aphyllantes monspeliensis</i>	175	<i>Daphne cnidium</i>
20	<i>Arbutus unedo</i>	181	<i>Daucus carota</i>
22	<i>Arisarum vulgare</i>	185	<i>Dorychnium pentaphyllum</i>
25	<i>Asparagus acutifolius</i>	188	<i>Echyum vulgare</i>
30	<i>Astragalus monspessulanus</i>	190	<i>Erica arborea</i>
32	<i>Bonjania irsuta</i>	195	<i>Erica cinerea</i>
35	<i>Brachypodium pheonicoïdes</i>	200	<i>Erica multiflora</i>
40	<i>Brachypodium ramosum</i>	205	<i>Erica scoparia</i>
49	<i>Bupleurum falcatum</i>	207	<i>Euphorbia characias</i>
51	<i>Buxus sempervirens</i>	210	<i>Euphorbia cyparissias</i>
55	<i>Calluna vulgaris</i>	215	<i>Euphorbia nicaensis</i>
60	<i>Calycotome spinosa</i>	221	<i>Fraxinus sp</i>
65	<i>Carex balleriana</i>	222	<i>Foeniculum officinale</i>
70	<i>Carlina corymbosa</i>	223	<i>Fumana spachii</i>
80	<i>Chlora perfoliata</i>	224	<i>Fumana thimifolia</i>
85	<i>Centhrantus ruber</i>	225	<i>Genista hispanica</i>
89	<i>Cerasus avium</i>	235	<i>Genista pilosa</i>
90	<i>Cerasus mahaleb</i>	246	<i>Helianthemum guttatum</i>
92	<i>Cercis siliquastrum</i>	247	<i>Hedera hélix</i>
95	<i>Cistus albidus</i>	250	<i>Helycrisum stoechas</i>
105	<i>Cistus monspeliensis</i>	248	<i>Holcus lanatus</i>
110	<i>Cistus saelvifolius</i>	251	<i>Hypericum hissofolium</i>
112	<i>Cytisus triflorus</i>	255	<i>Hypericum perforatum</i>
115	<i>Clematis flammula</i>	261	<i>Inula conisa</i>
122	<i>Cneorum trichocoque</i>	262	<i>Inula viscosa</i>
123	<i>Colutea arborescens</i>	270	<i>Juniperus oxycedrus</i>
125	<i>Cornus sanguinea</i>	275	<i>Juniperus communis</i>
135	<i>Coronilla juncea</i>	276	<i>Juniperus phoenicea</i>
140	<i>Coronilla minima</i>	282	<i>Koeleria valesiaca</i>

295	<i>Lavandula latifolia</i>	430	<i>Rubus ideaus</i>
300	<i>Lavandula stoechas</i>	435	<i>Rubus tomentosus</i>
305	<i>Lavandula vera</i>	445	<i>Ruscus aculeatus</i>
310	<i>Leuzea conifera</i>	452	<i>Sedum</i>
315	<i>Ligustrum vulgare</i>	453	<i>Sarothamnus scoparoides</i>
320	<i>Lithospermum fruticosum</i>	455	<i>Smilax aspera</i>
322	<i>Lonicera implexa</i>	460	<i>Sorbus aria</i>
332	<i>Mentha rotundifolia</i>	461	<i>Sorbus domestica</i>
335	<i>Myrtus communis</i>	465	<i>Spartium junceum</i>
337	<i>Odontidès lutea</i>	470	<i>Staezelina dubia</i>
338	<i>Olea europaea</i>	473	<i>Teucrium chamaedris</i>
342	<i>Ononis striata</i>	474	<i>Teucrium polium</i>
350	<i>Osiris alba</i>	477	<i>Thymus sp</i>
352	<i>Paliurus australis</i>	480	<i>Ulex parviflorus</i>
355	<i>Phillyrea angustifolia</i>	481	<i>Ulmus</i>
360	<i>Phillyrea latifolia</i>	490	<i>Viburnum tinus</i>
361	<i>Phillyrea media</i>	495	<i>Vicia sepium</i>
369	<i>Pirus communis</i>		
370	<i>Pistacia lentiscus</i>		
375	<i>Pistacia terebinthus</i>		
385	<i>Plantago media</i>		
391	<i>Populus alba</i>		
392	<i>Populus nigra</i>		
397	<i>Prunus spinosa</i>		
400	<i>Psoralea bituminosa</i>		
405	(Fougères)		
409	<i>Quercus suber</i>		
410	<i>Quercus coccifera</i>		
411	<i>Quercus ilex</i>		
412	<i>Quercus pubescens</i>		
413	<i>Rhamnus alaternus</i>		
421	<i>Rhus coriaria</i>		
422	<i>Robinia pseudo acacia</i>		
423	<i>Arundo (roseau)</i>		
425	<i>Romarinus officinale</i>		
427	<i>Rosa sp</i>		