

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

COMPORTEMENT DU PIN LARICIO

EN REGION MEDITERRANEENNE FRANCAISE

Mémoire de 3ème année présenté par Roland COMMERÇON
en Juin 1984

Avril 1988

CEMAGREF
GROUPEMENT D'AIX-en-PROVENCE
DIVISION TECHNIQUES FORESTIERES MEDITERRANEENNES

REMERCIEMENTS

Que tous ceux avec qui j'ai eu le plaisir de travailler trouvent ici l'expression de ma reconnaissance la plus vive.

Je tiens tout particulièrement à remercier Daniel ALEXANDRIAN et Yvon DUCHE.

	Pages
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : PIN LARICIO. GENERALITES	2
I. L'espèce collective <i>Pinus nigra</i> Arnold	3
1. Place dans la classification	3
2. Aire naturelle	3
3. Caractères généraux	4
4. Sous espèces, variétés, utilisation en France	4
4.1. Sous-espèce <i>Clusiana</i> Clem	4
4.2. Sous-espèce <i>Pallasiana</i> Lamb	4
4.3. Sous-espèce <i>Nigricans</i> Host	5
4.4. Sous-espèce <i>Laricio</i> Poiret	5
5. Caractères distinctifs des différentes sous-espèces	5
II. Le pin laricio	5
1. Le pin laricio de Corse	5
1.1. Aire naturelle	5
1.2. Caractères écologiques	6
1.2.1. Conditions climatiques	6
1.2.2. Conditions édaphiques	6
1.2.3. Végétation	6
2. Le pin laricio de Calabre	7
2.1. Aire naturelle	7
2.2. Caractères écologiques	8
2.2.1. Conditions climatiques	8
2.2.2. Conditions édaphiques	8
2.2.3. Végétation	8
3. Conclusions sur l'écologie du pin laricio dans son aire naturelle	9
4. Physiologie	9
4.1. Biologie florale	9
4.2. Enracinement	10
4.3. Longévité	10

5. Caractères morphologiques - distinction des deux variétés	10
5.1. Caractères communs	10
5.2. Distinction des deux variétés	10
5.2.1. Variabilité morphologique	10
5.2.2. Distinction "sur le terrain"	11
6. Caractéristiques mécaniques	12
7. Pathologie	13
7.1. Insectes	13
7.1.1. Charançons	13
7.1.2. Lophyres	14
7.1.3. Chenille processionnaire	14
7.2. Champignons	15
7.2.1. Maladie du rond	15
7.2.2. Armillaire-couleur-de-miel	16
7.2.3. Les rouilles	16
 CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE L'ETUDE	 18
1. Choix d'une méthode	19
1.1. Choix d'un critère de fertilité	19
1.2. Région étudiée ; repérage des boisements	19
1.3. Echantillonnage	20
2. Protocole	20
2.1. Choix d'un type de placette	20
2.2. Fiche de mesure - Relevés	21
2.2.1. Relevés de terrain	21
2.2.1.1. Relevés stationnels	21
2.2.1.2. Relevés édaphiques	21
2.2.1.3. Relevés floristiques	22
2.2.1.4. Relevés dendrométriques	22
2.2.1.5. Autres relevés de terrain	23
2.2.2. Relevés au bureau	23
2.2.2.1. Situation, variables stationnelles	23
2.2.2.2. Variables climatiques	23
3. Données préliminaire sur les placettes	23
3.1. Situation des placettes	24
3.2. Répartition altitudinale	25
3.3. Données dendrométriques	26
3.4. Surface des peuplements	27
3.5. Fructification, régénération	27

INTRODUCTION

Le pin laricio, essence de reboisement très employée, est peut-être moins bien connu, en région méditerranéenne que dans le centre de la France. C'est un fait assez curieux lorsqu'on sait qu'il est originaire de régions méditerranéennes comme la Corse ou l'extrémité de la péninsule italienne. L'étude qui suit se propose de faire le point sur l'ensemble des reboisements de pins laricios de la région méditerranéenne française continentale, afin de mieux cerner son comportement dans le vaste contexte écologique de cette région.

La première partie de cette étude est importante : en effet, elle permet de situer le pin laricio au sein de l'espèce collective complexe qu'est celle des pins noirs, tout en envisageant les deux variétés de laricios, à savoir Corse et Calabre.

Après avoir, dans une deuxième partie, caractérisé la croissance du pin laricio dans l'ensemble de la région d'introduction, l'étude présente en troisième partie l'analyse minutieuse de l'influence des facteurs écologiques sur cette croissance, facteurs envisagés d'abord séparément, puis dans leur ensemble.

En dernière partie, sont exposées les rares données de production du pin laricio en région méditerranéenne, en regard avec celles d'autres essences importantes.

L'étude conclut par une brève comparaison avec la sous-espèce voisine, à laquelle on fait toujours référence quand on pense "pin noir", le pin noir d'Autriche.

CHAPITRE 1

PIN LARICIO
GENERALITES



L'arbre communément appelé "pin laricio" appartient à l'espèce collective *Pinus nigra* Arnold (1785). Cette espèce dite des pins noirs présente de nombreuses formes géographiques et morphologiques, ce qui a entraîné une nomenclature extrêmement confuse entre sous-espèces et variétés au cours des temps. On utilise actuellement le plus souvent la classification du Yougoslave FUKAREK (1958), qui se base essentiellement sur les aires de répartition.

Il convient donc tout d'abord de bien situer le "pin laricio" dans cette classification.

I. L'ESPECE COLLECTIVE *Pinus nigra* ARNOLD (1785)

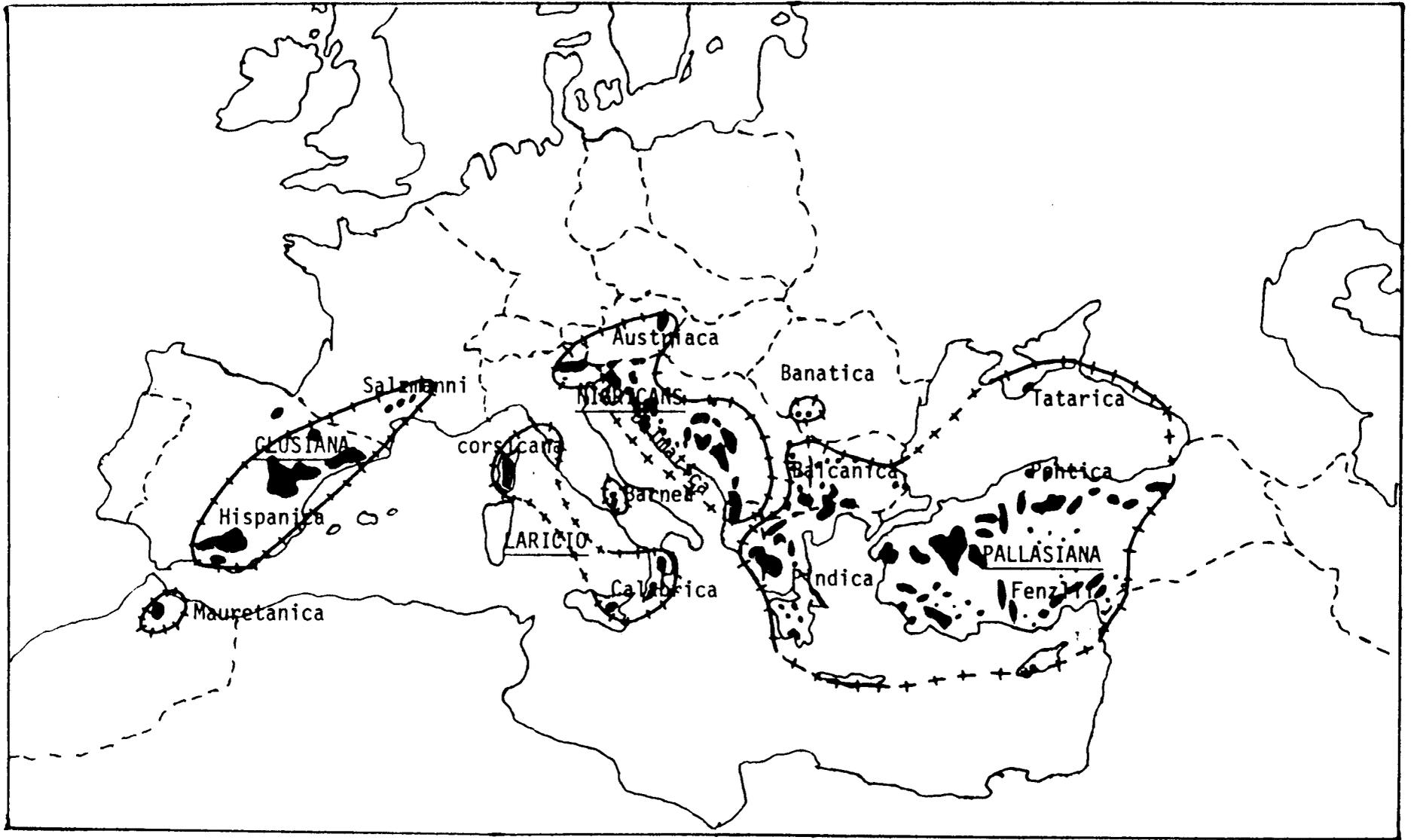
1. Place dans la classification

A l'intérieur du genre *Pinus*, l'espèce *Pinus nigra* appartient au sous-genre *Eupinus*, caractérisé par l'euphyllie décurren-
te, l'ombilic dorsal et les aiguilles à 2 faisceaux libéro-
ligneux. Dans le sous-genre, l'espèce appartient à la section *Sylvestris*, caractérisée par les trachéides horizontales dentées et une à deux punctuations pinoïdes par champ de croisement.

2. Aire naturelle (cf. figure 1)

Elle se présente comme très morcelée dans toute la partie Nord du pourtour de la Méditerranée avec en plus quelques stations en Afrique du Nord. On pense qu'il s'agit en fait de reliques d'une aire autrefois plus vaste.

Figure n° 1



AIRE NATURELLE DE *PINUS NIGRA* ARNOLD
(d'après CRITCHFIELD et LITTLE in ROYER)

3. Caractères généraux (Debazac, Manuel des Conifères)

Même si, a priori, les aptitudes forestières sont très variables d'une sous-espèce à l'autre, l'espèce collective présente un certain nombre de caractères botaniques communs :

- une tige droite, un rhytidome d'abord écailleux brun grisâtre, puis crevassé, puis à grandes plaques grisâtres quand les arbres sont âgés ;
- des aiguilles fasciculées par 2, de 8 à 18 cm de long ;
- un bourgeon ovoïde pointu, un peu résineux ;
- un conelet ovoïde dressé sur un pédoncule ;
- un cône ovoïde unique (4 à 8 cm de long) à écusson brun clair luisant ;
- des plantules de 6 à 10 cotylédons.

4. Sous espèces, variétés, utilisation en France

4.1. Sous espèce *Clusiana* Clem (1818)

Elle occupe la partie occidentale de l'aire ; on distingue la variété *mauretunica* Maire et Peyer, dans quelques stations en Algérie et au Maroc, la variété *hispanica* Cook, largement répandue en Espagne, la variété *Salzmanni* Dunal ou pin de Salzmann, que l'on trouve dans les Cévennes et les Pyrénées Orientales sur des zones très restreintes. Il a été relativement peu utilisé dans les reboisements en région méditerranéenne française, mais il mériterait certainement de l'être plus dans les zones difficiles à sol très superficiel, car il est d'un tempérament très frugal et s'accommode aussi bien de roches mères acides que calcaires (reboisement de Belvezet, Gard, Forêt méditerranéenne, t. IV, n° 2).

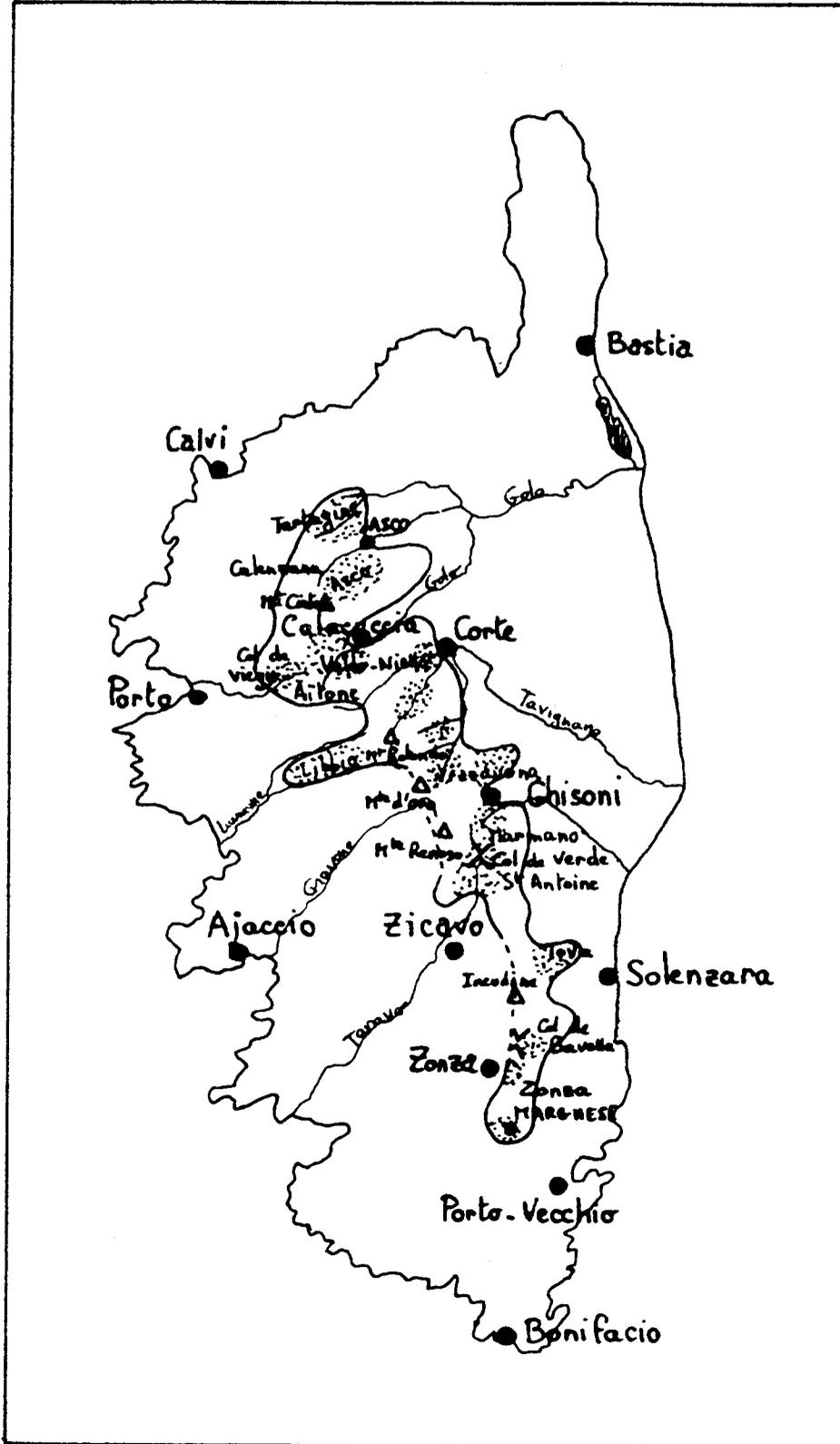
4.2. Sous espèce *Pallasiana* Lamb (1824)

Elle présente l'aire la plus vaste et la plus orientale, tout en étant la sous-espèce la moins connue. On trouve, d'après FUKAREK, différentes variétés en Bulgarie, Grèce, Rou-

Figure n° 2

AIRE NATURELLE DU PIN LARICIO DE CORSE

(d'après DEBAZAC in ROYER)



manie, Turquie, Crimée et Taurus. Elle n'a pas été beaucoup introduite en France, et les provenances sont mal connues.

4.3. Sous-espèce Nigricans Host (1825)

On en trouve différentes variétés en Autriche (var. *austriaca*), en Italie (var. *italica*), en Yougoslavie (var. *dalmatica* et *illyrica*). La forme *austriaca* connue sous le nom Pin noir d'Autriche a été largement introduite en France à partir de 1830, notamment en Lozère (région de Florac) et dans les Alpes du Sud.

4.4. Sous-espèce Laricio Poiret (1804)

Elle comprend deux variétés géographiques :

- la variété *corsicana*, ou pin laricio de Corse,
- la variété *calabrica*, ou pin laricio de Calabre.

Il convient d'étudier plus spécialement dans un prochain chapitre ces deux variétés, qu'on englobe souvent sous le nom commun de pin laricio.

5. Caractères distinctifs des différentes sous-espèces : cf. annexe 1).

II. LE PIN LARICIO (*Pinus nigra*, ssp. *laricio* Poiret 1804)

Nommé aussi anciennement *Pinus nigra*, var. *poiretiana* (Aschers et Graebner, 1897) ou *Pinus nigra*, var. *maritima* (Ait.) Melville.

1. Le pin laricio de Corse (*Pinus nigra laricio*, var. *corsicana*)

1.1. Aire naturelle (cf. fig. 2)

Elle occupait environ 22 000 ha en 1963 (Cusin, 1963, cité dans Debazac), se situant en moyenne entre 900 et 1200 m

d'altitude en peuplement, des individus isolés pouvant descendre à 500 m et monter à 1500 m. On rencontre le pin laricio d'une façon continue autour des quatre grands massifs granitiques du centre de la Corse qui sont du Nord au Sud : le Massif du Monte Cinto, celui du Rotondo, celui du Renoso et celui de l'Incudine.

1.2. Caractères écologiques

1.2.1. Conditions climatiques : Elles sont assez variables mais on peut dire que toutes les stations de peuplements de laricios se rapportent à un climat méditerranéen, caractérisé par une saison sèche nettement marquée (2 mois secs selon Gaussen en moyenne), et la pluviosité concentrée sur la partie froide de l'année. Les précipitations annuelles varient de 800 à 1800 mm, ce qui classe l'aire dans les bioclimats d'Emberger subhumide, humide et perhumide, avec des variantes froides lorsque la température moyenne des minima du mois le plus froid est négative, et chaudes lorsqu'elle est positive.

1.2.2. Conditions édaphiques : L'aire naturelle est exclusivement située sur la Corse granitique, avec différentes variantes : granite à amphibole, granulite à mica blanc, à biotite. On peut trouver des peuplements sur des roches intrusives entre le granite de l'arête centrale et le schiste de l'Est de l'île, sur colluvions et sur moraine, mais en très faible proportion.

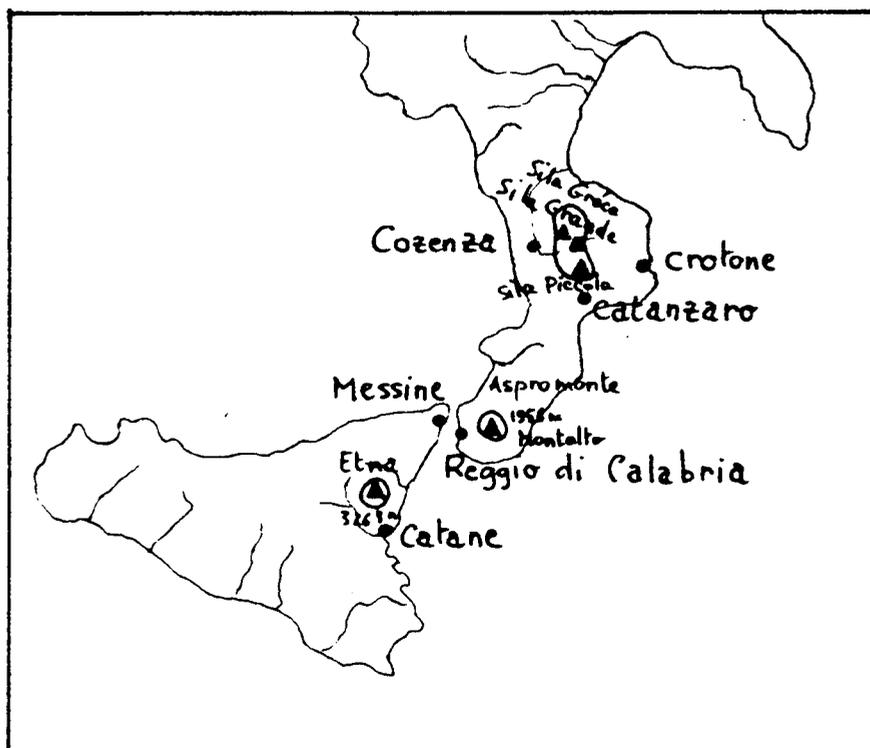
L'érosion étant importante, les sols peuvent être en général qualifiés de bruns peu évolués, les processus de lessivage et de podzolisation étant réservés aux parties plus basses, sous le pin maritime.

1.2.3. Végétation : D'une façon générale, les forêts de pin laricio se situent entre le domaine de la végétation méditerranéenne, à savoir la forêt de chêne vert et ses formes de dégradation, et le domaine du hêtre et du sapin caractéristique de l'étage montagnard.

Figure n° 3

AIRE NATURELLE DU PIN LARICIO DE CALABRE

(d'après DEBAZAC in ROYER)



Dans les stations les plus typiques, la forêt de pin laricio a une physionomie caractéristique, avec une absence quasi totale de strate arbustive.

Les espèces herbacées sont liées à un humus de type mor ou moder : *Pteridium aquilinum*, *Deschampsia flexuosa*, *Luzula forsteri*, *Digitalis purpurea*, *Hieracium murorum*.

Dans des stations plus fraîches, on note le passage à la sapinière par l'apparition des mousses et de *Teucrium scorodonia*, *Luzula pedemontana*, *Sanicula europae* entre autres, et la disparition de *Pteridium aquilinum*.

Le passage à la hêtraie est marqué par un appauvrissement de la flore et l'apparition d'espèces plus hygrophiles comme *Asperula odorata*, *Poa nemoralis* et *Helleborus trifolius*, espèce endémique cyrno-sarde.

A la limite altitudinale inférieure, on trouve une strate arbustive constituée d'espèces typiques de la forêt de chêne vert comme *Erica arborea* et *Lonicera implexa*.

2. Le pin laricio de Calabre (*Pinus nigra laricio*, var. *Calabrica*)

2.1. Aire naturelle (cf. fig. 3)

On pouvait l'estimer à plus de 50 000 ha en 1965 (in Debazac, RFF, 1965) ; elle se sépare en trois régions bien distinctes :

- le massif de la Sila dans le Nord de la Calabre, qui culmine à 1930 m au Monte Botte Donato, et qui comprend lui-même trois parties : du Nord au Sud, la Sila Greca, la Sila Grande et la Sila Piccola. Le pin laricio s'y trouve grosso modo entre 900 et 1500 mètres d'altitude ;
- le massif d'Aspromonte, à l'extrémité de la péninsule qui culmine à 1956 m au Montalto ; on y trouve les forêts de pin entre 1100 et 1400 mètres, quelques peuplements restreints descendant jusqu'à 900 mètres en exposition nord ;
- on rencontre le pin de Calabre en Sicile (sur les versants du volcan Etna qui culmine à 3290 m), entre 1150 et 1800 mètres d'altitude.

2.2. Caractères écologiques

2.2.1. Conditions climatiques : Les précipitations annuelles sont relativement élevées (1175 mm dans l'Etna à 1780 mm dans l'Aspromonte), ce qui situe les pineraies dans les bioclimats humides et perhumides d'Emberger. La sécheresse estivale caractéristique des climats de type méditerranéen est nette quoiqu'atténuée (P.été de 80 à 100 mm) On peut donc dire qu'on retrouve des conditions climatiques assez semblables à celles des pineraies de Corse, la différence de latitude étant compensée par l'augmentation de l'altitude moyenne des pineraies de Calabre et de Sicile.

2.2.2. Conditions édaphiques : On rencontre deux types de roche-mère en Calabre : les roches-mères éruptives de type granite, comme en Corse, et des roches-mères métamorphiques, de type gneiss ou micaschistes. Ces roches-mères donnent des sols profonds, assez stables par rapport à l'érosion.

En Sicile, le pin pousse sur des roches volcaniques issues d'éruptions plus ou moins anciennes du volcan Etna.

2.2.3. Végétation : D'une façon générale, les pineraies se situent à la limite des séries du chêne pubescent et de la hêtraie ; on retrouve comme en Corse cette situation intermédiaire entre un étage "méditerranéen" et un étage "montagnard". De ce fait, la végétation accompagnatrice est le plus souvent à rattacher soit à la série du chêne pubescent, soit à la série du hêtre-sapin. Comme en Corse, la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*) est très souvent présente dans les pineraies .

En Sicile, où la hêtraie est très localisée, les pineraies les plus élevées sont directement en contact avec la pelouse subalpine : le pin laricio occupe alors totalement un étage montagnard très restreint puisque le sommet de l'Etna (3290 m) est à seulement 20 km de la mer.

3. Conclusion sur l'écologie du pin laricio dans son aire naturelle

On peut donc noter certaines analogies entre les deux variétés :

- du point de vue édaphique, le pin laricio se trouve exclusivement sur roche-mère non calcaire qui donne des sols profonds assez stables ;
- le pin laricio pousse sous un climat méditerranéo-montagnard avec présence d'une période sèche en été plus ou moins accentuée ;
- c'est au niveau de la végétation qu'on note les différences les plus sensibles, du fait de l'insularité de la Corse : on rencontre dans les pineraies corses des espèces endémiques cyrno-sardes comme *Helleborus trifolius* ou *Stachys corsica* et on rencontre en Calabre des espèces du Sud-Est européen en limite de leur aire comme *Quercus cerris* ou *Quercus conferta*. De plus, le pin maritime si important en Corse, car toujours intimement lié aux pineraies de laricio les moins élevées est totalement absent en Calabre et en Sicile.

4. Physiologie

4.1. Biologie florale

La floraison a lieu en mai ; les cônes mâles se trouvent à la base du rameau de l'année, le cône femelle à l'apex de ce même rameau.

La pollinisation est anémophile, les grains de pollen étant pourvus de ballonnets aérifères. La maturation du cône femelle s'étend sur deux années, ce cône étant alors déhiscent et caduc.

Le pin laricio fructifie assez abondamment et régulièrement (tous les 3 à 4 ans) à partir de vingt-cinq ans environ (observations de terrain).

En Corse, la régénération naturelle sous lui-même ne pose en général pas trop de problèmes si la végétation herbacée n'est pas trop exubérante.

4.2. Enracinement

Il est puissant, pivotant dans le jeune âge, puis à racines latérales très développées, assez superficielles.

4.3. Longévité

Une des caractéristiques du pin laricio est d'être très longévif, surtout en Corse : une note de la Société botanique de France de 1887 cite la disparition de vieux pins de Valdu Niellu, Aitone, Niollu âgés de 1200 à 1500 ans. En Sicile et en Calabre, il apparaît que les sujets âgés sont très touchés par les châblis.

5. Caractères morphologiques - distinction des deux variétés

5.1. Caractères communs (cf. Debazac, Manuel des conifères)

Le pin laricio est un arbre à tronc très droit pouvant atteindre 50 mètres de hauteur totale en Corse et en Calabre. Le rhytidome d'abord brun grisâtre écailleux devient, chez les sujets âgés, divisé en grandes plaques grisâtres presque blanches (arboretum des Barres).

Les aiguilles, fasciculées par deux, mesurent de 12 à 15 cm de longueur. Elles sont souvent frisées, vert bleuté et non piquantes (à la différence de celles de *Pinus nigra* ssp. *nigricans* qui sont vert très foncé, plus épaisses et très piquantes).

Le bourgeon peu résineux est ovoïde, brusquement rétréci en pointe aiguë au sommet. Le cône est très courtement pédonculé (sessile chez *Pinus nigra nigricans*).

5.2. Distinction des deux variétés

5.2.1. Variabilité morphologique : La variabilité morphologique des aiguilles juvéniles des pins de l'espèce *Pinus nigra* a fait l'objet d'une étude, en 1970, de MM. Arbez et Millier.

En se basant sur les quatre caractères les plus discriminants, soit la longueur des aiguilles, leur rayon de courbure, la densité des denticulations sur le bord de l'aiguille et leur nombre de lignes de stomates, les auteurs notent des différences entre les variétés de Corse et de Calabre. La plus significative est le rayon de courbure, qui isole nettement la variété de Corse qui apparaît très homogène et présente le rayon de courbure le plus faible, donc les aiguilles les plus torsadées.

De même, les pins de Calabre présentent une densité de denticulation du bord de l'aiguille plus faible que ceux de Corse.

Leur conclusion est que la forme de Corse est très homogène, ce qui est sans doute lié à l'insularité de la variété, à l'opposé de la forme de Calabre, dispersée et qui tend à présenter des caractères de transition vers la sous-espèce nigricans.

5.2.2. Distinction "sur le terrain" : Selon certains auteurs, et d'après diverses discussions et communications orales, on peut retrouver chez les sujets adultes de pin laricio de Calabre ces caractères de transition vers la sous-espèce nigricans, à savoir :

- des aiguilles moins longues, plus épaisses, moins "frisées" et plus foncées, voire plus piquantes ;
- une insertion plus oblique des branches sur le tronc ;
- un élagage naturel moins bon des branches basses chez les sujets âgés.

Or, le résultat de quatre mois d'observations de terrain est que la distinction entre les deux variétés est très difficile voire impossible à faire. Les conditions du milieu semblent jouer un rôle prépondérant sur l'aspect général de l'arbre, surtout chez les jeunes et sur le feuillage : par exemple, les aiguilles des jeunes pins de Corse sur roche-mère calcaire en conditions xériques deviennent plus claires, plus courtes et "presque piquantes" ; ce sont pratiquement des caractères de transition vers la sous-espèce nigricans. Qui plus est, certains pins certifiés comme pins laricio de Corse présentent nettement des caractères de Calabre (et inversement) que ce soit chez des jeu-

nes sujets ou chez des sujets adultes.

Enfin, il n'a pas toujours été aisé de distinguer les pins laricios des pins noirs d'Autriche (*Pinus nigra nigricans*, var. *austriaca*) lorsque ces derniers étaient vieux, très grands, très beaux et bien élagués naturellement (boisement privé de Vérignon près d'Aups dans le haut-Var, forêt domaniale de Ramponenche près de Florac en Lozère, forêt domaniale du Rialsesse dans l'Aude, forêt domaniale de la Séranne près de Ganges, dans l'Hérault). Toute cette variabilité morphologique observée sur le terrain nous a enclin, en définitive, à confondre les deux variétés (Corse et Calabre) en une seule sous-espèce laricio.

D'ailleurs, pour appuyer cette décision, nous avons comparé à l'aide de tests statistiques les pins certifiés de Corse et ceux certifiés de Calabre (les résultats de ces tests sont exposés plus loin).

6. Caractères technologiques du bois

Le bois du pin laricio est de bonne qualité, surtout lorsqu'il a été élagué précocement, car dans ce cas, il ne présente pas trop de noeuds. Sur ce point, il est très supérieur au bois de pin noir d'Autriche, très noueux et très cassant.

Pour obtenir un bois de qualité, les accroissements sur le rayon doivent être supérieurs à 1 mm par an ; le coefficient de rétractabilité est le meilleur pour des valeurs d'accroissement annuel de l'ordre de 2 à 3 mm. On reproche souvent au bois de pin laricio un aubier trop important, car la duraminisation se fait assez tardivement : elle débute seulement vers 150 ans pour atteindre 50 % du volume vers 200 ans et 80 % vers 360 ans.

Des arbres de cet âge récoltés en Corse présentent alors des qualités technologiques remarquables : le bois est très dur, imputrescible, très comparable à celui du mélèze.

En charpente, la bonne résistance mécanique du bois alliée à la durabilité du bois de coeur qui n'est pas attaqué par le capricorne des maisons en font un bois supérieur à celui du sapin ou de l'épicéa (BVF, n° 66-5, juin 1966).

D'après des essais comparatifs effectués au Centre technique du bois, le bois des pins laricio de reboisement présente une densité plus faible que celle des bois de laricio en Corse.

D'autres essais ont montré une densité nettement plus élevée (0,65) que celle du pin sylvestre (0,55) de même provenance.

7. Pathologie

7.1. Insectes

7.1.1. Charançons (coléoptères curculionides)

7.1.1.1. Grand charançon des pins ou hyllobe du pin (*Hyllobius abietis*). C'est un ravageur qui attaque en particulier les reboisements dans leurs premières années. Les dégâts (écorçage total des tiges) sont dûs aux adultes, qui pondent au printemps sous l'écorce des racines des souches résiduelles ou sur des arbres dépérissants. L'insecte hiberne sous forme de larve dans le sol, et s'attaque particulièrement aux jeunes plants lors de son repas de maturation sexuelle, d'où l'intérêt, en lutte préventive, d'attendre 2 ou 3 ans après une coupe rase de pins pour reboiser à nouveau en pins. Si on n'attend pas, il faut neutraliser les souches résiduelles ou les détruire par le feu ; on doit également traiter avec un insecticide organochloré (lindane) les jeunes plants avant et si possible après mise en place. Lorsque la population d'adultes est faible, on peut lutter efficacement en disposant des rondins pièges imprégnés d'insecticide comme le parathion qui est attractif (1 rondin pour 100m² environ).

En région méditerranéenne, on peut observer deux générations par an dans les stations les plus chaudes.

7.1.1.2. Petit charançon du pin ou pissode du pin (*Pissodes notatus* Fabr.). Parasite secondaire important également pour le pin laricio en région méditerranéenne, il attaque des arbres affaiblis, qui peuvent l'être par suite d'une sécheresse trop accentuée, et les jeunes reboisements.

Les dégâts sont dûs au forage :

- des adultes qui se nourrissent par piqûre d'alimentation sur l'écorce des rameaux, branches et tronc, avant de pondre du printemps à l'automne ;
- des larves qui détruisent les vaisseaux.

Lutte :

- préventive, en limitant autant que possible les causes d'affaiblissements,
- extraction et incinération des sujets atteints,
- lutte chimique très coûteuse par pulvérisation d'un insecticide du groupe des carbamates.

7.1.2. Lophyres (hyménoptère symphyte diprionide) : Lophyre du pin (*Diprion pini* L.) et Lophyre roux (*Neodiprion sertifer* Geoffr.). Ils intéressent plutôt le centre de la France, mais peuvent occasionner des dégâts dans les régions les plus septentrionales de la région méditerranéenne (Lozère et Hautes-Alpes) où le pin noir d'Autriche est très touché.

Ce sont les larves de ces hyménoptères qui sont défoliatrices. La lutte est délicate car les proliférations sont périodiques, régies par des phénomènes de diapause importants.

Lutte : La lutte chimique par organophosphorés n'est à envisager que dans les cas extrêmes, les populations de lophyres étant naturellement soumises à l'action de nombreux parasites et prédateurs. Une connaissance précise du niveau de population est donc nécessaire. Lutte biologique par introduction de virus (polyedrose).

7.1.3. Chenille processionnaire (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.)

Les pins laricios sont très sensibles à ce ravageur répandu dans toute la région méditerranéenne. Les chenilles sont défoliatrices de septembre à mars, date à laquelle elles quittent les arbres en processions pour passer six mois dans le sol sous forme de chrysalide. Cette phase souterraine peut se trouver prolongée de 1, 2 ou 3 années de diapause ; lorsque le contingent issu de cette diapause est important, il s'ajoute à la population annuelle, provoquant ainsi une pullulation, donc des dégâts en prévision.

Il importe donc de surveiller attentivement le niveau de population pour prévoir l'opportunité de traitements à caractère préventif, cette surveillance étant basée sur l'observation directe des peuplements, des nids et des processions.

Les dégâts deviennent très graves si l'on a plusieurs défoliations successives sur de jeunes reboisements; dans ce cas là, on peut observer des mortalités importantes, surtout bien sûr si les conditions naturelles sont en plus difficiles (pin laricio à basse altitude en région méditerranéenne). Même sur des pins âgés, une défoliation printanière entraîne une perte de production ligneuse.

Le moyen de lutte le plus efficace reste la pulvérisation d'une solution à base de *bacillus thuringiensis* par moyen aérien ; ces traitements devront se répéter deux années consécutives en raison des diapauses prolongées.

Dans des peuplements jeunes (- de 5 m de hauteur), une lutte mécanique par récolte des nids peut être envisagée.

7.2. Champignons

7.2.1. Maladie du rond (*Fomes annosus*)

Ce champignon s'observe sur pratiquement tous les résineux. Sur le pin, l'attaque est mortelle, suite à un jaunissement des aiguilles et à un dépérissement progressif.

Le Fomès produit une fructification en forme de croûte irrégulière à la base du tronc ou des souches. La face inférieure de cette croûte donne tout au long de l'année des basidiospores qui vont infecter les souches voisines en développant un mycelium en tissage blanc sur les racines. Par contact racinaire, les arbres immédiatement voisins peuvent être contaminés. On lutte contre le Fomès en badigeonnant les souches avec de l'urée-bore qui les rend non réceptives aux spores du champignon et favorise le développement de saprophytes antagonistes (*Trichoderma penicillium*).

Pour des peuplements peu atteints, on peut aussitôt après la coupe appliquer sur les souches une préparation commercialisée de suspension de spores de *Peniophora gigantea*, autre champignon antagoniste.

7.2.2. Armillaire-couleur-de-miel (*Armillariella Mellea*) : Ce champignon attaque surtout des arbres affaiblis, dans des peuplements artificiels installés dans des conditions climatiques ou édaphiques qui ne leur conviennent pas.

Les carpophores (champignons à chapeau), couleur de miel, sont bien visibles, en touffe au pied des souches. Les spores libérées germent dans le sol et donnent un mycelium qui se développe directement sur les racines, ou dans le sol.

Comme pour le Fomès, la contamination peut se faire d'un système racinaire à un autre ("maladie du rond").

On observe un dépérissement général du sujet atteint. On lutte contre l'armillaire en empoisonnant les vieilles souches aux herbicides (hormones ou paraquat), ou en injectant dans le sol une solution de sulfure de carbone qui favorise le développement d'un champignon antagoniste, le *Trichoderme viride*.

7.2.3. Les rouilles : Elles sont dues à différents champignons :

- *Lophodermium pinastri* provoque le rouge cryptogamique qui peut occasionner d'importants dégâts en pépinières et dans les jeunes reboisements : jaunissement puis rougissement des aiguilles par zones, puis en totalité.

- *Melampsora pinitorqua* provoque la rouille courbeuse des rameaux des pins. L'hôte secondaire est un tremble ou un peuplier blanc. Les rameaux sont courbés et parfois se dessèchent ; on observe une forme typique "en baïonnette", ce qui nuit énormément au développement des tiges principales.

- Le *coleosporium* spp. provoque la rouille vésiculeuse des aiguilles de pins, l'hôte secondaire étant une plante herbacée.

On observe au printemps les petites vésicules blanchâtres caractéristiques sur les deux faces des aiguilles.

La lutte contre les rouilles est très difficile. En général, on pratique une lutte chimique par application de bouillie bordelaise. Les dégâts dus aux rouilles peuvent être très graves dans les jeunes reboisements.

CHAPITRE 2
PRESENTATION DE L'ETUDE

En se basant sur les résultats obtenus dans les reboisements de la région méditerranéenne française, l'étude se propose de définir les modalités de la croissance et de dégager les principaux facteurs écologiques qui influencent cette croissance.

1. CHOIX D'UNE METHODE

1.1. Choix d'un critère de fertilité

Il importe donc tout d'abord de quantifier le résultat d'un reboisement, c'est-à-dire de caractériser la fertilité de la ou des "stations" où il est installé.

D'après Decourt, l'indice de fertilité le plus utilisé dans le cas de peuplements résineux équiennes est constitué par la hauteur du peuplement à un âge de référence (site index). Or, il apparaît que la hauteur dominante est plus facilement appréhendable sur le terrain et surtout varie beaucoup moins en fonction de la densité du peuplement que la hauteur moyenne (FAO, 1980).

Le critère de fertilité retenu est donc la hauteur dominante définie comme la moyenne des hauteurs des cent plus gros brins à l'hectare ; c'est elle que nous mesurons sur le terrain ; nous la ramènerons à un âge de référence dans la suite de l'étude par un système de faisceaux de courbes.

1.2. Région étudiée ; repérage des boisements

Pour pouvoir tirer des conclusions quant à la croissance du pin laricio en région méditerranéenne française, il faut étudier des reboisements dans toute la région méditerranéenne fran-

çaise. Se pose alors le problème du repérage des boisements de pin laricio ; ce problème est résolu en Languedoc-Roussillon par l'exploitation de l'enquête faite par l'ONF, le CRPF, l>IDF, la CNABRL et le CEMAGREF en 1975-1976. En Provence-Alpes-Côte d'Azur, le repérage est effectué par interrogation directe des services forestiers (ONF, DDA et CRPF), et d'après les connaissances du CEMAGREF. Pour des contingences matérielles évidentes, la Corse est exclue de notre étude, malgré la richesse et la diversité des peuplements qu'elle abrite.

1.3. Echantillonnage

Les précédentes études du CEMAGREF (cyprès, pin pignon, chêne pubescent) ont montré qu'il est nécessaire de disposer de 150 à 200 relevés, pour obtenir des résultats satisfaisants.

Au vu des résultats du repérage des boisements, il apparaît que l'échantillonnage est imposé, c'est-à-dire que chaque boisement repéré doit systématiquement faire l'objet de mesures. Seuls les reboisements assez récents du Languedoc (moins de vingt ans) peuvent éventuellement être sélectionnés, car ils sont assez importants, en nombre et en surface.

2. PROTOCOLE

2.1. Choix d'un type de placette

La forme circulaire a été préférée à la rectangulaire, car elle est plus facile à mettre en place à l'aide d'un décimètre.

Dans les reboisements de pin laricio, jeunes ou vieux, nous estimons à l'oeil que sur une surface restreinte, nous avons une bonne approche de la hauteur dominante en mesurant trois arbres. Sachant que nous voulons la hauteur moyenne des cent plus gros arbres à l'hectare, le calcul indique que la placette doit faire trois ares de surface, soit celle d'un disque de 10 mètres environ de rayon.

En pratique, le rayon est souvent inférieur à 10 m, surtout dans des peuplements jeunes très denses : nous pouvons dire que la superficie de nos placettes varie entre 1 et 3 ares.

2.2. Fiche de mesure - Relevés

Les mesures effectuées sur chaque placette sont regroupées sur une fiche d'enquête. Cette fiche s'inspire directement de celles précédemment utilisées pour les études du CEMAGREF sur le cèdre, le cyprès et le pin pignon (le détail de la fiche figure en annexe 2).

Les relevés se divisent en deux groupes : les relevés effectués sur le terrain, et les relevés effectués de retour au bureau.

2.2.1. Relevés de terrain

2.2.1.1. Relevés stationnels : Nous notons la position topographique de la station, son exposition et sa pente en pourcentage.

2.2.1.2. Relevés édaphiques : Nous notons la nature de la roche-mère quand nous pouvons la voir, son pourcentage d'affleurement, la nature de la formation superficielle, la texture à -20 cm, la nature de l'horizon de surface, la nature du dépôt s'il y a lieu, la réaction Hcl-terre fine à -20 cm.

La profondeur du sol est la moyenne de cinq sondages à la tarière hélicoïdale de 3 cm de diamètre ("test profondeur"). Nous codons les pourcentages d'affleurement de la roche-mère, de cailloux en affleurement, de cailloux dans le sol suivant un degré d'appréciation à l'oeil en 4 classes : 0 à 10 %, 10 à 30 %, 30 à 60 %, 60 à 100 %.

2.2.1.3. Relevés floristiques : Un inventaire systématique des plantes reconnaissables en toute saison (la phase "terrain" dure d'août à décembre) est effectué sur la placette et à proximité immédiate de la placette. Nous notons le recouvrement des strates arborescente, arbustive et herbacée en dixièmes.

2.2.1.4. Relevés dendrométriques :

- Age : Nous sondons les trois arbres dominants à la tarière de Pressler, le plus près possible du coeur. Comme le sondage s'effectue à 40 cm au-dessus du sol, nous considérons qu'il faut rajouter trois ans pour avoir l'âge exact. Nous faisons la moyenne des trois âges si le deuxième et le troisième arbre sondés entrent dans une fourchette de plus ou moins 5 % de l'âge du premier arbre sondé. Cette moyenne correspond à l'âge du peuplement alors considéré comme équienne.

Pratiquement, dans 98 % des cas, nous restons dans cette fourchette. Sinon, nous éliminons l'arbre qui n'y entre pas.

- Hauteur : Nous mesurons la hauteur totale des trois arbres dominants (à la perche IFN en priorité ou au Suntoo lorsqu'ils sont âgés et espacés). La moyenne des trois hauteurs est la hauteur dominante de la placette.

En pratique, nous pouvons dire que les trois hauteurs ne diffèrent jamais beaucoup, dans 90 % des cas, nous trouvons les deuxième et troisième hauteurs dans une fourchette de plus ou moins 7,5 % autour de la première hauteur mesurée.

- Segments d'analyse de tige : mesures d'accroissements. Sur les jeunes arbres (en pratique moins de vingt-cinq ans) il est aisé de mesurer à la perche IFN différents couples (âge, hauteur) puisque, à chaque année correspond un verticille très net chez le pin laricio. Nous pouvons ainsi tracer un segment d'analyse de tige, en faisant l'hypothèse que notre arbre a toujours été dominant, ce qui est très probable dans un jeune peuplement.

- Erreurs de mesure : Nous estimons l'erreur en moyenne en terrain plat à ± 3 % au Suntoo, et à ± 2 % à la perche IFN.

2.2.1.5. Autres relevés de terrain :

- Fructification, régénération : Nous notons l'absence, la présence ou l'abondance de cônes, de semis de moins de 0,20 m, de 0,20 à 2 m, de plus de 2 m.

- Travail du sol : Nous notons, chaque fois que c'est possible, l'antécédent cultural, le travail de préparation du sol, le mode de plantation, les taux de reprise .

- Etat sanitaire : Nous notons les symptômes de maladies ou d'attaques de parasites.

2.2.2. Relevés au bureau

2.2.2.1. Situation, variables stationnelles : Nous situons sur le terrain la placette aussi précisément que possible sur une carte IGN au 100 000ème. De retour au bureau, nous notons sur la fiche d'enquête la région IFN, l'altitude, la distance au littoral, les coordonnées Lambert et l'exposition générale du versant si nous sommes en position topographique de versant. Nous confirmons les observations éventuelles de terrain quant à la nature de la roche-mère en situant la placette sur une carte géologique.

2.2.2.2. Variables climatiques : en se rapportant à la station météorologique la plus proche, nous notons les variables suivantes : pluie annuelle, pluie du trimestre d'été, température moyenne annuelle, température moyenne des maxima du mois le plus chaud, celle des minima du mois le plus froid, nombre de mois secs selon Gaussen, quotient pluviothermique d'Emberger.

3. DONNEES PRELIMINAIRES SUR LES PLACETTES

3.1. Situation des placettes

Les mesures ont été effectuées sur 212 placettes : 61 sont situées en région Provence-Alpes-Côte d'Azur et 151 le sont en région Languedoc-Roussillon (figures 4 et 5). Le tableau suivant donne le détail de la répartition par département.

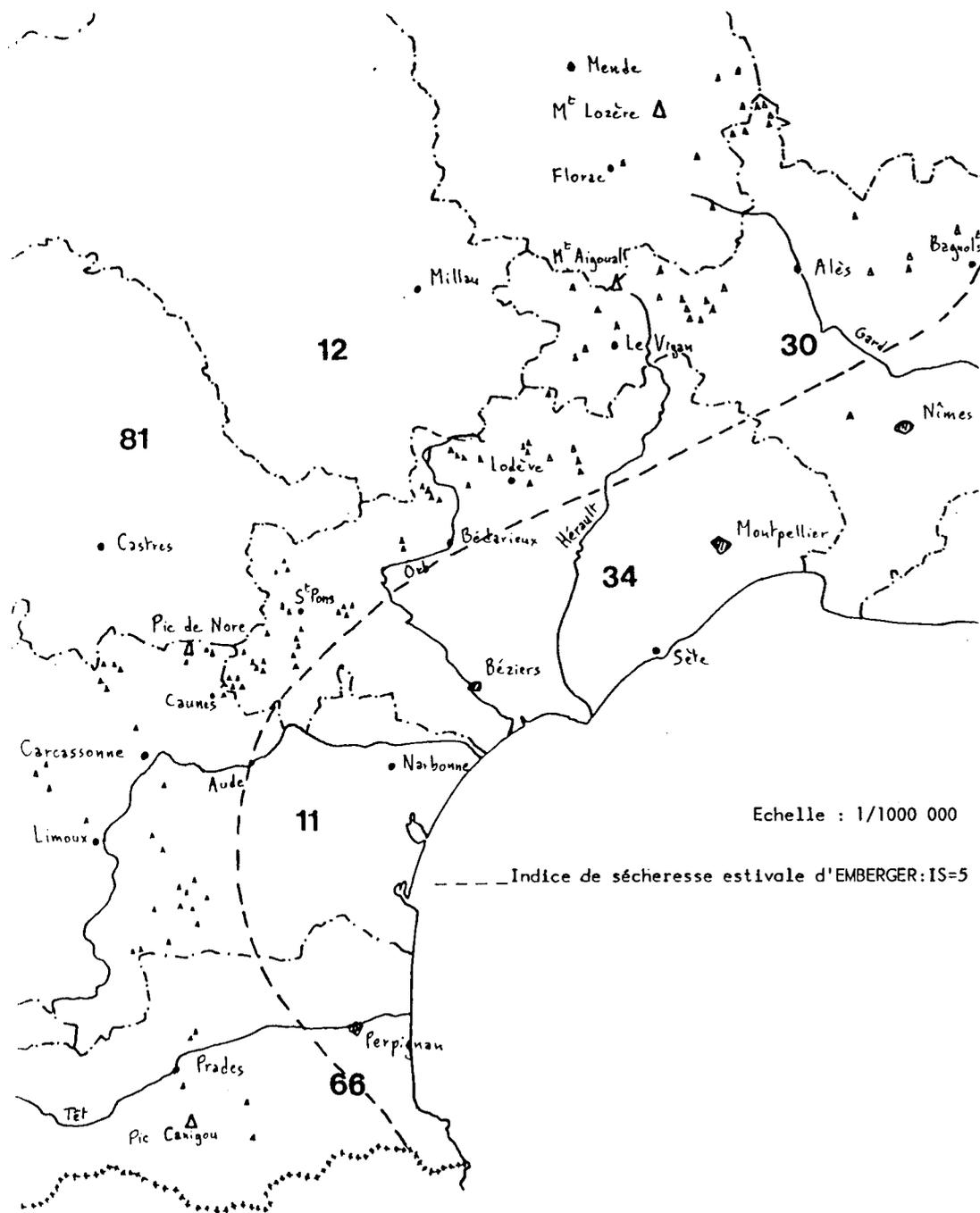


Figure n° 5 : Localisation des placettes en Languedoc-Roussillon

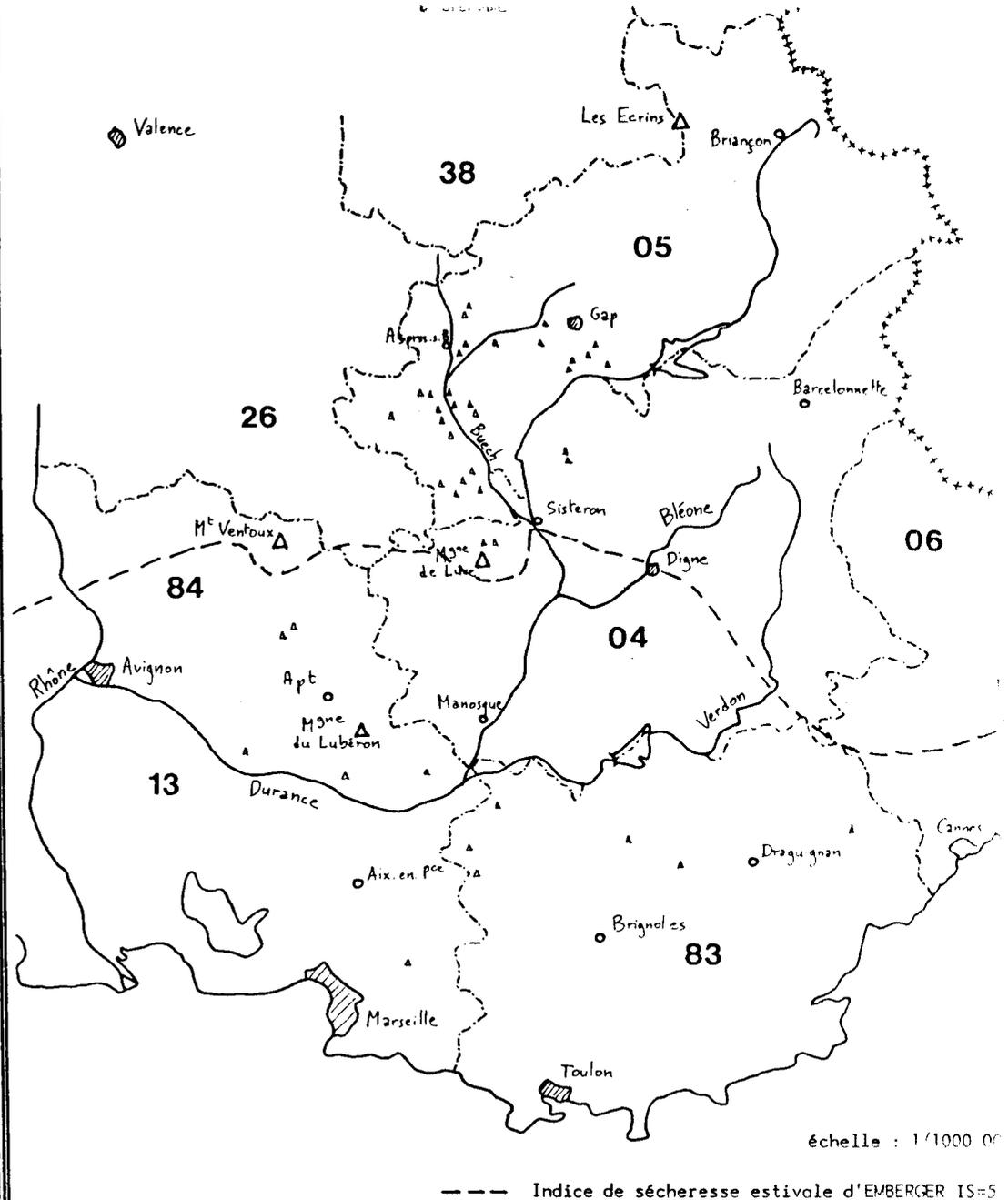


Figure n° 4 : Localisation des placettes en Provence - Alpes

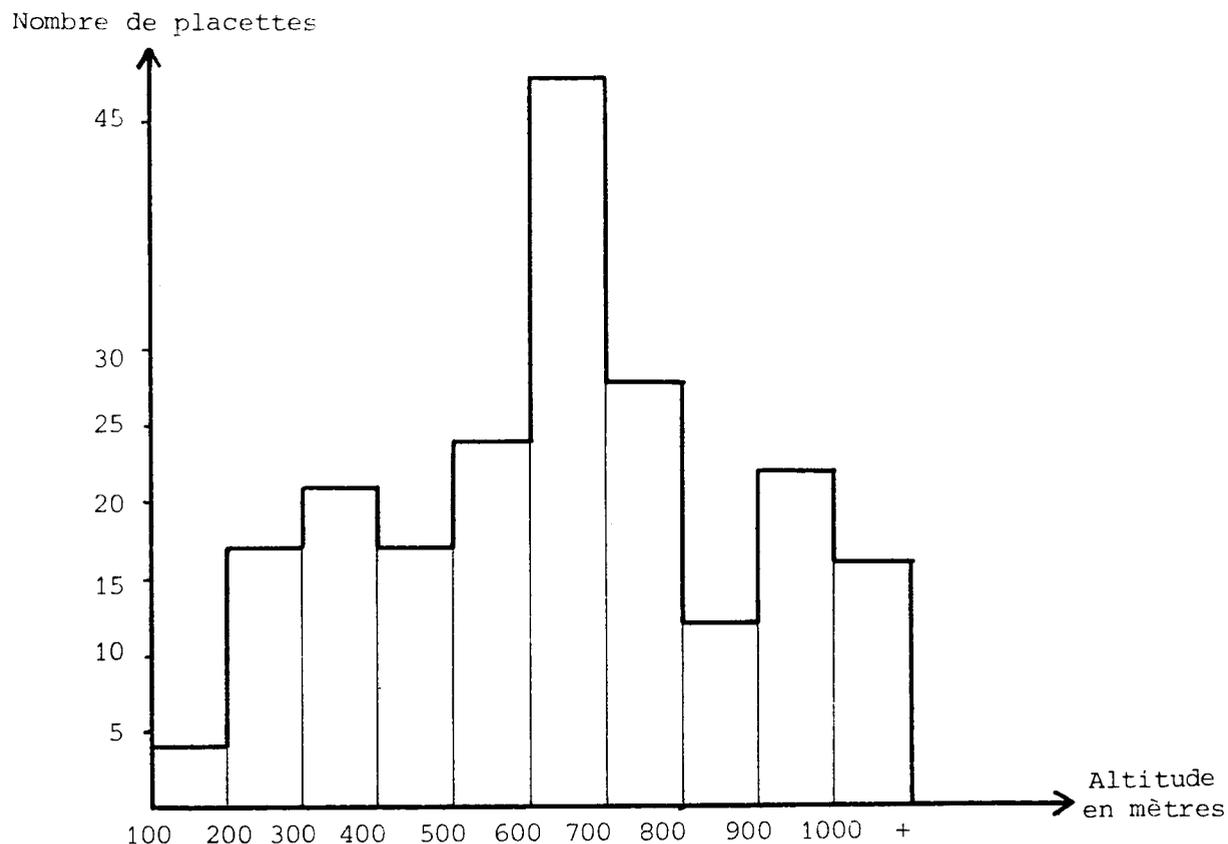
Languedoc-Roussillon		Provence-Alpes-Côte d'Azur	
(11) Aude	29 placettes	(04) Alpes de Ht Provence	6 placettes
(30) Gard	32 "	(05) Hautes Alpes	42 "
(34) Hérault	73 "	(13) Bouches du Rhône	1 "
(48) Lozère	12 "	(83) Var	6 "
(66) Pyrénées orient.	5 "	(84) Vaucluse	6 "
	<hr/> <hr/>		<hr/> <hr/>
TOTAL	151 placettes	TOTAL	61 placettes

La lecture du tableau et des cartes souligne bien la localisation de la grosse majorité des reboisements dans les régions les plus "limites" de la "région méditerranéenne administrative" : Corbières occidentales, Montagne Noire, limite des grands Causses, Hautes Cévennes schisteuses en Languedoc-Roussillon ; haute vallée de la Durance (en amont de Sisteron) et vallée du Buech en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les régions typiquement méditerranéennes caractérisées par exemple par un indice de sécheresse estivale d'Emberger inférieur à 5 d'après Daget (1977)¹ apparaissent comme très pauvres en boisements de pin laricio ; en première approximation, les forestiers français ont donc bien respecté ce caractère d'essence de limite supérieure des étages méditerranéens propre au pin laricio.

3.2. Répartition altitudinale

L'altitude mesurée varie de 140 mètres dans les Bouches-du-Rhône à 1150 mètres dans les Hautes Alpes, la moyenne étant de 650 mètres. Le diagramme suivant donne la répartition par classes d'altitude :

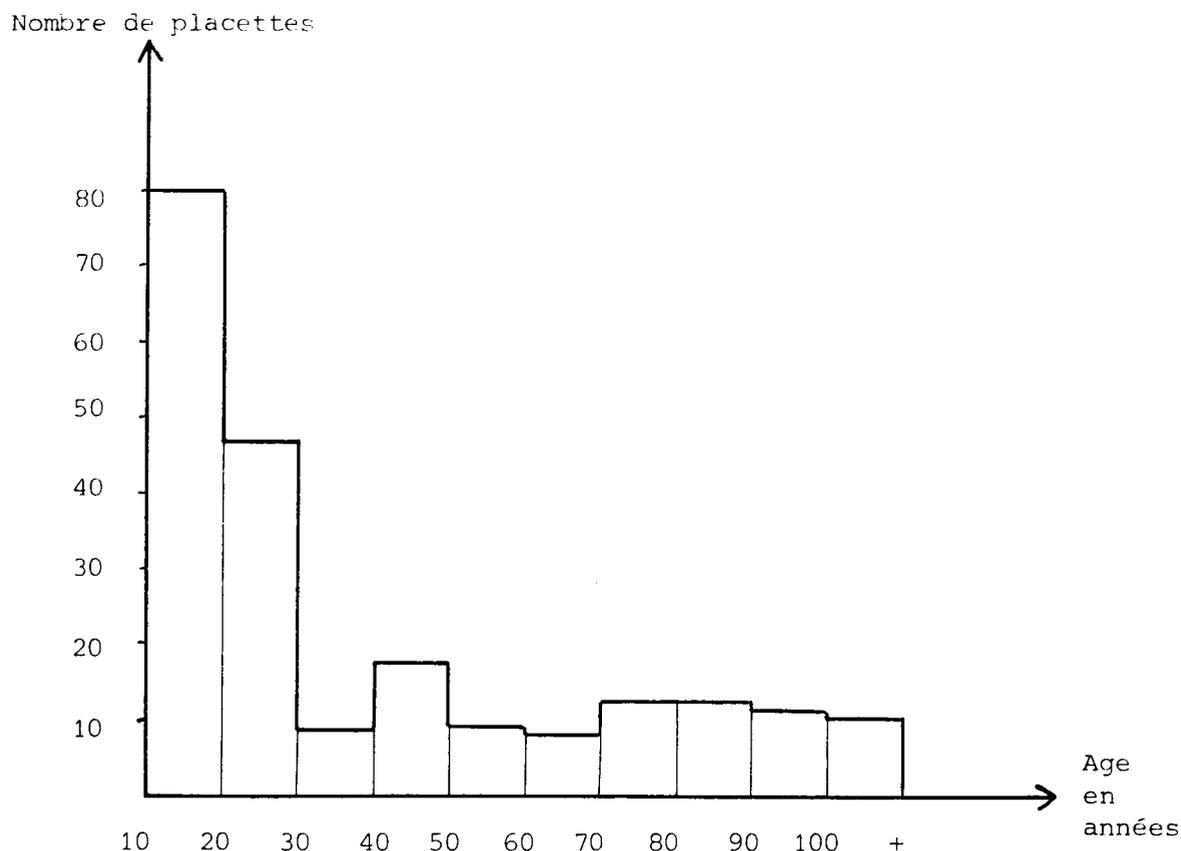
1 IS = $\frac{\text{Total des précipitations moyennes du trimestre d'été}}{\text{Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud}}$ (Emberger, 1941)



Notons que les altitudes supérieures à 900 m ont été enregistrées en grande partie dans les Hautes-Alpes ; l'allure générale du diagramme confirme bien cette répartition des placettes dans des zones relativement élevées de la région méditerranéenne.

3.3. Données dendrométriques

Les âges mesurés s'échelonnent de 10 à 123 ans. Tous les peuplements sont équiennes. Les hauteurs dominantes mesurées s'échelonnent de 1,40 mètres à 32,70 m en forêt domaniale du Mas de l'Ayre au nord du Gard. Nous présentons ci-dessous l'histogramme des classes d'âge de 10 ans d'amplitude.



3.4. Surface des peuplements

La surface des peuplements qui ont fait l'objet de mesures est très variable : sur les 212 placettes, 36 soit 17 % ont été implantées dans des boisements de moins de 50 ares, 90 soit 58 % l'ont été dans des boisements de 0,5 à 10 hectares, et 54 soit 25 % l'ont été dans des boisements de plus de 10 hectares.

3.5. Fructification, régénération

Voici résumé dans le tableau ci-dessous les états de fructification et de régénération relevés sur nos placettes ; ne sont pris en compte pour la régénération que les boisements de plus de 30 ans.

	Absents	Rares	Fréquents	Abondants
Cônes	22 %	33 %	35 %	10 %
Semis $H < 0,20m$	54 %	40 %	5 %	1 %
" $0,20 < H < 2m$	47 %	42 %	11 %	0 %
" $H > 2m$	58 %	32 %	6 %	4 %

Pour ce qui est de la fructification (présence ou non de cônes), les calculs ont été effectués sur la totalité des placettes, car nous avons observé des cônes sur des arbres de peuplements âgés de 15 ans seulement.

Les modalités "fréquents" et "abondants" des semis apparaissent très peu représentées ; cela peut être dû à plusieurs choses. Tout d'abord, les peuplements âgés susceptibles de se régénérer abondamment sont relativement peu nombreux ; beaucoup de boisements de 30 à 60 ans sont très fermés et ne permettent pas aux semis de s'installer, car souvent cette installation demande une importante mise en lumière (forêt d'Aïtone en Corse). Ensuite, les peuplements de laricios sur le point d'être exploités comme par exemple dans la région de Genolhac dans le Gard font rarement l'objet d'une sylviculture favorable à la régénération naturelle, avec des coupes d'ensemencement et une préparation du sol.

CHAPITRE 3

LA CROISSANCE DU PIN LARICIO



Le but est à présent de caractériser la croissance du pin laricio en région méditerranéenne. Cette démarche comprend deux étapes :

- l'établissement d'un faisceau de courbes représentatif de toutes les croissances en hauteur observées ;
- l'association à chaque courbes d'un indice qui nous permette de comparer les courbe entre elles, donc les fertilités entre elles : c'est l'indice de croissance du peuplement, donc l'indice de fertilité de la station correspondante.

1. CONSTRUCTION D'UN FAISCEAU DE COURBES

1.1. Méthodes. Données de base

En principe, on se base sur des analyses de tige pour obtenir les courbes de croissance. C'est une méthode très lourde à mettre en place, car pour obtenir un bon éventail de courbes de croissance, il faut abattre beaucoup d'arbres. Nous n'avons donc pas envisagé de suivre cette méthode.

Nous avons utilisé la méthode de Bruce et Schumacher (citée par Ottorini et Nys), qui consiste à déduire d'une courbe moyenne un faisceau de courbes toutes affines les unes des autres ; la courbe moyenne s'obtenant à partir des données âge et hauteur.

Nous avons effectué des mesures sur 212 placettes ; chaque placette étant caractérisée comme nous l'avons vu précédemment par un âge (moyenne de trois arbres) et une hauteur (moyenne de ces trois mêmes arbres), nous disposons donc d'un nuage de 212 points représentant 212 couples (âge, hauteur). Ce nuage cons-

titue la première donnée de base.

Nous disposons également comme deuxième donnée de 23 segments d'analyse de tige dans le jeune âge, ces segments peuvent donc nous aider à choisir le "début" d'une courbe.

1.2. Construction d'une courbe moyenne

1.2.1. Problème de l'asymptote

L'équation d'une courbe de croissance est déterminée par une régression curvilinéaire sur le nuage de points. D'après les études déjà réalisées sur les essences résineuses, et selon les modèles proposés par Bartet, il semble qu'une bonne approximation de la forme d'une courbe de croissance soit donnée par une sigmoïde d'équation (1) ou (2) :

équation (1) : $H = a(1 - e^{-(bA)^c})$ à asymptote horizontale

équation (2) : $H = (a + pA)(1 - e^{-(bA)^c})$ à asymptote oblique, où H est la hauteur et A l'âge.

Les valeurs obtenues pour les deux modèles sont les suivantes (H en dm) :

équation (1) : $H = 254,26(1 - e^{-(0,026A)^{1,61}})$

équation (2) : $H = (193,71 + 0,57A)(1 - e^{-(0,032A)^{1,8}})$.

Les hauteurs calculées par ces deux modèles de courbes pour différents âges sont (en dm) :

Age (années)	Equation 1	Equation 2
20	74,9	74
50	199	200,6
100	251,8	250,6
120	253,8	262,1

Les plus grands âges mesurés sont de l'ordre de 120 ans, valeur en-dessous de laquelle nous voyons que les hauteurs calculées sont très voisines. Le tracé des courbes est représenté figure 6.

Nous devons donc choisir entre un modèle à asymptote horizontale et un modèle à asymptote oblique de pente 5,7 cm par an.

Comme la vérification sur de vieux arbres sur pied s'avère très difficile voire impossible à faire, nous avons choisi de faire une régression linéaire sur le nuage de points composé des couples âge-hauteur des arbres âgés, c'est-à-dire des plus de 80 ans. La droite obtenue s'intercale entre les deux courbes et présente une pente de 2 cm par an, ce qui est plus proche de 0 cm que de 5,7 cm : cela nous permet de trancher et de retenir le premier modèle à asymptote horizontale.

1.2.2. Utilisation de données pondérées

Il nous est permis de penser que le nuage est déséquilibré; c'est-à-dire qu'il présente un suréchantillonnage dans les classes jeunes et un sous-échantillonnage dans les classes âgées. La pondération consiste à donner le même poids à toutes les classes d'âge et de hauteur : le nuage est divisé en rectangles de même poids ; chaque individu-couple a pour poids l'inverse de l'effectif de la classe à laquelle il appartient.

Après essais, il semble que les meilleures classes s'obtiennent par un découpage de 4 ans sur l'âge et 1 mètre sur la hauteur.

1.2.2.1. Calcul d'une courbe moyenne à asymptote horizontale : La régression curvilinéaire sur le nuage pondéré donne l'équation (3) : $H = 251,28(1 - e^{-(0,026A)^{1,68}})$ (H en dm)

Les hauteurs calculées par cette courbe, en comparaison avec celles calculées par la courbe d'équation (1), sont (en dm) :

Age (années)	Equation (3)	Equation (1)
20	74,2	74,9
50	198,2	199
100	249,6	251,8
120	251	253,8

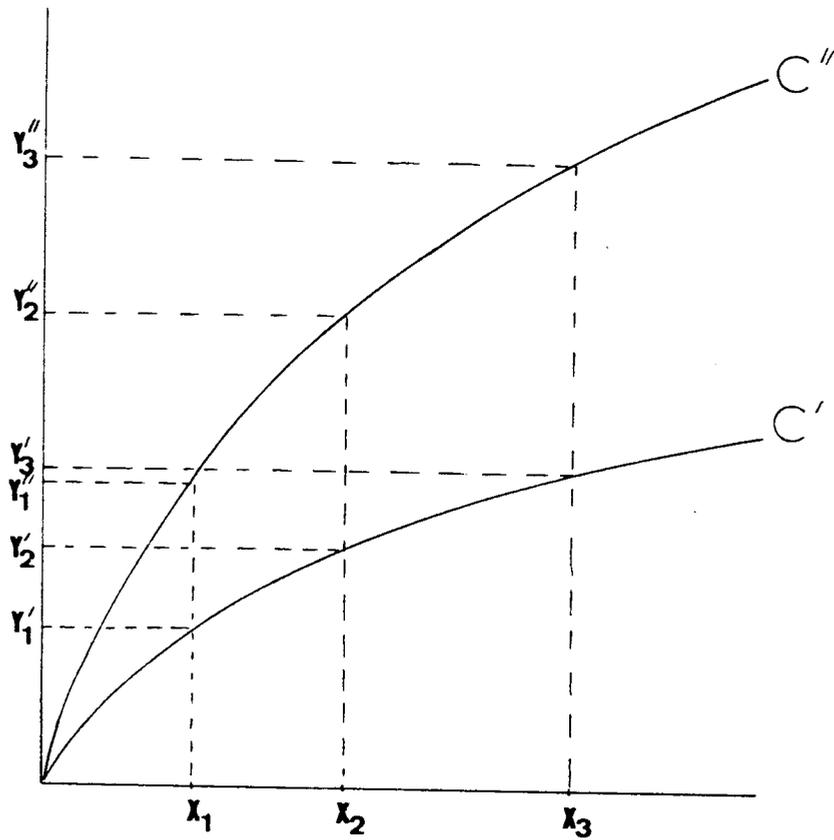
Les deux courbes sont représentées figure 6.

Les valeurs obtenues sont de nouveau très semblables.

Mais, étant donné :

- que les écarts obtenus restent inférieurs aux erreurs de lecture de hauteures estimées ;

Figure n° 8 : Présentation de 2 courbes affines



C' et C'' sont affines équivalent à :

$$\frac{y'_1}{y_1} = \frac{y'_2}{y_2} = \frac{y'_3}{y_3}$$

- qu'à autant de découpages en classes, donc qu'à autant de types de pondération correspondent autant de courbes sensiblement différentes les unes des autres ;

nous avons décidé de ne pas pondérer et de retenir l'équation (1) comme équation de la courbe moyenne définitive (représentée figure 7) :

$$H = 254,26(1 - e^{-(0,026A)^{1,61}}) \quad (H \text{ en dm})$$

1.3. Etablissement du faisceau de courbes

1.3.1. Méthode : les courbes affines

Deux courbes sont dites affines si le rapport des hauteurs à un âge donné est indépendant de cet âge (figure 8).

Un faisceau de courbes affines est déduit de la courbe moyenne, chaque courbe ayant une équation de la forme $H = H_m(1 - e^{-(0,026A)^{1,61}}$, H_m étant la hauteur maximale atteinte par l'arbre.

1.3.2. Problèmes

Le faisceau de courbes recouvre la totalité du nuage de points, bien que, dans notre cas, cela soit critiquable : d'une part, certains jeunes reboisements voués complètement à l'échec ont été mesurés avec la certitude qu'ils étaient condamnés ; on ne peut donc pas leur prévoir un avenir, donc leur tracer une courbe de croissance. Ils ont été mesurés uniquement dans l'optique d'expliquer la ou les causes de l'échec.

D'autre part, le déséquilibre en âge du nuage de points fait que nous manquons d'arbres âgés très grands. Or, il se trouve que certains jeunes reboisements prometteurs devraient en principe suivre des courbes de croissance qui les amènent à des hauteurs de l'ordre de quarante mètres. Nous ne disposons cependant que de deux placettes de 45 et 50 ans pour "témoigner" de ces croissances exceptionnelles, (figure 9).

COURBE DE REGRESSION MOYENNE

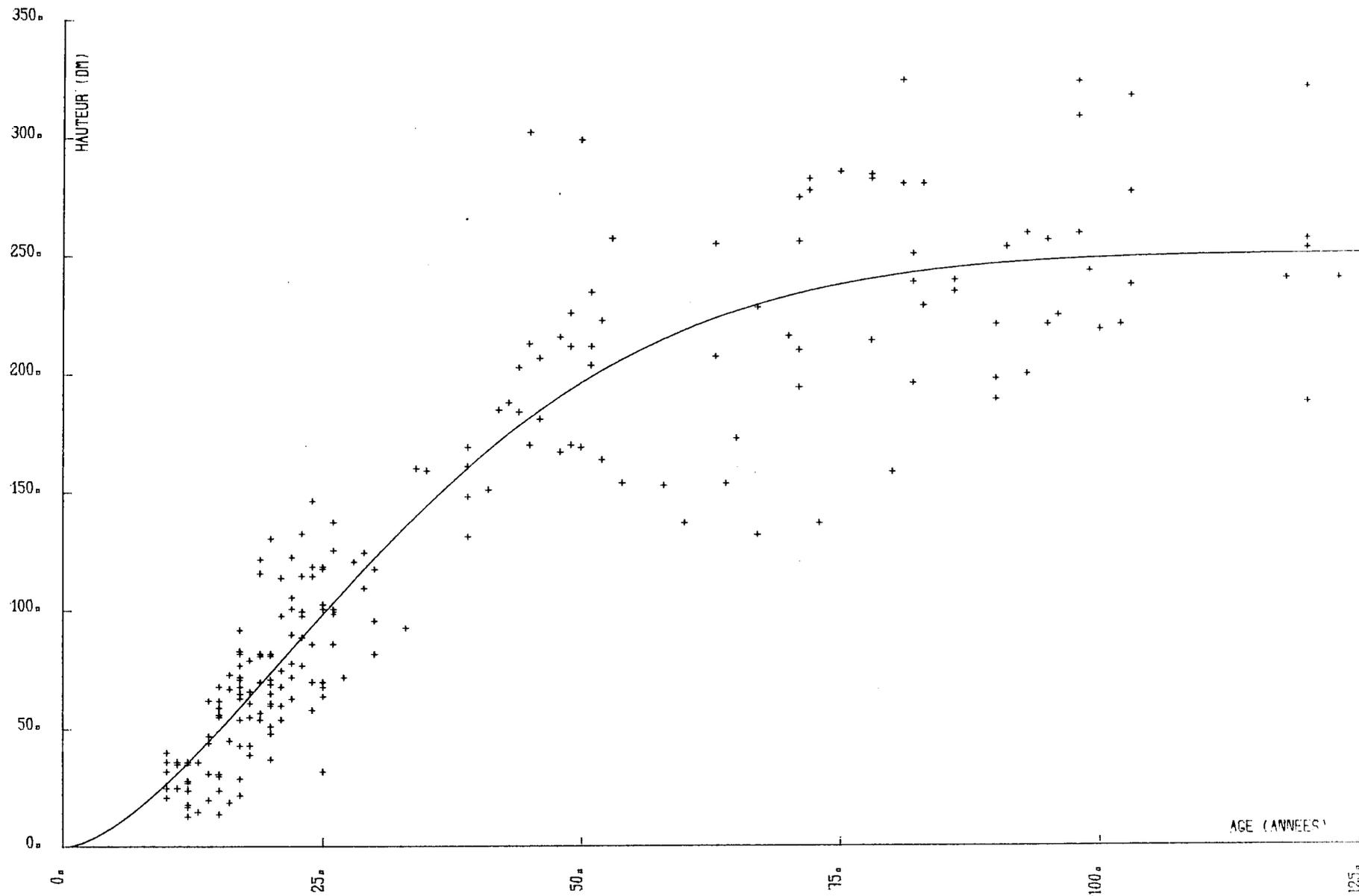


Figure n° 7

2. L'INDICE DE CROISSANCE

2.1. Définition

Selon l'habitude en peuplement résineux équienne, la croissance est caractérisée par la hauteur à un âge de référence (site index), que nous fixons à 50 ans par analogie avec les études déjà effectuées.

2.2. Méthode de calcul

On utilise le fait que les courbes tracées sont affines : on connaît la hauteur à un âge donné, on se ramène par rapport à la courbe moyenne à la hauteur à cinquante ans.

2.3. Résultats : classes de croissance. Classes de fertilité

Les résultats sont représentés figure 9 . Le faisceau de courbes est "résumé" en cinq courbes qui correspondent aux indices de croissance (hauteurs à 50 ans) de 10; 14,5; 19; 23,5 et 28 mètres. En figure 10 sont représentés les segments d'analyse de tige superposés au faisceau des cinq courbes. Nous sommes conscient d'avoir effectué ces "analyses sur pied" dans de beaux peuplements en bonne santé, ce qui explique que la majorité des segments se placent dans les meilleures classes. Nous pouvons tout de même dire que les segments d'analyses de tiges confirment notre faisceau de courbes, donc confirment la méthode.

Chaque placette peut ainsi à présent se situer dans une des six classes de croissance par sa hauteur à 50 ans (H50) :

Classe 1 "exceptionnelle" :	$H50 > 28 \text{ m}$
Classe 2	$23,5\text{m} < H50 \leq 28\text{m}$
Classe 3	$19\text{m} < H50 \leq 23,5\text{m}$
Classe 4	$14,5\text{m} < H50 \leq 19\text{m}$
Classe 5	$10\text{m} < H50 \leq 14,5\text{m}$
Classe 6 "exceptionnelle" :	$H50 \leq 10\text{m}$

CLASSES DE CROISSANCE DU PIN LARICIO

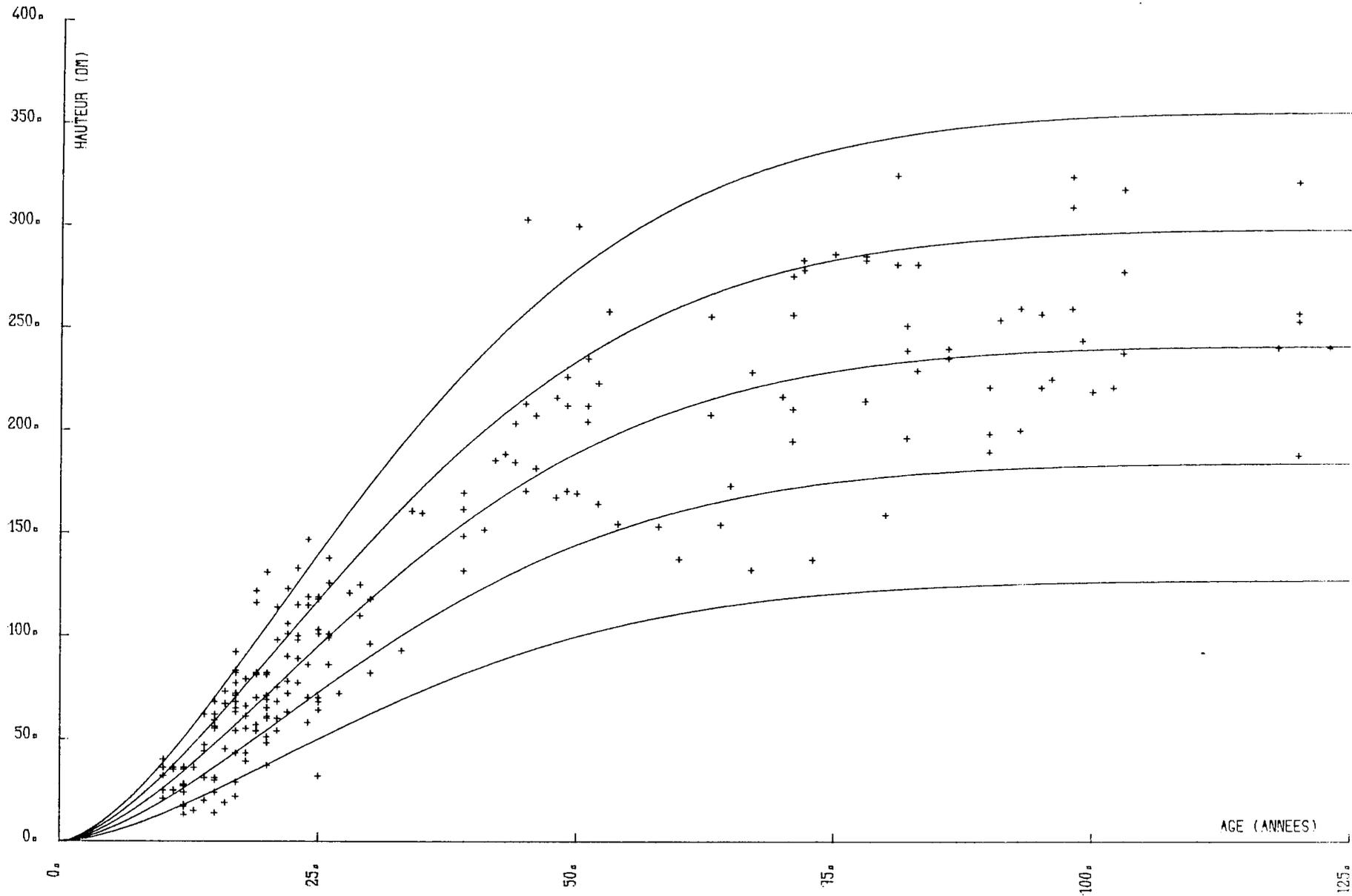
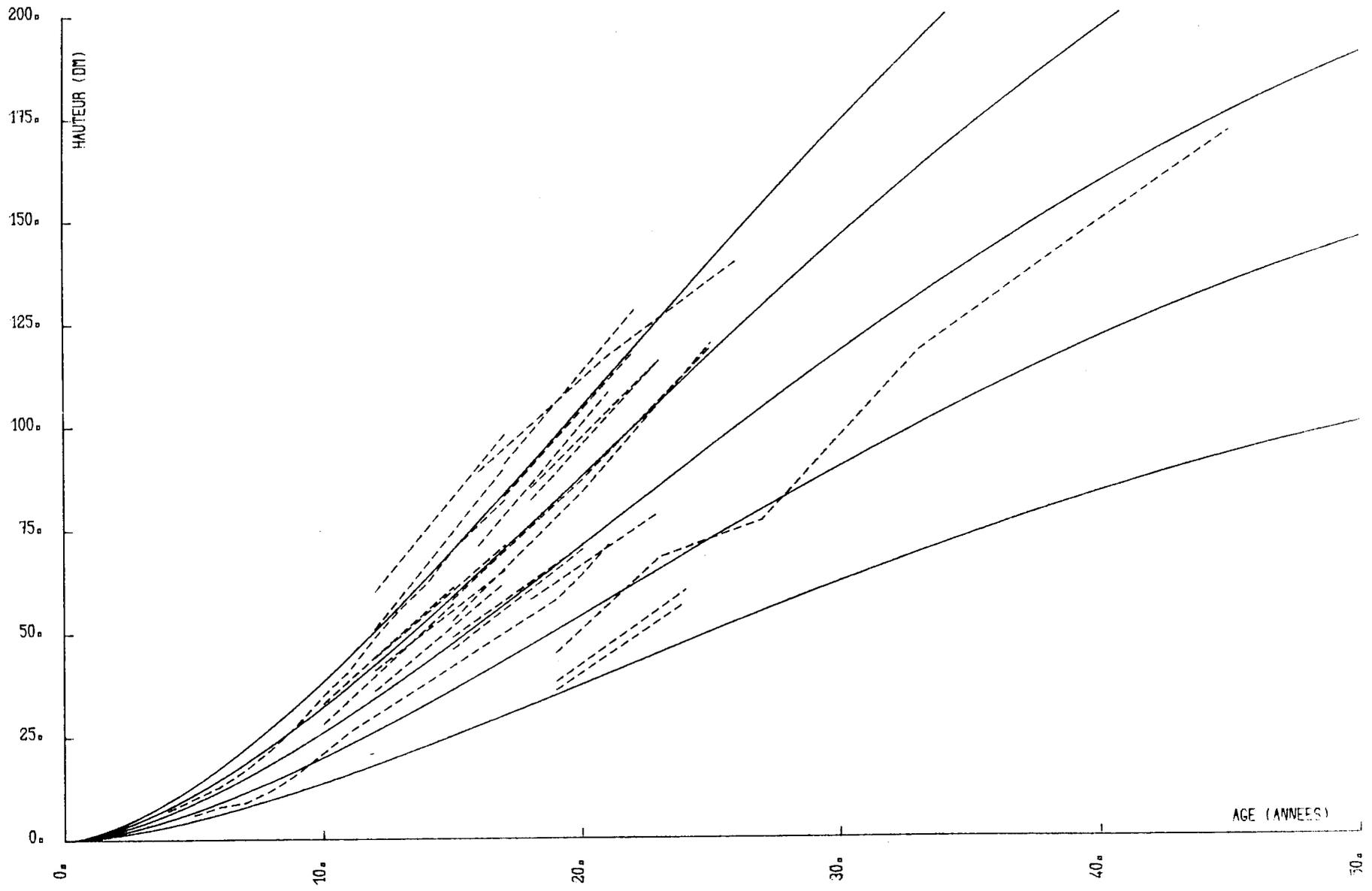


Figure n° 9



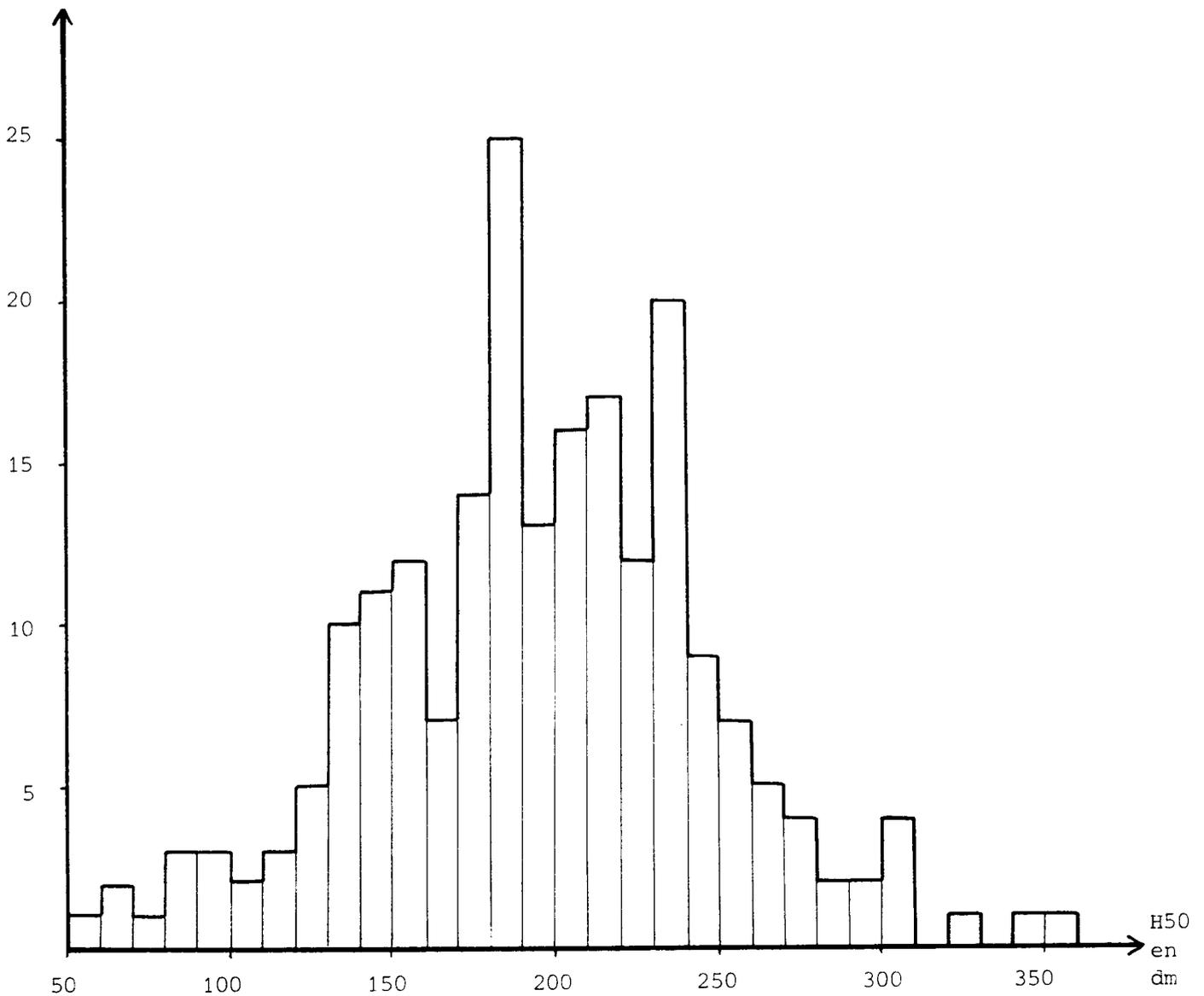
FAISCEAU DE COURBES ET SEGMENTS D'ANALYSE DE TIGES

Figure n° 10

Ce même indice H50 caractérisant à la fois la croissance du peuplement sur la placette (indice de croissance) et la fertilité de cette même placette (indice de fertilité), on peut dès à présent tenter d'expliquer les variations de cet indice de fertilité, ce qui fait l'objet du chapitre suivant.

Nous présentons ci-dessous l'histogramme de répartition des placettes par classe d'indice (amplitude 10 dm).

Nombre de placettes



CHAPITRE 4

ANALYSE DE LA CROISSANCE



Nous venons donc de définir les classes de croissance du pin laricio en région méditerranéenne ; nous allons tenter dans ce présent chapitre de les expliquer par les facteurs écologiques.

Nous étudierons d'abord l'influence de chaque facteur pris isolément, puis nous envisagerons l'ensemble des facteurs ; le traitement des relevés floristiques se fera dans un troisième temps.

1. FACTEURS CONSIDERES ISOLEMENT

1.1. Méthode d'analyse : l'analyse de variance

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

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

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

Le programme calcule le seuil de significativité pour lequel cette hypothèse est vérifiée. L'hypothèse est d'autant meilleure que le seuil est faible, c'est-à-dire que plus le seuil est faible, plus le facteur considéré a d'influence sur la fertilité. Selon l'habitude en calcul statistique, nous considérons qu'une variable a une influence globale si le test F de Fischer nous donne un seuil de significativité inférieur à 5%.

Le programme propose ensuite une comparaison de moyennes des divers états de la variable pris 2 à 2 par l'intermédiaire d'un test T de Student.

Tous ces tests reposent sur 2 hypothèses :

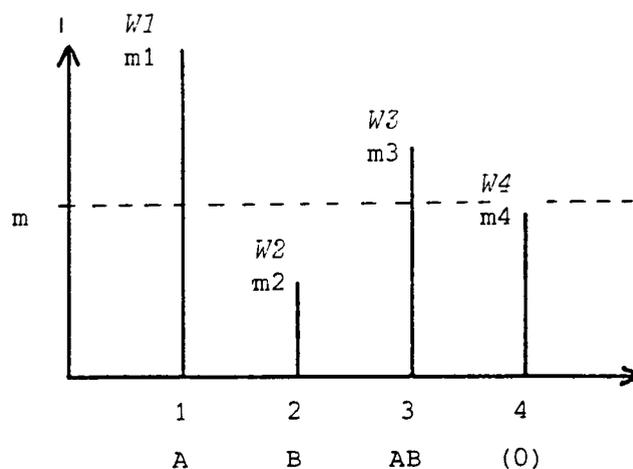
- Pour chaque modalité, les fertilités sont distribuées normalement ;
- les variances de chacune d'elles sont égales.

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

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

- w le nombre de placettes où ladite modalité a été relevée ;
- m la moyenne des indices de croissance (H50 en dm).

Sous chaque modalité, on trouvera une ou plusieurs lettres majuscules. Deux modalités ayant en commun une de ces lettres ont des moyennes non significativement différentes au seuil de probabilité de 5 %. Si l'effectif d'une modalité est trop faible (≤ 5) pour pouvoir réaliser un test significatif, on note (0). Sur chaque schéma, la moyenne générale des indices des 212 placettes (195 dm) est matérialisée (m) par des pointillés.



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

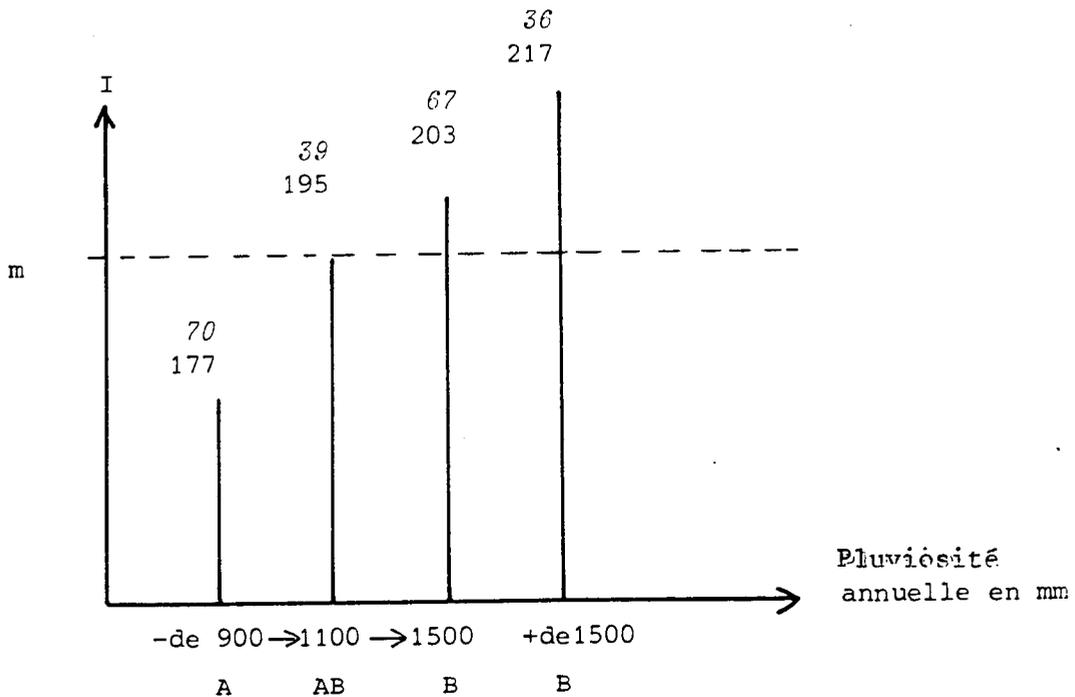
La modalité 3 a une moyenne m_3 , qui ne diffère significativement d'aucune des autres moyennes.

1.2. Influence de la variété

Sur les 212 placettes, nous sommes certains (d'après les archives) d'avoir mesuré 73 fois des pins laricio de Corse et 21 fois des pins laricios de Calabre. Les moyennes d'indices donnent (en dm) 197 pour les Corses et 187 pour les Calabrais, mais l'analyse de variance ne montre aucune différence significative : le seuil est de 75 %. Cela tend à justifier notre décision d'avoir confondu les deux variétés en une seule sous-espèce.

1.3. Influence des variables climatiques

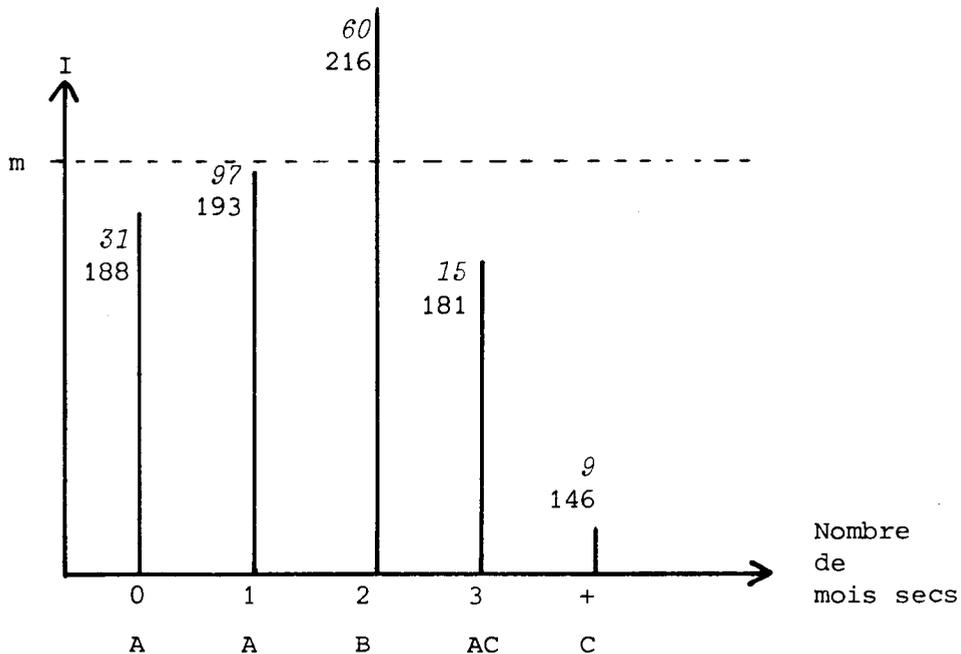
Pluviosité annuelle : $S = 10^{-3}$.



L'influence de ce facteur est évidente : la croissance est d'autant meilleure que la pluviosité est importante.

Nombre de mois secs selon Gaussen : $S = 7.10^{-4}$

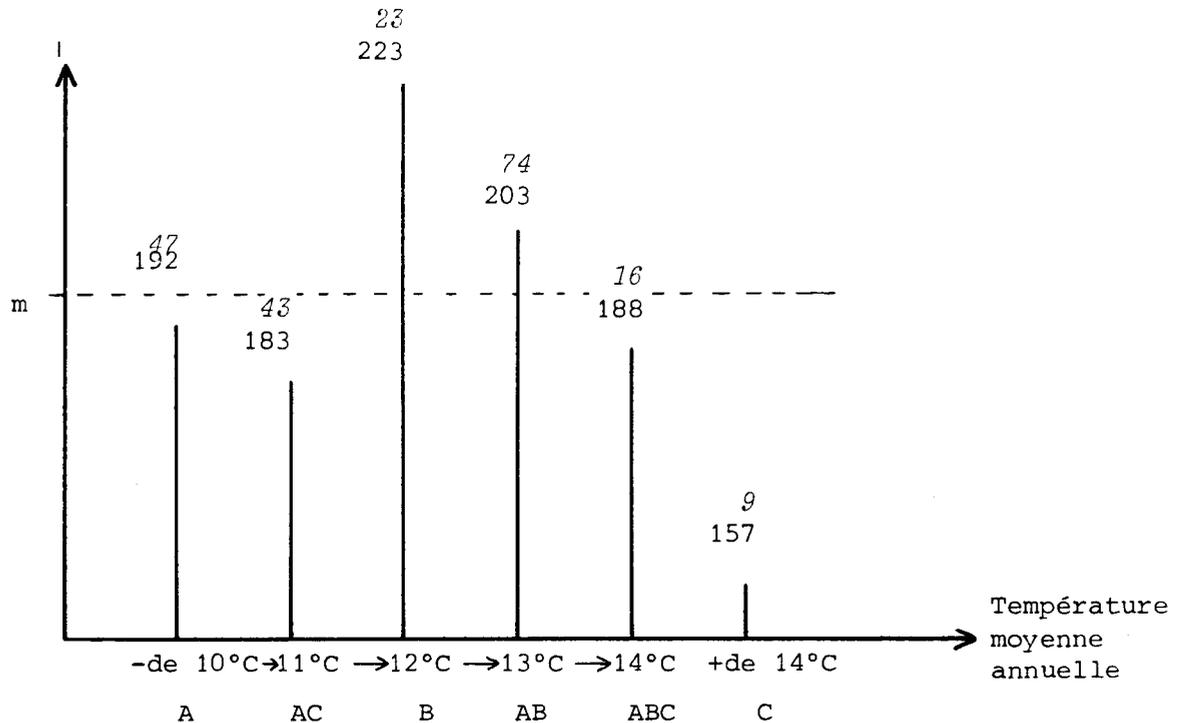
Un mois est dit biologiquement sec selon Gaussen si sa pluviométrie totale en millimètres est inférieure au double de sa température moyenne en degrés centigrades.



La modalité "deux mois biologiquement secs" est la meilleure et est significativement différente au seuil de 5 % des quatre autres. Ce résultat peut paraître en contradiction avec l'influence de la pluviométrie annuelle étudiée ci-dessus ; nous aurions pu en effet nous attendre à ce que la croissance soit d'autant meilleure que le nombre de mois secs est réduit.

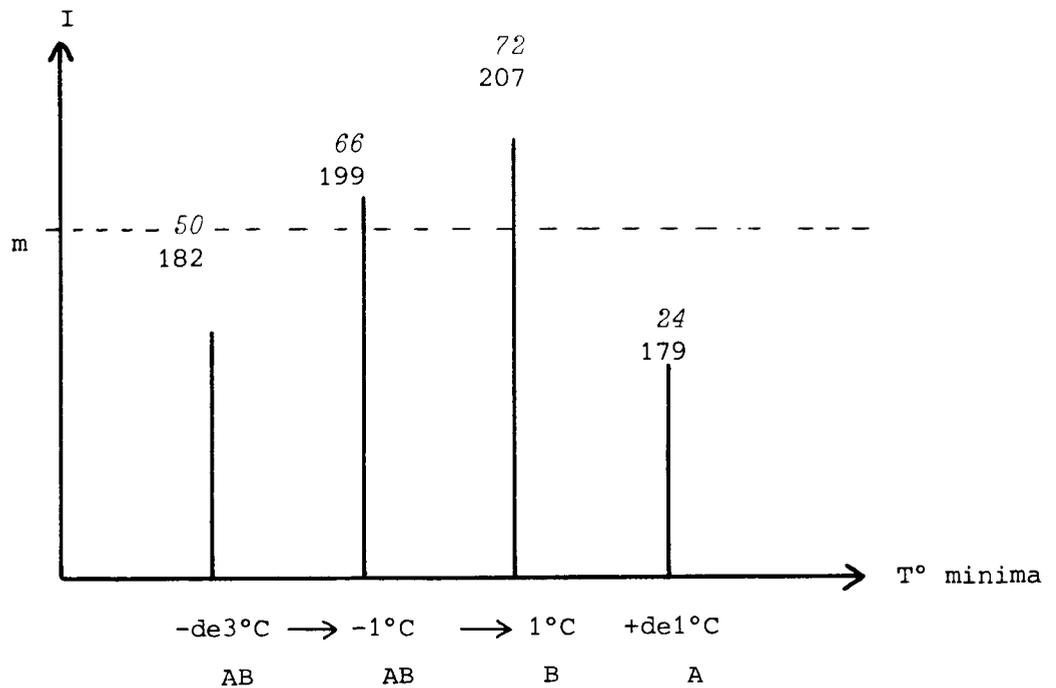
Cela tient peut-être au caractère d'essence encore méditerranéenne du pin laricio dans son aire naturelle, qui présente en moyenne, d'après Debazac, deux mois secs selon Gaussen (données météorologiques de Popaja et Vizzavona).

Température moyenne annuelle : $S = 7,5 \cdot 10^{-3}$



Nous sommes de nouveau en présence d'une variable "à pic", la croissance étant la meilleure pour une température moyenne annuelle de 11 à 12°C. Les moyennes d'indice diminuent rapidement au-delà de 12°C (le climat devient "trop méditerranéen"), ce résultat confirmant d'ailleurs celui du nombre de mois biologiquement secs.

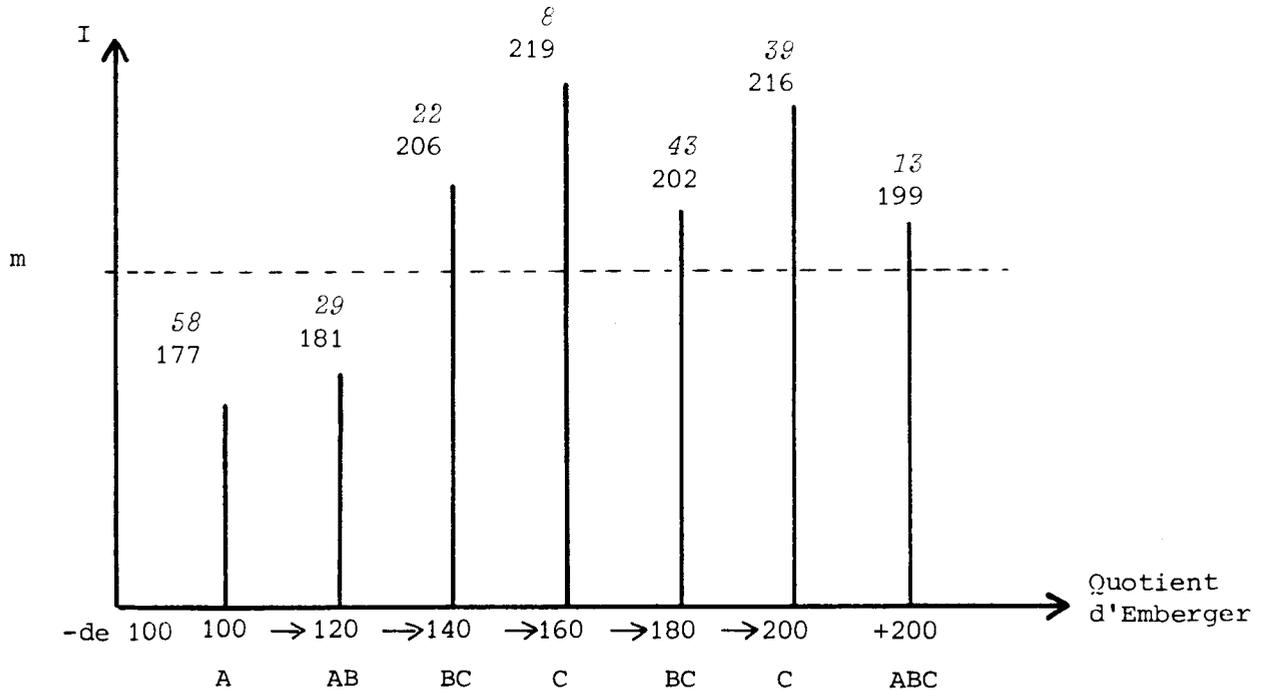
Température moyenne des minima du mois le plus froid : $S = 2,67 \cdot 10^{-2}$



Cette variable présente également un optimum pour la croissance, entre les valeurs -1°C et $+1^{\circ}\text{C}$: on rejoint encore cette notion de conditions climatiques optimales.

Quotient pluviothermique d'Emberger : $S = 3,8 \cdot 10^{-3}$

Le quotient d'Emberger utilisé est en fait celui modifié par Sauvage : $Q = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$ où P est la pluviométrie annuelle exprimée en millimètres, M la moyenne des maxima du mois le plus chaud et m la moyenne des minima du mois le plus froid, températures exprimées en *Kelvins*.

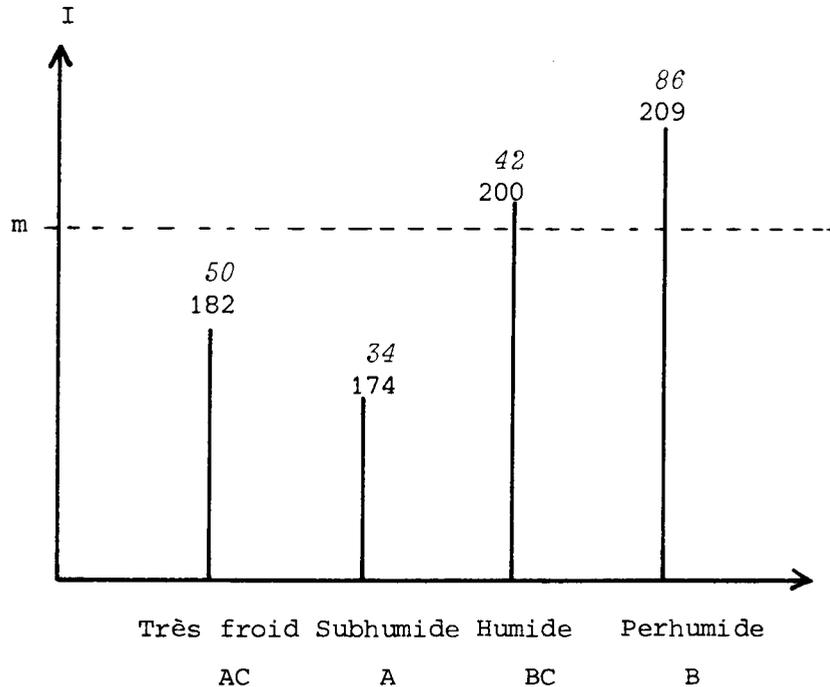


On constate que la croissance est moins bonne pour les valeurs de Q inférieures à 120, cette infériorité étant encore plus significative pour Q inférieur à 100. Cette valeur correspond approximativement sur le climagramme d'Emberger à la borne supérieure du bioclimat subhumide : la croissance serait donc nettement moins bonne en bioclimat subhumide qu'en bioclimat humide. Ce résultat demande à être confirmé ; pour cela, il nous faut situer approximativement nos placettes sur le climagramme d'Emberger. La méthode est la suivante : tout d'abord, nous isolons toutes les placettes qui présentent une moyenne des minima du mois le plus froid inférieure à -3°C dans une catégorie "bioclimats très froids".

Ensuite, le découpage se fait sur les valeurs du quotient d'Emberger. Nous considérons qu'entre -3°C et $+3^{\circ}\text{C}$, les courbes qui délimitent les variantes pluviométriques des bioclimats (subhumide, humide et perhumide) sont des droites horizontales ; d'où le découpage pour les valeurs de T mini comprises entre -3°C et $+3^{\circ}\text{C}$, en sachant que pour 97% de nos placettes T mini est inférieure à $+3^{\circ}\text{C}$: Q inférieur à 100, bioclimat subhumide, Q compris entre 100 et 150, bioclimat humide et Q supérieur à 150, bioclimat perhumide. Le climagramme d'Emberger se trouve représenté en annexe 3.

Nous introduisons alors une nouvelle variable climatique :

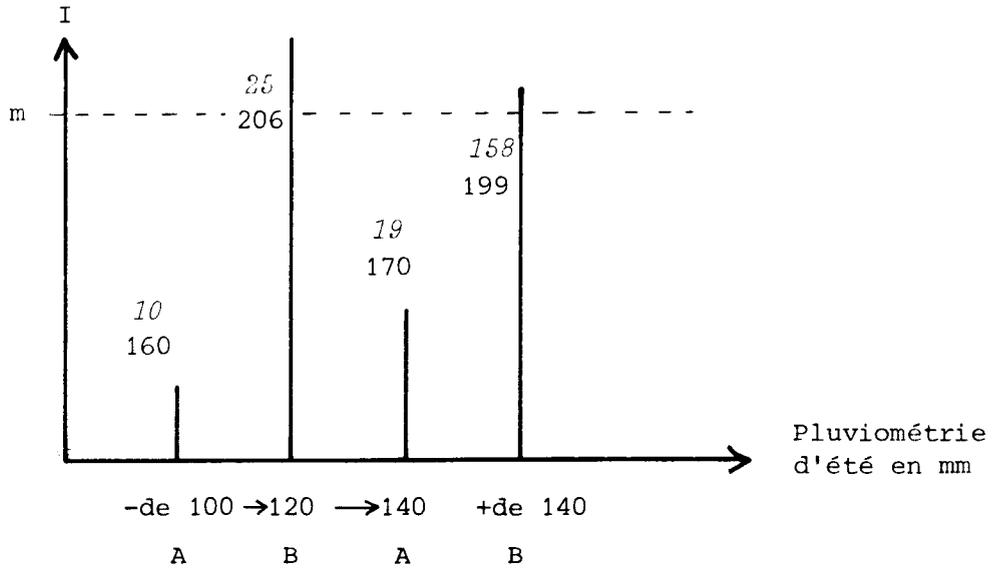
Bioclimats d'Emberger : $S = 1,3 \cdot 10^{-3}$



Notons tout de même que la variante "très froid" isole pratiquement toutes les placettes des Alpes : sur les 50 qui entrent dans cette variante, 4 seulement sont situées en Languedoc, dans l'Hérault en limite avec le Tarn. La croissance devient meilleure en passant du subhumide à l'humide, puis au perhumide : ce résultat confirme celui de la pluviométrie annuelle. Entre -3°C et $+3^{\circ}\text{C}$ la température n'intervient pas a priori mais il faut savoir que dans la grosse majorité des cas, l'étage subhumide correspond aux variantes thermiques les plus chaudes (proches de $+3^{\circ}\text{C}$) et l'étage perhumide aux variantes les plus froides (proches de -3°C).

Autres variables climatiques :

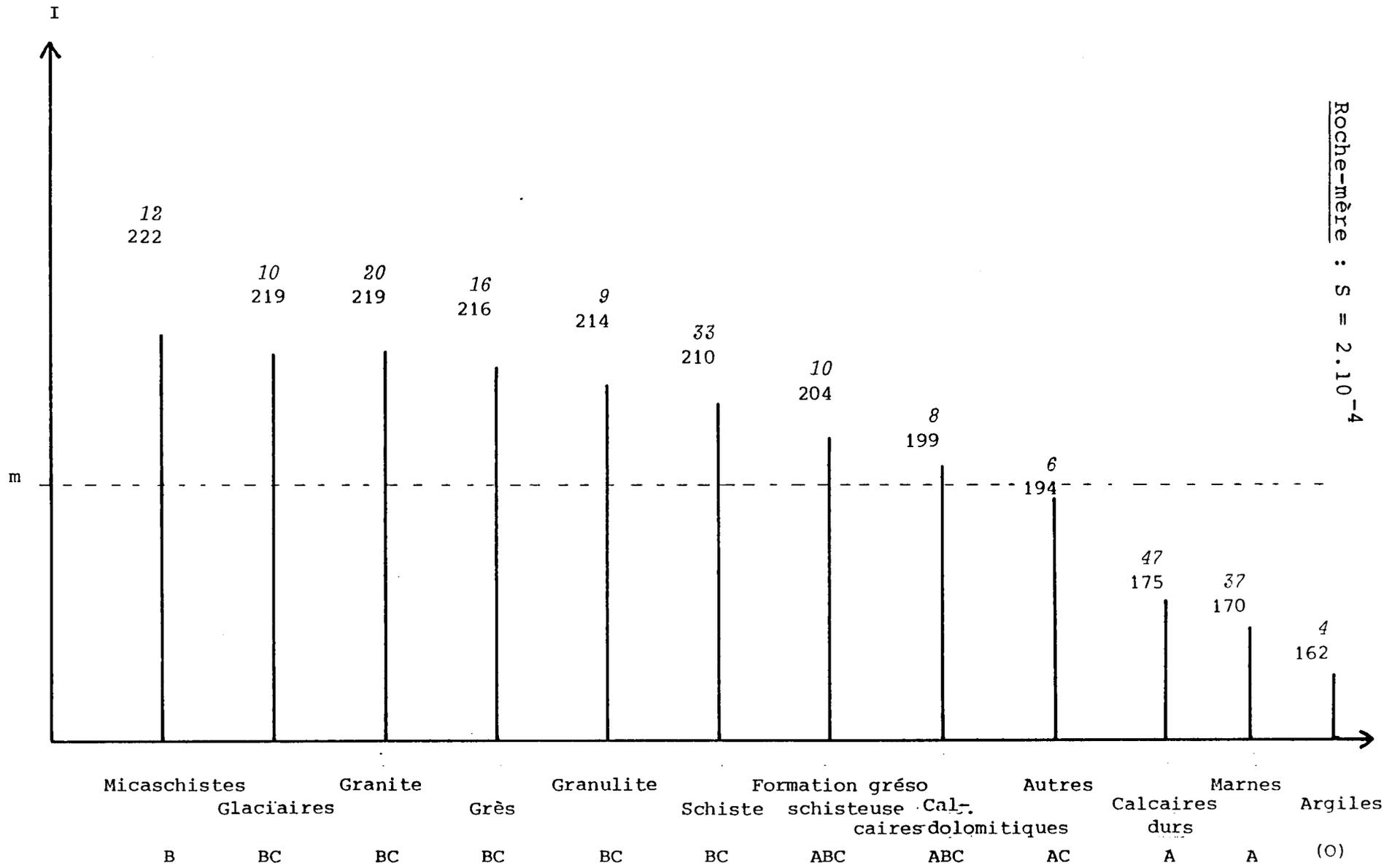
La pluviométrie du trimestre d'été a une influence globale ($S=1,22 \cdot 10^{-2}$) mais paraît difficilement interprétable : peut-être est-ce dû au fait qu'une grande partie des précipitations estivales tombe sous forme d'orage en montagne méditerranéenne, donc n'est guère utilisable par les végétaux.



De même, la température moyenne des maxima du mois le plus chaud n'a pas d'influence précise : on constate un léger pic entre 26 et 28°C, ce qui paraît favoriser les climats tempérés, mais l'analyse de variance ne donne rien de significatif au seuil de 5 %.

Conclusion : synthèse climatique

Au vu des résultats des reboisements de la région méditerranéenne française, il apparaît que le pin laricio s'accommode le mieux d'un climat méditerranéen "tempéré", à sécheresse estivale de deux mois et à température moyenne annuelle de 11°C à 12°C. La fameuse maxime "plus il pleut, plus il pousse" est vérifiée en ce qui concerne les précipitations annuelles totales. Le pin laricio ne craint pas les températures basses en hiver : cela confirme son caractère d'essence limite de l'étage montagnard. Il reste le plus à son aise dans les bioclimats humide et perhumide d'Emberger.



Roche-mère : $S = 2.10^{-4}$

1.4. Influence des variables édaphiques :

Un fait est gênant : l'introduction d'une catégorie "divers" qui regroupe des roches de natures très différentes représentées une ou deux fois : conglomérat calcaire, grès calcaire, poudingue, alluvion, marbre, par exemple.

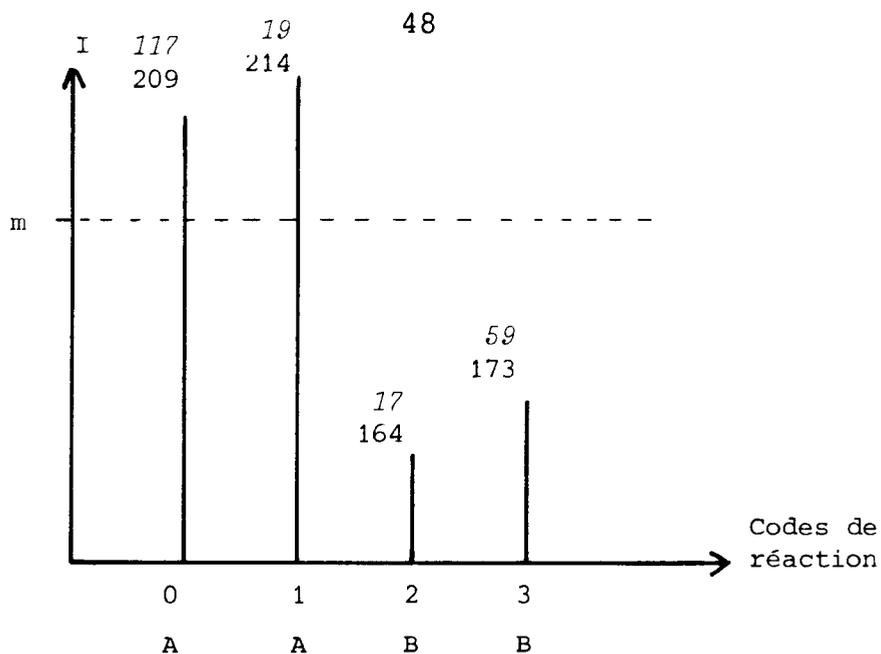
Les calcaires en plaquettes, très peu nombreux, ont été confondus avec les calcaires durs car leurs moyennes d'indice étaient très semblables. De même, pour les calcaires marneux et les marnes. Nous constatons donc que les catégories de roches qui sont en dessous de la moyenne sont au nombre de trois : les calcaires durs, les marnes et les argiles (sous-échantillonnées).

Les calcaires dolomitiques sont meilleurs, et toutes les roches acides conviennent bien : c'est en accord avec l'écologie du pin laricio dans son aire naturelle en Corse et en Calabre, et cela confirme les théories des reboiseurs français, à savoir que le pin laricio "craint le calcaire" ; ce qui ne veut pas dire pour autant qu'il n'y pousse pas.

On peut, à ce sujet, s'étonner tout en s'en réjouissant pour cette étude que le laricio ait tant été introduit sur calcaire ou marne : 92 placettes sur 212, c'est beaucoup, et cela confirme que nous avons bien fait de travailler sur les deux régions ; en effet, sur ces 92 placettes, 60 ont été implantées en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Nous ne pouvions donc pas travailler qu'en Provence-Alpes, et inversement en ne travaillant qu'en Languedoc-Roussillon, nous sous-échantillonnions fortement les roches-mères calcaires ou marneuses en les cantonnant à des régions bien restreintes : quelques placettes dans les garrigues du Gard et tout le reste dans la région de Lodève dans l'Hérault.

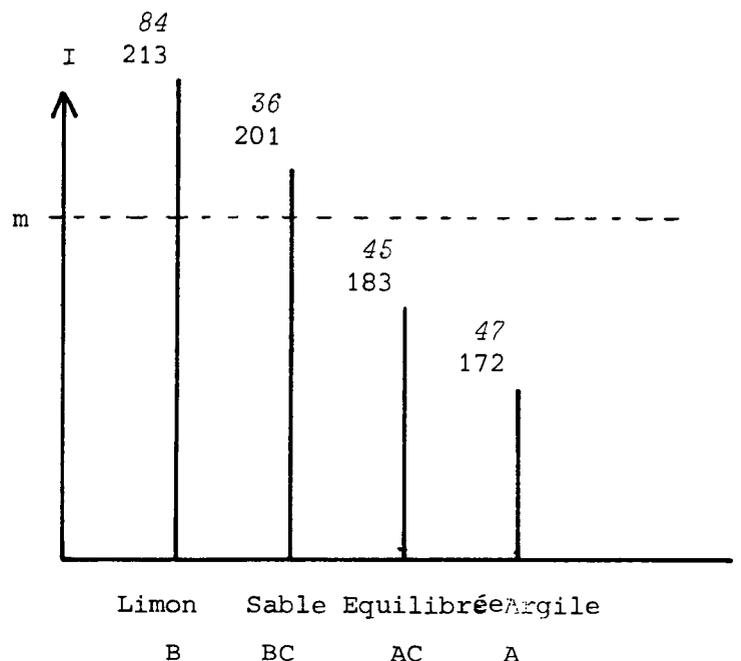
Réaction HCl terre fine à -20 cm : $S = 10^{-5}$

Elle a été codée sur le terrain en quatre codes :
 Code 0 : invisible inaudible ; code 2 : visible faible
 code 1 : invisible audible code 3 : visible forte



La coupure est nette entre les codes 0,1 d'une part et 2,3 d'autre part, c'est-à-dire entre une réaction invisible et une réaction visible : dans ce dernier cas, la croissance est très inférieure. Ce résultat précise le précédent concernant la roche-mère : le pin laricio supporte le calcaire actif dans le sol en petite quantité. En cumulant les effectifs des modalités de code 1, 2 et 3, on trouve 95 placettes, soit le même nombre à peu près que celui de placettes situées sur roche-mère calcaire ou marneuse. Sur ces 95, les 19 de modalité de code 1 présentent une forte croissance : nous pouvons donc penser que le pin laricio peut pousser très bien sur roche-mère calcaire à condition que le sol ne contienne pas trop de calcaire actif, insuffisamment en tout cas pour provoquer une réaction à l'HCl visible.

Texture : $S = 10^{-5}$



Ce facteur apparaît comme étant lui aussi très important. La texture argileuse est significativement inférieure aux textures limoneuse et sableuse, la texture "équilibrée" apparaissant comme intermédiaire. Le pin laricio paraît ne pas aimer l'argile.

Nous pouvons de nouveau effectuer des rapprochements avec les deux premiers résultats ci-dessus ; le nombre des placettes de modalité équilibrée ou argileuse est sensiblement le même que celui des placettes sur roche-mère calcaire ou marneuse et celui des placettes à réaction HCl existante ; nous pouvons penser qu'il s'agit en gros des mêmes placettes. Pour le préciser, nous avons dressé un tableau croisé :
(L'indice moyen Im est en dm)

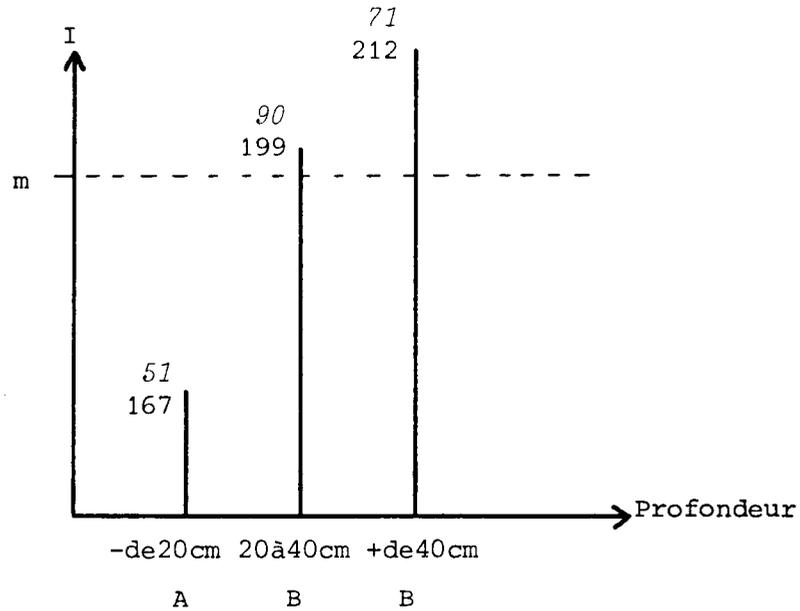
	Code 0 ou absence de réaction	Codes, 1, 2 et 3 ou présence de réaction
Argile	Im = 189 ; n=8 soit 7 %	Im = 169 ; n=39 soit 41 %
Équilibrée	Im = 206 ; n=10 soit 9 %	Im = 176 ; n=35 soit 37 %
Sable	Im = 207 ; n=28 soit 24 %	Im = 182 ; n=8 soit 8 %
Limon	Im = 212 ; n=71 soit 61 % $\Sigma = 100 \%$	Im = 218 ; n=13 soit 14 % $\Sigma = 100 \%$

Nous voyons donc que 85 % des placettes caractérisées par l'absence de réaction à HCl sont de texture sableuse ou limoneuse, et que 78 % de celles qui présentent une réaction sont de texture argileuse ou équilibrée : les trois variables texture, réaction à HCl et roche-mère contenant ou non du calcaire paraissent très dépendantes les unes des autres.

Sont figurés en annexe les tableaux croisés entre la roche-mère et la texture d'une part, et la réaction à l'HCl d'autre part.

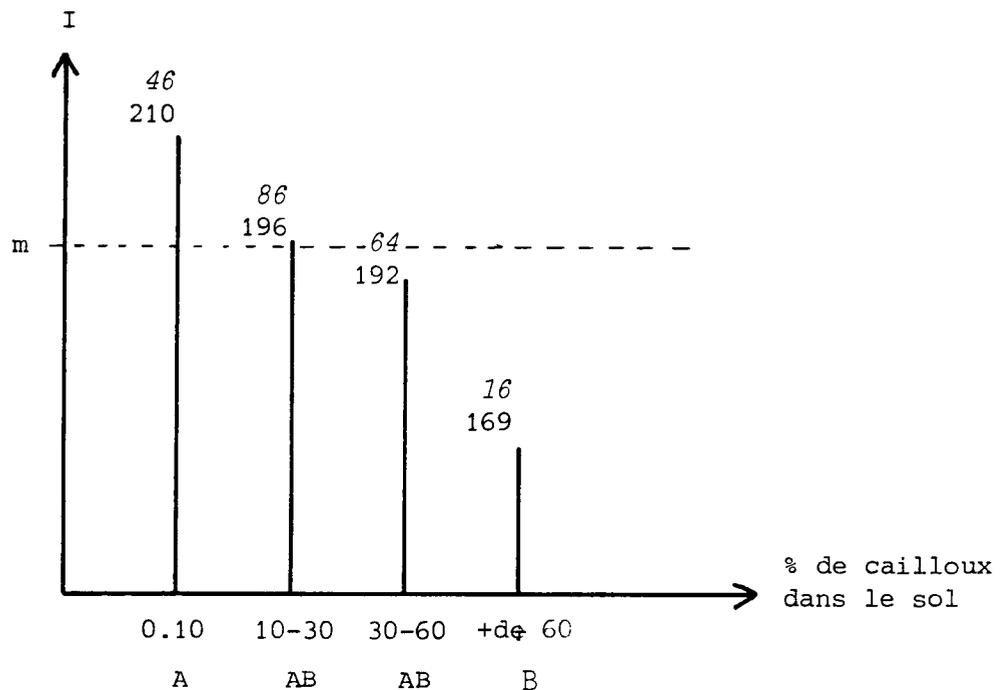
Profondeur du sol : $S = 10^{-5}$

Nous rappelons qu'il s'agit en fait d'une profondeur moyenne de cinq sondages à la tarière hélicoïdale de 3cm de diamètre ("test profondeur").



La croissance est donc d'autant meilleure que le sol est profond mais seule la modalité -de 20 cm est significativement différente des autres. Cela nous permet d'affirmer que le laricio pousse moins bien sur les sols trop superficiels, ainsi que la majorité des essences forestières d'ailleurs.

Pourcentage de cailloux dans le sol : $S = 5. 10^{-2}$

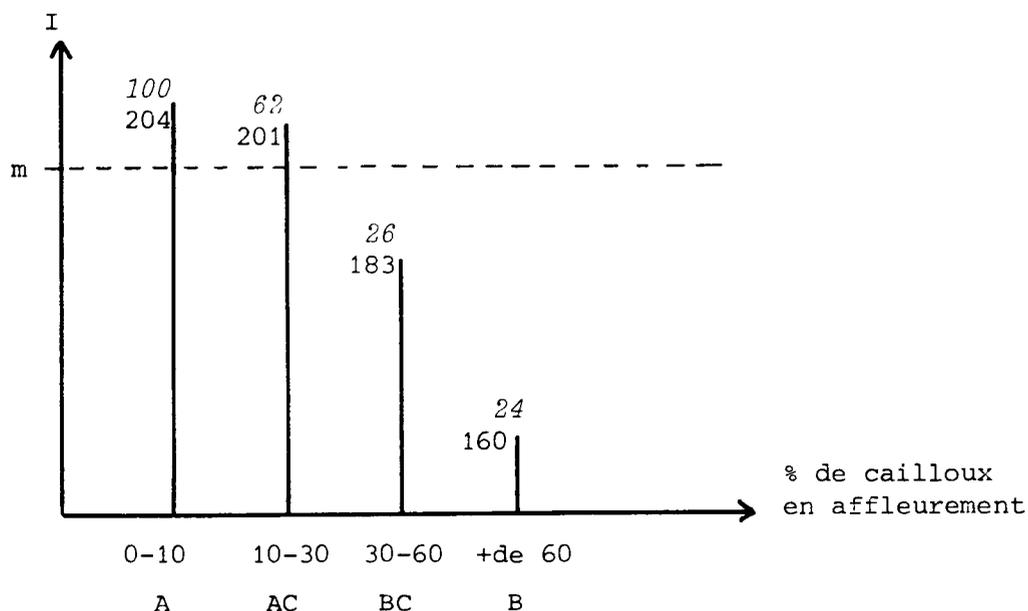


Ce facteur est évidemment lié au précédent : plus il y a de cailloux dans le sol, plus la tarière a de chances d'en rencontrer un et donc de buter.

La croissance apparaît donc comme d'autant meilleure que le pourcentage de cailloux dans le sol est réduit. Seules les deux modalités extrêmes sont significativement différentes.

C'est presque une évidence ; en effet, un fort pourcentage de cailloux réduit le pourcentage de terre fine donc de substances nutritives, et favorise l'écoulement de l'eau en profondeur hors de portée du système racinaire.

Pourcentage de cailloux en affleurement : $S = 8.10^{-4}$



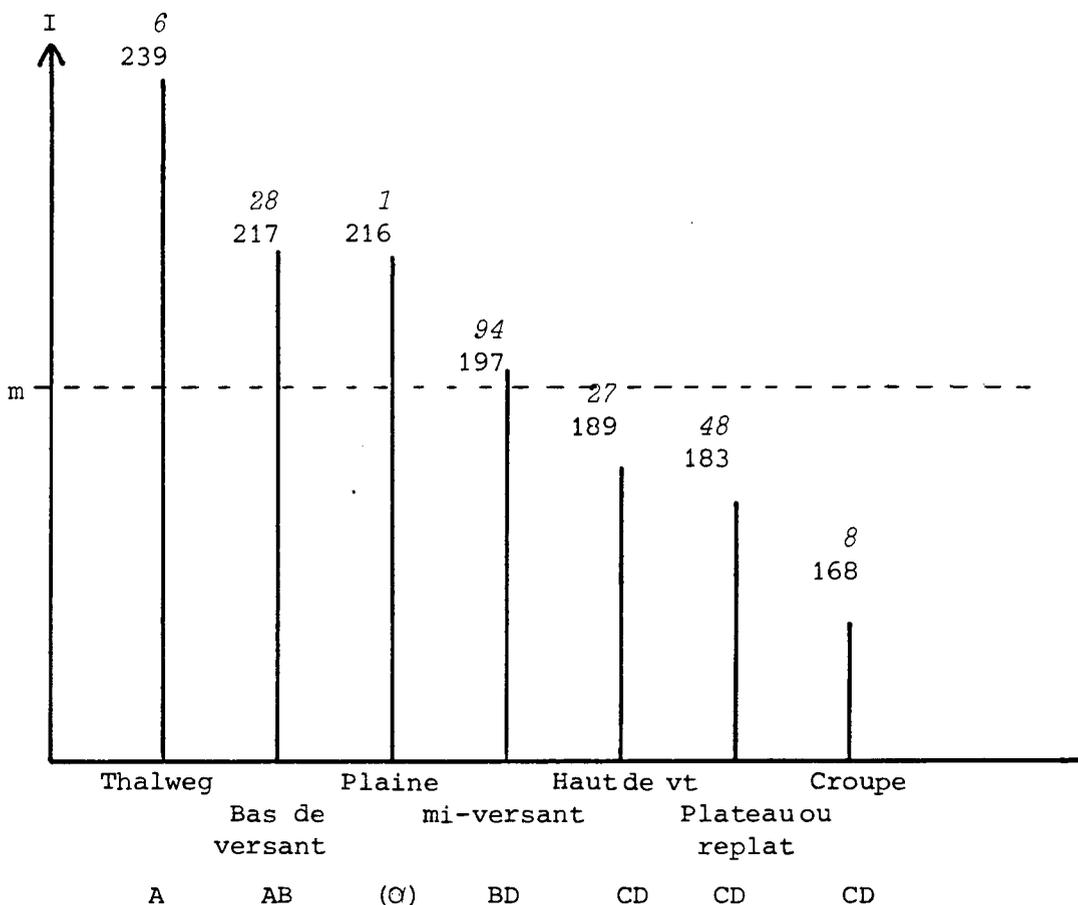
Ce facteur physique est de nouveau très lié au précédent, surtout lorsqu'il y a eu travail du sol dans les jeunes plantations, ce qui a pour effet de remonter des cailloux en surface. La fertilité apparaît donc comme inversement proportionnelle au pourcentage de cailloux en affleurement, les deux premières modalités étant pratiquement confondables.

Conclusion : synthèse édaphique

Le pin laricio se comporte le mieux sur les roches-mères acides ; il supporte les roches-mères calcaires ou marno-calcaires s'il n'y a pas trop de calcaire actif dans le sol (réaction HCl non visible). Il craint les sols vraiment trop superficiels et trop caillouteux, et la texture trop argileuse souvent liée d'ailleurs à une roche-mère calcaire et une réaction à l'HCl visible (présence de calcaire actif).

1.5. Influence des variables stationnelles

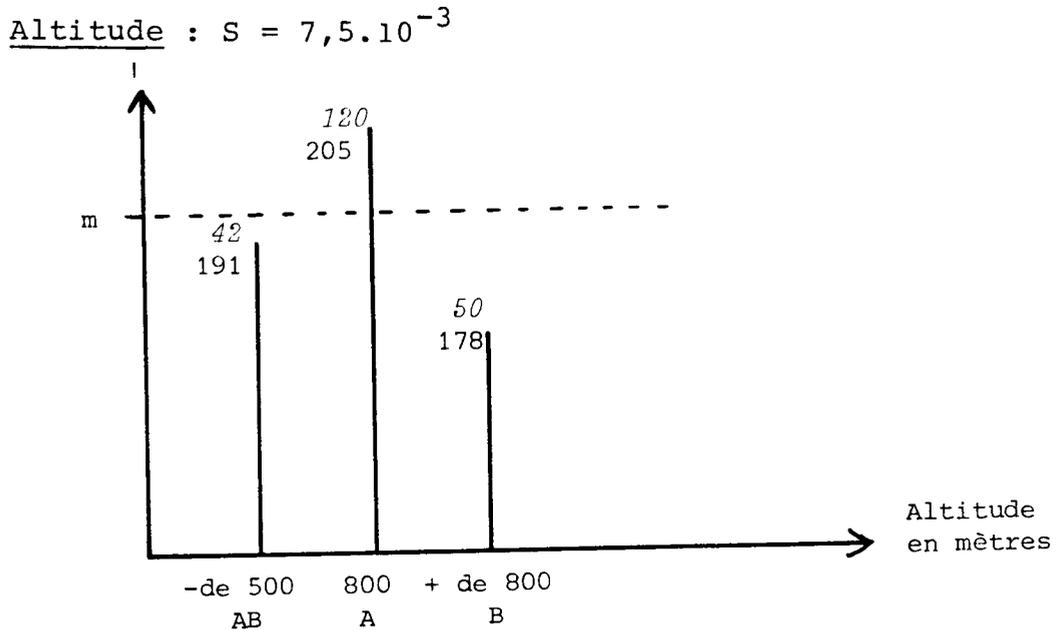
Topographie : $S = 2,77 \cdot 10^{-2}$



Le tableau isole les deux "positions basses", à savoir thalweg et bas de versant qui présentent les fertilités les meilleures. Puis on passe au mi-versant, significativement différent de thal-

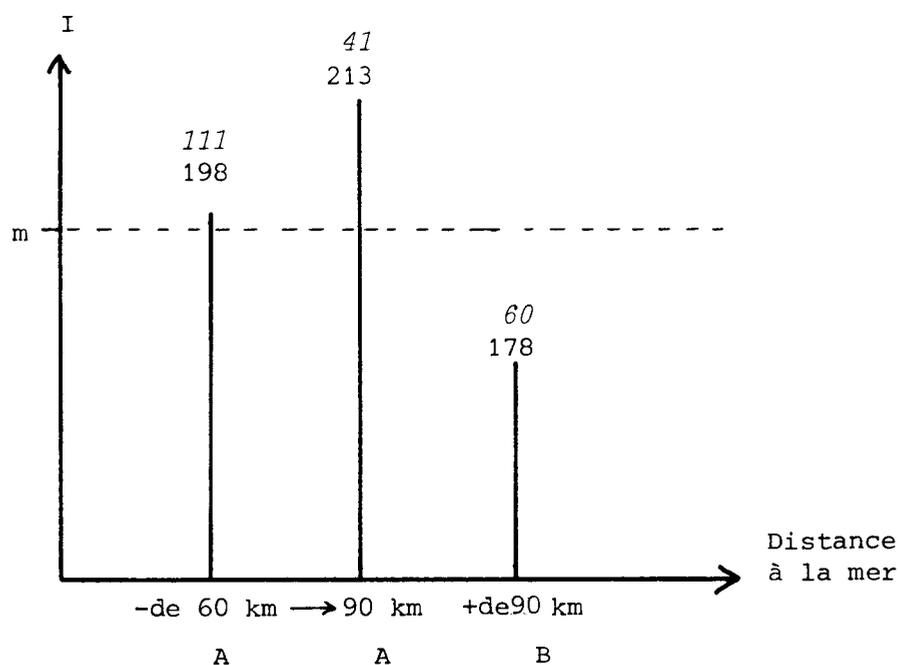
weg mais non de bas de versant, puis au haut de versant, significativement différent des deux.

Nous pouvons donc dire que la fertilité croît régulièrement en partant d'un fond de vallon et en remontant à flanc de versant.



C'est une variable "à pic" entre 500 et 800 m. La modalité +de 800 m est la plus mauvaise. C'est un peu surprenant puisqu'on sait que la fertilité croît avec la pluviométrie annuelle ; en principe, comme la pluviométrie augmente avec l'altitude, nous aurions pu nous attendre à ce que la relation soit transitive, donc à ce que la fertilité croisse également avec l'altitude. Mais ce principe liant la pluviométrie à l'altitude se trouve ici faussé par notre échantillonnage : en effet, à même altitude, au-dessus de 500 m, la pluviosité annuelle apparaît beaucoup plus importante en Languedoc qu'en Provence. Ainsi, la majorité des placettes situées à plus de 800 mètres se trouve dans les Hautes-Alpes, où la pluviosité annuelle enregistrée n'est jamais très importante : 1266 mm au maximum à St Julien en Bochaine. Par contre, elles correspondent aux stations les plus froides, ce qui explique la faible moyenne d'indices de la modalité. En Languedoc, le pic entre 500 et 800 m pourrait correspondre à l'atténuation du climat méditerranéen par l'altitude, pour arriver aux conditions climatiques optimales définies auparavant.

Distance au littoral : $S = 3,3.10^{-3}$



Cette variable confirme la précédente dans son influence. On retrouve le pic entre 60 et 90 km, et surtout la modalité la plus éloignée de la mer, qui correspond en gros à la modalité d'altitude la plus élevée, reste la plus mauvaise.

Autres variables stationnelles

Fait assez surprenant, la pente qui varie pourtant de 0 à 90 % n'a aucune influence. Il en est de même pour l'exposition, tant celle de la station elle-même que celle générale du versant où elle est située.

Autres résultats

Nous n'avons trouvé aucune relation entre la fructification et la fertilité d'une part, et la régénération et la fertilité d'autre part.

De même, nous n'avons pas pu dégager l'influence des variables de type technique de plantation au sens large sur la croissance des jeunes peuplements (moins de vingt ans). Les

relevés n'ont pas été suffisamment nombreux et précis pour permettre des calculs statistiques valables, en effectuant des croisements intéressants comme par exemple travail du sol avec nature de la roche-mère.

2. INFLUENCE DES FACTEURS DU MILIEU PRIS DANS LEUR ENSEMBLE

2.1. L'analyse factorielle des correspondances

Cette méthode permet de mettre en rapport des variables explicatives d'une part et des variables à expliquer d'autre part. Dans notre cas, les variables explicatives sont les variables du milieu prises dans leur ensemble ; on projette "par dessus" l'unique variable à expliquer qui est la fertilité représentée par les six centres de gravité des six classes de croissance définies auparavant. Les variables du milieu sont elles aussi représentées par la projection des centres de gravité de classes, d'où la nécessité de diviser en classes toutes les variables ; certaines le sont déjà, comme la réaction HCl ou la texture, mais nous devons le faire pour toutes les variables climatiques. Le détail du découpage en classes est donné en annexe.

Le pourcentage d'explication des trois premiers axes est bon et se divise comme suit :

Axe 1 : 31,4 % ; pourcentage cumulé, 31,4 %

Axe 2 : 27,3 % ; pourcentage cumulé 58,7 %

Axe 3 : 15,5 % ; pourcentage cumulé : 74,2 %

Le quatrième axe apporte encore 9,2 % et porte à 83,6 % le pourcentage cumulé.

Nous présentons sous forme de tableau les variables qui sont les plus explicatives des trois premiers axes, c'est-à-dire celles qui les "étirent" le plus. Ces variables sont classées en ordre croissant, du pôle négatif au pôle positif (du bas vers le haut sur le tableau) en fonction de leur contribution absolue à l'axe considéré. Sont représentées fig. 11 et 12 respectivement les projections dans les plans factoriels 1-2 et 1-3.

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
POLE +	<p>. Roche-mère "glaciaire"</p> <p>. Bioclimats variante "très froid".</p> <p>. T° mini < -3°C.</p> <p>. Distance à la mer la plus grande : +de 90 km</p> <p>. Roche-mère marne ou calcaire marneux.</p> <p>. Réaction HCl très forte.</p> <p>. Altitude la plus élevée : + de 800 m.</p> <p>. Texture argileuse.</p> <p>. T° moyenne annuelle la plus basse : -de 11°C</p>	<p>. Nombre de mois secs le plus élevé : +de 3</p> <p>. Bioclimat subhumide.</p> <p>. Pluviosité estivale la plus faible : <100mm.</p> <p>. Altitude la plus faible : - de 500 m</p> <p>. Pluviométrie annuelle la plus faible : - de 900 mm.</p> <p>. Roche-mère calcaire dur ou en plaquettes.</p> <p>. Réaction HCl nette.</p>	<p>. T° moyenne annuelle 11 à 12°C</p> <p>. Nombre de mois secs = 2</p> <p>. Bioclimat humide.</p> <p>. T° mini moyenne : -1 à +1°C.</p> <p>. Pourcentage de cailloux dans le sol le plus faible : -de 10 %.</p> <p>. Pourcentage de cailloux en affleurement le plus faible : -de 10 %.</p> <p>. Profondeur du sol la plus forte : + de 60 cm.</p> <p>. Profondeur du sol moyenne-forte : de 40 à 60 cm.</p>
	0	0	0
POLE -	<p>. Texture limoneuse.</p> <p>. Réaction HCl nulle.</p> <p>. Pluviosité annuelle de 1100 à 1500 mm.</p> <p>. Bioclimat perhumide.</p>	<p>. Nombre de mois secs le plus faible : 0 ou 1</p> <p>. Pluviosité estivale la plus forte : + de 140 mm.</p>	<p>. Pourcentage de cailloux dans le sol moyen-fort : 30 à 60 %.</p> <p>. Profondeur du sol la plus faible : - de 20 cm.</p> <p>. Pourcentage d'affleurement de la roche-mère le plus fort : 10 à 30 %.</p> <p>. Pourcentage de cailloux dans le sol le plus fort : 60 à 100 %.</p> <p>. Pourcentage de cailloux en affleurement le plus fort : 60 à 100 %.</p> <p>. Roche-mère gres-schisteuse.</p> <p>. T° moyenne annuelle la plus forte : + de 14°C.</p>

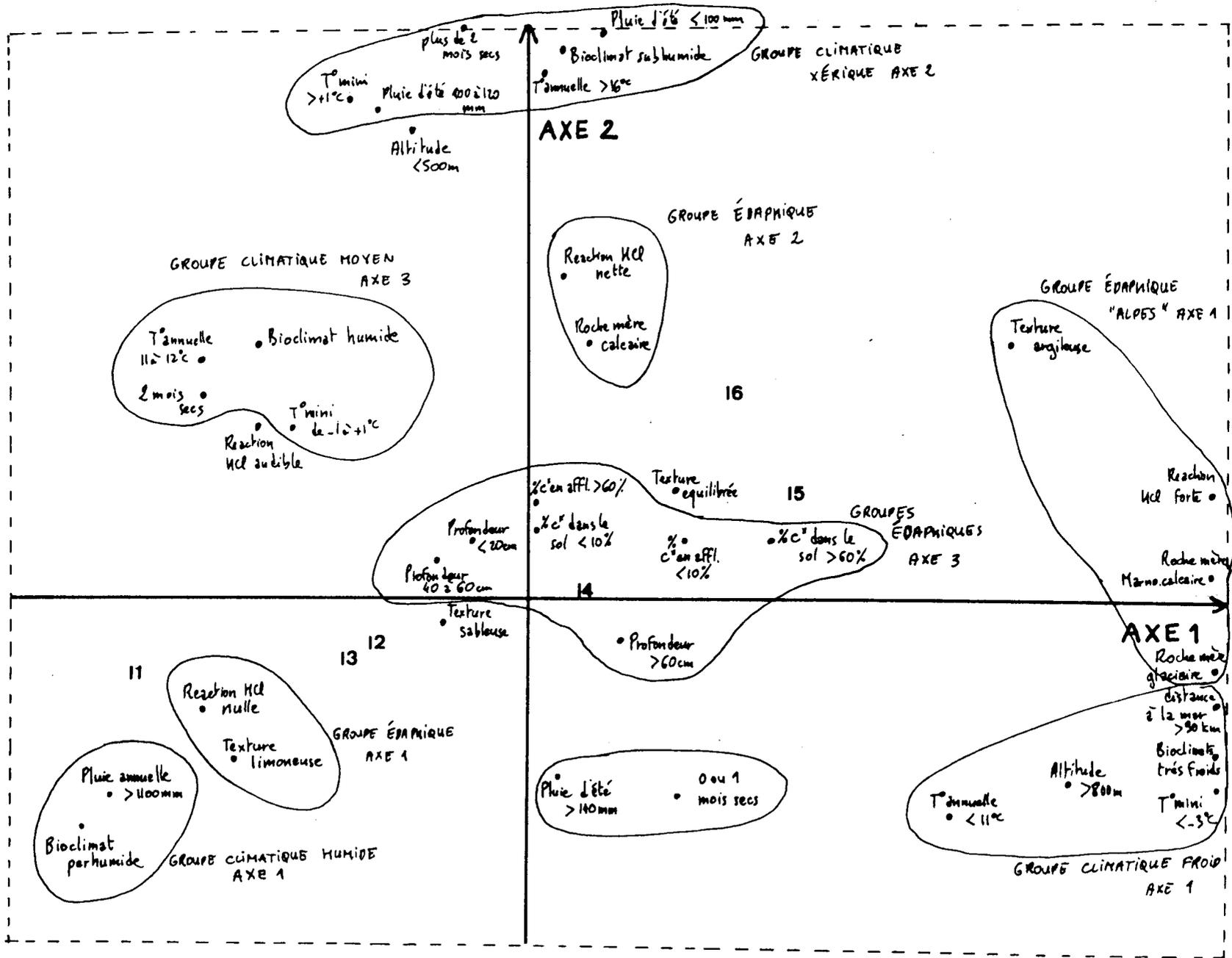


Figure n° 11
PLAN FACTORIEL 1 - 2

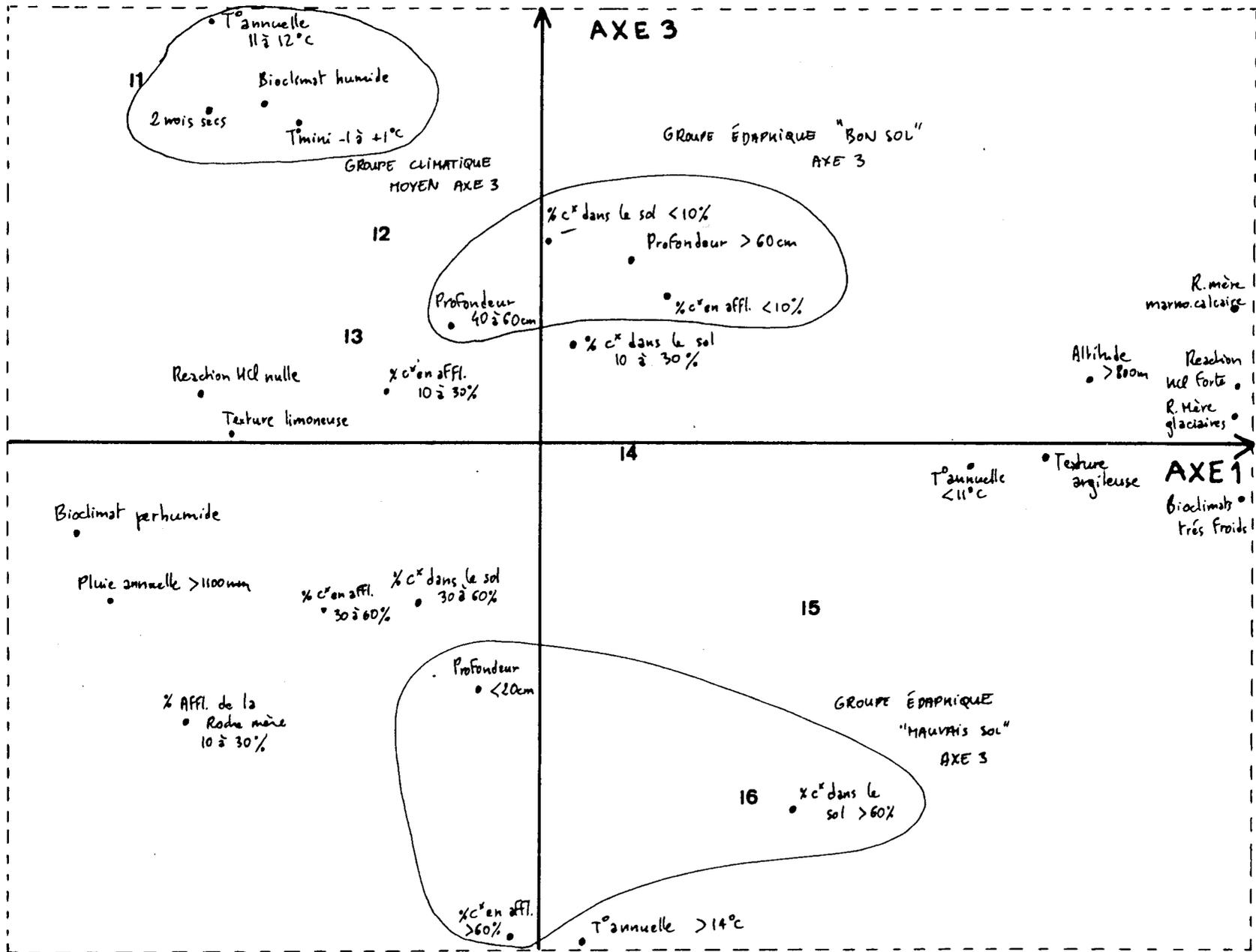


Figure n° 12
PLAN FACTORIEL 1 - 3

Analyse des axes : La méthode consiste à isoler selon chacun des axes des groupes de variables apparentées. Nous pouvons ainsi sur les trois axes isoler des groupes de variables soit édaphiques, soit climatiques ; les variables stationnelles n'apparaissent que trois fois sous la forme des "distance à la mer", et "altitude" extrêmes. N'apparaissent jamais ni les expositions de station et de versant, ni la topographie. En ce qui concerne l'exposition, cela ne constitue pas une surprise, puisque déjà l'analyse de variance n'a rien donné. Pour la topographie, un examen plus approfondi des contributions absolues montre qu'il nous faudrait aller jusqu'aux 4ème, 5ème, voire 6ème axes pour trouver les valeurs les plus fortes.

Axe 1 : C'est le type même de l'axe mixte, puisqu'il oppose deux groupes climatiques d'une part et deux groupes édaphiques d'autre part. En fait, les groupes sont très liés sur chaque pôle ; au pôle positif, au point de vue édaphique, nous trouvons : roches d'origine glaciaire, roches marno-calcaires, réaction HCl forte et texture argileuse. C'est un groupe typiquement alpin, très lié à son groupe climatique composé de la température moyenne annuelle et la moyenne des minima les plus basses, donc des bioclimats de variante "très froid". Ces deux groupes sont de plus confirmés dans leur caractère "alpin" par la distance à la mer et l'altitude les plus importantes.

Le pôle négatif nous permet toutefois de qualifier l'axe d'édaphique, puisqu'il est caractérisé entre tout par la réaction HCl nulle, lié à la texture limoneuse : nous nous trouvons donc dans les hautes parties du Languedoc (Cévennes schisteuses, Montagne Noire, Corbières occidentales) d'où le groupe climatique caractérisé par le bioclimat perhumide et une pluviométrie annuelle élevée. L'axe 1 est donc un axe d'acidité du sol qui est devenu très géographique du fait même de la répartition des placettes sur roche-mère calcaire : les sols présentant le plus de calcaire actif sont en majorité dans les Alpes, ceux qui n'en présentent pas du tout le sont en Languedoc, d'où les groupes climatiques apparentés ; groupe froid des Alpes et groupe humide du haut Languedoc.

Axe 2 : Il est plus simple à interpréter, puisqu'essentiellement climatique : il oppose deux groupes climatiques et comprend en "annexe" un seul groupe édaphique.

Le pôle positif est caractérisé par le climat le plus méditerranéen, le plus xérique : bioclimat subhumide, pluviométries annuelles et estivales les plus faibles, nombre de mois biologiquement secs le plus élevé. Il est confirmé du point de vue stationnel par les altitudes les plus faibles (< 500 m). Le fait de retrouver à ce pôle également la roche mère calcaire et la réaction HCl nette signifie que lorsque nous avons le climat le plus xérique, nous sommes le plus souvent sur calcaire superficiel : garrigues du Gard et de l'Hérault, zone viticole de l'Aude, Corbières orientales.

Le pôle négatif est peu caractérisé, nous y retrouvons toutefois par opposition la pluviométrie estivale la plus forte et le nombre de mois secs le plus faible.

Axe 3 : C'est un axe essentiellement édaphique puisqu'il oppose : à son pôle positif les sols les plus profonds présentant les plus faibles pourcentages de cailloux en affleurement et dans le sol ; à son pôle négatif les sols les plus superficiels présentant les plus forts pourcentages de cailloux en affleurement et dans le sol et le plus fort pourcentage d'affleurement de la roche-mère.

De plus, on trouve au pôle positif un groupe climatique méditerranéen "moyen" à bioclimat humide, température moyenne des minima moyens (entre -1°C et $+1^{\circ}\text{C}$) et surtout la température annuelle et le nombre de mois secs qui correspondent aux "pics" de fertilité mis en évidence par l'analyse de variance.

Opposé à ce groupe climatique très favorable à la fertilité, on trouve la modalité : température annuelle la plus forte ($+ \text{de } 14^{\circ}\text{C}$), qui s'est révélée très défavorable lors de l'analyse de variance.

Projection de la fertilité : Nos trois axes étant bien définis, la projection de la fertilité par l'intermédiaire des centres de gravité de ses classes s'explique alors parfaitement, confirmant et complétant les résultats des analyses de variance :

- La fertilité s'oriente selon l'axe 1 en isolant la meilleure classe au pôle négatif et les deux moins bonnes au pôle positif, ce qui confirme l'analyse de variance des variables: réaction à l'HCl, texture et bioclimat d'Emberger. Nous pouvons de plus noter que la réaction à l'HCl augmente régulièrement suivant l'axe 1, et que la texture s'ordonne de la même manière qu'elle le faisait par rapport à la fertilité lors de l'analyse de variance: texture limoneuse la meilleure, puis sableuse, puis équilibrée, enfin argileuse.
- La fertilité s'oriente légèrement selon l'axe 2, en isolant nettement les deux classes les plus mauvaises côté pôle positif ce qui confirme certains autres résultats des analyses de variance : le pin laricio craint d'une façon générale les climats trop xériques, ainsi que les roches-mères calcaires qui donnent un sol à réaction à l'HCl visible.
- Enfin la fertilité s'oriente très bien selon l'axe 3, qui peut certainement être considéré comme le meilleur axe de fertilité : la fertilité augmente avec la profondeur du sol et diminue avec le taux de cailloux dans le sol et en affleurement. A ce sujet, le fait de retrouver orientées selon le même axe les trois variables profondeur, cailloux en affleurement et cailloux dans le sol confirme le fait qu'elles sont certainement très liées. De même, le fait de retrouver au pôle positif de cet axe les modalités des variables climatiques qui "attirent" les meilleures classes de fertilité confirme son caractère d'axe de fertilité.

En conclusion, nous dirons que l'analyse factorielle des correspondances permet de confirmer les résultats des analyses de variance pour les principales variables climatiques et édaphiques et ce en tenant compte de toutes leurs interactions, sauf peut-être en ce qui concerne la pluviométrie annuelle qui

n'est pratiquement pas apparue dans l'analyse des axes.

Il aurait été intéressant dans une optique de "chiffrage" de la fertilité d'avoir la projection de nos relevés dans les plans factoriels ; notre programme d'analyse ne nous l'a pas permis.

La principale critique de l'analyse factorielle est qu'elle masque l'effet de variables importantes ; en effet, l'étendue de la région étudiée fait que les deux premiers axes, qui sont bien sûr les plus importants, deviennent des axes de tendance générale : axe d'acidité, donc axe géographique car le plus calcaire est en Provence et le plus acide en Languedoc, et axe climatique donc axe géographique également, car le plus xérique est proche de la mer et le plus humide est loin de la mer en Languedoc. Donc dans le plan 1-2, la fertilité ne peut que présenter de grandes tendances, alors qu'une variable certainement très importante comme la topographie est totalement masquée et apparaîtrait à coup sûr à une échelle moindre, comme à celle d'une petite région écologique par exemple.

Le but de notre étude étant de tenir compte de toutes les variables pour nous rapprocher le plus possible de la définition idéale de la station forestière, tout en essayant de chiffrer la fertilité potentielle, nous allons utiliser une autre méthode plus rationnelle : la segmentation.

2.2. La segmentation

2.2.1. Principe :

Il s'agit d'une méthode permettant d'explicitier une liaison entre une variable Y et un ensemble de variables X_i (dites explicatives) par le biais d'une partition dichotomique. Cette partition se fait sur un ensemble de départ constitué de nos 211 placettes caractérisées par leur indice de fertilité (Y) et un ensemble de variables descriptives du milieu (X_i). Une des placettes, qui présentait des relevés incomplets, a dû être supprimée.

2.2.2. Mode opératoire :

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

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

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

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

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

Le détail des calculs permettant les coupures se trouvent en annexe.7.

2.2.3. Résultats et commentaires :

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau de segmentation présenté figure 13.

Nous obtenons en fin de traitement une partition en 19 groupes qui présentent les caractéristiques suivantes :

Légende

- LONG. : longitude en grades
- %C^x.en affl. : pourcentage de cailloux en affleurement
- T° maxi. : température moyenne des minima du mois le plus chaud
- T° Ann. : température moyenne an.
- HCL : réaction Hcl-terre fine

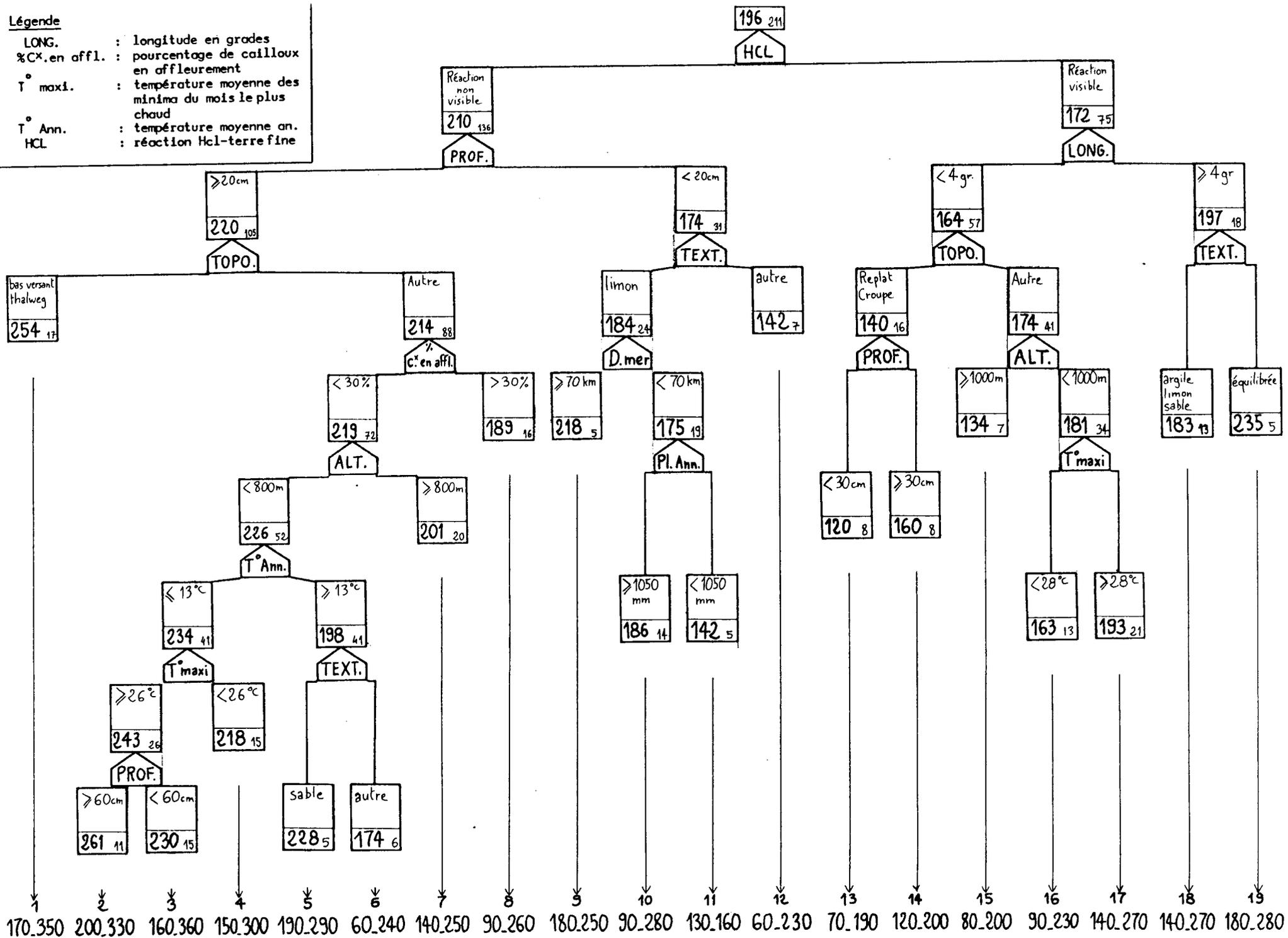


Figure n° 13

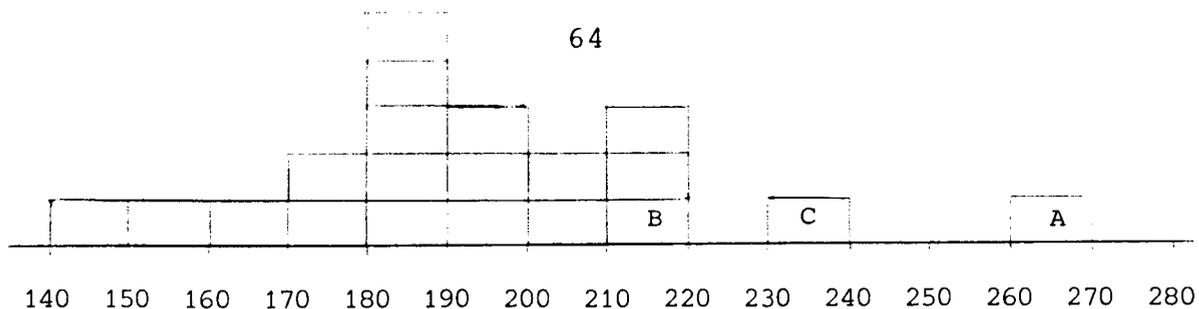
indicateur de cette variation est le coefficient de corrélation entre la valeur mesurée sur le terrain et la valeur calculée par le "modèle" que représente le tableau de segmentation (pour chaque placette, la valeur calculée est la valeur moyenne du groupe auquel elle appartient). Pour l'ensemble des 211 boisements, ce coefficient de corrélation est égal à 0,713; il montre que la corrélation est significative au seuil de 1 pour 1000: Toutefois, une certaine prudence s'impose pour utiliser ce modèle en vue de prévoir, au moment d'un reboisement, la hauteur qu'atteindra le peuplement à 50 ans : la valeur moyenne doit être considérée comme un ordre de grandeur. En outre, même si, dans l'ensemble, le modèle apparaît relativement cohérent, rien n'autorise à penser qu'il puisse être extrapolable à de nouveaux sites écologiques. Pour cela, nous envisageons d'effectuer ultérieurement des mesures sur des placettes de contrôle dans des boisements ne faisant pas partie de l'échantillon actuel.

Les fluctuations au sein de chaque groupe peuvent, à notre avis, avoir trois raisons principales :

- La première est d'ordre génétique ; en effet, jusqu'à présent, la notion de provenance n'est apparue à aucun moment dans cette étude, sauf lors de notre test de différenciation des deux variétés. C'est certainement un grand tort, mais faute de temps nous ne pouvions envisager de rechercher dans les archives les provenances de chaque peuplement mesuré. Toutefois, cela aurait peut-être pu s'envisager pour les peuplements les plus récents, auquel cas il eût fallu faire un dépouillement spécial. Il est certain qu'une telle étude présente un intérêt de premier ordre pour le reboiseur.

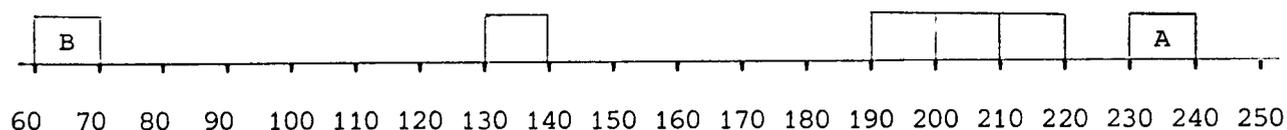
Ainsi, en ignorant l'aspect provenance, nous nous imposons une erreur de prévision que nous ne pouvons absolument pas chiffrer.

- La seconde raison met en cause le programme de segmentation, donc la méthode de dépouillement. En effet, nous fixons un effectif minimal de groupe final de 5 placettes, ce qui peut empêcher une éventuelle partition suivante. Prenons par exemple le groupe 17 qui présente un histogramme très étalé et une moyenne de 193 dm.



L'analyse de ce groupe nous montre que la modalité "altitude supérieure à 800 m" isole les trois placettes A, B et C, donc réduit fortement l'écart des extrêmes, mais en isolant un groupe de trois placettes (de moyenne 230 dm), ce que n'admet pas notre programme de segmentation.

- Enfin, la troisième raison qui, faute de pouvoir chiffrer l'erreur due à la première, nous paraît la plus importante, tient à la nature des relevés, donc à la "banque de données", c'est-à-dire à la base de la méthode d'étude. Sur un même peuplement, il nous est souvent arrivé de constater des différences de hauteur frappantes que nos relevés écologiques ne sont pas capables d'expliquer. Le mieux est de prendre un exemple. Voici ci-dessous l'histogramme également très étalé du groupe 6 :



Dans ce groupe, les placettes A et B ont été implantées à 50 mètres de distance, présentant donc ainsi le même climat, la même altitude, exposition, texture, topographie, roche-mère.

A priori, pour nous, les placettes sont écologiquement semblables ; la différence s'explique donc par un facteur que nous n'avons pas relevé. Dans ce cas, il semble qu'il s'agisse d'un facteur édaphique, ou mieux pédologique avec la présence d'un "plancher" argileux très compact à une faible profondeur. La végétation (Mollinie) montre l'hydromorphie, mais pas de façon très nette, puisque mélangée à d'autres espèces très courantes. Lors du dépouillement, cette placette se retrouve alors tenue par ses facteurs écologiques avec la placette voisine A, tout en en étant fondamentalement différente par peut-être un

seul facteur non enregistré. Nous voyons bien ici les limites de notre méthode, qui ne permet de définir que des "macro-stations" forestières décrites par des facteurs écologiques assez généraux.

Dans le cas étudié ci-dessus, le facteur discriminant est d'ordre pédologique ; nous pensons qu'il peut être également d'ordre technique ou pathologique. En effet, les extrêmes sont souvent constitués par des placettes de reboisements récents, dans lesquels une mauvaise plantation ou une attaque de parasites peuvent avoir de graves conséquences sur les hauteurs, en occasionnant des différences avec des placettes relevant des mêmes conditions écologiques. Le fait de tenir compte de tous les facteurs susceptibles d'être intervenus dans le jeune âge aurait conduit à l'introduction de variables fortement sous-échantillonnées, susceptibles de fausser les grandes lignes du dépouillement, et du fait de leur sous-échantillonnage, non susceptibles de résultats statistiquement valables.

De la même façon, nous aurions pu ne travailler que sur les reboisements âgés ; nous aurions alors réduit le matériel initial pratiquement de moitié, donc supprimé des variables importantes d'un point de vue validité statistique.

Pour conclure, nous rappellerons que nous avons quelque peu recherché ces cas particuliers, donc ces importantes différences de hauteur sur une faible surface, tout en nous rendant bien compte a priori que nos relevés n'allaient sans doute pas être en mesure de les expliquer. A ce titre, le tableau de segmentation reflète mieux la réalité du "terrain" en indiquant comme il l'a été fait pour chaque groupe final l'amplitude totale bornée par les deux indices extrêmes relevés. (annexe 4).

Pour mieux préciser les résultats du tableau, nous envisageons de faire ultérieurement :

- d'une part, une analyse plus fine des groupes finaux par un dépouillement manuel groupe par groupe,
- d'autre part des "placettes de vérification" pour donner une idée plus précise de la validité du tableau sur le terrain.

3. LE PIN LARICIO ET LA VEGETATION

Nous envisageons dans cette partie le traitement des relevés floristiques effectués sur chaque placette.

Dans un premier temps, nous étudions les espèces prises dans leur ensemble, par l'analyse factorielle des correspondances ; dans un second temps nous étudions l'influence sur la fertilité des espèces prises individuellement, par l'information mutuelle.

3.1. L'analyse factorielle des correspondances

C'est la méthode d'analyse de relevés floristiques la plus utilisée ; le principe en est le suivant : la projection en variables principales des relevés floristiques, codés en présence-absence des espèces, permet d'isoler des groupes d'espèces qui se retrouvent très souvent ensemble : ce sont des groupes phytosociologiques. La projection dans le même espace des facteurs écologiques en variables supplémentaires qui se placent donc sans participer aux calculs, permet de préciser l'écologie de ces groupes qui deviennent alors des groupes phytosociologiques à écologie plus ou moins apparente.

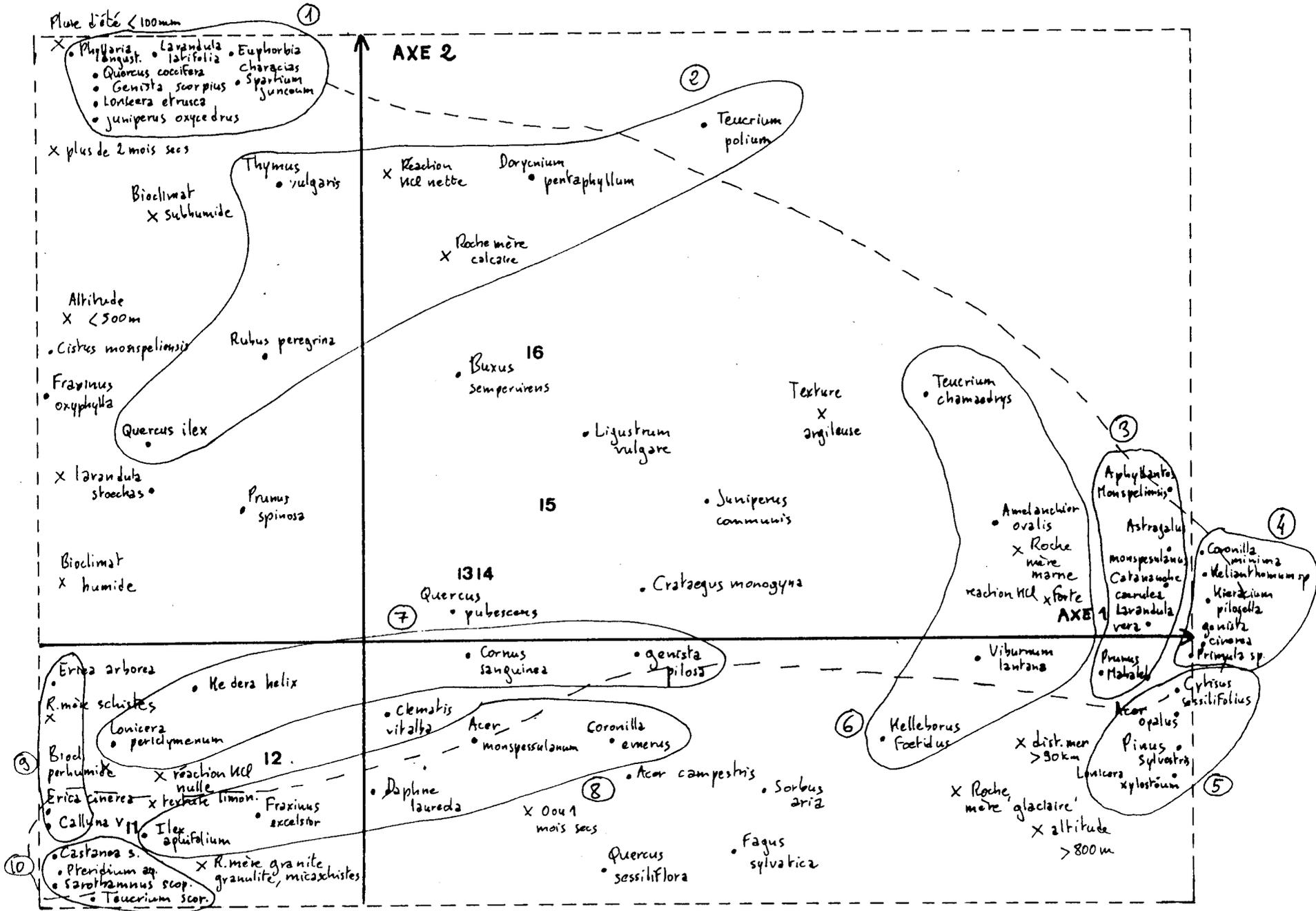
3.1.1. Elaboration de groupes phytosociologiques

Les pourcentages d'explication des 4 premiers axes sont :

	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Axe 1	31,8 %	31,8 %
Axe 2	25,9 %	57,7 %
Axe 3	14,8 %	72,5 %
Axe 4	7,5 %	80 %

La projection dans le plan factoriel 1-2 est présentée figure 14. L'étude des contributions absolues à ces quatre axes nous permet d'isoler 10 groupes floristiques.

Figure n°14
PLAN FACTORIEL 1 - 2



Groupe 1	Groupe 5	Groupe 10
<i>Lavandula latifolia</i>	<i>Cytisus sessilifolius</i>	<i>Pteridium aquilinum</i>
<i>Genista scorpius</i>	<i>Pinus sylvestris</i>	<i>Genista purgans</i>
<i>Juniperus oxycedrus</i>	<i>Acer opalus</i>	<i>Castanea sativa</i>
<i>Phyllaria angustifolia</i>	<i>Lonicera xylosteum</i>	<i>Sarothammus scoparius</i>
<i>Quercus coccifera</i>		<i>Teucrium scorodonia</i>
<i>Euphorbia characias</i>	Groupe 6	
<i>Spartium junceum</i>	<i>Amelanchier ovalis</i>	
<i>Lonicera etrusca</i>	<i>Teucrium chamaedrys</i>	
	<i>Viburnum lantana</i>	
Groupe 2	<i>Helleborus foetidus</i>	
<i>Teucrium polium</i>	Groupe 7	
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	<i>Cornus sanguinea</i>	
<i>Thymus vulgaris</i>	<i>Genista pilosa</i>	
<i>Quercus ilex</i>	<i>Lonicera periclymenum</i>	
<i>Rubia peregrina</i>	<i>Hedera helix</i>	
Groupe 3	Groupe 8	
<i>Aphyllantes monspeliensis</i>	<i>Coronilla emerus</i>	
<i>Astragalus monspessulanus</i>	<i>Daphné laureola</i>	
<i>Catananche caerulea</i>	<i>Acer monspessulanum</i>	
<i>Lavandula vera</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	
<i>Prunus mahaleb</i>	<i>Ilex aquifolium</i>	
<i>Echinops ritro</i>		
Groupe 4	Groupe 9	
<i>Hieracium pilosella</i>	<i>Erica scoparia</i>	
<i>Genista cinerea</i>	<i>Erica cinerea</i>	
<i>Primula sp.</i>	<i>Calluna vulgaris</i>	
<i>Coronilla minima</i>		
<i>Helianthemum sp.</i>		

Ecologie des groupes floristiques :

La projection des variables du milieu en données supplémentaires ne permet que de préciser l'écologie des groupes à amplitude écologique réduite.

Le groupe 1 paraît alors caractérisé par les pluies estivales les plus faibles et le nombre de mois secs le plus élevé.

Le groupe 2 comprend la roche-mère calcaire et la réaction à l'HCl nette ; la combinaison des deux est caractérisée par l'altitude la plus faible et le bioclimat d'Emberger subhumide.

Les groupes 3, 4, 5, 6 ont été isolés selon les valeurs des contributions absolues de leurs espèces à l'axe 1 ; ces groupes apparaissent comme typiques des Alpes : roches-mères

marno-calcaire et glaciaire, distance à la mer et altitude les plus importantes, réaction HCl forte. Nous retrouvons d'ailleurs ce caractère géographique de l'axe 1 déjà évoqué précédemment.

Les groupes 7 et 8 sont situés sur le centre de la projection dans le plan 1-2, ils sont donc les plus difficiles à expliquer, et surtout à différencier ; ils correspondent certainement à des sols neutres assez riches.

Le groupe 9 a été isolé selon l'axe 1, il est opposé aux groupes calcaires des Alpes, on y retrouve donc les plus acidophiles (bruyères). On trouve à proximité la réaction HCl nulle et la texture limoneuse, ainsi que les roches-mères : granite granulite, micaschistes.

Le groupe 10 se trouve à proximité immédiate, mais il a été isolé selon l'axe 3, qui doit traduire la richesse d'un sol sur roche-mère acide : au pôle opposé sur l'axe 3, on note en effet le ciste de Montpellier et la lavande stoechas.

3.1.2. Diagonalisation. Mise en évidence de stations

Il s'agit à présent de mettre en rapport nos groupes floristiques avec les relevés ; cela se fait par le biais d'un tableau diagonalisé manuellement qui présente horizontalement les numéros de relevés et verticalement les 49 espèces réparties dans les 10 groupes. Ces groupes ne sont pas disposés au hasard : ils le sont selon la "fibre" de l'analyse factorielle des correspondances, cette fibre étant la ligne fictive qui permet l'étirement maximal de l'espace de projection ; elle figure représentée dans le plan 1-2 en pointillés. Elle part des groupes extrêmes (2 puis 3) pour arriver au "confinement" des groupes 9 et 10.

Le fait d'avoir suivi cette fibre, donc de ne pas disposer verticalement les groupes au hasard fait que nous avons directement un tableau diagonalisé, qu'il reste à "peaufiner" pour obtenir le tableau représenté figure 15 ; les placettes qui, sur les 49 espèces retenues, en présentaient moins de quatre ont été systématiquement éliminées, ce qui nous ramène à 175 relevés.

Figure n° 15
TABLEAU DIAGONALISE

STATION G										STATION F										STATION E										STATION D										STATION C										STATION B										STATION A										n° des groupes										
← n° des relevés										← n° des relevés										← n° des relevés										← n° des relevés										← n° des relevés										← n° des relevés										← n° des relevés																				
																																																																						1										
																																																																																2
																																																																																3
																																																																																4
																																																																																5
																																																																																6
																																																																																7
																																																																																8
																																																																																9
																																																																																10

L'examen de ce tableau amène quelques commentaires: le groupe 2 a une amplitude très vaste, ce qui s'explique par le fait qu'il comprend le chêne vert et la garance, typiques de l'association à chêne vert. Ce groupe "climatique" présente donc une forte amplitude dans toute la région méditerranéenne, ce qui explique qu'on le retrouve partout dans le tableau.

Les placettes alpines qui sont soulignées sur le tableau se retrouvent pratiquement uniquement liées aux groupes 3, 4, 5 et 6, qui peuvent être déjà considérés comme typiquement alpins (sans compter le 2 pour les raisons citées plus haut).

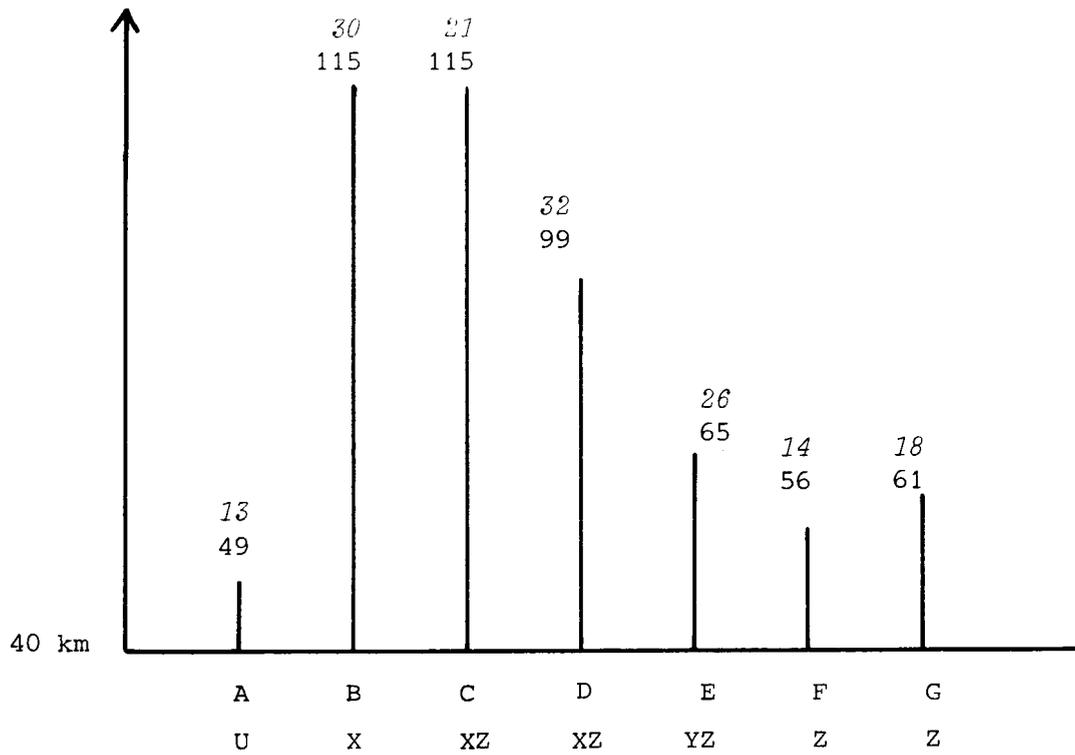
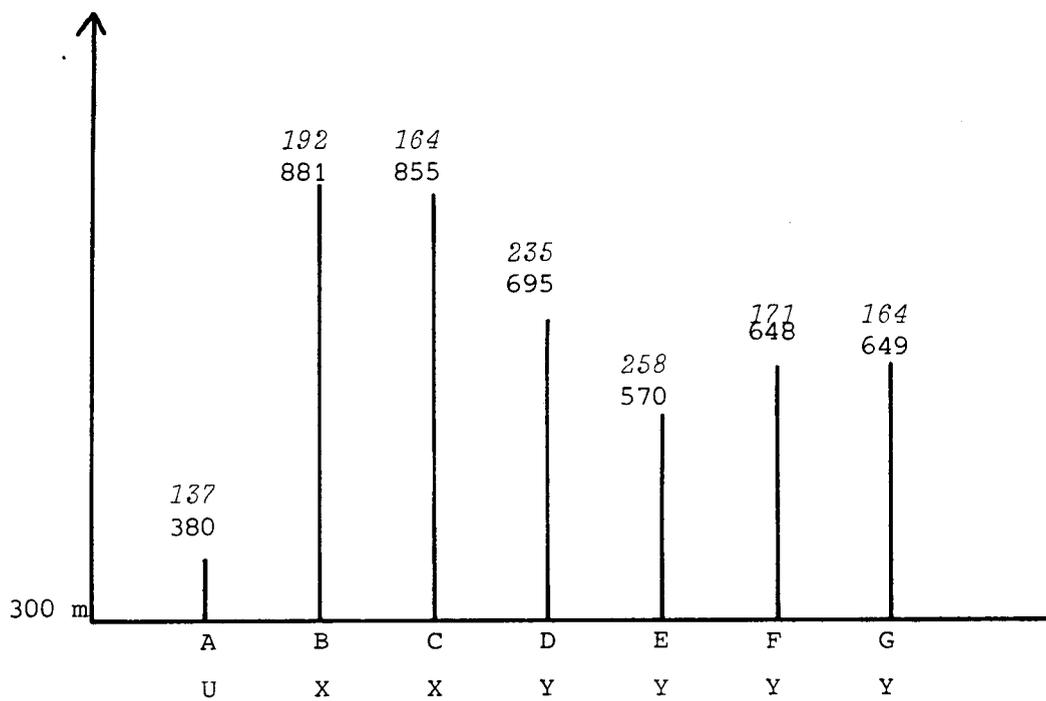
Nous avons alors isolé 7 stations représentées sur le tableau :

- station A (26 placettes) caractérisée par la juxtaposition des groupes 1 et 2 ;
- station B (15 placettes) caractérisée par la juxtaposition des groupes 3 et 4 ;
- station C (15 placettes) caractérisée par le groupe 5 ;
- station D (25 placettes) caractérisée par le groupe 6 ;
- station E (25 placettes) caractérisée par la juxtaposition des groupes 7 et 8 ;
- station F (23 placettes) caractérisée par le groupe 9 ;
- station G (47 placettes) caractérisée par le groupe 10.

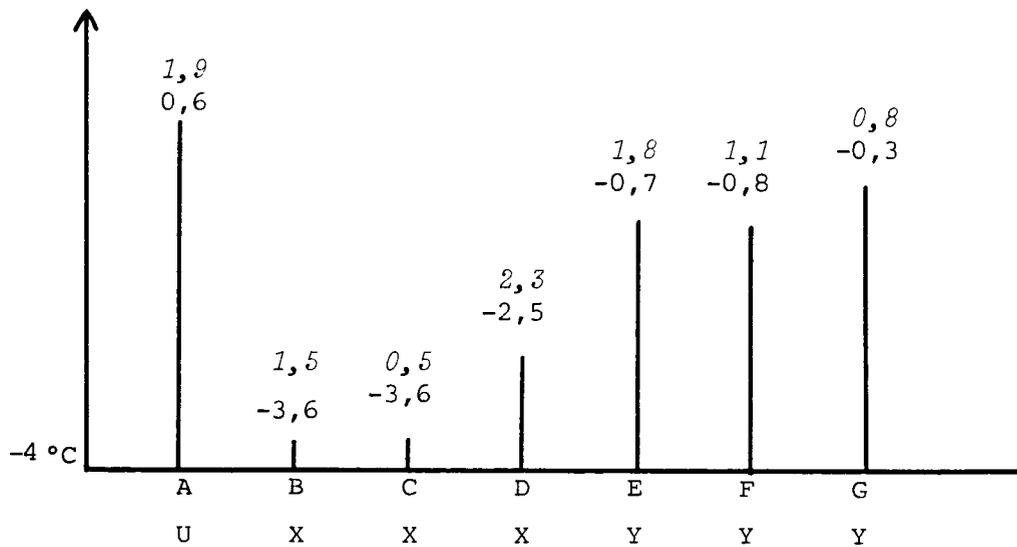
Nous sommes conscients que ce regroupement des placettes en stations peut être discutable dans son détail, mais nous pensons que dans son ensemble il reflète assez bien la réalité.

Pour le préciser, nous nous proposons à présent d'étudier les variables écologiques des stations, constituées par les moyennes des variables des placettes qui les composent. Par le biais d'analyses de variances ou de test du χ^2 , nous indiquons les stations qui apparaissent comme significativement différentes par rapport à une variable considérée.

Le système de représentation est le même que celui utilisé lors des analyses de variance des facteurs considérés isolément ; pour chaque station, le chiffre droit indique la moyenne des placettes qui la composent, le chiffre penché étant l'écart-type.

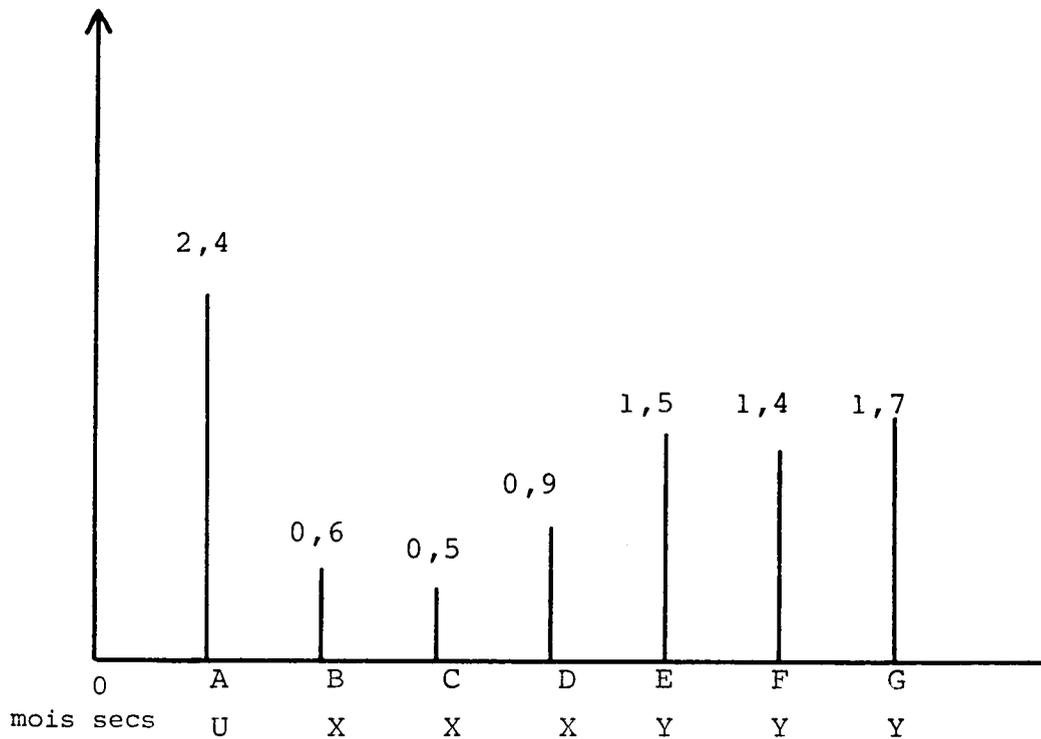
Distance à la mer en kilomètresAltitude en mètres

Température moyenne des minima du mois le plus froid en °C



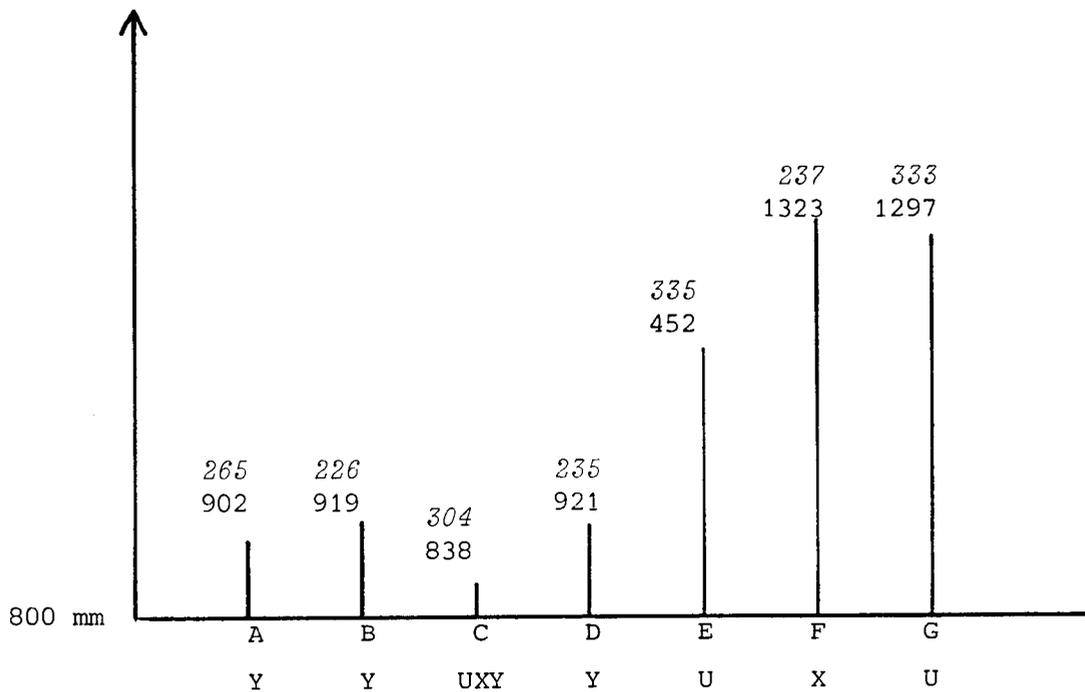
Nombre de mois biologiquement secs selon Gaussen

Nous avons considéré cette variable comme étant continue, ce qui représente une importante approximation, mais elle synthétise assez bien les variables climatiques.

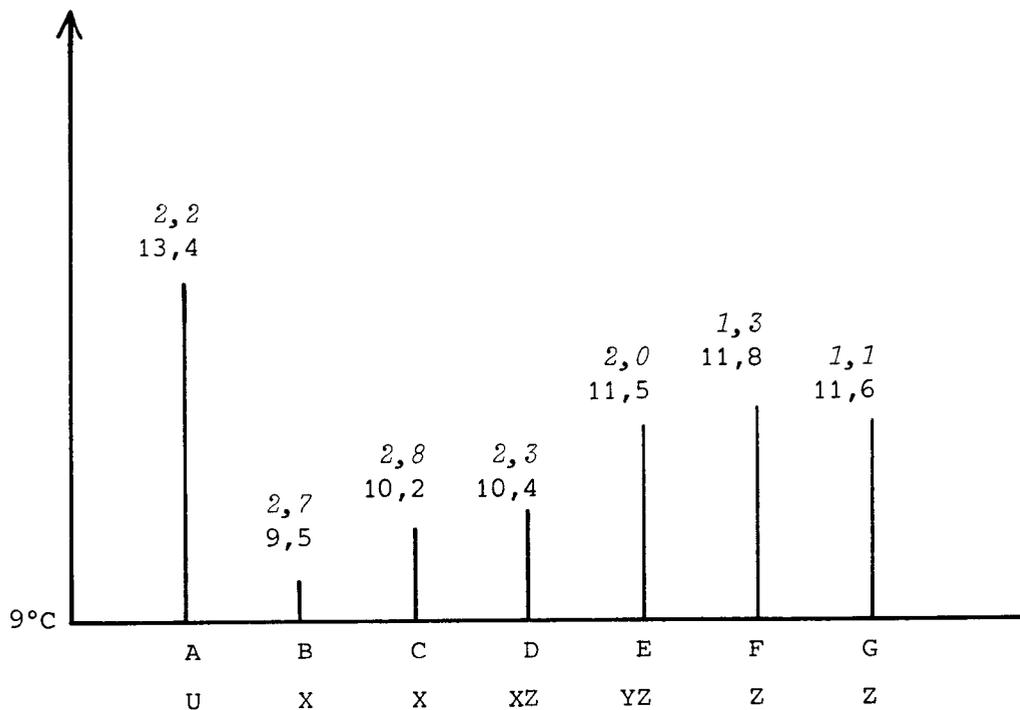


Ces deux variables confirment le caractère alpin des stations B, C et, à un degré moindre, D, et le caractère de station la plus méditerranéenne de la station A. La situation des stations par rapport aux principales variables climatiques doit nous permettre de préciser ce résultat.

Pluviosité annuelle en millimètres



Température moyenne annuelle en degrés centigrades



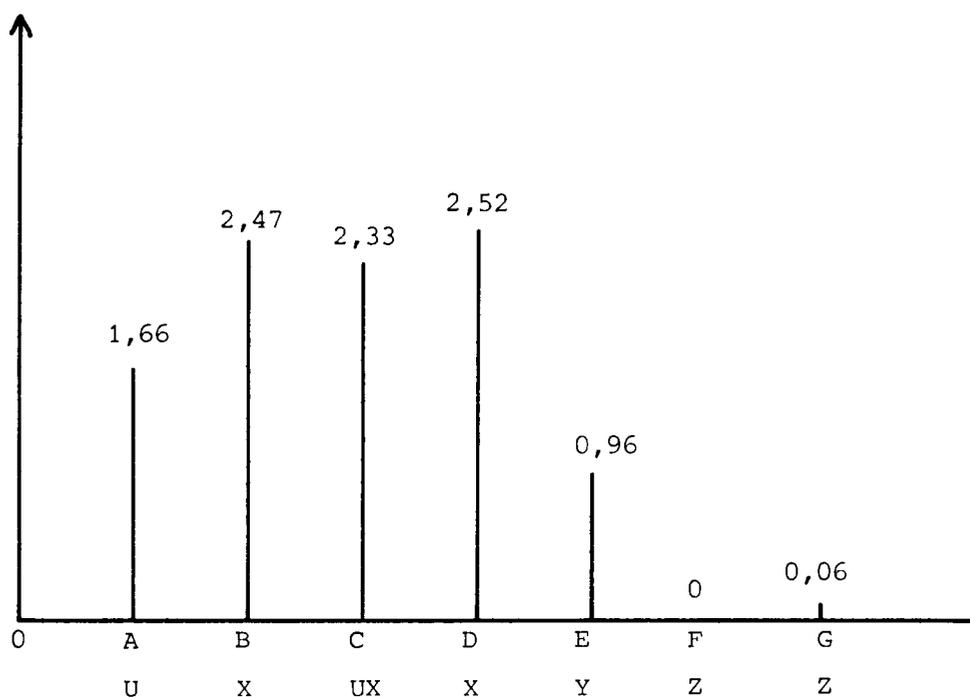
Climatiquement, nous pouvons dire que les stations se regroupent en trois sous-ensembles :

- la station A correspond aux conditions les plus méditerranéennes, les plus xériques. Elle comprend indifféremment des placettes languedociennes et provençales.
- les stations B, C et D sont typiquement alpines, avec un climat froid et sec. La station D se différencie quelque peu des deux premières comme étant en moyenne moins froide, mais les tests statistiques ne donnent rien de significativement différent au seuil de 5 %.
- les stations E, F et G sont climatiquement très semblables, en conditions humides et pas très froides : elles correspondent bien aux régions du "haut Languedoc", des hautes Cévennes aux Corbières occidentales.

Au point de vue édaphique, les variables mesurées sur le terrain ne permettent pas une caractérisation précise des stations.

La profondeur moyenne est la même dans les 7 stations.

La réaction terre fine-HCl, codée sur le terrain en 4 classes, a été considérée comme variable continue pour pouvoir effectuer une analyse de variance:



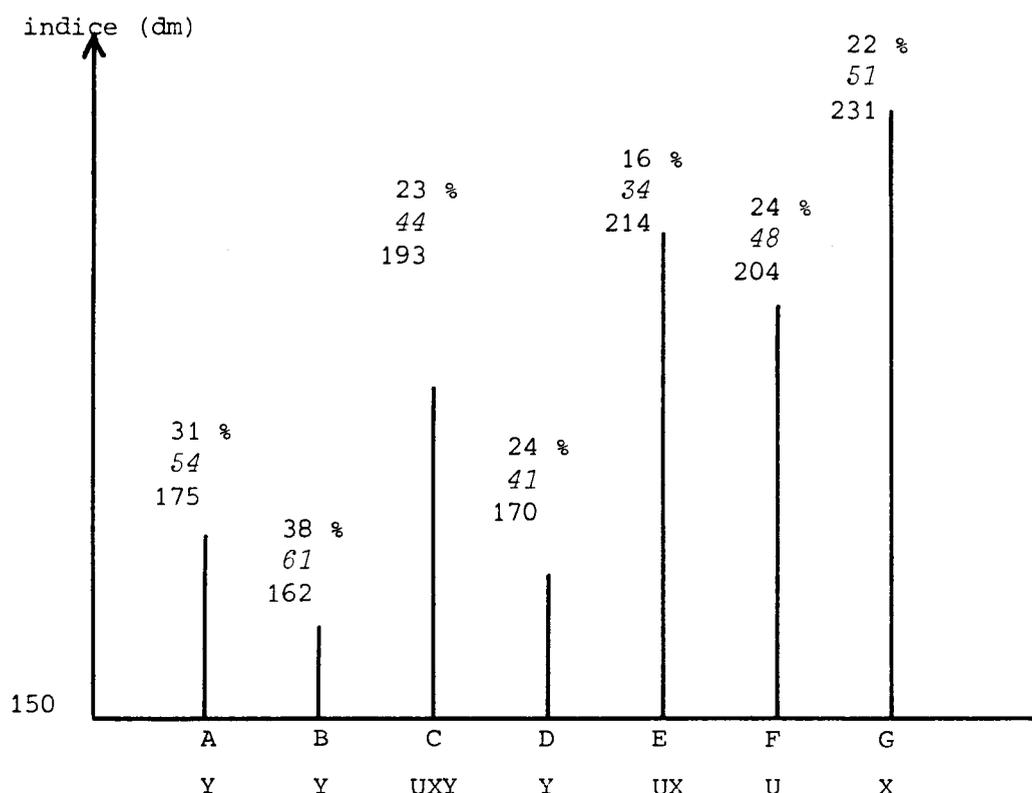
Cette variable, bien qu'issue d'une approximation, est très importante puisqu'elle permet d'isoler E de F et G, ce que les variables climatiques n'ont pas pu faire.

Un test du Khi_2 effectué pour comparer les effectifs des classes de texture à l'intérieur de chaque station aux effectifs du total des 175 placettes montre que seules les stations F et G présentent une texture significativement différente des autres : F est à 100 % sableuse ou limoneuse, G l'étant à 92 %.

En résumé, à l'intérieur de nos trois grands groupes climatiques définis ci-dessus, E se différencie de F et G par la nature du sol : il est très acide en F et G, et tend à être plus neutre en 4. A se situe en général sur sol calcaire (garrigues ou basse Provence).

A l'intérieur du groupe des stations alpines, nous pouvons seulement dire que D est moins élevée en altitude que B et C, ce qui tend par ailleurs à confirmer son caractère de station moins froide déjà évoqué.

Il reste à présent à situer les stations par rapport à la fertilité (en dm). Le chiffre en % est le coefficient de variation (rapport de l'écart type à la moyenne).



Les trois stations du groupe "haut Languedoc" apparaissent comme étant supérieures à celles des deux autres groupes ; à l'intérieur de ce groupe, F diffère significativement de G, sans que nos variables mesurées n'expliquent cette différence ; nous pensons qu'il s'agit d'une question de sol, G devant présenter un sol beaucoup plus évolué et plus riche que F, à laquelle doit correspondre en général des sols lessivés.

Les coefficients de variation sont élevés, les stations définies n'autorisent donc pas une approche très précise de la fertilité ; elles permettent tout de même de confirmer par la végétation les résultats essentiels obtenus jusqu'à présent.

De plus, les trois grandes unités géographiques définies par la méthode peuvent faire l'objet d'études phyto-écologiques plus fines, puisqu'elles présentent des conditions écologiques générales homogènes.

3.2. L'information mutuelle

C'est une technique qui permet de mettre en rapport une espèce et un facteur écologique dans notre cas, l'indice de fertilité, en quantifiant l'information fournie par l'espèce vis à vis du facteur. Un coefficient appelé "information mutuelle" (IM) est calculé pour chaque espèce (méthode de calcul plus détaillée en annexe 8). La valeur de ce coefficient est d'autant plus grande que l'information fournie par l'espèce sur la variable étudiée est importante. Cette variable doit être divisée en classes.

Dans un premier temps, nous avons travaillé sur l'ensemble des placettes en proposant un découpage de l'indice en quatre classes (H50 = hauteur à 50 ans).

Classe 1	$H50 > 250 \text{ dm}$
Classe 2	$200 < H50 \leq 250 \text{ dm}$
Classe 3	$150 < H50 \leq 200 \text{ dm}$
Classe 4	$H50 \leq 150 \text{ dm}$

Les espèces présentant une forte information vis à vis des classes 1 et 4 étant qualifiées respectivement d'espèces de "bonne" et de "mauvaise" croissance.

En travaillant ainsi, nous nous sommes aperçus que la majorité des plantes de bonne croissance étaient caractéristiques des sols acides du Languedoc : fougère aigle, callune, bruyère cendrée, châtaignier entre autres. De ce fait, les meilleures placettes se situant sur roche-mère calcaire ou marneuse des Alpes ne comptaient que très peu de plantes de "bonne croissance", ce qui n'était pas logique. Nous avons donc été amené à revoir notre méthode, et le premier niveau de segmentation sur les facteurs écologiques étant constitué par la réaction visible ou non à l'HCl, nous avons décidé de travailler sur deux fichiers distincts : l'un constitué des 136 placettes présentant une réaction HCl-terre fine invisible, et l'autre constitué des 75 placettes à réaction visible. Les moyennes d'indice des deux fichiers étant respectivement de 210 dm et 172 dm, le découpage en classe s'effectue ainsi :

	Fichier dit "acide"	Fichier dit "calcaire"
Classe 1	$H50 > 250 \text{ dm}$	$H50 > 210 \text{ dm}$
Classe 2	$150 < H50 \leq 250 \text{ dm}$	$140 < H50 \leq 210 \text{ dm}$
Classe 3	$H50 \leq 150 \text{ dm}$	$H50 \leq 140 \text{ dm}$

Nous donnons ci-après (page suivante) les listes de plantes de bonne et de mauvaise croissance en cas de réaction HCl non visible.

Nous donnons également (pages suivantes) les tableaux des espèces de bonne et de mauvaise croissance en cas de réaction HCl visible.

Notons que, de nos groupes floristiques précédemment définis, seul le 5ème comprend à la fois une plante de mauvaise croissance (pin sylvestre) et deux plantes de bonne croissance (cytise à feuilles sessiles et camerisier à balai). Encore que le pin sylvestre ne présente pas une des plus fortes informations mutuelles.

Cas de réaction HCl non visible
Plantes indicatrices de bonne croissance

Espèces	Fré- quence absolue	IM	Fréquences corrigées		
			Classe1	Classe2	Classe3
<i>Rubus sp</i> (ronce)	74	0,102	1,53	0,95	0,47
<i>Pteridium aquilinum</i> (fougère aigle)	48	0,086	1,42	1,09	0,12
<i>Hedera helix</i> (lierre)	26	0,079	1,92	0,95	0,00
<i>Teucrium scorodonia</i> (germandrée scorodonaire)	51	0,058	1,60	0,93	0,46
<i>Castanea sativa</i> (chataignier)	56	0,048	1,38	1,02	0,42
<i>Cornus sanguinea</i> (cornouiller sanguin)	7	0,031	2,59	0,70	0,00
<i>Fraxinus excelsior</i> (frêne commun)	25	0,022	1,63	0,92	0,47
<i>Hypericum sp.</i> (millepertuis)	6	0,021	2,27	0,82	0,00
<i>Viola sp.</i> (violette)	6	0,021	2,27	0,82	0,00
<i>Coronilla emerus</i> (coronille arbrisseau)	6	0,014	2,27	0,55	0,98

Plantes indicatrices de mauvaise croissance

Espèces	Fré- quence absolue	IM	Fréquences corrigées		
			Classe1	Classe2	Classe3
<i>Thymus vulgaris</i> (thym)	20	0,095	0,00	0,90	2,66
<i>Lonicera etrusca</i> (chèvrefeuille d'étru- rie)	8	0,058	0,00	0,61	3,70
<i>Cistus monspeliensis</i> (ciste de Montpellier)	5	0,057	0,00	0,32	4,73
<i>Juniperus communis</i> (genévrier commun)	35	0,055	0,51	0,89	2,03
<i>Dorycnium pentaphyllum</i> (ou suffruticosum)	7	0,043	0,00	0,70	3,38
<i>Vincetoxicum nigrum</i> (dompte venin)	4	0,040	0,00	0,41	4,44
<i>Amelanchier ovalis</i> (amelanchier)	12	0,039	0,00	1,09	1,97
<i>Eryngium sp.</i> (panicaut)	5	0,033	0,00	0,65	3,55
<i>Genista scorpius</i> (genêt scorpion)	5	0,033	0,00	0,65	3,55
<i>Lavandula latifolia</i> (lavande à larges feuilles)	5	0,033	0,00	0,65	3,55

Cas de réaction HCl visible

Plantes indicatrices de bonne croissance

Espèces	Fré- quence absolue	IM	Fréquences corrigées		
			Classe1	Classe2	Classe3
<i>Cornus sanguinea</i> (cornouiller sanguin)	27	0,130	1,52	1,13	0,00
<i>Corylus avellana</i> (noisetier)	7	0,120	4,18	0,43	0,00
<i>Lonicera xylosteum</i> (camerisier à balais)	6	0,087	3,90	0,51	0,00
<i>Cytisus sessilifolius</i> (Cytise à feuilles sessiles)	16	0,067	1,46	1,14	0,00
<i>Acer campestre</i> (érable champêtre)	10	0,061	2,34	0,91	0,00
<i>Viburnum lantana</i> (viorne lantane)	24	0,048	1,22	1,14	0,24
<i>Prunus avium</i> (merisier)	7	0,046	2,51	0,87	0,00
<i>Fraxinus excelsior</i> (frêne commun)	9	0,043	1,95	1,01	0,00
<i>Coronilla emerus</i> (coronille arbrisseau)	8	0,031	1,46	1,14	0,00
<i>Helleborus foetidus</i> (hellebore fétide)	9	0,016	1,95	0,84	0,65

Plantes indicatrices de mauvaise croissance

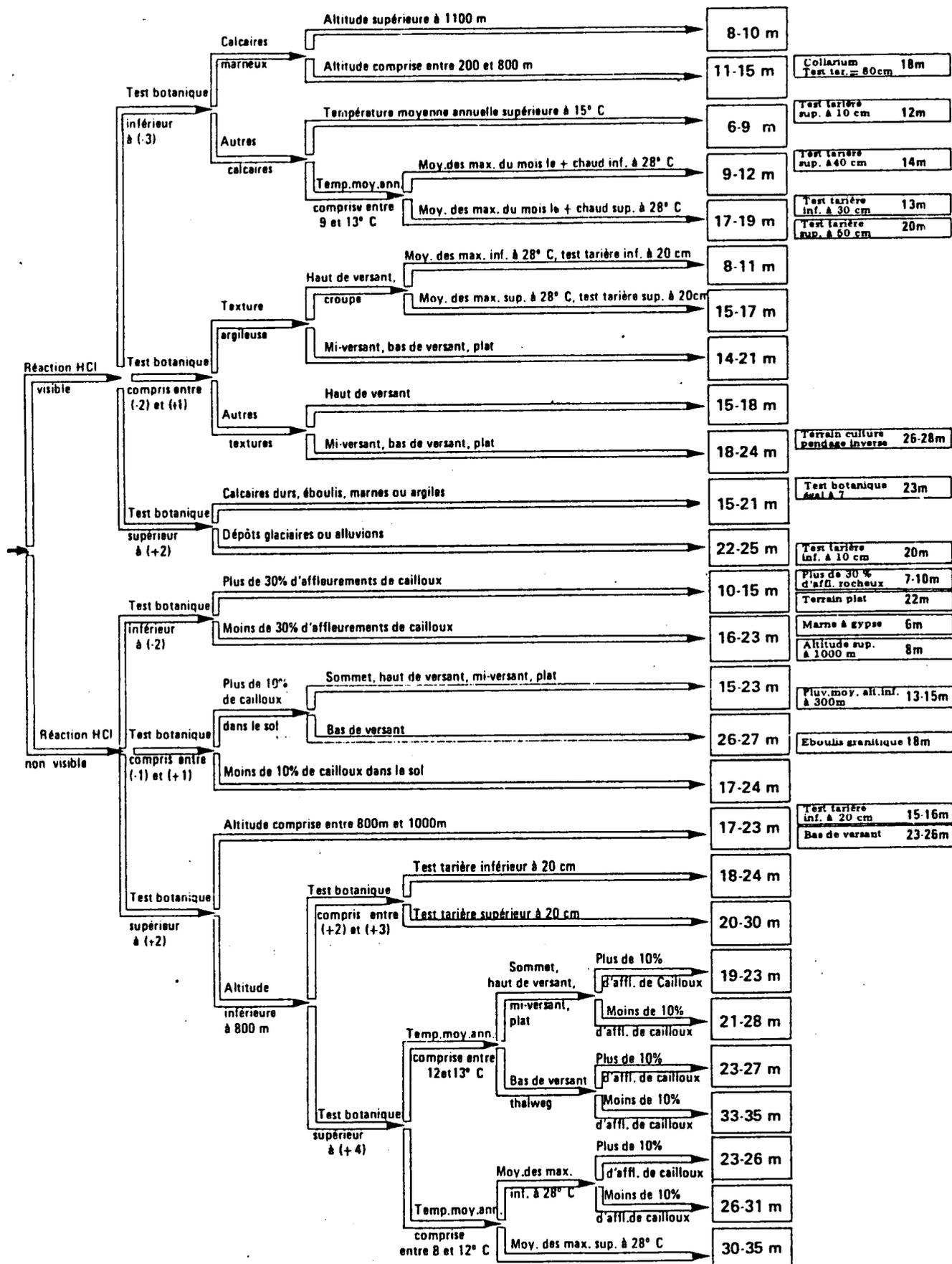
Espèces	Fré- quence absolue	IM	Fréquences corrigées		
			Classe1	Classe2	Classe3
<i>Echinops ritro</i> (chardon bleu)	11	0,084	0,00	0,82	2,66
<i>Juniperus phoeniceoides</i> (genévrier de Phénicie)	4	0,071	0,00	0,38	4,39
<i>Stachelina dubia</i> (stacheline douteuse)	4	0,071	0,00	0,38	4,39
<i>Genista scorpius</i> (genêt scorpion)	7	0,046	0,00	0,87	2,51
<i>Buxus sempervirens</i> (buis)	22	0,042	0,79	0,83	1,86
<i>Juniperus communis</i> (genévrier commun)	18	0,027	0,32	1,09	1,30
<i>Pinus sylvestris</i> (pin sylvestre)	38	0,026	0,76	0,96	1,39
<i>Rosa canina</i> (églantier)	13	0,018	0,89	0,81	1,80
<i>Aphyllantes monspeliensis</i> (aphyllante de M.)	20	0,011	0,58	1,06	1,17
<i>Genista cinerea</i> (genêt cendré)	39	0,011	0,60	1,10	0,90

Nous avons cherché à introduire la végétation dans la segmentation par le biais des plantes de bonne et de mauvaise croissance. Pour cela, nous avons créé une nouvelle variable sur chacun des deux fichiers, constituée par la différence entre le nombre de plantes de bonne croissance et celui de plantes de mauvaise croissance : c'est le "test botanique" déjà utilisé dans de précédentes études du CEMAGREF.

Le tableau de la segmentation résultante est représenté figure 16. Nous obtenons donc 27 groupes finaux pour lesquels ont été indiqués en mètres, les valeurs extrêmes arrondies des indices de fertilité rencontrés. En effet, compte tenu de la faiblesse des effectifs de chaque groupe final, les valeurs extrêmes donnent une représentation de la réalité plus exacte qu'une valeur moyenne, même assortie d'un coefficient de variation.

A noter que , conformément à la remarque faite page 63, 16 cas particuliers ont été distingués lorsque de manière triviale ils se détachaient du cas général.

FIGURE N° 16



CHAPITRE 5

QUELQUES DONNEES DE PRODUCTION



Il nous a paru intéressant de donner dans le cadre de cette étude les rares données de production qui intéressent le pin laricio en région méditerranéenne. Ces données sont celles de la station de sylviculture de l'INRA d'Avignon, elles nous ont été aimablement communiquées par M. Toth.

Elles permettent en outre de comparer dans les mêmes conditions générales les productions d'essences très importantes pour la région : le pin noir d'Autriche et le cèdre de l'Atlas. Les placettes de production de pin laricio suivies par l'INRA ont été implantées dans deux forêts domaniales : la forêt domaniale des Ecrivains Combattants près de Lamalou les Bains dans l'Hérault et la forêt domaniale du Rialsesse près de Quillan dans l'Aude.

En forêt domaniale des Ecrivains Combattants sont comparées les productions du cèdre de l'Atlas et du pin laricio de Corse de même âge, traités tous deux en fûtaie régulière. Les données à 42 ans sont comparables : les accroissements moyens annuels sont de 11,9 m³/ha/an pour le cèdre et 13,7 m³/ha/an pour le laricio. Cela peut paraître beaucoup ; à ce sujet nous pouvons préciser que les trois placettes que nous avons implantées en forêt des Ecrivains Combattants se situent en classe I ("exceptionnelle"), II et III, donc plutôt dans les bonnes classes.

En forêt domaniale du Rialsesse, l'INRA suit la production de placettes de cèdre de l'Atlas, pin laricio de Corse et pin noir d'Autriche. Il s'agit de peuplements âgés de 75 à 99 ans traités en futaie régulière à éclaircies d'intensité variable.

Les valeurs de l'accroissement moyen annuel sont les suivantes : les plus faibles sont celles du pin noir d'Autriche, avec 7 m³/ha/an dans un cas d'éclaircies d'intensité faible, et 7,8 m³/ha/an dans un cas d'éclaircies de forte intensité. Ces peuple-

ments sont âgés de 87 ans.

Le pin laricio de Corse présente un accroissement moyen annuel de 8,9 m³/ha/an dans un cas d'éclaircie de forte intensité, le peuplement étant âgé de 87 ans également. Les placettes implantées en peuplement de cèdre de l'Atlas sont plus nombreuses ; les valeurs de l'accroissement varient de 11,5 à 16 m³/ha/an.

Les deux placettes que nous avons implantées en forêt domaniale du Riassesse se situent en deuxième classe de fertilité ($23,5 \text{ m} < H_{50} \leq 28\text{m}$). En annexe 6 sont présentées les fiches dendrométriques détaillées des peuplements de pin laricio.

Ces deux exemples tendent donc à montrer que dans des régions à climat encore méditerranéen (deux mois secs dans les deux exemples cités, bioclimat humide), le pin laricio peut nettement prétendre au même titre que le cèdre à un caractère d'essence de production.

CONCLUSION

Le pin laricio apparaît comme une essence de reboisement des étages méditerranéens supérieurs, parfaitement adaptée à l'étage bioclimatique du chêne pubescent. Il est assez plastique vis à vis du climat et marque une légère préférence pour un climat de type méditerranéen atténué. Nous l'avons rencontré dans les Hautes-Alpes jusqu'à 1200 m d'altitude sans constater de dégâts de gel ; inversement, il en existe de beaux peuplements à basse altitude dans la zone des garrigues.

Au point de vue édaphique, le pin laricio n'est pas apparu aussi calcifuge qu'il en a la réputation ; tout au plus craint-il un excès de calcaire actif dans le sol, ce qui ne veut pas dire qu'il ne pousse pas dans ce cas : la grosse majorité des placettes des Hautes-Alpes présente une réaction HCl terre fine visible.

Nous avons constaté des déformations de houppier importantes dues au vent dans des stations très exposées (haut de versant) dans la Montagne Noire.

Le pin laricio a souvent été introduit en même temps que le pin noir d'Autriche, mais dans de faibles proportions. Ainsi, nous avons été amenés à les comparer presque machinalement. Nous avons constaté que sur n'importe quel sol le pin laricio présente presque toujours une hauteur dominante supérieure. Les rares cas qui ont vu l'inverse se produire se situent sur sol superficiel d'une roche-mère calcaire en conditions xériques (garrigues).

Les pins noirs d'Autriche nous ont semblé plus sensibles

aux attaques de chenille processionnaire : même sur les petits causses de la région de Lodève, les pins noirs font souvent office de "pièges à chenilles" à proximité des laricios qui sont beaucoup moins touchés.

Nous pensons donc que le pin laricio a trop souvent été négligé et sous-employé par rapport au pin noir d'Autriche sur roche calcaire (Alpes de Haute Provence ; Lozère, région de Florac) et ceci d'autant plus que le bois du laricio est bien meilleur et que sa production semble supérieure. A notre sens, le pin noir d'Autriche ne devrait vraiment se justifier que sur les sols calcaires les plus superficiels.

De plus, ce mélange des deux sous-espèces provoque une forte hybridation (forêt domaniale de Notre Dame de Parlatges près de Lodève) qui peut s'avérer gênante dans les cas où l'on envisagerait de régénérer naturellement des peuplements.

Une des raisons qui font que les forestiers utilisent peu le pin laricio est qu'il présente très souvent des taux de reprise très faibles (parfois inférieurs à 50 % pour les plants à racines nues) , contrairement au pin noir qui reprend toujours très bien. Il faut certainement rechercher la solution du problème dans l'étude des provenances adaptées, du travail du sol et de la technique de plantation également appropriés.

Au cours de notre étude sur le terrain, nous n'avons pas souvent observé de sylviculture du laricio. Les peuplements âgés de plus de 70 ans, susceptibles d'être exploités, n'ont que rarement fait l'objet d'une véritable sylviculture : les prélèvements ont surtout été des éclaircies sanitaires et des exploitations de chablis. Certains très beaux peuplements constituant de véritables forêts de laricios seraient peut-être susceptibles de se régénérer naturellement (région de Génolhac dans le Gard), ce qui n'est pas envisagé à notre connaissance dans les aménagements.

Les peuplements âgés de 30 à 70 ans sont assez rares et dispersés sur toute la région d'étude ; leur sylviculture n'a pratiquement jamais fait l'objet de discussions.

Par contre, les jeunes peuplements de moins de 30 ans sont nombreux et étendus en surface dans certaines régions : Montagne

Noire, avant -monts lodévois (région de Bédarieux, St Pons), sud de la Lozère. C'est dans cette dernière région, autour du Collet-de-Dèze, que nous avons entendu parler pour la première fois des problèmes de sylviculture et d'éclaircies du pin laricio. Dans cette région où il a été planté sur des terrasses travaillées au bulldozer, il se trouve souvent en première classe de fertilité ; les forestiers de terrain n'arrivent pas à lui adapter une sylviculture, qu'il faudrait certainement très énergique, car ils manquent de données de base. Les mêmes problèmes vont certainement se poser d'ici peu de temps dans les autres régions citées ; il faudra donc bien arriver à définir la sylviculture du pin laricio en région méditerranéenne, en tenant compte de toutes les données spécifiques à la région et à l'essence. Ainsi, en connaissant mieux les facteurs écologiques qui orientent son comportement, en maîtrisant ses provenances et en lui appliquant une sylviculture adaptée, le pin laricio a-t-il toutes les chances de devenir une des premières essences de production des étages méditerranéens supérieurs français.

PRINCIPAUX OUVRAGES CONSULTÉS

- ARBEZ, M., MILLIER, C., Contribution à l'étude de la variabilité géographique de *Pinus nigra* Arnold, Annales des sciences forestières, 1971, pp. 23-51.
- BARTET, J.H., BOLLIET, R., Méthode utilisée pour la construction de tables de production à sylviculture variable, Section technique de l'ONF, document n° 76-9.
- BOUVET, J.Y., Le cyprès vert en zone méditerranéenne française, Etude écologique et perspectives d'utilisation, CEMAGREF PFCI, Mémoire ENITEF, 1981.
- Bulletin de la vulgarisation forestière, Pin laricio, n° 66/7, juin 1966.
- CEMAGREF, Grenoble, Information technique pour la surveillance phytosanitaire de la forêt, tomes I et II (1973 et 1975).
- DEBAZAC, E.F., Manuel des conifères, 1964, pp. 93-97.
- Id., Le pin laricio de Corse dans son aire naturelle, Revue forestière française, 1964, pp. 188-215.
- Id., Les pineraies de Calabre et de Sicile, Revue forestière française, 1965, pp. 662-673.
- DECOURT, Tables de production et méthodes utilisées pour les construire, Annales des sciences forestières, 1965.
- F.A.O. (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION), Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers, vol.2: Etude et prévision de la production, 1980, pp. 49-76.
- LABADIE, J., Etude des exigences écologiques du pin pignon en région méditerranéenne française, CEMAGREF PFCI, Mémoire ENITEF, 1981.

- OTTORINI, J.M., NYS, C., Application des données de l'inventaire forestier national à l'étude de la production du pin sylvestre en Margeride, Etude de la croissance en hauteur, Annales des sciences forestières, vol. 38-2, pp. 223-236.
- ROYER, Y., Les exigences écologiques des pins noirs, thèse ENGREF, 1979.
- TIMBAL, J., La typologie et la cartographie des stations forestières en France, Application aux forêts méditerranéennes, Forêt méditerranéenne, t. IV, n° 1, 1982, pp. 5-12.
- TOTH, J., Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses : cèdre, pin noir et pin de Salzmann, dans le reboisement de Belvezet (Gard), Forêt méditerranéenne, t. IV, n° 2, pp. 143-146.

ANNEXES

- ANNEXE 1 : Caractères distinctifs des différentes sous-espèces de *Pinus nigra* Arnold.
- ANNEXE 2 : Fiche de relevés et manuel de codification.
- ANNEXE 3 : Climagramme d'Emberger.
- ANNEXE 4 : Segmentation sans les variables floristiques : répartition des placettes en fonction de l'indice de croissance.
- ANNEXE 5 : Fiches de données dendrométriques.
- ANNEXE 6 : Méthode de segmentation : calculs.
- ANNEXE 7 : Les calculs de l'information mutuelle.
- ANNEXE 8 : Tableau croisé roche-mère x texture.
- ANNEXE 9 : Tableau croisé roche-mère x réaction HCl.

	<i>ssp. clusiana</i> var. <i>salzmanni</i> (Pin de Salzmann)	<i>ssp. laricio</i> var. <i>corsicana</i> (Pin laricio de Corse)	<i>ssp. nigricans</i> var. <i>austriaca</i> (Pin noir d'Autriche)	<i>ssp. pallasiana</i> var. <i>tatarica</i> (Pin de Crimée)
Port.....	tronc droit ou un peu flexueux	tronc très droit	tronc droit	
Hauteur totale maximale.....	25 m	50 m	40 m	
Aiguilles.....	<u>vert-clair, droites</u> <u>souples, non piquantes</u>	<u>vert-bleuté souvent frisées, souples,</u> <u>non piquantes</u>	<u>vert foncé, droites</u> <u>ou falquées, rigides</u> <u>piquantes</u>	faiblement falquées, souples, non piquantes
Rameau.....	brun-orangé luisant : à base souvent dénudée	brun-rougeâtre luisant	brun peu luisant	brun ocre luisant
Cône.....	courtement pédonculé, 5 à 8 cm de long	subsessile, 4 à 7 cm de long	sessile, 5 à 8 cm de long	subsessile, 7 à 8 cm de long

ANNEXE N° 1

DESCRIPTION COMPAREE DES PRINCIPAUX REPRESENTANTS DE L'ESPECE PINUS NIGRA (ARNOLD)

(d'après DEBAZAC in ROYER)

ANNEXE n° 2

Fiche de relevés et manuel de codification

LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION

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

1) Situation

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

. Le premier chiffre est

- 1 si la placette a été repérée à partir des données de l'IFN
- 2 si elle a été repérée autrement.

. Le lieu dit, la localisation et l'accès sont remplis de manière à ce que la placette puisse être retrouvée le plus facilement possible.

. Les régions IFN sont numérotées à l'intérieur de chaque département à l'aide du code IFN.

. La distance au littoral est mesurée sur la carte au 1/100 000 elle est exprimée en kilomètres.

. La latitude et la longitude sont également mesurées sur carte, et elles sont exprimées en grades.

2) Station

. Altitude : elle est exprimée en m, et provient d'une extrapolation à partir des courbes de niveau de la carte IGN (1/100 000).

. Topographie : (voir également le schéma). On considère le relief moyen autour de la placette d'étude :

- (1) Plat : surface de pente inférieure à 3 % (plateau ou plaine)
- (4) (5) (6) Versant : surface de pente supérieure à 3 %. De haut en bas on distingue le haut de versant (4), la mi-versant (5), le bas de versant (6).
- (2) (3) Sommet (2) ou croupe (3) séparent 2 vallées ou thalwegs, ils diffèrent par leur forme plus ou moins aiguë
- (7) Replat : surface de pente faible séparant 2 versants à pente assez forte.

1ère carte

I - LOCALISATION ET DESCRIPTION DE LA STATION

1) SITUATION

Département / N° d'ordre / Canton
 Commune / Lieu-dit, localisation et accès
 Région I.F.N. / Secteur O.N.F. / Propriétaire : (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) haut de versant (3) mi-versant (4) bas versant (5) dépression (6)
 Exposition : N (1) NE (2) E (3) SE (4) S (5) SW (6) W (7) NW (8) toutes (9)
 Pente (en %)

3) LITHOLOGIE

Affleurements rocheux : de 0 à 10% (1) de 10 à 30% (2) de 30 à 60% (3) de 60 à 100% (4)
 Nature de la roche mère : (voir code C.E.P.F.)
 Pendage : sans objet (1) conforme (2) parallèle (3) inverse (4)
 Altération - forme : fissuration (1) désagrégation (2) dissolution (3) 1+2 (4) 2+3 (5) 1+3 (6)
 Degré d'altération : sans objet (1) faible ou nul (2) assez faible (3) assez important (4) important (5)
 Réaction HCl roche mère : nulle (1) légèrement audible non visible (2) nettement audible peu visible (3) visible (4) forte (5)

4) SOL

Dépôt : absent (1) présent (2)
 Profondeur réelle et 5 sondages (en cm) - Epaisseur des horizons A (en cm) ..so|
 Pourcentage de cailloux dans le sol : de 0 à 10% (1) de 10 à 30% (2) de 30 à 60% (3) de 60 à 100% (4)
 Type d'humus : absent (1) mor (2) mor calcique (3) moder (4) mull (5) mull calcaire (6)
 Texture : argile (1) limon (2) sable (3) argile+limon (4) argile+sable (5) limon+sable (6) équilibrée (7)
 Structure : (voir code d'après Soltner)
 Réaction HCl terre fine : nulle (1) légèrement audible non visible (2) nettement audible peu visible (3) visible (4) forte (5)
 PH :- de 3,5 (3) de 3,5 à 4,4 (4) de 4,5 à 5,4 (5) de 5,5 à 6,4 (6) de 6,5 à 7,4 (7) de 7,5 à 8,4 (8) + de 8,4 (9)
 Type de sol : AC (1) A(B)C (2) ABC (3) Autres (4) / Nom du sol : (en clair)

5) APPRÉCIATIONS : mauvais (1) passable (2) bon (3) excellent (4)

Aération :
 Réserve en eau :
 Fertilité :
 Facteurs limitants éventuels :
 Appréciation synthétique sur le sol :

6) OBSERVATIONS SUR LA STATION (en clair)

II - VÉGÉTATION ENVIRONNANTE ET ACCOMPAGNATRICE (en clair)

2ème Carte

Département / N° d'ordre
 Formation végétale : (en clair)
 Série de végétation : (en clair)
 Observations (en clair) (espèces introduites notamment)

(1) Essences de reboisement : exotiques ou indigènes.

Département/N° d'ordre 1 3 5 6
 Espèce 7 8

1) OBSERVATIONS SUR LE PEUPELEMENT :

Type de boisement : en plein (1) en bande (2) en bouquet ou alignement (3) disséminé (4) 9

Forme : (essence principale, essence secondaire) consistance, composition :

 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Surface d'extension : (en hectares et ares) : ha 19

Nombre de plants/ha : bouquet ou alignement (1) disséminés moins de 50/ha (2) de 50 à 200/ha (3) plus de 200/ha (4)
 en plein ou en bandes moins de 500/ha (5) de 500 à 1000/ha (6) de 1000 à 2000/ha (7) plus de
 2000/ha (8) 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Age : (en années-préciser l'étage) 19 20 21

Hauteur : (en mètres et centimètres) : moyenne/Classe de croissance m 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42
 extrêmes : minimale
 maximale/Classe de croissance m 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42

Variabilités des hauteurs : très faible (1) assez faible (2) assez forte (3) très forte (4) 36

Etat de végétation : mauvais (1) passable (2) bon (3) excellent (4) 37

Observations sur le peuplement : (en clair)

 38 39 40 41 42

2) REGENERATION NATURELLE

Fruetification : pas de cônes (0) peu abondante (1) abondante (2) très abondante (3) 43

Semis : abondance : absent (0) rare (1) abondant (2) en tapis (3) 44

âge : moins de 3 ans (1) plusieurs années (2) préexistants dominés (3) 1+2 (4) 2+3 (5) 1+3 (6)
 tous les âges (7) 45

hauteur : 1 à 20 cm (1) 20 à 50 cm (2) 50 à 100 cm (3) plus de 100 (4) 46

localisation : sous les porte-graines (1) à moins de 10 m de ceux-ci (2) à plus de 10 m de ceux-ci (3)
 1+2 (4) 2+3 (5) 1+3 (6) 47

situation vis à vis de la lumière : plein découvert (1) abri latéral ou couvert léger (2)
 couvert dense (3) 1+2 (4) 2+3 (5) 1+3 (6) 48

Observations sur la régénération : (en clair)

 49 50 51 52

3) PLANTATION RECENTE - TRAVAUX - MATERIEL VEGETAL

Antécédents culturaux : terre de culture (1) friche (2) garrigue ou maquis (3) forêts (4) autres (5) 53

Préparation du terrain : pas de nettoyage (1) nettoyage localisé (2) nettoyage en plein (3) autres (préciser) (4) 54

Travail du sol : aucune préparation (1) potets piochés (2) labour en bande ou total (3) rootage en ligne (4)
 rootage défoncement total (5) banquettes sous-solées (6) anciennes restanques (7) 55

Mise en place : au coup de pioche (1) potet pioché (2) autres (3) 56

Matériel végétal : semis naturels (1) semis artificiels (2) plants RN 1 an (3) plants RN 2 ans et repiqués (4)
 plants I.O.G. (5) plants G 1+1 (6) plants RN sans précision d'âge (7) plants godets sans
 autres précisions (8) autres (préciser) (9) 57

Provenance et pépinière : (en clair) 58 59 60

Entretiens : désherbage (1) binage (2) dégagement (3) / réalisés pendant 1, 2, 3 ans et plus 61 62

Taux de reprise : (en %)/ Nombre de passages en regarnis : 63 64 65

Observations sur le boisement : (en clair)

 66 67 68 69

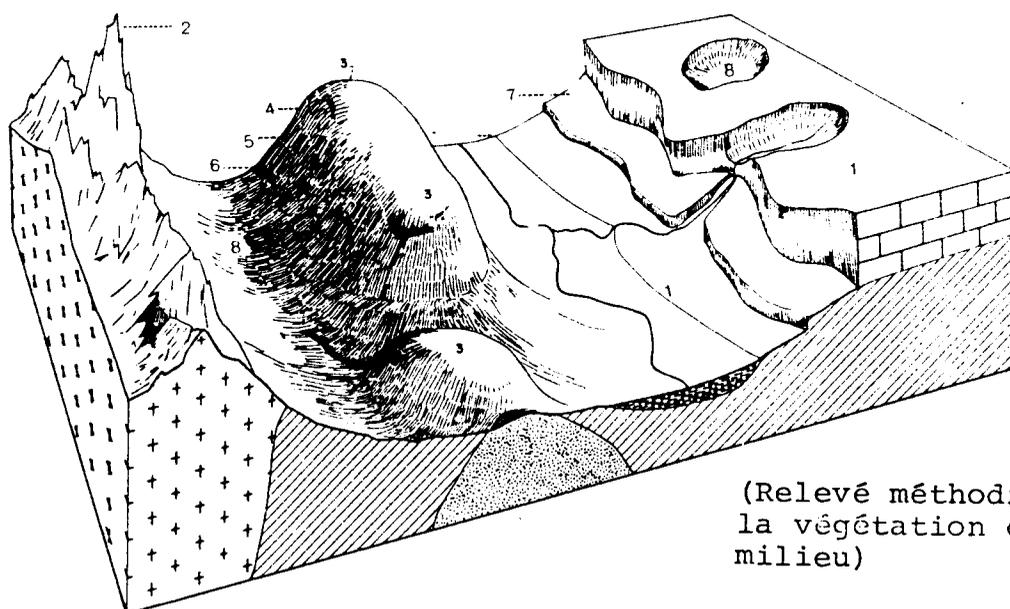
IV-OBSERVATIONS GENERALES : (en clair)

.....

 70 71 72 73

Date et nom du rédacteur.

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



(Relevé méthodique de la végétation et du milieu)

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

3) Lithologie

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

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

. Pendage des couches : Il est dit :

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

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

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

4) Sol :

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

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

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

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

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

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

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

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

II. VEGETATION ENVIRONNANTE ET ACCOMPAGNATRICE

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

Recouvrement :

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

ANNEXE n° 3

Climagramme d'EMBERGER

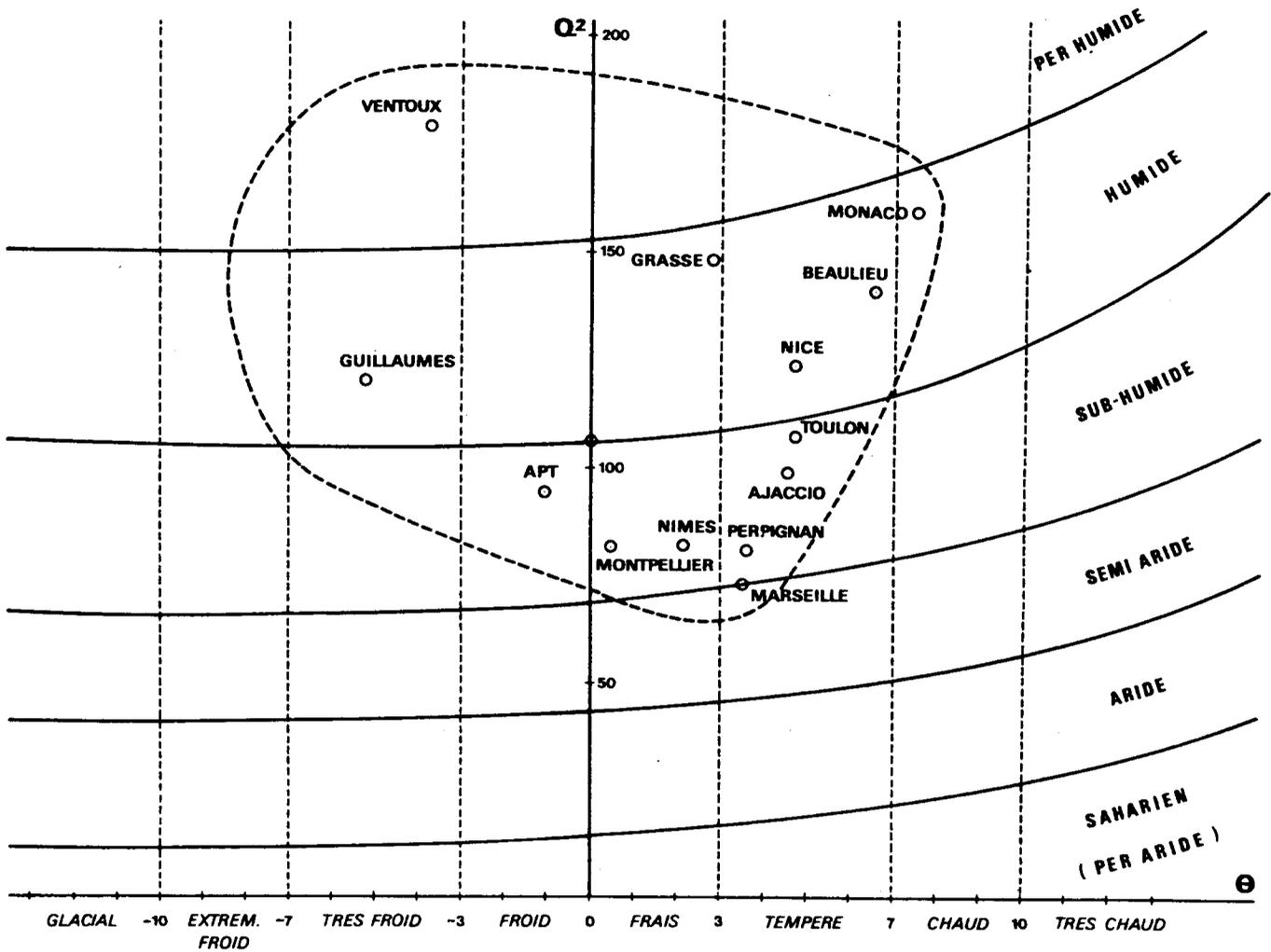
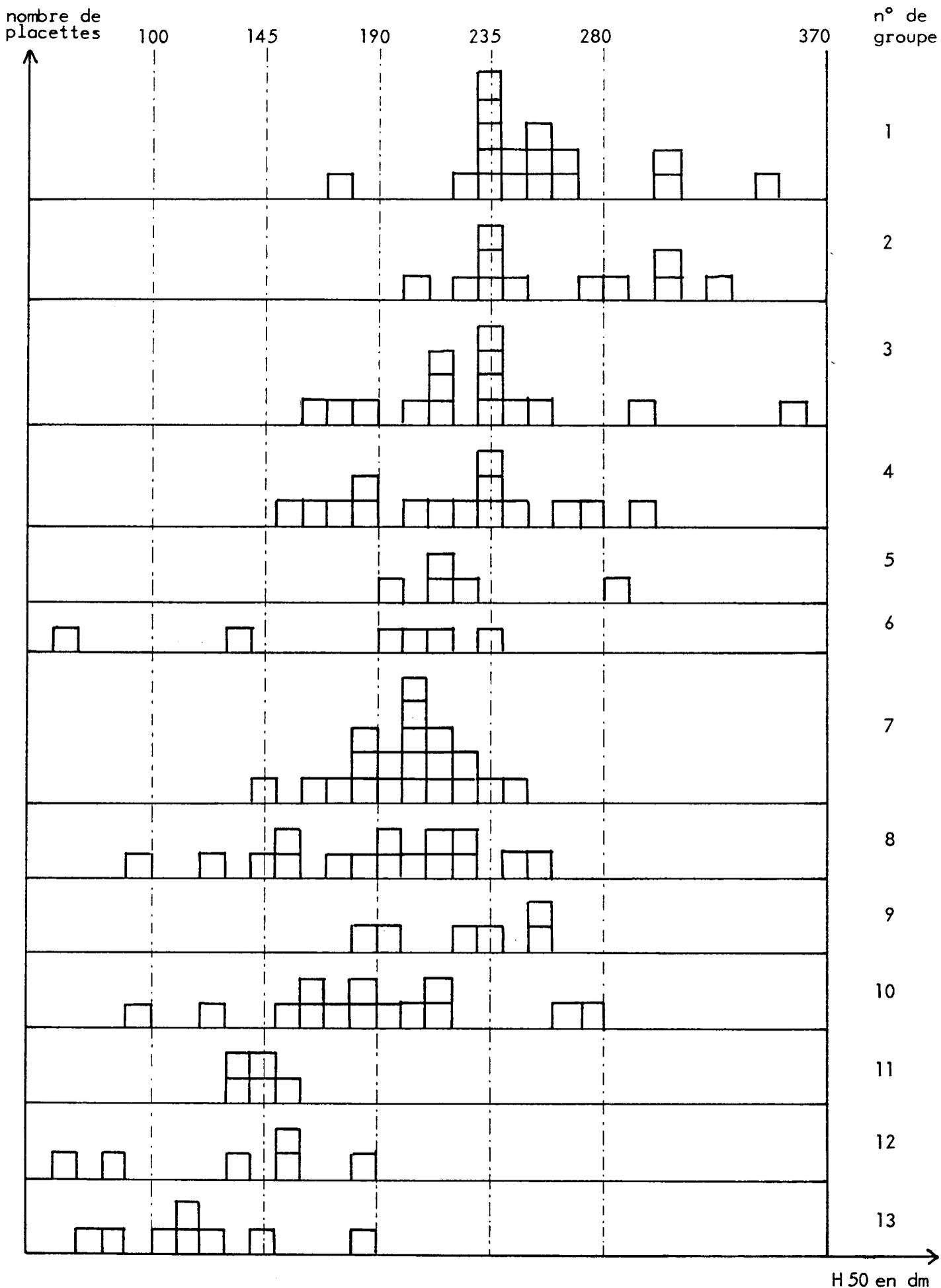


Fig. 1. - Limites schématiques de la projection de l'aire bioclimatique méditerranéenne en France sur le climagramme d'Emberger.

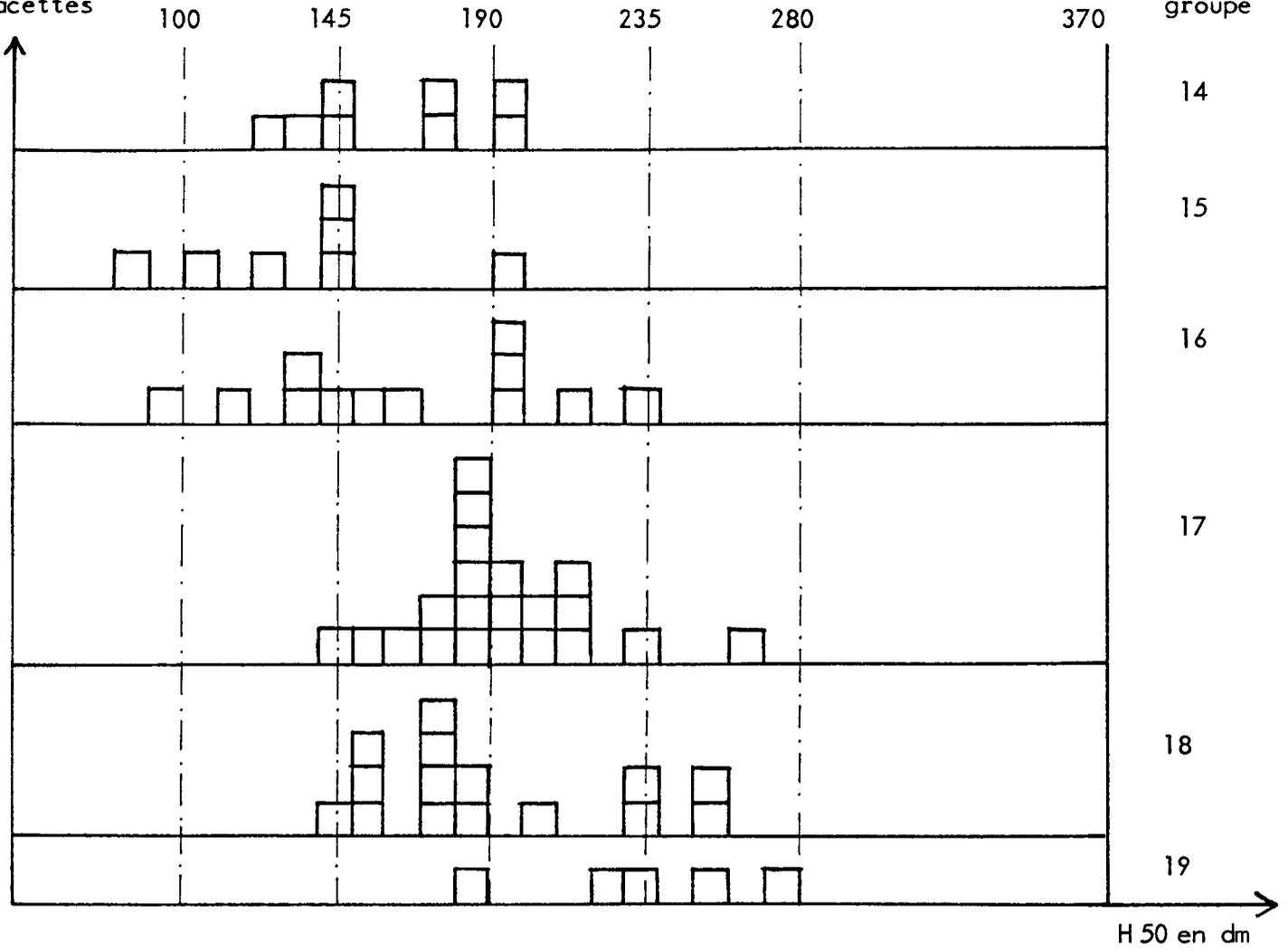
(in Forêt Méditerranéenne, tome I n° 1, octobre 1979, p.9)



ANNEXE n° 4 - Segmentation sans les variables floristiques
Répartition des placettes en fonction de l'indice
de croissance.

nombre de placettes

n° de groupe



Segmentation sans les variables floristiques

Répartition des placettes en fonction de l'indice de croissance (suite)

ANNEXE n° 5

Fiches de données dendrométriques

Essence : Pin Laricio de Corse

Renseignements concernant une placette d'expérience installée dans la forêt domaniale de Riassesse.

Commune de situation : Arques	Département : Aude (11)
Désignation codée de la placette : X5	
N° de la placette : 1	
Surface de la placette : 0,50 ha	Coefficient de surface :
Traitement appliqué : <u>éclaircie forte</u>	

Age en 1969	87 ans
Nombre de tiges/ha	204
Hauteur totale de l'arbre moyen	26,73 m
Circonférence de l'arbre moyen	116 cm
Surface terrière/ha	21,81 m ²
Coefficient de décroissance	0,74
Coefficient de forme	0,54
M Volume "bois fort tige" sur pied (1)	297,46 m ³ /ha
Volume parti en éclaircies (2)	479,50 m ³ /ha
Production totale (1) + (2)	<u>776,95 m³/ha</u>
MM Accroissement moyen annuel (de l'origine à 1969)	<u>8,93 m³/ha/an</u>

.../...

Forêt domaniale de Riassesse
Placette n°1.....

Place : X5

Coefficient de surface :
Chiffres ramenés à 1'ha

Surface : 0 ha 50

Essence principale : Pin Laricio de Corse

Eclaircie : forte

Années d'inven- taires	Age (ans)	Avant la coupe			Enlevé par la coupe			Après la coupe					Produc- tion totale I (m3)	Accroisse- ment moyen annuel (m3/ha/an)
		G m2	Bois fort total m3	N	G m2	Bois fort total m3	N	H.B.F. m	C cm	G m2	Bois fort total (m3)			
1932	50						1176			63	36,82	384,308		
1936	54	40,56	428,122	392	7,22	67,182	784	18,75	73	33,34	360,940	428,122	7,93	
1945	63	39,68	482,430	246	7,04	79,050	538	22,55	87	32,64	403,380	549,612	8,72	
1957	75	44,02	476,673	142	7,90	73,293	396	23,45	101	36,12	455,048	674,573	8,76	
1969	87	41,00	557,429	192	19,19	259,972	204	24,17	116	21,81	297,457	776,954	8,93	

Eclaircie totale : 479,497 m3/ha

Reste sur pied : 297,457 "

Production totale: 776,954 "

Sylviculture et Production

Essence : Pin Laricio de Corse

Renseignements concernant une placette d'expérience installée dans la forêt des Ecrivains Combattants.

Commune de situation : COMBES Départ. : 34

Désignation codée de la placette : 34-17

N° de la placette : 17

Surface de la placette : 32,51 ares - Coefficient de surface :

Traitement appliqué : Futaie régulière.

Age en 1971	44 ans
Nombre de tiges/ha	1525
Hauteur totale de l'arbre moyen	16,42 m
Circonférence de l'arbre moyen	64,8 cm.
Surface terrière /ha	52,24 m ²
Coefficient de décroissance	0,79
Coefficient de forme	0,61
Volume "Bois fort ^x tige" sur pied (1)	466,485 m ³
Volume parti en éclaircies (2)	136,500 m ³
Production totale (1) + (2)	602,985 m ³
Accroissement moyen annuel xx (de l'origine à 1969)	13,703 m ³ /ha/an

(HBF = 14,64 m)

x Bois fort : découpe arrêtée à 7 cm de diamètre (22 cm de circonférence).

- tous les volumes indiqués sont des volumes "bois-fort-tige" sur écorce.

xx Production totale divisée par l'âge.

NOTA - La place d'expérience forme un massif plein, sans vide ; si on veut extrapoler à l'échelle d'un boisement important, admettre des volumes de bois commercialisables de 20 % inférieurs à ceux qui sont annoncés.

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

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

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

.

.

.

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

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

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

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

Conditions d'arrêt de la segmentation

. La dichotomie n'est possible que si l'inertie interclasse est supérieure à un pourcentage fixé à l'avance de l'inertie totale. Nous avons retenu la valeur $p_2 = 1\%$. On impose donc à la procédure B.S.S./T.S.S. $> 2\%$.

. Un groupe ne peut être créé que s'il renferme un nombre minimum de placettes (5 dans notre cas), et si la somme des H_i^2 de ce groupe est supérieure à un pourcentage p_1 de la somme de H_i^2 de la population de départ (nous avons choisi la valeur $p_1 = 0,8\%$).

ANNEXE n° 6

METHODE DE SEGMENTATION

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

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

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

Dans notre cas, toutes les placettes ont le même poids :
 $p_i = 1$

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

- $P(N)$: poids du groupe N $P(N) = n$
- $P(N_0)$: " sous-groupe N_0 $P(N_0) = n_0$
- $P(N_1)$: " " N_1 $P(N_1) = n - n_0$
- \bar{H} : centre de gravité de N $\bar{H} = \frac{1}{P(N)} \sum_{i=1}^n p_i H_i$; $H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i$
- \bar{H}_0 " " N_0 $\bar{H}_0 = \frac{1}{P(N_0)} \sum_{\substack{p_i=1 \\ H_i \in N_0}} p_i H_i$
 $\bar{H} = \frac{1}{N_0} \sum_{n_0}^{n_1} H_i$
- I_N inertie totale du groupe N

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

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

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

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

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

Les calculs de l'Information mutuelle

LES PROFILS ECOLOGIQUES :

FREQUENCE CORRIGEE ET INFORMATION MUTUELLE

On considère les N placettes inventoriées se répartissant en

N_1 placettes de bonne croissance

N_2 placettes de croissance moyenne

N_3 placettes de mauvaise croissance

$$N_1 + N_2 + N_3 = N$$

L'espèce E est présente sur X placettes se répartissant en

X_1 placettes de bonne croissance

X_2 placettes de croissance moyenne

X_3 placettes de mauvaise croissance

$$X_1 + X_2 + X_3 = X$$

Fréquence corrigée :

On pourrait utiliser la fréquence relative d'apparition d'une espèce dans une classe (par exemple $\frac{X_1}{N_1}$). Mais cette méthode présente l'inconvénient de privilégier les espèces fortement représentées au détriment des espèces peu représentées même si elles sont absolument caractéristiques d'une classe de croissance. On pondère donc la fréquence relative ($\frac{X_1}{N_1}$) par l'inverse de la fréquence moyenne d'apparition de l'espèce sur l'ensemble des placettes ($\frac{N}{X}$).

La fréquence corrigée est donc définie par la formule $\frac{X_1}{N_1} \times \frac{N}{X}$.

Information mutuelle :

L'information mutuelle entre l'espèce et la croissance est définie par la formule

$$I M = \sum_1^3 \left[\frac{X_i}{N} \log_2 \left(\frac{X_i}{N_i} \times \frac{N}{X} \right) + \frac{N_i - X_i}{N} \log_2 \frac{N_i - X_i}{N_i} \times \frac{N}{N - X} \right]$$

La valeur de IM augmente lorsque la présence ou l'absence de E est corrélée aux classes de croissance.

Ainsi en utilisant la fréquence corrigée et l'information mutuelle on peut définir des espèces caractéristiques de la bonne ou la mauvaise croissance du pin laricio.

(Extrait de BOUVET J.Y. : Ecologie du cyprès vert en région méditerranéenne française. Publication CEMAGREF - 1983 - annexe 12).

Texture Roche-mère	argileuse	limoneuse	sableuse	équilibrée
granite	0 277	4 216	14 211	2
calcaire dur ou en plaquettes	1 173	7 214	2 132	22 168
calcaire dolomitique	1 221	3 174	0	4 211
marno - calcaire	22 165	7 209	1 179	7 143
greso schisteuse	0	10 204	0	0
grès	0	12 211	4 232	0
schiste	2 147	23 218	5 195	3 214
micaschistes	0	12 222	0	0
granulite	0	6 217	2 195	1 231
roches glaciaires	1 306	0	6 201	3 226
Autres	5 175	0	2 177	3 194

ANNEXE n° 8

Tableau croisé Roche-mère x texture

Dans chaque case le chiffre de gauche indique l'effectif, celui de droite la moyenne des indices en dm.

Réaction Hcl Roche-mère	nulle	invisible	visible	forte
granite	20 219	0	0	0
calcaire dur ou en plaquettes	6 148	11 213	8 153	22 172
calcaire dolomitique	3 174	5 213	0	0
marno- calcaire	5 192	1 237	6 168	25 163
greso schisteuse	7 200	2 215	1 203	0
grès	16 216	0	0	0
schiste	32 212	0	1 119	0
micaschistes	16 222	0	0	0
granulite	9 214	0	0	0
roches glaciaires	4 213	0	0	6 223
Autres	3 199	0	1 222	6 165

ANNEXE n° 9

Tableau croisé Roche -mère x Réaction Hcl

Dans chaque case le chiffre de gauche indique l'effectif, celui de droite la moyenne des indices en dm.