

## CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ GÉOGRAPHIQUE DE *PINUS NIGRA* ARN.

ÉTUDE COMPARATIVE DE QUELQUES CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES  
DES AIGUILLES AU STADE JUVÉNILE. CONSÉQUENCES POUR LA  
SYSTÉMATIQUE DE L'ESPÈCE ET LES TESTS VARIÉTAUX

M. ARBEZ et C. MILLIER

Station d'Amélioration des Arbres forestiers,  
Station de Biométrie,  
Centre national de Recherches forestières, I.N.R.A.,  
54 - Nancy

---

### RÉSUMÉ

L'espèce *Pinus nigra* Arn. se caractérise par sa grande variabilité géographique. Aux divisions sous spécifiques existantes correspondent des utilisations forestières très différentes (production de bois en quantité et qualité, autécologie). Le contrôle *a posteriori* de l'origine des plants forestiers apparaît donc comme un problème important ; il relève de l'élaboration des tests variétaux juvéniles. Entre autres, les caractères morphologiques des aiguilles peuvent aider à cette discrimination.

Le présent mémoire se limite à leur étude, il apporte des informations de deux types :

- lois de variabilité de l'espèce et réflexions sur sa systématique,
- recherche d'une méthode de test variétal juvénile et mise en évidence de ses limites (sélection de caractères discriminants et utilisation de l'analyse canonique).

Les conclusions ne doivent pas être dissociées d'un échantillonnage de provenances provisoirement imparfait (prépondérance du groupe *laricio*).

---

### INTRODUCTION

*Pinus nigra* Arnold occupe une aire de répartition vaste et morcelée autour de la Méditerranée, de la Péninsule ibérique à l'Asie mineure et à la Crimée, des contreforts des Alpes autrichiennes à ceux de l'Atlas.

La répartition, l'écologie et la variabilité de l'espèce ont fait l'objet de nombreuses descriptions ; les plus récentes et les plus complètes ont été faites par RÖHRIG (1957) et DEBAZAC (1964, 1965, 1971).

L'étendue de l'aire impliquant des conditions écologiques différentes, et son morcellement conduisant à l'isolement de certaines populations (insulaires notamment), représentent des facteurs favorables à la différenciation génétique.

La grande variabilité de l'espèce explique la confusion qui régna longtemps dans sa systématique. Nous adopterons comme hypothèse de travail, la classification de FUKAREK (1958), reconnue par DEBAZAC (1964) et de nombreux auteurs. Elle subdivise l'espèce collective *Pinus nigra* en quatre sous-espèces géographiques :

— la sous-espèce *clusiana* CLEM. ex ARIAS comprend les formes du secteur occidental et méridional : Cévennes, Pyrénées, Espagne et Afrique du Nord (Djurdjura algérien, Rif occidental marocain) ;

— la sous-espèce *laricio* POIRET comprend les formes géographiques de Corse, de Calabre et de Sicile ;

— la sous-espèce *nigricans* HOST. regrouperait schématiquement les formes d'Autriche, de Yougoslavie et d'Italie centrale. Bien qu'il y ait encore matière à controverse, nous classerons aussi provisoirement dans cette sous-espèce les populations de Grèce, Roumanie et Bulgarie.

— la sous-espèce *pallasiana* LAMB. occupe le secteur oriental, en Turquie d'Asie, en Crimée et à Chypre.

Si elle existe, la frontière géographique entre les deux dernières sous-espèces semble encore confuse. Le chevauchement des deux aires dans ce secteur n'est pas exclu *a priori*.

DELEVOY (1949) sur la base d'observations morphologiques et anatomiques des aiguilles ne reconnaît que deux sous-espèces distinctes : *occidentalis* regroupant *clusiana* et *laricio* de Corse, *orientalis* regroupant *nigricans*, *laricio* de Calabre et *pallasiana*.

La solution objective de ces problèmes systématiques passe par des études de taxonomie expérimentale, entreprises dans des conditions comparatives sur des échantillonnages de provenances représentatifs.

De telles études s'intègrent parfaitement au programme des recherches sur la variabilité infraspécifique constituant la première étape de l'amélioration de l'espèce.

Ce mémoire présente les résultats obtenus sur quelques caractères morphologiques des aiguilles, au stade juvénile. L'identification précoce des différentes formes présente un intérêt évident pour le praticien. Par ailleurs, certains caractères très discriminants au stade juvénile, comme la courbure des aiguilles, s'estompent avec l'âge ; l'intérêt des comparaisons juvéniles s'en trouve donc renforcé.

## I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1.1. — Échantillonnage des provenances

Sur les 31 provenances étudiées, les différentes sous-espèces sont très inégalement représentées. L'accent est mis sur la sous-espèce *laricio* (Corse et Calabre) avec au total 16 populations d'origine naturelle.

La dissymétrie de l'échantillonnage vient de ce que cette expérience fait partie d'un programme à long terme où les trois sous-espèces *laricio*, *pallasiana* et *nigricans* font l'objet de tranches expérimentales séparées.

Le tableau 1 présente brièvement les provenances ; il est complété par la carte de la figure 1.

TABLEAU 1  
Description des provenances

Provenance	Pays	Abré- viation	N°	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Origine
<i>spp clusiana</i>							
Gugières	France	GAGN	1	44° 07' N	4° 17' E	200-500	Naturelle
St-Guilhem-le-Désert	France	SGUL	2	43° 41' N	3° 35' E	350-400	Naturelle
Cazorla	Espagne	CAZO	3	37° 50' N	3° 00' O	1.500	Naturelle
Rio Madera	Espagne	RO-MA	4	37° 50' N	3° 00' O		Naturelle
<i>spp laricio</i>							
Tartagine I	France (Corse)	TART I	5	42° 29' N	8° 57' E	850	Naturelle
Tartagine II	France (Corse)	TART II	6	42° 29' N	8° 57' E	750	Naturelle
Valdonicello I	France (Corse)	VALD I	7	42° 17' N	8° 54' E	1.070	Naturelle
Valdonicello II	France (Corse)	VALD II	8	42° 17' N	8° 54' E	1.050-1.100	Naturelle
Valdonicello III	France (Corse)	VALD III	9	42° 17' N	8° 54' E	1.150	Naturelle
Vizzavona	France (Corse)	VIZZ	10	42° 13' N	9° 07' E	850-900	Naturelle
Vezzani	France (Corse)	VEZZ	11	42° 09' N	9° 15' E	1.100	Naturelle
Marmaino	France (Corse)	MARM	12	42° 01' N	9° 10' E	1.000	Naturelle
Bavella	France (Corse)	BAVE	13	41° 48' N	9° 13' E	1.000	Naturelle
Marghèse	France (Corse)	MARG	14	41° 39' N	9° 12' E	1.100	Naturelle
Cantanzaro	Italie (Calabre)	CANT	15	38° 54' N	16° 34' E		Naturelle
Cosenza	Italie (Calabre)	COSE	16	39° 15' N	16° 17' E	1.300	Naturelle
Grancia	Italie (Calabre)	GRAN	17	39° 25' N	16° 35' E	850	Naturelle
Macchia della Tavola	Italie (Calabre)	MA-TA	18	39° 25' N	16° 35' E	950	Naturelle
Trenta Coste	Italie (Calabre)	TR-CO	19	39° 25' N	16° 35' E	1.050	Naturelle
Aspromonte	Italie (Calabre)	ASPR	20	38° 05' N	16° 00' E	1.300	Naturelle
Les Barres, 2 <sup>e</sup> généra- tion	France	LBAR	21	47° 50' N	2° 45' E	150	Artificielle
Koekelare II	Belgique	LBAR II G KOEK II	22	50° 20' N	6° 20' E	18	Artificielle
<i>spp nigricans</i>							
Kustendil	Bulgarie	KUST	23	42° 16' N	22° 40' E	900-1.000	Naturelle
Mont-Saint-Martin	France	MS-MA	24	49° 19' N	4° 37' E	180	Artificielle
Mende	France	MEND	25			900-1.000	Artificielle
Embrunais	France	EMBR	26	44° 34' N	6° 28' E	1.000	Artificielle
Ville Haute	France	VL-HA	27	43° 58' N	6° 52' E	900	Artificielle
<i>spp pallasiana</i>							
Crimée	U.R.S.S. (Crimée)	CRIM	28	44° 40' N	34° 20' E	500	Naturelle
Ayancik I	Turquie	AYAN I	29	41° 43' N	34° 31' E	1.400	Naturelle
Alaçam	Turquie	ALAC	30	39° 35' N	28° 35' E	800-1.000	Naturelle
Les Barres, pallasiana	France	LB-PA	31	47° 50' N	2° 45' E	150	Artificielle

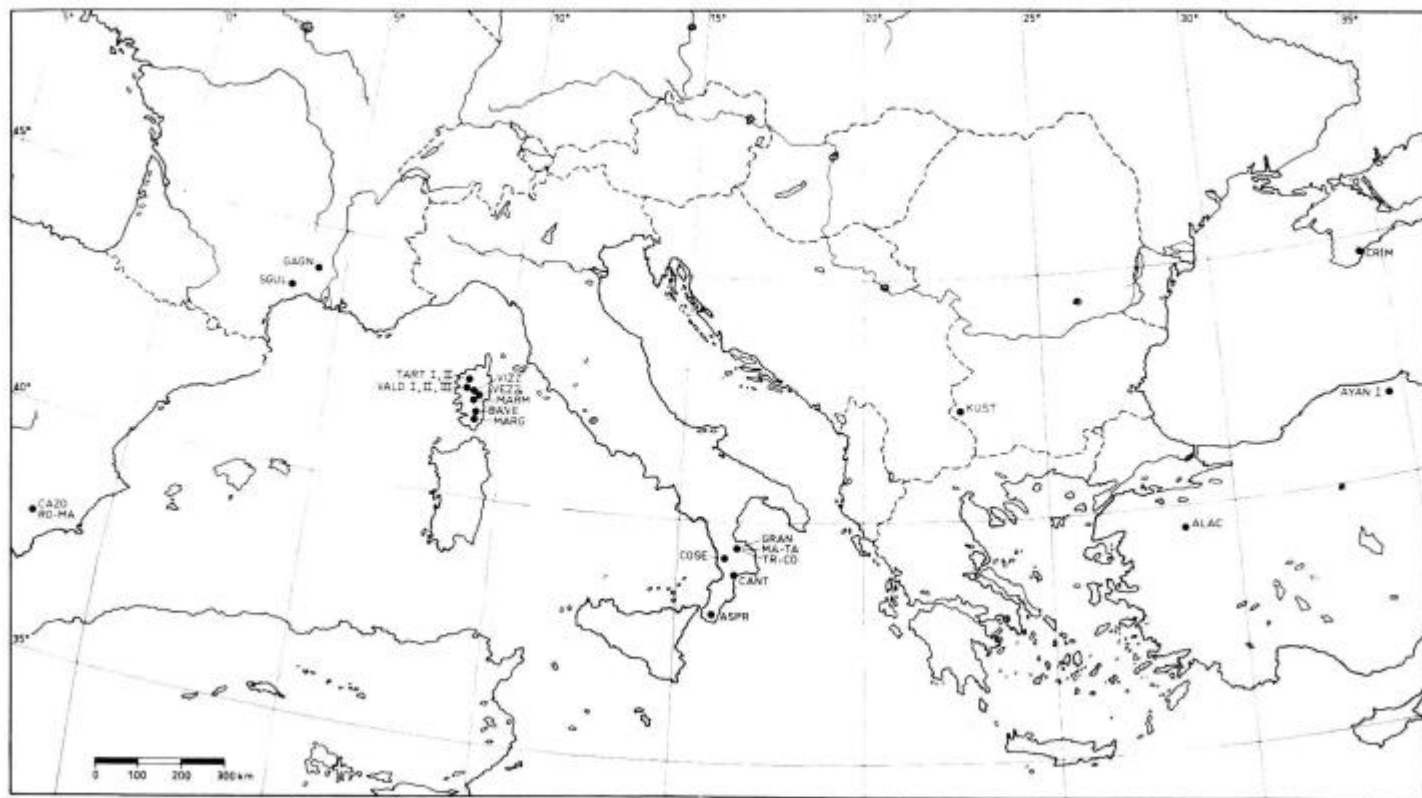


FIG. 1. — Localisation géographique des provenances naturelles

1.2. — *Echantillonnage des aiguilles*

Dans le cadre d'un dispositif de pépinière en blocs complets, on a prélevé un fascicule d'aiguilles par individu sur 30 individus de chaque provenance, à raison de 5 individus choisis au hasard dans chacune des 6 répétitions du dispositif. Les individus étaient âgés de 3 ans (1-2) et les aiguilles étaient prélevées à l'automne dans la zone médiane de la flèche de 2<sup>e</sup> année.

Des deux aiguilles de chaque fascicule, on n'a retenu que la plus courbée pour être mesurée.

1.3. — *Caractères étudiés*

La liste des caractères fait l'objet du tableau 2. La numérotation utilisée sera conservée dans la suite. La signification de certains caractères est explicitée par la figure 2.

TABLEAU 2

*Liste des caractères étudiés*

N°	Caractères
1	Longueur développée des aiguilles (« arc »), en mm.
2	Longueur du segment de droite joignant le point d'insertion de l'aiguille à son extrémité (« corde »), en mm.
3	Largeur des aiguilles au milieu de la longueur, en mm (mesure par lecture directe au comparateur à 1/10 <sup>e</sup> mm près).
4	Plus petit rayon de courbure, mesuré par ajustement à des arcs de cercle de rayon croissant de cm en cm.
5	Rayon de courbure de l'arc le plus long, en cm.
6	Rapport $\frac{\text{« corde »}}{\text{« arc »}}$
7	Nombre de courbures, entre l'insertion et l'extrémité de l'aiguille.
8	Nombre de torsions de l'aiguille sur elle-même entre le point d'insertion et l'extrémité (mesures exprimées en 1/4 de tour).
9	Nombre de lignes de stomates sur la face plane de l'aiguille, au milieu de sa longueur.
10	Densité des stomates par mm linéaire, au milieu d'une ligne médiane.
11	Nombre de stomates par mm de longueur d'aiguille (caractère 9 × caractère 10).
12	Densité des denticulations sur le bord de l'aiguille (mesurée sur 3 mm au milieu de la longueur).

On a délibérément choisi d'étudier un nombre élevé de caractères dans le but de sélectionner les plus discriminants.

La plupart de ces caractères ont déjà été utilisés par divers auteurs dans des études consacrées à *Pinus nigra*, en particulier par J.-W. WRIGHT et W.-I. BULL (18, longueur, denticulation des bords de l'aiguille, rayon de courbure), P. BOUVAREL (1, rayon de courbure), G. DELEVOY (8, longueur des aiguilles), C.-H. LEE (12, longueur, largeur, denticulation des bords de l'aiguille, nombre de lignes de stomates).

La variable  $\frac{\text{« corde »}}{\text{« arc »}}$  est fonction du nombre des courbures et du rayon de chacune d'elles. Elle varie dans le même sens que le rayon de courbure.

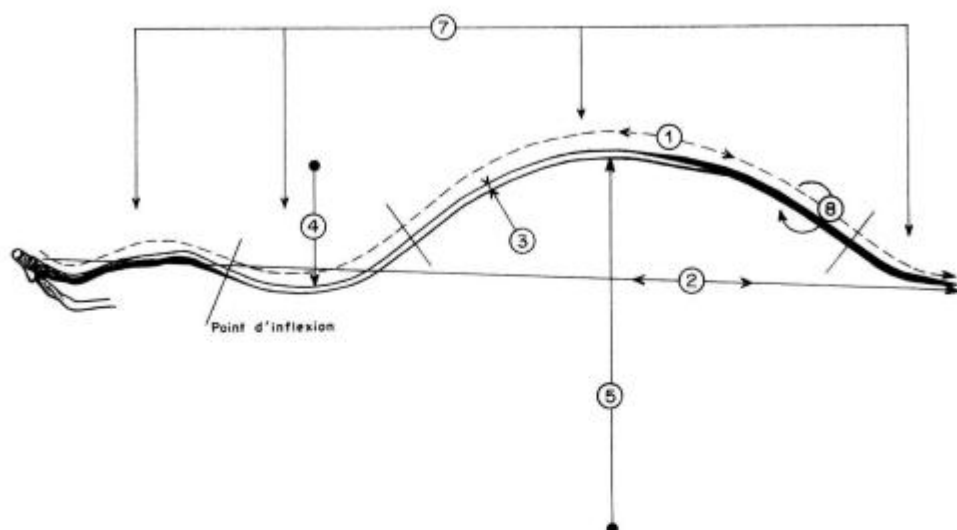


FIG. 2. — *Présentation de quelques caractères*  
La numérotation des caractères est conforme au tableau 2

TABLEAU 3

*Analyse des composantes principales*  
La numérotation des caractères est conforme au tableau 2

	Composantes principales			
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>
Valeurs propres .	6,734	2,801	1,008	0,712
% variation . . . . .	56,11	23,35	8,40	5,93
% cumulé . . . . .	56,11	79,46	87,86	93,79
N° des caractères				
1	0,063	<b>0,500</b>	<b>0,433</b>	0,026
2	-0,242	<b>0,335</b>	<b>0,524</b>	-0,007
3	0,254	- <b>0,373</b>	0,117	-0,284
4	- <b>0,367</b>	-0,118	0,021	-0,078
5	- <b>0,365</b>	-0,115	0,093	-0,142
6	- <b>0,353</b>	-0,060	0,249	-0,087
7	0,301	0,283	-0,027	- <b>0,416</b>
8	0,280	0,258	0,033	- <b>0,544</b>
9	0,122	- <b>0,474</b>	<b>0,467</b>	-0,202
10	0,303	0,133	0,139	<b>0,572</b>
11	0,280	-0,272	<b>0,455</b>	0,200
12	<b>0,356</b>	-0,072	-0,080	0,087

## II. — RÉSULTATS

2.1. — *Analyse des composantes principales*

On a effectué une analyse des composantes principales <sup>(1)</sup> portant sur les moyennes de provenances des douze caractères. Les résultats font l'objet du tableau 3. La matrice des corrélations inter-provenances correspondante figure en annexe 1.

L'analyse est particulièrement efficace puisque les deux premières composantes rassemblent à elles seules près de 80 % de la variation totale.

La première composante absorbe 56,1 % de la variation totale ; elle est partagée entre les trois expressions de la courbure (plus petit rayon de courbure, rayon de courbure de l'arc le plus long, rapport corde/arc) et le nombre des denticulations, qui interviennent à part égale.

La deuxième composante explique encore 23,4 % de la variation totale ; les poids les plus importants affectent les dimensions des aiguilles (largeur, longueur développée ou « arc », « corde ») et le nombre des lignes de stomates.

La troisième composante ne représente déjà plus que 8,4 % de la variation totale. On y retrouve les caractères de la deuxième composante à l'exception de la largeur ; il s'y ajoute le nombre des stomates par millimètre de longueur d'aiguille.

La quatrième composante, qui correspond à 5,9 % seulement de la variation totale, est partagée entre la densité des stomates sur une ligne, le nombre des torsions et celui des courbures.

Regroupées, les huit dernières composantes n'absorbent ensemble que 6,2 % de la variation totale et nous ne les détaillerons pas.

La projection des provenances sur le plan des deux premiers vecteurs propres fait l'objet de la figure 3.

Ces résultats appellent deux types de conclusions : les unes concernant la variabilité de l'espèce, les autres concernant le choix des caractères les plus discriminants.

L'analyse classe les provenances selon quatre groupes géographiques. Sous-espèces et groupes géographiques ne se recouvrent pas. En effet, d'une part l'analyse s'avère impuissante à séparer les sous-espèces *nigricans* et *pallasiana*, d'autre part, et inversement, la sous-espèce *laricio* éclate en deux groupes nettement distincts : Corse et Calabre. La sous-espèce *clusiana* constitue un ensemble cohérent et bien différencié.

— L'impuissance de la présente analyse à discriminer les sous-espèces *nigricans* et *pallasiana* ne peut pas être dissociée des particularités du contexte expérimental <sup>(2)</sup>. Avant toute discussion, ce premier résultat appelle donc des confirmations ultérieures, sur la base d'échantillonnages de provenances appropriés.

(1) Pour l'utilisation de la méthode en taxinomie expérimentale, voir par exemple DEBAZAC E. F. et TOMASSONE R., 1965.

(2) L'échantillonnage de provenances utilisé pour les deux sous-espèces concernées est insuffisant : la sous-espèce *nigricans* est en majeure partie représentée par des populations françaises d'origine artificielle, la seule provenance naturelle (Kustendil, Bulgarie) appartient à la limite orientale de cette sous-espèce. De la même façon, la sous-espèce *pallasiana* n'est représentée que par trois provenances naturelles.

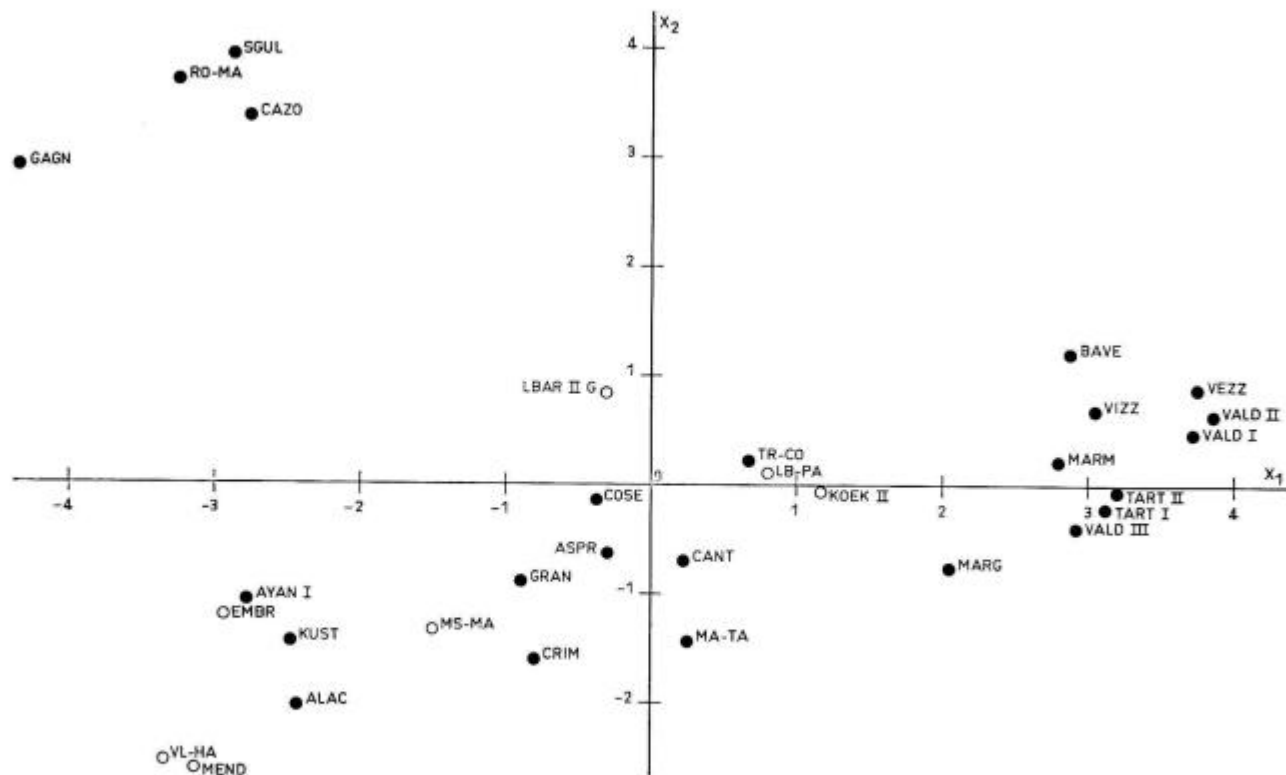


FIG. 3. — Analyse des composantes principales. Projection des provenances sur le plan défini par les deux premiers vecteurs propres

● provenances naturelles,  
○ provenances d'origine artificielle

— La position intermédiaire de la provenance artificielle des Flandres, Koekelare, très proche du groupe Calabre mais formant transition avec le groupe Corse, confirme l'hypothèse émise par DELEVOY (1949) et divers auteurs, sur l'origine de cette provenance.

La présence anormale de la provenance artificielle Les Barres - *pallasiana* dans le groupe Calabre, s'explique aisément. En effet, le plateau forestier correspondant de l'arboretum des Barres est au voisinage immédiat de sources de pollen importantes de *Pin laricio* de Corse et de Calabre, avec lesquels l'hybridation naturelle est *a priori* possible.

Les résultats de cette analyse permettent aussi de diminuer le nombre des caractères à prendre en considération dans des études ultérieures analogues. Il semble, en effet, qu'on puisse obtenir une précision suffisante en ne retenant que les quatre caractères les plus discriminants :

- rayon de courbure,
- densité des denticulations,
- longueur,
- nombre des lignes de stomates,

ce qui représenterait une économie importante de temps et d'argent.

## 2.2. — Etude analytique des quatre caractères les plus discriminants

### 2.21. Courbure des aiguilles (figure 4 A).

On a utilisé trois expressions différentes de la courbure des aiguilles :

- le plus petit rayon de courbure,
- le rayon de courbure de l'arc le plus long,
- le rapport  $\frac{\text{« corde »}}{\text{« arc »}}$

La première expression apprécie un accident localisé. La seconde concerne l'arc le plus long et rend déjà mieux compte de la forme d'ensemble de l'aiguille. La troisième contient *a priori* un maximum d'informations puisqu'elle intègre à la fois le nombre et l'importance des diverses courbures.

En fait, ces trois expressions différentes de la courbure ont des pouvoirs discriminants comparables et conduisent à des classements de provenances semblables <sup>(1)</sup>.

Les résultats des analyses de variance (31 provenances, 6 répétitions) donnent un léger avantage aux deux dernières expressions.

Le rayon de courbure de l'arc le plus long conduit à la valeur de F (SNEDECOR) la plus élevée (F = 21,29 \*\*\* pour 30 et 150 degrés de liberté <sup>(2)</sup>) ; nous limiterons donc nos commentaires au classement correspondant. Le caractère varie en moyenne entre 3 et 14 cm.

(1) Valeur des coefficients de corrélation entre moyenne de provenances :  $r_{4-5} = 0,98^{***}$ ,  $r_{4-6} = 0,88^{***}$ ,  $r_{5-6} = 0,92^{***}$ .

(2) Les valeurs de F citées dans la suite se rapportent toutes au même schéma d'analyse de variance, les degrés de liberté restent donc les mêmes.

La sous-espèce *laricio* est nettement scindée en deux groupes géographiques distincts : Corse et Calabre.

Le groupe Corse est très homogène et significativement séparé de tous les autres ; il correspond aux plus faibles rayons de courbure, très caractéristiques des provenances de Corse au stade juvénile.

Le groupe Calabre est moins nettement différencié et des écarts significatifs subsistent à l'intérieur du groupe. Les rayons de courbure correspondants sont supérieurs à ceux du pin *laricio* de Corse.

Possédant des aiguilles pratiquement droites, les provenances de la sous-espèce *nigricans* ont les rayons de courbure les plus élevés.

Les sous-espèces *clusiana* et *pallasiana* ont des courbures intermédiaires entre celles des sous-espèces *laricio* et *nigricans*.

Ces résultats confirment ceux obtenus précédemment par J. W. WRIGHT et W. I. BULL (1962) ainsi que par P. BOUVAREL (1964).

La position anormale de la provenance d'origine artificielle Les Barres - *pallasiana*, entre les pins *laricio* de Corse et de Calabre, est à rapprocher des risques d'hybridation naturelle évoqués précédemment.

## 2.22. Densité des denticulations du bord de l'aiguille (figure 4 B).

Les résultats de l'analyse de variance traduisent des différences très significatives entre provenances ( $F = 17,94^{***}$ ). Le nombre moyen des denticulations au millimètre varie entre 3 et 5.

Ce caractère permet d'isoler les provenances françaises des Cévennes appartenant à la sous-espèce *clusiana* par rapport à leurs homologues d'Espagne méridionale et au reste des provenances. Ces deux provenances : Saint-Guilhem et Gagnières, ont les densités de denticulations les plus faibles.

On trouve ensuite par ordre croissant des valeurs :

- les provenances d'Espagne méridionale de la sous-espèce *clusiana*,
- les sous-espèces *nigricans* et *pallasiana* (Les Barres - *pallasiana* excepté),
- le groupe Calabre de la sous-espèce *laricio*, très dispersé,
- enfin, le groupe Corse, relativement cohérent.

Cette caractéristique du groupe Corse a déjà été mise en évidence par LEE (1968), cependant, les résultats analysés par cet auteur ne font pas ressortir l'originalité de la sous-espèce *clusiana*, étudiée il est vrai à partir d'un échantillonnage un peu différent <sup>(1)</sup>.

## 2.23. Longueur des aiguilles (figure 4 C).

L'analyse de variance montre qu'il existe des différences significatives entre provenances ( $F = 9,78^{**}$ ). La longueur moyenne des aiguilles varie entre 8,5 et 13,2 cm.

(1) Cet échantillonnage comprenait deux provenances espagnoles (Sierra de Cazorla et Sierra de Cuenca) et deux provenances françaises. Concernant ces dernières, l'une récoltée en forêt d'Olette (Pyrénées-Orientales) se rapprochait beaucoup du Pin *laricio* de Corse, tandis que l'autre provenait d'un peuplement non identifié du département de l'Hérault.

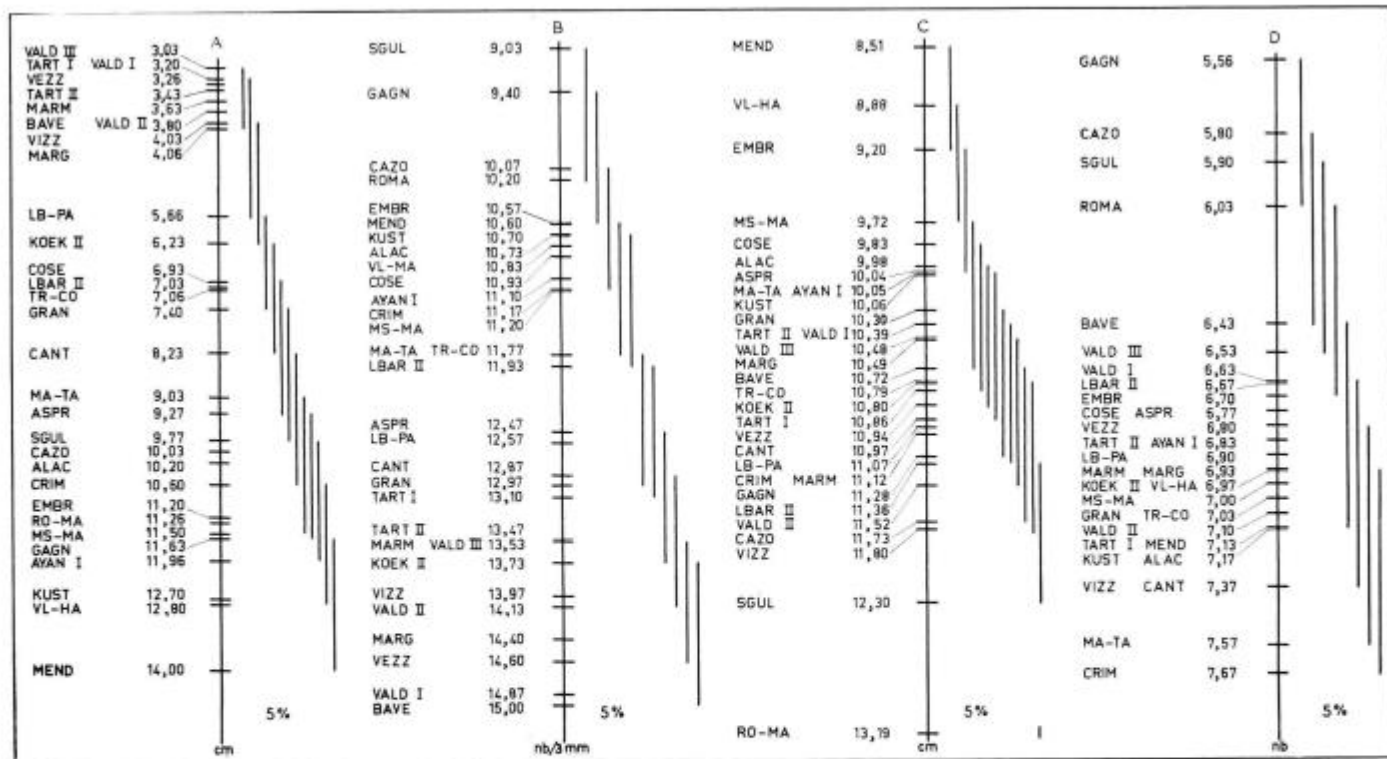


FIG. 4. — Classement des provenances (Test de DUNCAN)

A = rayon de courbure de l'arc le plus long, en cm ;

B = densité des denticulations par 3 mm ;

C = longueur en cm ;

D = nombre de lignes de stomates.

(Les provenances non significativement différentes au seuil de probabilité 5 % sont réunies par le même trait vertical)

Les provenances de la sous-espèce *nigricans* ont les aiguilles les plus courtes. Le fait est particulièrement marqué pour les provenances françaises d'origine artificielle (reboisements) ; il est moins net pour la provenance naturelle Kustendil (Bulgarie).

Les provenances appartenant à la sous-espèce *clusiana* ont les aiguilles les plus longues.

Les provenances rattachées aux sous-espèces *laricio* et *pallasiana* ont des longueurs intermédiaires.

Ces résultats s'accordent avec ceux de divers auteurs, en particulier G. DELEVOY (1949) et C. H. LEE (1968).

Néanmoins, on remarquera sur la figure que les différents groupes géographiques ne sont ni homogènes, ni distincts vis-à-vis du test de DUNCAN. A lui seul, le caractère longueur n'autorise donc aucune discrimination rigoureuse.

A l'intérieur de la sous-espèce *pallasiana*, la provenance Crimée possède des aiguilles plus longues que les deux provenances turques représentées dans cette expérience. Il en va de même de la provenance d'origine artificielle Les Barres - *pallasiana* pour les raisons déjà citées.

#### 2.24. Nombre des lignes de stomates (figure 4 D).

Les différences entre provenances sont significatives mais relativement modestes ( $F = 4,65^{**}$ ). Le nombre des lignes de stomates varie en moyenne de 5,6 à 7,7.

Ce caractère discrimine très nettement la sous-espèce *clusiana* caractérisée par des lignes de stomates peu nombreuses.

### 2.3. — Description récapitulative des sous-espèces

Les autres caractères n'apportent aucune information nouvelle et déterminante pour la discrimination ; les valeurs de quatre d'entre eux figurent néanmoins en Annexe 2 : il s'agit de la largeur, des nombres de courbures et de torsions, de la densité des stomates par millimètre de ligne.

Le tableau 4 propose une description des sous-espèces s'appuyant sur l'ensemble des informations obtenues sur les huit caractères précédents. La confiance qu'on peut accorder à cette description varie avec les sous-espèces suivant la représentativité de leur échantillonnage ; cette remarque affecte principalement les sous-espèces *nigricans* et *pallasiana*. Ce tableau montre la façon dont se modifie l'assemblage des caractères d'une sous-espèce à l'autre.

La longueur et la largeur de l'aiguille suivent des lois de variabilité géographique différentes : les aiguilles de la sous-espèce *clusiana* sont à la fois les plus longues et les plus étroites. Associées à l'existence d'un épiderme et d'un hypoderme relativement minces, à cellules très peu épaissies, comme à la rareté des éléments de soutien du cylindre central (DELEVOY, 1949), ces caractéristiques expliquent la souplesse des aiguilles de la sous-espèce *clusiana*.

TABLEAU 4

*Description récapitulative des sous-espèces* (1)

Groupe	clusiana	laricio		nigricans	pallasiana
		Corse	Calabre		
1 - Longueur ....	+++++	+++	+++	+	++
3 - Largeur .....	+	+++++	+++	+++	++++
5 - Courbure (2)	+++	+++++	++++	+	+++
7 - Nombre des courbures ....	+++	+++++	+++	+	+
8 - Nombre des torsions .....	+++	+++++	+++	+	+
9 - Nombre des lignes de stomates .....	+	+++	+++	++++	++++
10 - Densité des stomates sur une ligne .....	+++	+++++	++++	+	++
12 - Densité des denticulations .	+	+++++	++++	++	+++

(1) Le nombre de signes + est proportionnel à la valeur du caractère.

(2) La courbure se définit comme l'inverse du rayon de courbure.

Les nombres de courbures et de torsions varient dans le même sens que la courbure (1), les valeurs les plus élevées de ces trois caractères de forme se retrouvent chez la sous-espèce *laricio*.

On note un parallélisme étroit entre le nombre des lignes de stomates et la largeur de l'aiguille, de même qu'entre le nombre des stomates par millimètre d'aiguille et la densité des denticulations.

#### 2.4. — Corrélations phénotypiques entre caractères, au niveau individuel (sous-espèce *laricio*)

La corrélation entre deux caractères, au niveau individuel dans une provenance ou un groupe de provenances, résulte de l'action combinée des mécanismes génétiques qui régissent le phénotype de l'individu (pléiotropie ou linkage) et du milieu.

En raison de la dissymétrie de l'échantillonnage des provenances, seule la sous-espèce *laricio* se trouve fidèlement représentée. Nous nous sommes donc limités à la recherche d'une estimation moyenne des coefficients de corrélation individuels, calculée séparément sur l'ensemble des provenances du groupe Corse (239 degrés de liberté) et l'ensemble des provenances d'origine naturelle du groupe Calabre (2) (143 degrés de liberté). Les graphes de corrélations correspondants font l'objet de la figure 5.

Les graphes de corrélations individuelles des groupes Corse et Calabre sont étroitement apparentés.

(1) La courbure se définit comme l'inverse du rayon de courbure.

(2) Les provenances Les Barres et Koekelare n'ont donc pas été prises en considération.

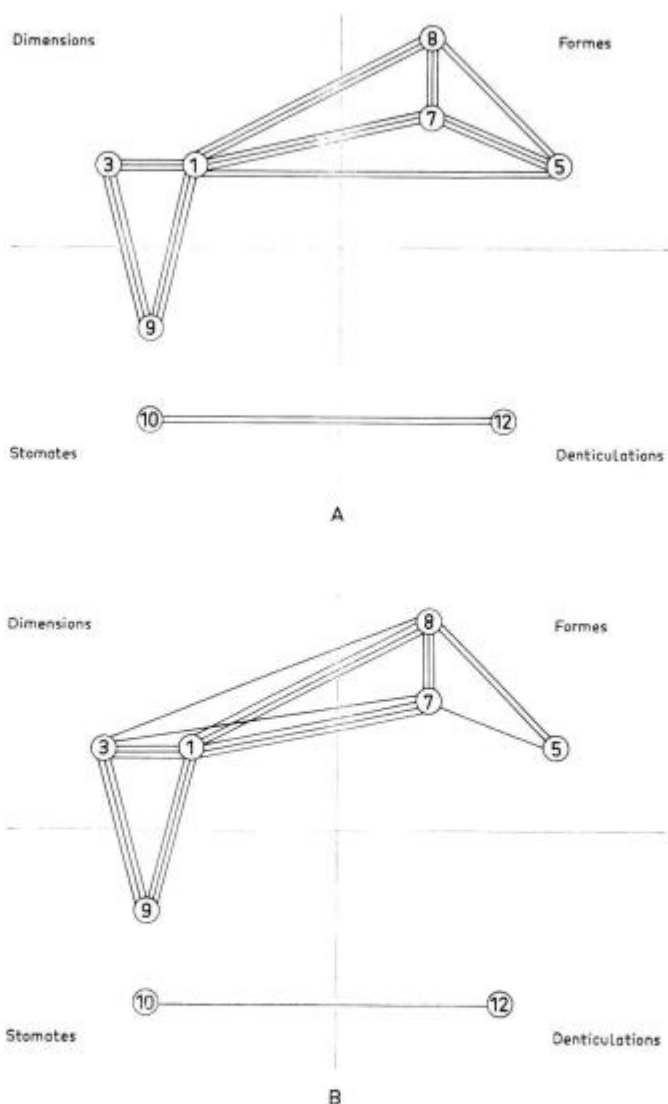


FIG. 5. — Graphe des corrélations phénotypiques individuelles chez le *Pin laricio* de Corse (A, graphique supérieur) et le *Pin laricio* de Calabre (B, graphique inférieur). Les caractères liés au seuil de probabilité 5 % sont réunis par un trait, au seuil de 1 % par deux traits, au seuil de 1 % par trois traits. Toutes les corrélations mises en évidence sont positives. La numérotation des caractères est conforme au tableau 2

Le nombre des torsions et des courbures, ainsi que l'importance même des courbures, ont probablement un déterminisme génétique commun (dissymétrie de fonctionnement des méristèmes).

La longueur de l'aiguille influence les caractères de forme (courbure et torsion) et le nombre des lignes de stomates (par l'intermédiaire de la largeur).

Par contre, les deux caractères qui commandent la distribution des stomates : le nombre des lignes et la densité des stomates sur chaque ligne semblent indépendants.

La densité des denticulations n'est liée qu'à celle des stomates ; les deux caractères semblent soumis à un déterminisme relativement original.

### 2.5. — *Tests variétaux*

Dans les conditions de la pratique, le problème consiste à identifier les différentes sous-espèces au moyen d'un petit nombre de caractères fidèles et faciles à mesurer. La solution de ce problème au stade juvénile est particulièrement importante, car ces sous-espèces ont des propriétés forestières très différentes (écologie d'introduction, croissance et qualité du bois).

— Dans notre cas particulier, tous les individus ont le même âge et sont cultivés dans des conditions de milieu très comparables ce qui correspond à une simplification du problème général. Pratiquement, cette éventualité est possible : l'identification directe de populations introduites et d'origine inconnue se révèle souvent délicate ; on peut donc être amené à envisager spécialement un test variétal précoce portant sur les descendances de ces populations.

— Dans la majorité des cas, il s'agira plutôt d'un contrôle de l'origine des graines pratiqué de façon inopinée dans une pépinière quelconque. Dans cette dernière hypothèse, il se révèle nécessaire de faire appel à des caractères peu influencés par les conditions d'élevage (fertilité de la pépinière, pratiques culturales, etc...).

L'analyse des composantes principales ne nous permet pas directement de résoudre ces problèmes : elle nous laisse entrevoir une solution possible et nous guide dans le choix des caractères ; c'est un encouragement à utiliser un outil mieux approprié : l'analyse discriminante.

Préalablement, nous examinerons la réponse des différents caractères aux variations de fertilité et leur niveau de variabilité individuelle (application à l'échantillonnage des individus).

#### 2.51. *Influence des variations de fertilité (effet bloc) et coefficients de variation individuels de quelques caractères.*

Les résultats des analyses de variance montrent que certains caractères ne sont pas affectés par les variations de « fertilité » enregistrées entre blocs à l'intérieur du dispositif (test F de « l'effet bloc » non significatif).

Il s'agit des caractères suivants :

- nombre de courbures,
- rayon de courbure de l'arc le plus long,
- rapport corde/arc,
- nombre des denticulations,
- densité des stomates sur chaque ligne.

Les autres caractères, en particulier la longueur et la largeur, subissent l'effet des variations de fertilité. Cet effet est plus ou moins accentué suivant les caractères, le F correspondant varie entre 1,70 \* (nombre de lignes de stomates) et 4,06 \*\* (longueur).

Les coefficients de variation *individuels* calculés à l'intérieur de chaque sous-espèce, s'échelonnent entre 16 et 20 % pour la longueur et le nombre des denticulations ; ils sont considérablement plus élevés en ce qui concerne le rayon de courbure de l'arc le plus long (entre 45 et 50 %). L'utilisation de ce dernier caractère dans un test variétal impose donc de représenter chaque population par un nombre d'individus suffisant (30 au moins).

### 2.52. Analyse discriminante.

L'analyse canonique recherche les directions de l'espace (axes canoniques) sur lesquelles la discrimination des populations (ici, groupes géographiques) est la plus efficace. Elle fournit des fonctions discriminantes permettant le rattachement éventuel d'un élément inconnu à l'une ou l'autre des populations connues.

Le principe mathématique réside dans l'utilisation simultanée des matrices de variance - covariance inter et intra-population.

Les éclaircissements théoriques nécessaires à la compréhension de cette méthode se trouvent dans divers ouvrages d'analyse multivariée (en particulier SEAL, 1964).

Nous avons choisi trois variables seulement, mais insensibles aux variations de fertilité en pépinière et très discriminantes :

$X_5$  rayon de courbure de l'arc le plus long en cm,

$X_{10}$  densité des stomates par mm linéaire,

$X_{12}$  densité des denticulations pour 3 mm linéaires.

Nous avons cherché à discriminer les cinq groupes géographiques suivants :

Groupe 1. — *Clusiana* : constitué par les 4 provenances naturelles (120 individus).

Groupe 2. — *Laricio* de Corse : constitué par les 10 provenances naturelles (300 individus).

Groupe 3. — *Laricio* de Calabre : constitué par les 6 provenances naturelles (180 individus).

Groupe 4. — *Nigricans* : constitué par les 4 provenances artificielles (120 individus).

Groupe 5. — *Pallasiana* : constitué par les 3 provenances naturelles (90 indivi-

Les moyennes des trois caractères pour chaque groupe sont données au tableau 5.

TABLEAU 5  
Moyennes des caractères

Variables	$X_5$	$X_{10}$	$X_{12}$
Groupes			
1	10,675	11,200	9,675
2	3,550	12,113	14,030
3	7,988	11,872	12,127
4	12,375	10,466	10,800
5	10,922	11,066	11,000

Les matrices de corrélation entre les caractères, inter-groupe (entre moyennes de groupe) et intra-groupe (entre individus dans les groupes) sont données au tableau 6.

TABLEAU 6  
Matrices de corrélation entre les caractères  
(inter- et intra-groupe)

Variables	$X_5$	$X_{10}$	$X_5$	$X_{10}$
$X_{10}$	-0,923 *		-0,065	
$X_{12}$	-0,944 *	0,820	-0,080 *	0,189 **
	matrice « INTER » (3 degrés de liberté)		matrice « INTRA » (804 degrés de liberté)	

Soit **B** et **W** les matrices des sommes de carrés et de produits centrés « INTER » et « INTRA » groupe. Les valeurs propres du système :

$$|B - \Phi W| = 0, \text{ sont } \Phi_1 = 253,38 ; \Phi_2 = 12,67 ; \Phi_3 = 2,34.$$

Elles sont toutes les trois significatives (test de BARTLETT) et la discrimination se fait donc dans un espace à trois dimensions.

Le trois vecteurs propres du système précédent (appelés axes canoniques) figurent au tableau 7. On a fait figurer dans ce tableau, entre parenthèses, les valeurs des coefficients après multiplication par l'écart-type des variables correspondantes, permettant de se faire une idée plus claire de l'importance relative de chacun des caractères.

TABLEAU 7  
Equations des axes canoniques  
(fonctions discriminantes)

$C_1 :$	$Y_1 = 0,584 X_5 - 0,381 X_{10} - 0,745 X_{12}$ (2,230) (-0,567) (-1,695)
$C_2 :$	$Y_2 = -0,135 X_5 + 0,811 X_{10} - 0,569 X_{12}$ (-0,549) (1,207) (-1,295)
$C_3 :$	$Y_3 = 0,287 X_5 + 0,905 X_{10} + 0,314 X_{12}$ (1,169) (1,346) (0,714)

C'est ainsi que le premier axe canonique  $C_1$  est caractérisé d'abord par le rayon de courbure, dans une moindre mesure et de façon opposée par la densité des denticulations. Dans l'équation du deuxième axe canonique  $C_2$ , la densité des stomates et des denticulations interviennent à part égale mais en sens contraire. Le troisième axe canonique  $C_3$  fait intervenir surtout le rayon de courbure et la densité des stomates (1).

En résumé, le rayon de courbure est l'élément le plus important de la discrimination globale.

(1) Si l'on se reporte aux résultats de l'analyse des composantes principales (tableau 3),  $C_1$  est peu différent du premier axe principal (à l'inversion de signe près). Par contre, on ne retrouve pas le deuxième axe principal qui rassemblait des caractères sensibles aux variations de fertilité et par conséquent non utilisés dans l'analyse canonique.

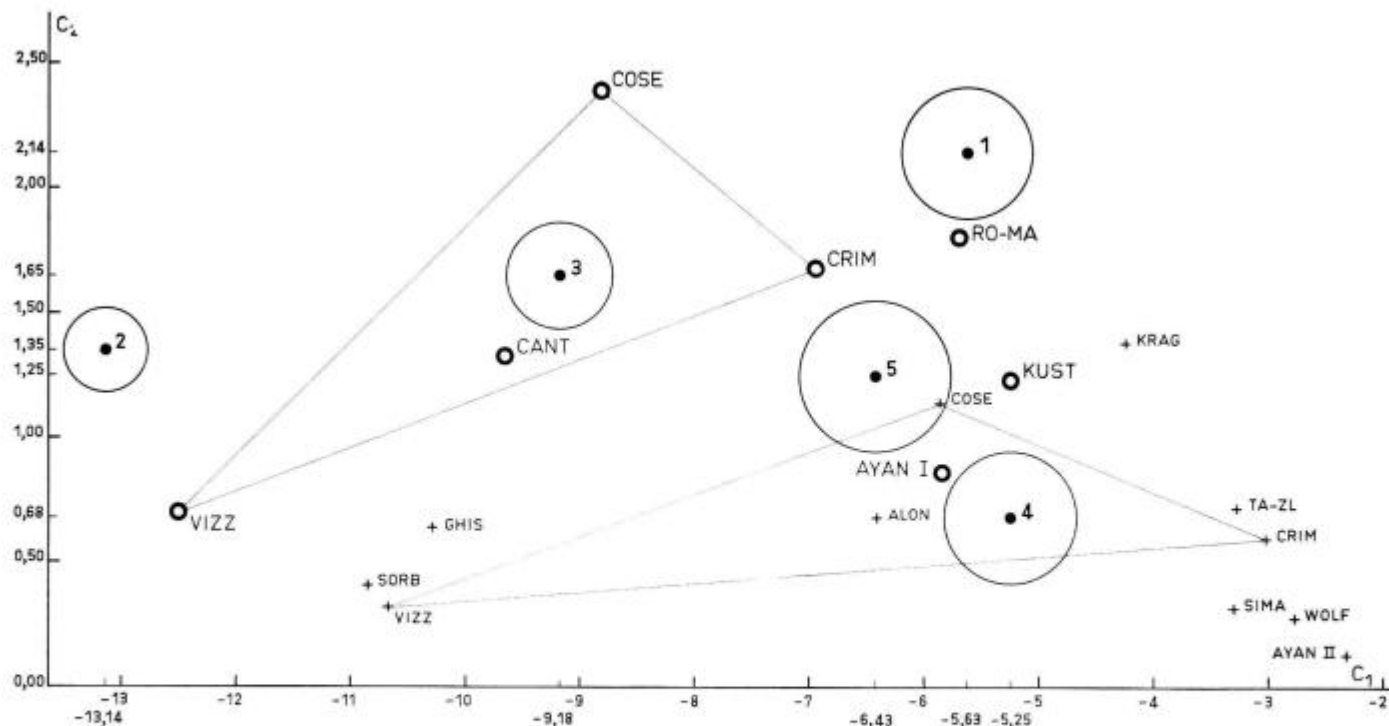


FIG. 6. — Analyse discriminante. Projection des points moyens (groupes géographiques) et de quelques provenances sur le plan défini par les axes canoniques  $C_1$  et  $C_2$

- points moyens (groupes géographiques)
  - 1 - clusiana
  - 2 - laricio de Corse
  - 3 - laricio de Calabre
  - 4 - nigricans
  - 5 - pallasiana
- provenances de la première expérience
- + provenances de la deuxième expérience (même pépinière, mesurées au même âge et de façon identique), cf. Annexe 3

Il est intéressant de situer graphiquement les points moyens des groupes sur les trois plans définis par les axes canoniques et en particulier sur le plus important défini par  $C_1$  et  $C_2$  (figure 6). L'axe  $C_1$  suffit généralement à discriminer les deux groupes de *laricio*, pour les autres, il faut faire appel à  $C_2$  et éventuellement à  $C_3$ . Sur le graphique, chaque point moyen est affecté de son cercle de confiance <sup>(1)</sup>.

En utilisant les fonctions discriminantes du tableau 7, on peut replacer dans le plan  $C_1, C_2$  une provenance quelconque. On l'a fait à titre d'exemple pour six provenances de l'expérience : VIZZ, CANT, COSE, CRIM, AYAN I, KUST, RO-MA, et l'on vérifie ainsi que chacune d'elles se rattache bien au groupe géographique qui lui correspond *a priori*.

Mais ces fonctions discriminantes ont-elles une portée suffisamment générale permettant de classer un élément inconnu, étranger à cette expérience ? Pour le savoir, on a cherché à classer quelques provenances connues appartenant à une expérience ultérieure, mais cultivées dans la même pépinière et mesurées de façon identique au même âge. Il apparaît malheureusement (Annexe 3) que l'identification correcte de ces nouvelles provenances n'est plus possible dans l'ancien système d'axe.

Il semble donc pratiquement impossible d'opérer une discrimination rigoureuse à partir de fonctions discriminantes établies une fois pour toutes, même en réalisant tous les tests dans une pépinière unique.

Les tests variétaux juvéniles n'en sont pas pour autant impossibles, mais ils sont plus complexes. Ils nécessitent la réalisation d'essais spécialement conçus dans ce but, où toutes les populations à identifier sont cultivées dans la même pépinière, en compagnie d'un certain nombre de provenances standards <sup>(2)</sup>. Ces « standards » permettent d'identifier les groupes constitués grâce à l'analyse des composantes principales.

## CONCLUSIONS

— Les caractères morphologiques des aiguilles de *Pinus nigra* ont subi une différenciation par grande région géographique, ce qui les rend particulièrement précieux pour toute étude plus complète concernant la variabilité et l'histoire de l'espèce.

— Appliquée à ces seuls caractères, la méthode d'analyse des composantes principales fournit une bonne discrimination juvénile des grands groupes géographiques, le résultat est en soi intéressant puisque ces caractères sont relativement simples et rapides à mesurer. Il y a trois caractères très discriminants et pratiquement insensibles aux variations de fertilité en pépinière : le rayon de courbure, la densité des denticulations et la densité des stomates. Ces caractères peuvent être utilisés dans des tests variétaux juvéniles comportant plusieurs « provenances standards » ; mais les fonctions discriminantes calculées à partir d'un test particulier ne semblent pas applicables à d'autres tests.

(1) On remarque qu'une provenance déterminée n'est pas obligatoirement comprise à l'intérieur du cercle de confiance du groupe auquel elle appartient. Par analogie avec la distribution d'une variable unique, on comprend parfaitement qu'il en soit ainsi : la distribution d'une population quelconque est toujours plus étalée que celle de sa moyenne, une partie des individus de la population se trouve donc tout naturellement hors de l'intervalle de confiance de la moyenne.

(2) Au moins 5, correspondant au « type » de chacun des grands groupes géographiques traditionnellement inventoriés.

— En se limitant aux caractères morphologiques des aiguilles et toutes réserves faites sur les imperfections du présent échantillonnage de provenances, les résultats de cette expérience amènent quelques réflexions sur la classification de FUKAREK.

Les sous-espèces *nigricans* et *pallasiana* qui occupent le secteur oriental de l'aire naturelle semblent provisoirement assez proches l'une de l'autre.

A l'inverse, la sous-espèce *laricio* se compose de deux groupes bien distincts. Le groupe Corse est caractérisé par une cohésion et une originalité auxquelles l'insularité n'est certainement pas étrangère. Le groupe Calabre en diffère par certains caractères de transition vers la sous-espèce *nigricans*.

La sous-espèce *clusiana*, qui occupe le secteur occidental est aussi très nettement différenciée.

Cette différenciation très accusée des deux groupes les plus occidentaux : *clusiana* et *laricio* de Corse, semble un des traits dominants de la variabilité géographique de *Pinus nigra*. En ne retenant que deux grandes sous-espèces : *occidentalis* et *orientalis*, (DELEVOY, 1949), exprime clairement ce fait important. Trop schématique, ce modèle est néanmoins très critiquable, en particulier par le praticien, car il ne rend aucun compte des différences d'adaptation et de valeur culturale qui existent à l'intérieur des deux groupes.

*Reçu pour publication en novembre 1970.*

#### REMERCIEMENTS

Les mesures ont été effectuées par le personnel de la Station d'Amélioration des Arbres forestiers, les calculs ont été réalisés par la Station de Biométrie.

MM. DEBAZAC (Directeur du Projet du Fonds spécial des Nations Unies pour le renforcement de l'Institut de Recherches forestières d'Athènes, auteur de nombreuses études sur *Pinus nigra*) et JACAMON (Professeur à l'École nationale du Génie rural des Eaux et des Forêts) ont gracieusement accepté de relire le manuscrit ; leurs conseils et leurs critiques ont contribué à sa mise en forme.

Que tous trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements.

## ANNEXE 1

## COMPLÉMENT A L'ANALYSE DES COMPOSANTES PRINCIPALES

*Matrice des corrélations entre les caractères (Inter-provenances)*

Caractères n**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0,60**										
3	-0,32	-0,69**									
4	-0,31	0,49**	-0,48**								
5	-0,29	0,53**	-0,48**	0,98**							
6	-0,20	0,67**	-0,53**	0,88**	0,92**						
7	0,47**	-0,24	0,26	-0,82**	-0,78**	-0,72**					
8	0,43*	-0,20	0,29	-0,72**	-0,68**	-0,63**	0,94**				
9	-0,40*	-0,40*	0,77**	-0,13	-0,09	-0,09	-0,08	-0,03			
10	0,32	-0,31	0,27	-0,79**	-0,79**	-0,70**	0,57**	0,52**	0,30		
11	-0,09	-0,49**	0,74**	-0,60**	-0,56**	-0,50**	0,30	0,30	0,78**	0,65**	
12	0,04	-0,66**	0,66**	-0,85**	-0,86**	-0,85**	0,63**	0,56**	0,34	0,69**	0,68**

La numérotation des caractères est conforme au tableau 2.

Limite de signification des coefficients de corrélation (29 degrés de liberté) :

- au seuil de probabilité 0,05 = 0,355\*
- au seuil de probabilité 0,01 = 0,456\*\*

## ANNEXE 2

## COMPLÉMENT A L'ÉTUDE ANALYTIQUE DES CARACTÈRES

*Largeur en mm ( $X_9$ ), nombre de courbures ( $X_7$ )  
 nombre de torsions en 1/4 tour ( $X_8$ ),  
 densité des stomates/mm ( $X_{10}$ )*

Caractères	$X_9$ en mm	$X_7$	$X_8$ en 1/4 tour	$X_{10}$
Provenances				
GAGN	1,16	1,77	2,57	11,03
SGUL	1,18	2,07	3,23	11,30
CAZO	1,78	2,00	2,97	11,23
RO-MA	1,21	1,87	2,80	11,23
TART I	1,41	2,27	3,43	11,63
TART II	1,39	2,27	3,40	12,20
VALD I	1,37	2,33	3,50	12,67
VALD II	1,40	2,47	3,70	12,07
VALD III	1,39	1,93	2,63	12,70
VIZZ	1,41	2,50	3,73	11,33
VEZZ	1,38	2,50	3,77	12,13
MARM	1,36	2,17	3,10	12,10
BAVE	1,35	2,37	3,57	12,10
MARG	1,33	1,77	2,57	12,20
CANT	1,32	1,80	2,67	12,03
COSE	1,30	1,93	2,87	11,77
GRAN	1,29	1,67	2,20	11,30
MA-TA	1,35	1,97	2,97	11,67
TR-CO	1,33	2,07	3,10	12,07
ASPR	1,31	1,70	2,80	12,40
LBAR II G	1,33	1,83	2,87	11,83
KOEK II	1,38	2,17	3,00	11,37
KUST	1,32	1,77	2,37	11,13
MS-MA	1,38	1,87	2,77	10,80
MEND	1,30	1,53	2,57	10,50
EMBR	1,31	1,70	2,50	10,47
VL-HA	1,38	1,40	2,50	10,10
CRIM	1,41	1,63	2,77	11,67
AYAN I	1,33	1,63	2,30	10,83
ALAC	1,37	1,43	2,13	10,70
LB-PA	1,36	1,87	2,97	11,80
F (30, 150)	6,81**	5,06**	2,26**	5,93**

## ANNEXE 3

ESSAI DE CLASSIFICATION DE DIX PROVENANCES, ÉTRANGÈRES A L'EXPÉRIENCE,  
 AU MOYEN DES FONCTIONS DISCRIMINANTES DU TABLEAU 7

On a cherché à classer les provenances suivantes (appartenant à une expérience ultérieure, mais cultivées dans la même pépinière et mesurées de façon identique au même âge) au moyen des fonctions discriminantes du tableau 7 :

SORB	(Col de Sorba, Corse)	= <i>Laricio</i> de Corse
VIZZ	(Vizzavone, Corse)	= <i>Laricio</i> de Corse *
GHIS	(Ghisoni, Corse)	= <i>Laricio</i> de Corse
COSE	(Cosenza, Calabre)	= <i>Laricio</i> de Calabre *
WOLF	(Wolfsohl, Autriche)	= <i>Nigricans</i>
ALON	(Alonia, Grèce)	= <i>Nigricans</i>
TA-ZL	(Tara-Zlatibor, Yougoslavie)	= <i>Nigricans</i>
CRIM	(Crimée, U.R.S.S.)	= <i>Pallasiana</i> *
SIMA	(Simav, Turquie)	= <i>Pallasiana</i>
KRAG	(Karagöl, Turquie)	= <i>Pallasiana</i>
AYAN II	(Ayancik, Turquie)	= <i>Pallasiana</i>

\* Il s'agit de la même provenance que dans l'expérience précédente.

Les valeurs des variables et des fonctions discriminantes figurent au tableau 8. Les points correspondants ont été reportés sur le graphique de la figure 6.

TABLEAU 8

Essai de classification de 10 provenances, étrangères à l'expérience, au moyen des fonctions discriminantes du tableau 7

Provenances	Variables			Fonctions discriminantes		
	X <sub>5</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>12</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>11</sub>
SORB	3,846	9,820	12,365	- 10,8451	0,4121	13,8705
VIZZ	4,496	9,943	12,548	- 10,6721	0,3201	14,2259
GHIS	4,673	10,056	12,101	- 10,2854	0,6422	14,2388
COSE	9,686	9,960	9,904	- 5,8666	1,1384	14,9023
WOLF	13,360	8,884	9,004	- 2,7732	0,2822	14,7012
ALON	9,939	10,051	10,783	- 6,4172	0,6780	15,3330
TA-ZL	12,489	9,191	8,886	- 3,2797	0,7159	14,6919
CRIM	13,890	9,612	9,353	- 3,0204	0,6027	15,6217
SIMA	12,951	9,073	9,309	- 3,2965	0,3172	14,8504
KRAG	12,350	10,389	9,468	- 4,2462	1,3753	15,9188
AYAN II	14,782	9,148	9,313	- 2,3249	0,1288	15,4453

On remarque immédiatement que l'identification correcte des nouvelles provenances n'est plus possible dans l'ancien système d'axe.

Autrement dit, la portée des fonctions discriminantes semble se limiter à l'expérience à partir de laquelle elles sont calculées.

A première vue, tout se passe comme si les points moyens, représentatifs des groupes géographiques de la seconde expérience, subissaient un « glissement » systématique, sans modification profonde de leurs positions relatives. Pour le vérifier, on a calculé les distances généralisées (D<sup>2</sup> de Mahalanobis) des trois provenances communes : VIZZ, COSE et CRIM, dans la première et la seconde expérience. Les résultats

font malheureusement apparaît une certaine déformation du triangle ainsi défini : si les distances VIZZ-COSE et COSE-CRIM ne sont pas significativement différentes dans les deux expériences, il en va différemment pour la distance VIZZ-CRIM ( $F_{56}^{56} = 1,66^*$ ), le fait est d'ailleurs sensible dans le plan  $C_1 C_2$ .

Il semble donc pratiquement impossible d'opérer une discrimination rigoureuse à partir de fonctions discriminantes établies une fois pour toutes, même en réalisant tous les tests dans une pépinière unique.

## SUMMARY

### CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE GEOGRAPHIC VARIABILITY OF « PINUS NIGRA » ARN.

#### COMPARATIVE STUDY OF SOME MORPHOLOGICAL CHARACTERS OF THE NEEDLES AT EARLY STAGE. CONSEQUENCES FOR THE SYSTEMATIC OF THE SPECIES AND THE TYPING TESTS

— Because of its variability, the species *Pinus nigra* Arn. has been divided between four geographical sub-species : *clusiana*, *laricio*, *nigricans*, *pallasiana* (FUKAREK). They have very different forest uses (wood production in quantity and quality, autecology). Then, it seems their early typing is an important problem. This paper is devoted to the study of the variability of the morphological characters of the needles and to the research of a method for typing tests.

— These studies were made on 31 provenances corresponding to the four geographical sub-species but with a prevalence of the sub-species *laricio* (fig. 1 and tab. 1) and 12 characters (tab. 2). Needles were taken from 3 years old seedlings (cultivated in the same nursery with a statistical design) in the middle of leader shoot of the second year, with one needle for each seedling and 30 seedlings for each provenance.

— The principal components analysis performed on provenances means of the 12 characters (tab. 3 and appendix 1, fig. 3) displays four geographical groups. Sub-species and geographical groups are not identical. Indeed, on one hand this analysis does not separate the *nigricans* sub-species from the *pallasiana* sub-species and on an other hand the *laricio* sub-species is divided between Corsican group and Calabrian group, very clearly. The *clusiana* sub-species forms a coherent and well differentiated group. This analysis also allows to distinguish the four best discriminant characters :

- radius of curvature,
- number of serrations per 3 mm,
- length,
- number of rows of stomata.

— The classification of provenances on the basis of this four characters is shown on the figure 4 :

The group of Corsican *laricio* is distinguished by very curly (numerous and important curvatures), flexible, and quite long needles, with numerous serrations.

The group of Calabrian *laricio* has less curly needles with less numerous serrations.

The *clusiana* group has long and very flexible needles with few serrations and few rows of stomata.

The sub-species *nigricans* and *pallasiana* are distinguishable from the previous groups by their short and wiry, little or not curved needles, with numerous rows of stomata.

— Correlations between characters at a provenance means level (appendix 1) conduct to make the following remarks :

Length and width of the needle follow different laws of geographic variability, needles of the *clusiana* sub-species are at one and the same time longest and narrowest. On the

contrary, there is a close parallelism between the number of rows of stomata and the width of needles, and between the density of stomata on each row and the density of serrations.

At an individual level in the only *laricio* group (fig. 5):

The length of the needle has an influence on the characters of shape (curvature and torsion) and the number of the rows of stomata (by the mean of the width). On the contrary, the two characters which deal with the repartition of the stomata: the number of rows and the density of stomata on each row, seem independant. The density of serrations is correlated only with the density of stomata on each row; these two characters seem to have a quite original determinism.

— Canonical analysis supplies discriminant functions and allows the classification of an unknown provenance, within one or another known geographic group. Theoretically, it gives then a good solution for the problem of typing tests. It separates correctly the different geographical groups on the basis of only 3 characters (but very discriminant and not sensitive to the variations of fertility in nursery): radius of curvature, density of stomata on each row, density of serrations (fig. 6). By using the discriminant functions (tab. 7) it is possible to control that any provenance belonging to this experiment is well classified in its right geographic group.

Nevertheless, provenances belonging to another experiment (cultivated two years later in the same nursery, measured at the same age and on an identical manner) are not correctly classified in the former system of axis. Then the discriminant functions appear to be not general, but depending closely of the experiment from which they have been calculated.

Typing tests are not impossible for all that, but they have to be more complicated. They need the establishment of trials specially performed in this aim, where all the populations to be identified are cultivated in the same nursery, with some « standard » provenances. These « standards » allow to identify the group formed thanks to the principal components analysis.

— Limited to the morphological characters of the needles and taking account of the defects of the provenances sampling, the results of this experiment yet lead to have some thoughts about the classification of FUKAREK:

The *laricio* sub-species is composed by two distinct groups, the Corsican group really original and the Calabrian one which makes a transition with the *nigricans* sub-species.

The *clusiana* sub-species, which occupies the western part of the natural area is also well differentiated.

On the contrary, the two eastern sub-species, *nigricans* and *pallasiana*, seem provisionally quite close one another.

## ZUSAMMENFASSUNG

### BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DER GEOGRAPHISCHEN VARIABILITÄT

VON « PINUS NIGRA » ARN.

#### VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG EINIGER MORPHOLOGISCHER NADELMERKMALE

IM JUGENDSTADIUM. FOLGERUNGEN FÜR DIE SYSTEMATIK

UND DIE VARIETÄTENPRÜFUNGEN DIESER ART

Auf Grund seiner Variabilität wurde die Art *Pinus nigra* Arn. in vier geographische Unterarten: *clusiana*, *laricio*, *nigricans*, *pallasiana* (FUKAREK) unterteilt. Diese Unterarten sind bezüglich ihrer forstlichen Verwendung sehr verschieden (qualitative und quantitative Wuchsleistung, Autökologie). Ihre Unterscheidung im Jugendstadium im Pflanzgarten erscheint daher als ein wichtiges Problem. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Untersuchung der morphologischen Nadelmerkmale und der Ausarbeitung einer Methode zur Varietätenprüfung.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf 31 Herkünfte (Tab. 1 und Abb. 1) und 12 Merkmale (Tab. 2). Die Unterart *laricio* ist etwas häufiger vertreten, sodass die Verteilung der Herkünfte auf die vier geographischen Unterarten als nicht völlig gleichmässig angesehen

werden kann. Die Pflanzen wurden im selben Pflanzgarten in statistischer Versuchsanordnung aufgezogen. Eine Nadel pro Pflanze wurde an 30 Pflanzen pro Herkunft aus der Mitte des Endtriebes des zweiten Jahres entnommen.

Die Prinzipalkomponentenanalyse (Herkunftsmittelwerte der 12 Merkmale) lässt vier geographische Gruppen erkennen (Tab. 3 und Beilage 1, Abb. 3). Die Unterarten und die geographischen Gruppen überdecken sich jedoch nicht. Einerseits erlaubte die Analyse nicht die beiden Unterarten *nigricans* und *pallasiana* zu unterscheiden, während andererseits die Unterart *laricio* in zwei deutlich getrennte Gruppen (Korsika und Kalabrien) aufgespalten wird. Die Unterart *clusiana* stellt eine deutlich differenzierte Einheit dar. Die Prinzipalkomponentenanalyse erbringt gleichfalls die vier wesentlichsten Trennmerkmale:

- Radius der Nadelkrümmung,
- Dichte der Bezahnung,
- Länge der Nadel,
- Anzahl der Stomatareihen.

Die Reihung der Herkünfte nach diesen vier Merkmalen ist in Abb. 4 dargestellt und erlaubt die folgenden Feststellungen:

— die Gruppe *laricio* aus Korsika hat sehr weiche und ziemlich lange Nadeln die stark gekräuselt sind (zahlreiche und starke Krümmungen) und eine hohe Bezahndichte aufweisen.

— die Gruppe *laricio* aus Kalabrien unterscheidet sich im wesentlichen von der Obgenannten durch deutlich weniger gekrümmte Nadeln und durch eine geringere Bezahndichte.

— die Gruppe *clusiana* hat lange und sehr weiche Nadeln mit geringer Bezahnung und wenigen Stomatareihen.

— die Unterarten *nigricans* und *pallasiana* unterscheiden sich von den Vorgenannten durch ihre wenig oder nicht gekrümmten kurzen und steifen Nadeln mit zahlreichen Stomatareihen.

Die Beziehungen zwischen den Merkmalen im Rahmen der Herkunftsmittelwerte (Beilage 1) führen zu folgenden Bemerkungen:

— die Länge und Breite der Nadel folgen verschiedenen Gesetzen der geographischen Variabilität; die Nadeln der Unterart *clusiana* sind sowohl die Längsten als auch die Schmälsten. Im Gegensatz dazu besteht ein enger Parallelismus zwischen der Anzahl der Stomatareihen und der Nadelbreite sowie der Stomatadichte in jeder Stomatareihe und der Bezahndichte.

Im Rahmen der Einzelwerte der Gruppe *laricio*:

— die Nadellänge beeinflusst die Formmerkmale (Krümmung und Drehung) und über die Breite die Anzahl der Stomatareihen. Im Gegensatz dazu scheinen die beiden Merkmale, welche die Verteilung der Stomata bedingen (Anzahl der Stomatareihen und Stomatadichte in jeder Reihe) voneinander unabhängig zu sein. Die Bezahndichte steht nur mit der Stomatadichte in Zusammenhang diesen beiden Merkmalen scheint ein relativ origineller Determinismus zugrunde zu liegen.

Die kanonische Analyse erlaubt an Hand der Trennfunktionen eine unbekannte Herkunft in eine der bekannten geographischen Gruppen einzureihen. Sie erbringt daher grundsätzlich eine befriedigende Lösung der Varietätenprüfung.

Die vier geographischen Gruppen werden von nur drei Merkmalen (Radius der Nadelkrümmung, Dichte der Stomata in einer Reihe, Bezahndichte), die jedoch ein hohes Trennvermögen aufweisen und auf Standortunterschiede im Pflanzgarten nicht ansprechen, in zufriedenstellender Weise getrennt (Abb. 6). Mit Hilfe der Trennfunktionen (Tab. 7) kann man prüfen, ob eine der Herkünfte des Versuchs auch tatsächlich der entsprechenden geographischen Gruppe angehört.

Es muss hier jedoch bemerkt werden, dass zwei Jahre später in einem anderen Versuch unter sonst gleichen Bedingungen, die Herkünfte mit den Trennfunktionen des ersten Versuchs **nur ungenau eingereiht** werden konnten. Die Anwendung der Trennfunktionen scheint daher auf der Rahmen des Versuchs beschränkt. Die Varietätenprüfungen werden dadurch nicht beeinträchtigt. Sie sind jedoch etwas komplizierter und verlangen eine spezielle Versuchsanordnung. Die zu prüfenden Herkünfte müssen zusammen mit einigen Standardprovenienzen in einem Pflanzgartenversuch aufgezogen werden. Diese Standardprovenienzen erlauben die mittels Prinzipalkomponentenanalyse ermittelten geographischen Gruppen zu identifizieren.

Beschränkt man sich auf die morphologischen Nadelmerkmale und berücksichtigt man die nur unvollkommene Stichprobe (vorherrschend der Gruppe *laricio*), so müssen auf Grund der Ergebnisse dieses Versuchs einige Überlegungen bezüglich der Klassifikation von FUKAREK gemacht werden :

— die Unterart *laricio* bildet zwei verschiedene Gruppen und zwar eine sehr typische korsische Gruppe, sowie eine kalabrische Gruppe, welche sich von der korsischen Gruppe durch gewisse Übergangsmerkmale zur Unterart *nigricans* unterscheidet.

— die Unterart *clusiana*, im westlichen Teil des Verbreitungsgebietes der Schwarzkiefer, stellt eine deutlich differenzierte Einheit dar.

— Im Gegensatz dazu scheinen die beiden orientalischen Unterarten *nigricans* und *pallasiana* sich vorläufig sehr nahe zu stehen.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOUVAREL P., 1964. Note sur la courbure des aiguilles des variétés de Pin laricio (*Pinus nigra* Arn.). *Commun. Acad. Agric. Fr.*, 420-428.
- CRITCHFIELD W. B., LITTLE E. L., 1966. Geographic distribution of the pines of the world. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. *Misc. Publ.*, 991, 57.
- DEBAZAC E. F., 1964. Manuel des conifères, Gap.
- DEBAZAC E. F., 1964. Le Pin laricio de Corse dans son aire naturelle. *Rev. forest. fr.*, 3, 188-215.
- DEBAZAC E. F., 1965. Les pineraies de Calabre et de Sicile. *Rev. forest. fr.*, 10, 662-673.
- DEBAZAC E. F., TOMASSONE R., 1965. Contribution à l'étude comparée des pins méditerranéens de la section *halepensis*. *Ann. Sci. forest.*, 22, (2), 213-256.
- DEBAZAC E. F. Contribution à la connaissance de l'aire et de l'écologie de *Pinus nigra* Arn. dans le sud-est de l'Europe. *Ann. Sci. forest.*, (sous presse).
- DELEVOY G., 1949. A propos de la systématique de *Pinus nigra* Arn. *Ann. Sta. Rech. Groenendaal. Trav. Série B*, n° 12, 1-37.
- FUKAREK P., 1958. [Beitrag zur Kenntnis der systematischen Stellung, Gliederung und der rezenten Verbreitung, der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arn.)]. [Arbeiten der Fakultät für Landwirtschaft und Forstwesen], 3, 1-91.
- GUINIER Ph., HICKEL R., 1926. Une visite aux Pins laricio de la Sila (Calabre). *Bull. Soc. dendrologique*, France, n° 60, 15 p.
- JEFFERS J. N. R., 1967. Analyse multivariée des essais de descendance et de provenance. *Commun. Section 22 I.U.F.R.O.*, Munich, traduction Sta. Biométrie, C.N.R.F.
- LEE C. H., 1968. Geographic variation in european black pine. *Silvae Genet.*, 5-6, 165-172.
- MIROV N. T., 1967. The genus *Pinus*. New York.
- POURDET J., TURPIN P., 1954. Catalogue des espèces cultivées à l'arboretum des Barres. *Ann. Ec. Eaux For.*, Nancy, 9 (1), 186-198.
- RÖHRIG E., 1957. Ueber die Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arn.) und ihre Formen. I. Die natürlichen Standorte. *Silvae Genet.*, 6, 39-53.
- RÖHRIG E., 1966. Ueber die Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arn.) und ihre Formen. II. Erste Ergebnisse von Provenienzversuchen. *Silvae Genet.*, 15, 21-26.
- SEAL H. L., 1964. Multivariate statistical analysis for biologist. Spottiswoode, Ballantyne and Co. Ltd., London and Colchester.
- WRIGHT J. W., BULL I. W., 1962. Geographic variation in european black pine, two years results. *For. Sci.*, 8, 32-42.
- WULFF E. V., 1943. [An introduction to historical plant geography]. Waltham. Mass. U.S.A. (traduction de l'ouvrage russe de 1933).