

Contribution
à une Etude comparée
des Pins Méditerranéens
de la Section Halepensis

PAR

E.-F. DEBAZAC

Station d'Écologie forestière - C.N.R.F.

et

R. TOMASSONE

Station de Biométrie - C.N.R.F.



1 — Introduction

Le Pin d'Alep est certainement la principale essence résineuse de la région méditerranéenne française. Il y constitue des peuplements étendus dont la superficie était estimée en 1957 à 130 000 ha (PARDÉ [37]).

C'est une essence spontanée de notre flore mais son aire naturelle devait être beaucoup plus restreinte que son aire actuelle. Il semble en effet, que le Pin d'Alep est essentiellement une espèce de l'étage de l'*Oléo-lentiscetum*, étage de végétation plus xérique que celui du *Quercetum ilicis*. L'*Oléo-lentiscetum* est en effet dans l'ensemble des régions autour de la Méditerranée occidentale, situé à une altitude inférieure à celle du *Quercetum ilicis*. Alors qu'il couvre de vastes surfaces en Afrique du Nord, il est moins développé dans la péninsule Ibérique et en Italie, et dans notre région méditerranéenne française, il est limité à une bande littorale assez étroite et discontinue.

En fait, à partir de ses stations spontanées, le Pin d'Alep a pu s'étendre dans tout l'étage du Chêne vert où il a occupé les faciès de dégradation de la Chênaie d'Yeuse et de Chêne pubescent, surexploitées et pâturées jusqu'au siècle dernier (ARBAUD [4]) toujours fréquemment incendiées. Aussi, le Pin d'Alep existe dans des groupements végétaux de compositions différentes (MOLINIER [31], ARBAUD [4]). Par exemple, le Pin d'Alep se rencontre sur le littoral varois, en Provence cristalline, dans l'étage de l'*Oléo-lentiscetum* et plus rarement en mélange dans la forêt de Chêne-liège. Il peut constituer d'autre part une futaie dominant un taillis de Chêne vert encore dense. Mais le plus souvent, le Pin d'Alep s'installe dans les faciès de dégradation de la forêt de Chêne vert; garrigue à Chêne kermès, sur les calcaires durs; lande à *Rosmarinus officinalis* et *Erica multiflora* sur les calcaires marneux; pelouse à *Brachypodium ramosum* qui constitue le dernier stade de dégradation de la végétation.

En fait, outre son extension naturelle, le Pin d'Alep a été largement utilisé par les forestiers méditerranéens dans les travaux de reboisement. Ses inconvénients et ses défauts sont pourtant bien connus :

Ses boisements sont extrêmement sensibles à l'incendie. L'ambiance forestière qu'il reconstitue risque d'être très fragile. Par ail-

leurs, la productivité des peuplements est médiocre puisque la production par hectare et par an depuis l'origine à l'âge de 75 ans peut être évaluée dans les types de forêts les plus répandus à 1,5 m³ seulement et n'atteint 4 m³ que dans des stations exceptionnelles (PARDÉ [37]). Enfin, le tronc est très souvent sinueux, ce qui diminue la valeur technologique de son bois.

Cependant, dans l'état actuel de nos connaissances, le Pin d'Alep est la seule essence résineuse pouvant être utilisée avec un succès assuré dans l'étage méditerranéen inférieur en sol calcaire. D'ailleurs, pour améliorer sa valeur technologique, les forestiers se sont préoccupés d'utiliser des graines récoltées sur des peuplements de port plus satisfaisant. C'est sans doute ce qui a incité, par exemple, les reboiseurs du Faron [12] à utiliser des graines d'Algérie. Des différences morphologiques et physiologiques avec le Pin d'Alep spontané localement ont été ainsi mises en évidence. Toutefois, plus récemment, toujours dans le but d'obtenir des peuplements de meilleure venue, ont été effectués des essais d'introduction de *Pinus brutia*, essence souvent considérée comme une simple sous-espèce orientale du Pin d'Alep, dont il existe effectivement de très beaux boisements dans les régions de la Méditerranée orientale. Il est encore trop tôt pour tirer des conclusions de ces essais qui devraient être repris dans des conditions d'expérimentation plus rigoureuses. En tout état de cause, il importe tout d'abord de mieux connaître les Pins existant dans l'ensemble de la région méditerranéenne susceptibles d'être employés comme matériel de reboisement. Or, il existe encore des incertitudes sur les limites mêmes de certaines espèces affines de Pins méditerranéens de la section *halepensis*. C'est une contribution à une étude comparée de ces pins qui a été l'objet des recherches présentées ici.

2 — Généralités

En effet, il existe dans les régions circumméditerranéennes, notamment sur le littoral, des Pins qui ont en commun les caractères suivants: ce sont le plus souvent des arbres de taille moyenne dépassant exceptionnellement 30 mètres, au tronc souvent sinueux, à écorce d'abord écaillée, d'un gris argenté ou rougeâtre, puis à rhytidome crevassé. Les aiguilles sont fasciculées par deux, fines, de 1 mm environ d'épaisseur, souples, longues de 6 à 15 cm d'un vert clair ou soutenu.

Les pousses vigoureuses sont typiquement polycycliques, caractère qui donne aux arbres une cime diffuse. Les cônes sont pédonculés ou non, isolés ou par petits groupes, ovoïdes-côniques, à écusson peu proéminent. Les cônes sont plus ou moins sérotineux, toujours longuement persistants.

Outre les caractères morphologiques ou biologiques précités, l'anatomie du bois est caractérisée par les parois minces et dépourvues d'ornementation des trachéides horizontales.

L'ensemble de ces caractères justifie le rattachement de ces Pins à une section *halpensis* du genre *Pinus* typiquement méditerranéenne. Mais à l'intérieur de cette section, les unités spécifiques sont plus difficiles à délimiter. Aussi, de nombreuses conceptions différentes ont été avancées.

C'est ainsi que, par exemple, en ne se référant qu'aux publications les plus récentes, pour GAUSSEN [14], il existe deux espèces distinctes, *Pinus halpensis* Mill et *Pinus brutia* Tenore. La première espèce, caractérisée notamment par ses aiguilles fines à canaux résinifères toujours submarginaux, appartient essentiellement au domaine floral de la Méditerranée occidentale, alors que la deuxième, à aiguilles raides, à canaux résinifères marginaux ou submarginaux est propre à la Méditerranée orientale. En outre, chez *P. brutia*, il existe trois variétés géographiques différentes par des caractères morphologiques: *eldarica* Medw., à aiguilles relativement courtes (8,5 à 10 cm) d'Iran; *pityusa* Stev., à aiguilles de 10 à 15 cm, de Thrace et d'Asie Mineure; *stankeviczii* Sukachev à aiguilles longues de 13 à 20 cm, de Crimée.

Plus récemment, NAHAL [35], en réévaluant les caractères morphologiques et en utilisant également les caractères chimiques des résines a adopté une classification semblable. Selon cet auteur, il existe deux espèces distinctes, *P. halpensis* et *P. brutia* dont les principaux caractères distinctifs sont les suivants:

Pinus halpensis: cône isolé, rarement par paire ou verticillés, pédonculé et réfléchi vers la base du rameau; écusson de l'écaille à ombilic saillant prolongé par un petit mucron; aiguilles fines de moins de 1 mm d'épaisseur, souples, très finement serrulées sur les arêtes, de 5 à 10 cm de long, d'un vert jaunâtre; bords de l'aile de la graine sensiblement parallèles.

Pinus brutia: cônes fréquemment verticillés, sessiles ou courtement pédonculés, non réfléchis vers la base du rameau, dressés sur le rameau; écusson de l'écaille du cône à ombilic déprimé à mucron large; aiguilles rigides, de plus de 1 mm d'épaisseur, rugueuses, serrulées sur les arêtes, longues de 10 à 18 cm; aile de la graine élargie vers la base du côté externe.

Mais à l'intérieur de ces deux espèces, il existe des variétés ou des formes: chez *Pinus halpensis*, on pourrait distinguer une forme de France, une d'Afrique du Nord et une du Liban. Chez *Pinus brutia*, il existerait 4 sous-espèces: ssp. *brutia*, de Grèce, de Turquie, du Liban et de Chypre; ssp. *eldarica* de Transcaucasie centrale; ss. *pityusa*, de la côte orientale de la Mer Noire, de Thrace de Turquie et de Syrie et enfin ssp. *stankeviczii*, de la Crimée méditerranéenne.

Enfin, KOLESNIKOV (A.-I.) [25], a effectué une étude comparée de ces espèces affines en reprenant l'ensemble des caractères considérés: morphologie et anatomie des aiguilles; caractères des bourgeons et des rameaux; formes, dimensions, nombres et positions des cônes; caractères des écussons des écailles; formes et dimensions des graines. Pour cet auteur, il existe quatre espèces distinctes: *Pinus halepensis* Mill., *P. brutia* Ten., *P. pityusa* Stev (1) et *P. eldarica* Medw. Les pins existant d'une part en Crimée et d'autre part sur la côte orientale de la Mer Noire sont rattachés à la même espèce *P. pityusa*. Au contraire, *Pinus eldarica* est considéré comme un espèce distincte, remarquable, car sa seule station spontanée serait dans les chaînes de Eller Oukhi, en Azerbeïdjan. C'est à partir de cette aire naturelle qu'il aurait été propagé en Iran et en Asie centrale soviétique.

Ainsi, il apparaît que ces pins circumméditerranéens de la section *halepensis* ont des affinités biologiques certaines confirmées par des affinités génétiques [33], mais il est important de préciser la valeur taxonomique des différentes formes géographiques. En effet, ces formes poussent dans des conditions écologiques très diverses et leurs valeurs forestières sont vraisemblablement différentes. Leur possibilité d'utilisation comme matériel de reboisement en dehors de leurs aires naturelles nécessite une connaissance aussi précise que possible de leurs caractères comparés. Les caractères distinctifs entre *Pinus halepensis* et *P. brutia* ont été rappelés plus haut. Il faut y ajouter une différence importante qui est la couleur de la jeune écorce écailleuse, gris argenté chez *P. halepensis* et rougeâtre chez *P. brutia*. En ce qui concerne la graine, outre la forme différente de l'aile déjà citée, la dimension et le poids des graines est un caractère important. Pour NAHAL [35], il y a 40 à 50 000 graines au kg chez *P. brutia* alors que ce nombre est seulement de 20 000. Pour KOLESNIKOV [25], la dimension et le poids des graines sont également des caractères distinctifs importants qui sont résumés dans le tableau suivant:

	Longueur en mm	Largeur en mm	Poids moyen en mg
<i>Pinus halepensis</i>	6-8	4-5	25
<i>Pinus pityusa</i>	7-8	4-5	45
<i>Pinus eldarica</i>	8-9	5-6	55
<i>Pinus brutia</i>	9-10	6-7	82

(1) KOLESNIKOV a adopté l'orthographe *Pityusa* de préférence à *Pithyusa*.

Les caractères de la plantule sont moins souvent indiqués. Par exemple, HICKEL [19] précise que le nombre des cotylédons est pour *Pinus halepensis* presque toujours de 8, parfois de 6 ou 7 et rarement de 9. Ces cotylédons ont 25 mm de long. Cet auteur n'a pas étudié *Pinus brutia* et les autres formes géographiques.

Pour de FERRE [17], le nombre des cotylédons peut aller de 6 à 10 et la longueur des cotylédons est également de 25 mm chez *Pinus halepensis*. Les autres pins de la section *halepensis* n'ont pas été étudiés.

Les renseignements dont nous disposons sont donc insuffisants en ce qui concerne les graines et les plantules. Dans ces conditions, en raison de l'importance pratique de ces caractères pour reconnaître éventuellement les espèces voisines, il nous a paru utile d'effectuer une étude comparative qui a porté sur les caractères suivants :

1^o *Caractères de la graine :*

- a) Longueur,
- b) Largeur,
- c) Poids de 1 000 graines,

2^o *Caractères des plantules :*

- a) Nombre de cotylédons,
- b) Longueur des cotylédons.

3 — **Aires des Pins de la section *halepensis*** (cf carte)

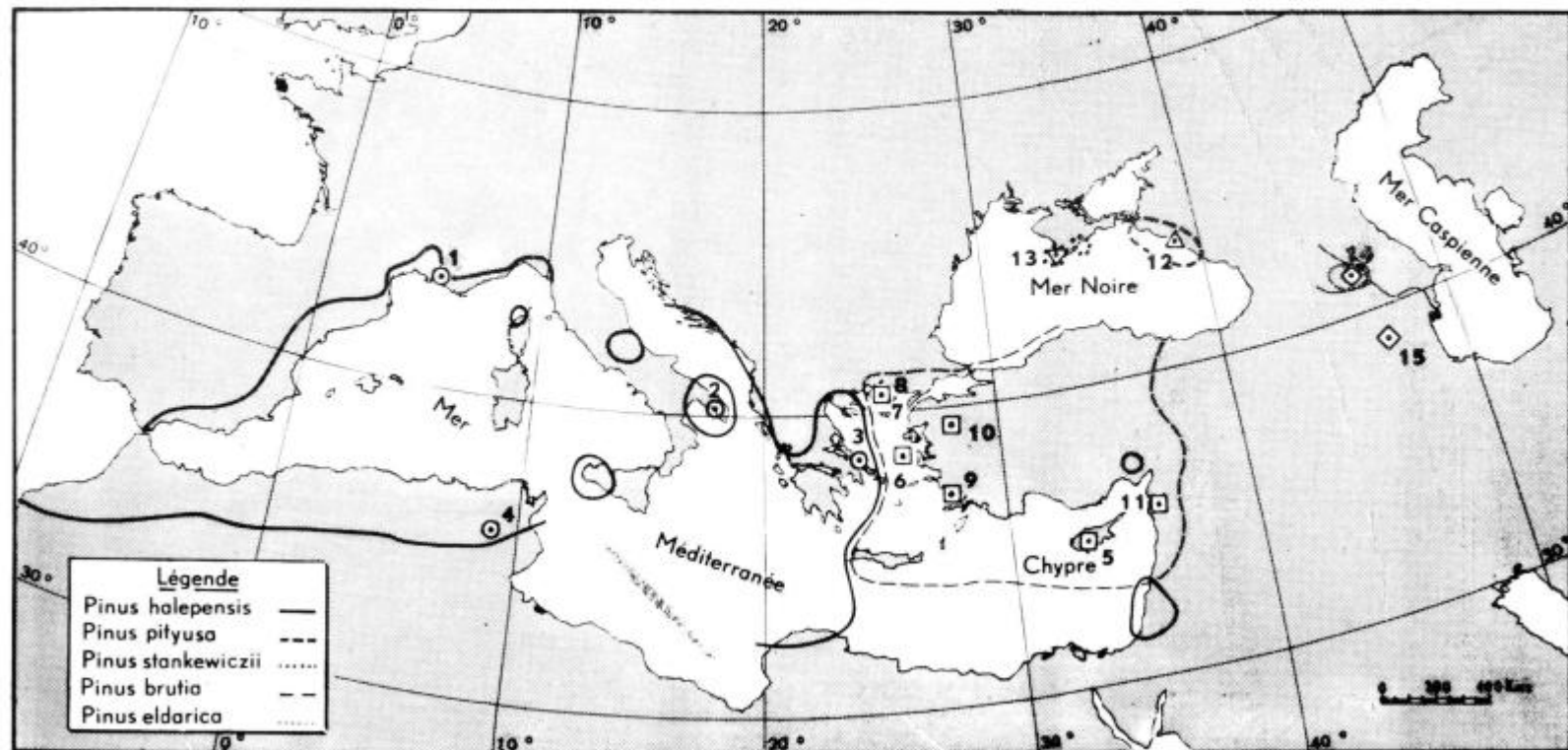
Une certaine confusion a été entretenue sur la distribution dans les régions autour de la Méditerranée de ces Pins en raison même de l'imprécision de la valeur taxonomique des différentes formes.

Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller 1768 (1)) est représenté dans la majeure partie du bassin méditerranéen mais il appartient essentiellement au domaine floristique de la Méditerranée occidentale.

Dans la région méditerranéenne française continentale, son aire, qui s'étend schématiquement à l'étage du Chêne vert, a été précisée par PARDÉ [37]. Il faut ajouter qu'il en existe une station de très faible importance en Corse, [26], [32], dont la spontanéité est cependant douteuse.

(1) Le choix du binome n'est pas heureux puisque le Pin spontané des environs d'Alep en Syrie est à rapporter à l'espèce *P. brutia* (NAHAL [35]).

Aires de *Pinus halepensis*, *P. brutia*, *P. pityusa*, *P. stankewiczii* et *P. eldarica*



En Espagne, il existe dans la partie méditerranéenne de la péninsule ainsi qu'aux Iles Baléares.

Le Pin d'Alep a une importance notable en Italie, où il couvre 20 000 ha (MAGINI [27]) surtout dans l'Italie méridionale (Gargano [1] Tarente) mais également en Ligurie, en Ombrie et en Sicile.

Dans les Balkans, son importance est très variable. En Yougoslavie, son aire est limitée à une étroite bande littorale le long de la côte Adriatique dans les régions de Split, Markarska et Dubrovnik et surtout dans les îles voisines de Hvar et de Brac. Le Pin d'Alep se trouve alors dans différents groupements décrits par HORVATIC [20]. Toujours sur le versant adriatique en Albanie, il a une aire réduite le long du littoral Sud (DAMIAN [11]). En Grèce, il occupe une plus large superficie, notamment dans le Péloponèse, dans l'Attique et en Eubée. On le trouve également en Chalcidique. C'est dans cette région que se situe d'après PAPAJOANNOU [36], la limite avec *Pinus brutia* qui domine très largement dans la Méditerranée orientale. En effet, dans cette région, le Pin d'Alep ne s'y rencontre plus qu'en un nombre restreint de points: en Turquie, il n'est connu que dans deux stations, les forêts de Saricam et Karatepe (KAVACIK [23]), sur le versant Sud du Taurus en Turquie du Sud-Est, dans une région de basse montagne entre les rivières Ceylan et Seylan où il est d'ailleurs en mélange avec *P. brutia*. En Syrie, il n'est connu que dans une station de la région côtière dans la montagne des Alaouites (NAHAL [34]). Au Liban, selon BERJAOUÏ [6], le Pin d'Alep se rencontre depuis le littoral jusqu'à 1 900 m d'altitude, en peuplement pur ou en mélange avec *Pinus brutia* qui est plus fréquent. Enfin, le Pin d'Alep existe en Israël et en Jordanie.

D'autre part, le Pin d'Alep est une importante espèce de l'Afrique septentrionale avec une répartition allant du Maroc à la Libye. C'est en Afrique du Nord et notamment en Algérie et en Tunisie qu'il constitue les peuplements les plus étendus [8].

L'aire de *Pinus brutia* Tenore 1811 (1) appartient uniquement à la Méditerranée orientale. Dans l'Europe du Sud-Est, sa limite ouest se trouve en Grèce dans la partie Est de la Chalcidique. Cette espèce constitue également des peuplements au Nord-Est d'Alexandroupolis. Sa répartition en Turquie est bien connue grâce aux cartes publiées par BERNHARDT [7], de SELIK [42] et ALEMDAG [2]. Mais ce pin existe également dans les Iles de la Mer Egée, notamment à Thassos au Nord, à Lesbos, à Chios, à Samos, en

(1) Le choix du nom n'a, là encore, pas été heureux, puisque cette espèce n'existerait pas en Italie méridionale, dans l'ancienne province du *Bruttium*.

Crète. Par ailleurs *Pinus brutia* constitue des peuplements importants à Chypre. Enfin, cette essence existe au Liban [9] et en Syrie où elle constitue dans le Baer et le Bassit les forêts qui passent pour être les plus belles de ce pays.

Le nom de *Pinus pityusa* a été donné par STEVENS au Pin poussant sur la rive orientale de la Mer Noire. Son aire naturelle a été décrite à plusieurs reprises, notamment par MEDWEDJEW [30], MALEJEFF [28] et plus récemment par KOLESNIKOV [25]. Elle est réduite à quelques stations littorales de la région de Pitsound (1).

En Crimée méridionale, il existe également en bordure même de la mer, deux stations d'un Pin dont les caractères sont très voisins : ces stations sont le Cap Aya près de Balaklava et Nowyi-Swet près de Soudak. Ce pin a été décrit comme une variété de *Pinus pityusa* par SOUKACHEV en 1906 sous le nom de *stankewiczii*, puis considéré comme une espèce distincte par FOMIN [18].

Enfin, il existe en Azerbeïjan soviétique, une dernière forme dont l'aire est isolée près du désert de l'Eldar dans le Massif de Eller Oukhi. Ce pin est désigné par MEDWEDJEW sous le nom de *Pinus eldarica* [29], qui l'a séparé de *Pinus pityusa* en raison de ses aiguilles plus courtes et les apophyses des écailles du côté très convexes, de *P. brutia* en raison également de ses aiguilles plus courtes et de ses cônes groupés par 2 et 4 et enfin de *P. halepensis*, à cause de ses aiguilles plus épaisses et plus rigides et de ses cônes dressés et non réfléchis.

La localisation très étroite des trois dernières espèces, *P. pityusa*, *P. stankewiczii* et *P. eldarica* respectivement sur la bordure du Caucase, en Crimée méridionale et Azerbeïjan leur donne un caractère d'espèces reliques réfugiées le long de la limite de la plus grande extension des espèces d'origine sibérienne. Ce caractère a été signalé notamment par MALEJEFF [28] et POPOV [38].

4 — Matériel utilisé

Pour l'étude comparée des caractères des graines et des plantules des espèces de la section *halepensis*, 15 échantillons ont été utilisés (2). Les origines de ces échantillons sont les suivantes (3) :

(1) dont le nom dans l'antiquité serait Pityus.

(2) Nous tenons à remercier les organismes étrangers, notamment le Jardin botanique de Yalta (U.R.S.S.), le Centre de Recherches de Latakia (Syrie), le Ministère de l'Agriculture d'Iran, qui nous ont adressé directement des lots de graines, ainsi que la Conservation des Eaux et Forêts d'Aix-en-Provence, la Station d'Amélioration des arbres forestiers du C.N.R.F., qui a mis à notre disposition d'autres lots.

(3) Ces origines sont reportées sur la carte n° I.

N° du lot	Espèce	Origine
1	<i>P. halepensis</i>	France - Barbantane (B.-d.-Rh. - alt. 120 m
2	id.	Italie - Tarente
3	id.	Grèce - Eubée
4	id.	Tunisie - Djebel Chambi - alt. 1 100 m
5	<i>Pinus brutia</i>	Chypre - alt. 790 m
6	id.	Grèce - Lesbos - alt. 500 m
7	id.	Grèce - Thassos - alt. 400 m
8	id.	Grèce - Thassos
9	id.	Turquie - Tengüme
10	id.	Turquie - Sütlugen - alt. 800 m
11	id.	Syrie - Alep - alt. 700 m
12	<i>Pinus pityusa</i>	Côte orientale de la Mer Noire - Pitsound - alt. 20-40 m
13	<i>P. stankeviczii</i>	Crimée - Soudak - alt. 50 m
14	<i>P. eldarica</i>	U. R. S. S.
15	id.	Iran

Cet échantillonnage n'est certes pas entièrement satisfaisant car certaines régions importantes ne sont représentées qu'insuffisamment ou pas du tout. C'est le cas de l'Afrique du Nord, avec un seul lot de Tunisie, et de l'Espagne.

D'autre part, les origines des deux lots de *Pinus eldarica*, en provenance d'U.R.S.S. et d'Iran, où cette espèce ne serait qu'introduite, ne sont pas précisées.

5 — Caractères analysés et méthode d'interprétation

5.1 — Caractères analysés.

Pour les quinze lots analysés, les cinq caractères retenus pour l'étude ont été notés :

X_1 : longueur des graines (en mm) (Cf. planche des clichés)

X_2 : largeur des graines (en mm)

X_3 : poids de 1 000 graines (en gr)

X_4 : nombre de cotylédons

X_5 : longueur des cotylédons (en mm)

Pour X_1 et X_2 , cent mesures ont été effectuées sur chaque lot. X_3 n'a servi qu'à l'analyse des composantes principales. Pour X_4 , cinquante échantillons ont été étudiés par lot, sauf pour *Pinus stankeviczii* (lot 13) et pour *Pinus eldarica* (lot 14) pour lesquels on

ne possédait que 32 et 26 échantillons. Pour X_5 , trois mesures ont été effectuées au hasard sur les échantillons ayant servi à analyser X_4 .

Deux méthodes d'analyse ont été étudiées et un essai de classification par une méthode objective a été tenté.

5.2 — Analyse séparée par caractère.

5.21 — Pour les caractères X_1 , X_2 , X_4 : analyse de variance à un facteur contrôlé classique. La variation entre les quinze lots a été décomposée, une partie due aux variations entre les espèces supposées et une autre due aux variations à l'intérieur d'une même espèce, pour les espèces représentées par au moins deux lots (*Pinus halepensis*, *Pinus brutia*, *Pinus eldarica*) (1).

Les comparaisons de moyennes ont été effectuées au moyen du test de Duncan classique pour les caractères X_1 et X_2 (RIVES (M.) [39]), au moyen du test de Duncan modifié pour des nombres inégaux de mesures pour le caractère X_4 (KRAMER (C.-Y.) [24]). Comme les différences étaient nettes, seules les comparaisons au seuil de probabilité 1 % ont été effectuées.

5.22 — Pour le caractère X_5 , l'analyse précédente a été complétée par une analyse hiérarchique pour tenir compte d'un nouveau niveau de variation: celle à l'intérieur de chaque échantillon. Les tests de signification ne sont pas modifiés malgré les nombres inégaux de répétition, car il y a toujours le même nombre de mesures à l'intérieur de chaque échantillon.

5.3 — Analyse globale.

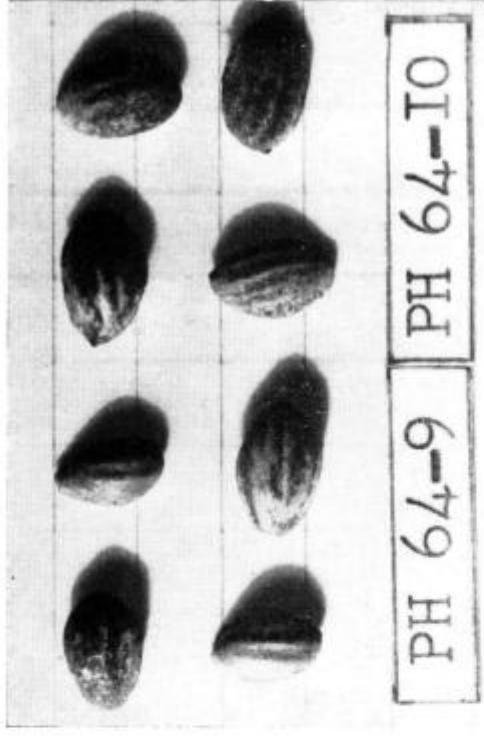
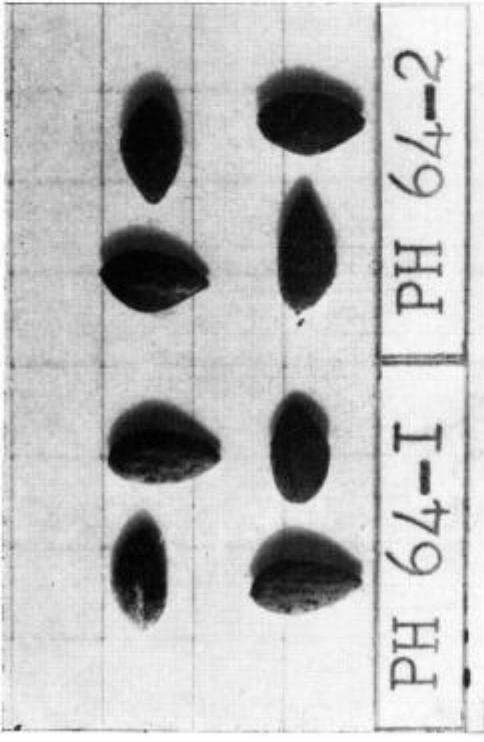
L'ensemble des moyennes des cinq caractères pour les quinze lots a permis de calculer les coefficients de corrélation pour toutes les variables prises deux à deux. Ces coefficients, qui forment la matrice des coefficients de corrélation, ont servi à faire une interprétation synthétique de toutes les mesures à l'aide de l'analyse des composantes principales. Les résultats de l'analyse sont seuls donnés dans ce texte, les principes de la méthode sont exposés en annexe (2).

(1) Pour cette décomposition, cf. COCHRAN (W.-G.) et COX (G.-M.) [10].

(2) Cf. Annexe A 2, p. 242.



Présentation de quelques échantillons de graines utilisées dans l'expérience sur fond à maille de 5 mm. Les numéros indiqués en dernier sous chaque lot sont ceux de l'expérience.



5.4 — *Essai de classification.*

La méthode des composantes principales permet de se placer sous le meilleur éclairage pour observer des différences entre les lots; elle ne permet pas de regrouper ces lots de façon objective. Aussi, un essai de classification a été effectué en utilisant la notion de distance.

6 — **Analyse séparée des caractères**6.1 — *Moyennes.*

Toutes les moyennes par lot et par espèce sont rassemblées dans le tableau 6.1.

Tableau 6.1 — *Moyennes des cinq caractères pour les quinze lots.*

Espèce	Lot	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
P. halepensis	1	55,30	30,55	15,88	7,08	22,42
	2	59,15	32,55	19,04	7,46	23,17
	3	61,85	33,30	18,44	7,56	25,63
	4	70,65	38,70	29,62	7,92	32,13
Moyenne halepensis		61,74	33,78	20,74	7,50	25,83
P. brutia	5	73,45	46,45	57,59	8,64	34,05
	6	72,95	46,30	54,89	8,62	32,28
	7	65,50	42,50	47,39	8,16	30,60
	8	66,65	43,85	47,96	8,36	31,42
	9	69,60	46,60	57,29	8,60	32,92
	10	69,80	45,60	53,70	8,24	31,17
	11	68,10	43,20	46,04	8,58	32,35
Moyenne brutia		69,44	44,93	52,12	8,45	32,11
P. pityusa	12	67,80	42,85	41,01	8,86	29,54
P. stankewiczii	13	73,25	48,25	59,63	9,03	30,98
P. eldarica	14	75,25	47,60	64,10	8,85	38,87
	15	71,45	44,30	50,20	8,74	33,55
Moyenne eldarica		71,85	45,95	57,15	8,77	35,54
Moyenne Générale		68,05	42,17	44,19	8,31	30,73
Ecart type d'une moyenne		0,65	0,50		0,13**	0,54**

(**) pour 50 mesures.

(***) pour 150 mesures.

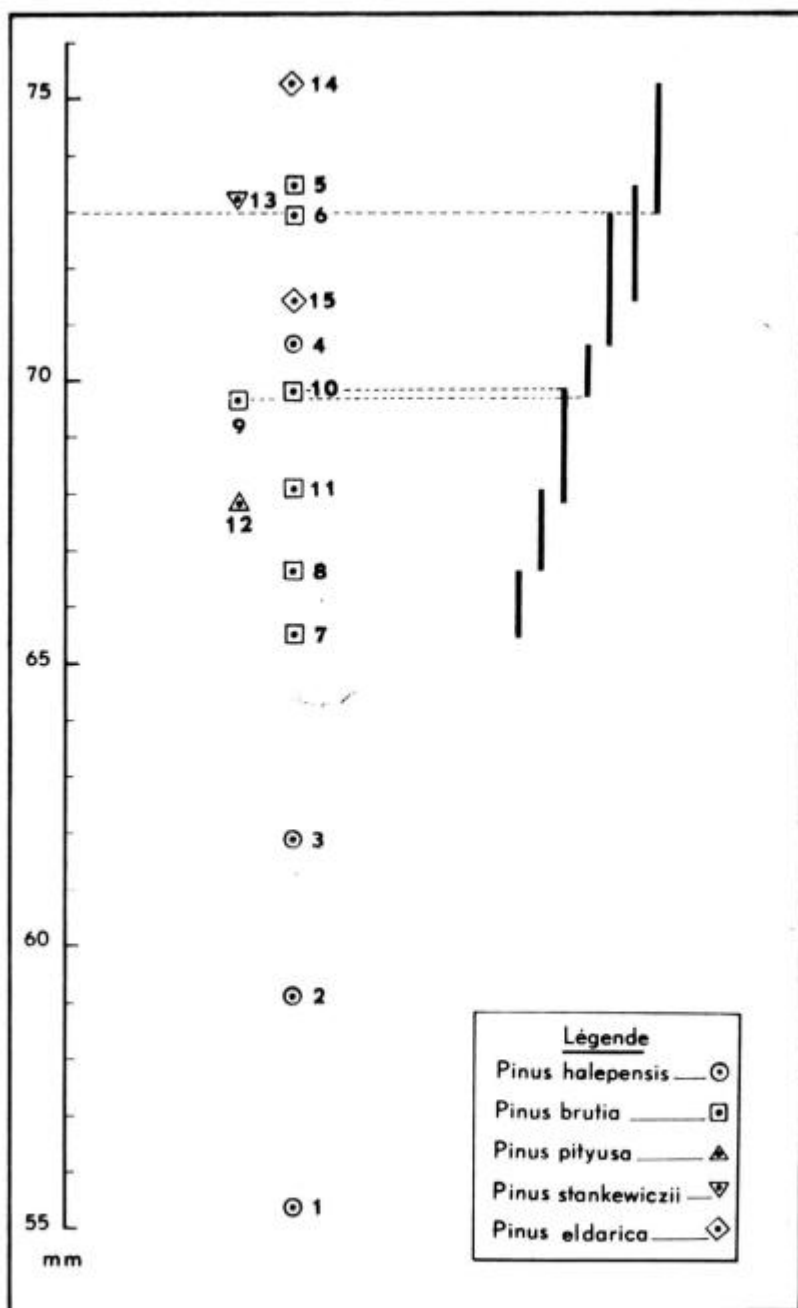


FIG. 1.

Comparaison des moyennes de longueur des graines au seuil de probabilité 1 % (les moyennes reliées par un trait vertical ne sont pas significativement différentes).

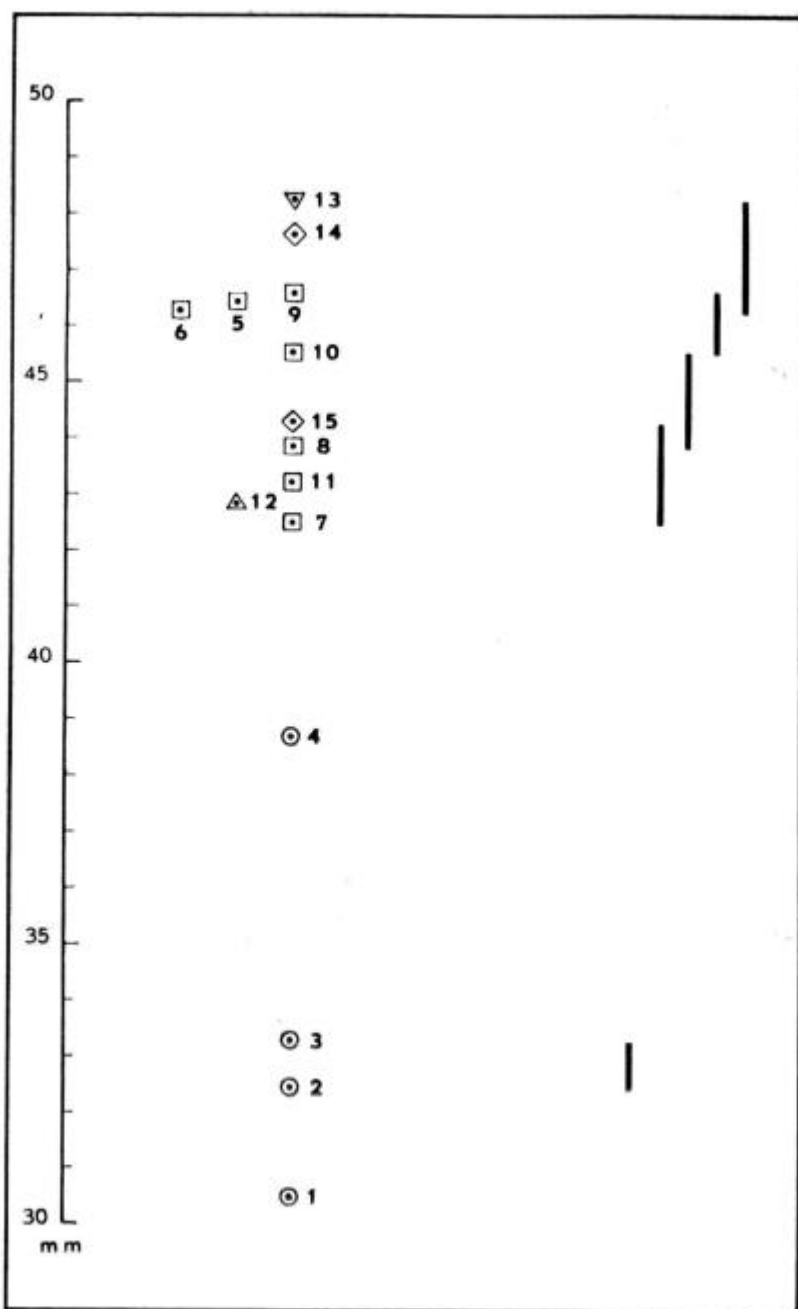


FIG. 2.

Comparaison des moyennes de largeur des graines au seuil de probabilité 1 % (les moyennes reliées par un trait vertical ne sont pas significativement différentes).

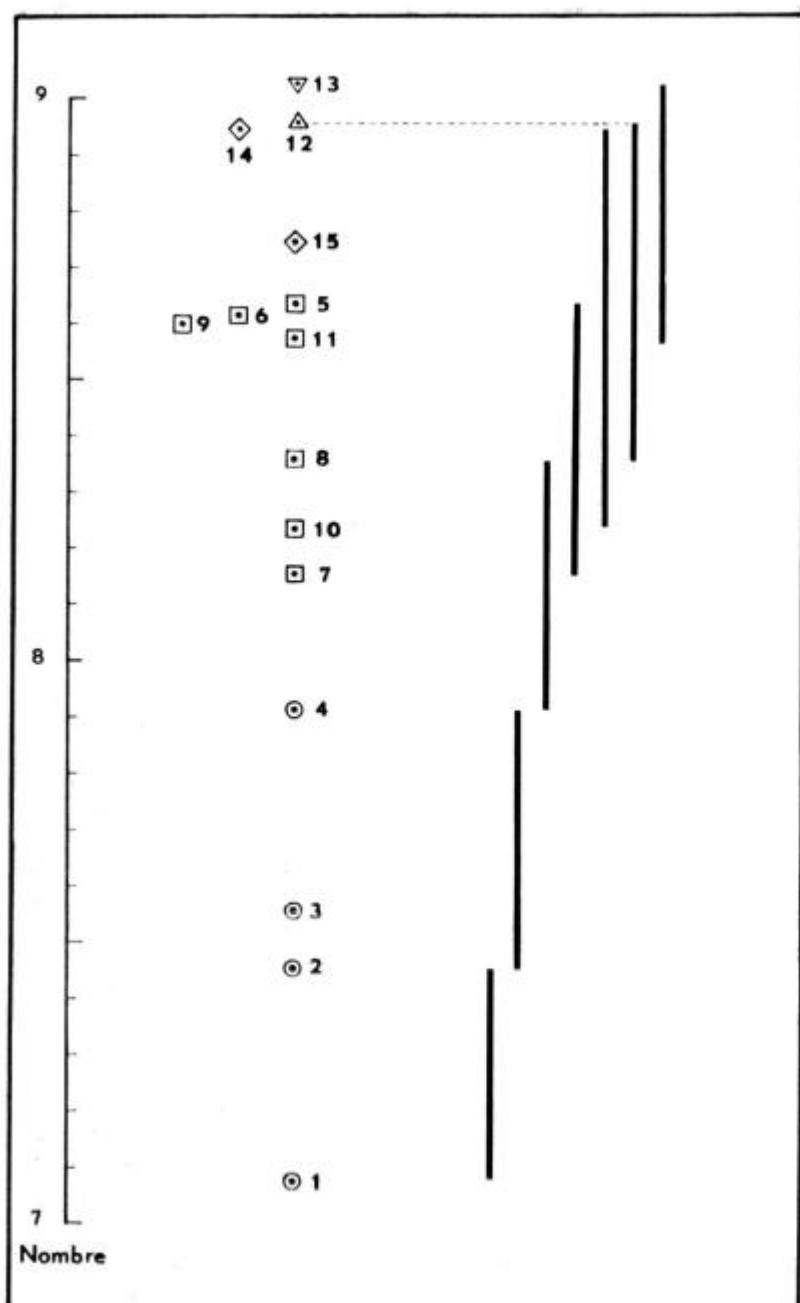


FIG. 3.

Comparaison des moyennes des nombres de cotylédons au seuil de probabilité 1 % (les moyennes reliées par un trait vertical ne sont pas significativement différentes).

Les tableaux d'analyse de variance qui ont permis d'établir les différences entre les lots sont donnés en annexe (1).

6.2 — *Longueur des graines* (X_1) (cf. tableau A 1-1 et figure 1).

Il existe des différences très significatives aussi bien entre les espèces, qu'au sein des espèces. En particulier, tous les lots de *Pinus halepensis* sont différents les uns des autres; ceux de *Pinus brutia* sont relativement plus groupés, les lots de *Pinus eldarica* sont aussi différents.

Pinus stankeviczii se situe entre les lots 5 et 6 (*Pinus brutia*); *Pinus pityusa* est pratiquement confondu avec le lot 11 (*P. brutia*).

6.3 — *Largeur des graines* (X_2) (cf. tableau A1-2 et figure 2).

Les différences entre les espèces sont plus marquées alors que les différences au sein de *Pinus halepensis* et au sein de *Pinus brutia* le sont moins. *Pinus stankeviczii* possède la moyenne la plus forte, alors que *Pinus pityusa* est encore pratiquement confondu avec le lot 11 (*P. brutia*).

6.4 — *Nombre de cotylédons* (X_4) (cf. tableau A1-3 et figure 3).

Si les différences entre espèces sont toujours importantes, à l'intérieur des espèces elles le sont beaucoup moins: en particulier, il n'y a plus de différences entre les lots de *Pinus brutia* au seuil de probabilité 1 %, plus de différences entre les deux lots de *Pinus eldarica* qui ne se distinguent pas des *Pinus pityusa* et *stankeviczii*: ces quatre lots sont rattachés aux lots 5, 6, 9, 11 (*Pinus brutia*).

6.5 — *Longueur des cotylédons* (X_3) (cf. tableau A1-4 et fig. 4).

Les différences entre les espèces sont encore importantes, mais c'est entre les quatre lots de *Pinus halepensis* qu'elles sont les plus importantes, le lot 4 est en particulier très différent des trois autres. Le lot 14 (*Pinus eldarica*) a la moyenne plus élevée et se trouve isolé.

Pour ce caractère, il a été possible d'étudier les variations entre les mesures à l'intérieur des échantillons et les mesures entre échantillons; il existe toujours des différences très importantes entre les échantillons (cf. tableau A1-5); ces différences sont sensiblement constantes d'une espèce à l'autre. Il est donc nécessaire, pour avoir une idée valable de la moyenne d'un lot, d'avoir un nombre important d'échantillons.

6.6 — *Conclusion provisoire sur l'analyse séparée des caractères.*

On peut déjà relever les différences importantes entre les quatre lots de *Pinus halepensis* et les lots des autres espèces. De plus, les

(1) Cf. Annexe A 1, p. 240.

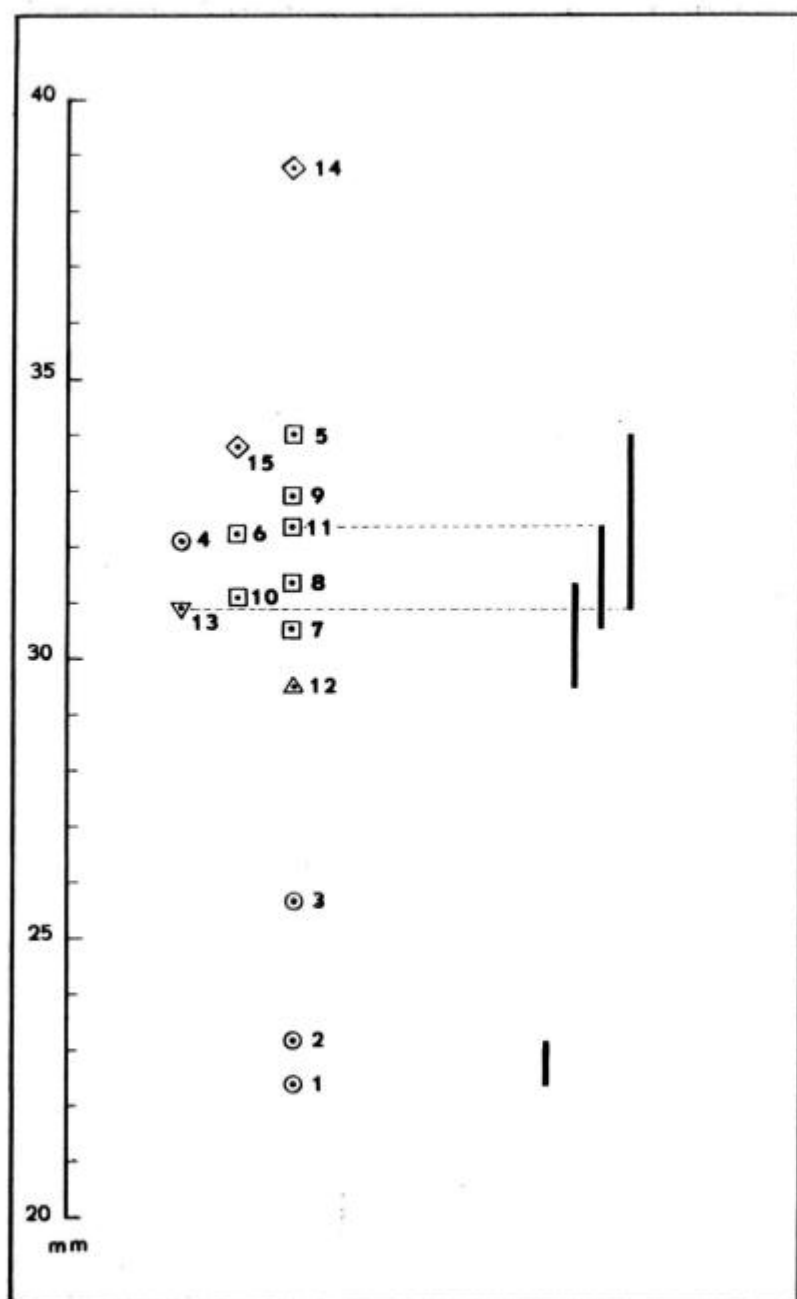


Fig. 4.

Comparaison des moyennes des longueurs de cotylédons au seuil de probabilité 1 % (les moyennes reliées par un trait vertical ne sont pas significativement différentes).

quatre lots sont assez différents entre eux, en particulier le lot 4, d'origine tunisienne, qui se rapproche davantage de certains *Pinus brutia*.

Le lot 14, *Pinus eldarica*, présente toujours des moyennes élevées. Par contre, les différences entre les lots de *Pinus brutia* ne sont pas suffisamment nettes pour qu'il soit possible d'établir des groupements précis.

7 — Analyse des composantes principales

Le principe de la méthode est donné en annexe (1), les tableaux qui ne sont pas directement utiles pour l'exposé des résultats sont reportés dans l'annexe A-3.

7.1 — Coefficients de corrélation.

La matrice des coefficients de corrélation entre les moyennes des lots est la suivante :

	1	1,0000	0,9074	0,8724	0,8823	0,9179
	2		1,0000	0,9852	0,9401	0,8656
R =	3			1,0000	0,9002	0,8658
	4				1,0000	0,8141
	5					1,0000

Les moyennes des lots sont des variables normales : elles sont calculées avec un nombre suffisant de mesures pour que la tendance vers la loi normale de la distribution d'une moyenne soit réalisée. On peut donc affirmer que la valeur élevée de tous les coefficients de corrélation traduit une dépendance forte entre les cinq caractères, il est donc vraisemblable qu'il existe un *facteur commun* important où chaque caractère apparaît avec un poids sensiblement égal, ceci va être vérifié.

7.2 — Composantes principales.

7.21 — Comme cela était prévisible, il existe une première composante qui absorbe plus de 90 % de la variation : tous les caractères y sont également représentés, avec le même signe ; cette composante est liée à la taille des graines, à leur poids, au nombre et à la longueur des cotylédons, plus ces variables sont fortes, plus la composante est grande, cette composante traduit un *facteur de grosseur*.

La seconde composante qui n'absorbe que 5 % de la variation ne permet pas d'affirmer un résultat avec certitude, on ne peut que noter une certaine tendance : ce sont les coefficients des caractères X_5 et X_4 qui sont les plus élevés. Si on calcule le coefficient de corrélation entre cette seconde composante et la variable $X_5 - X_4$, on trouve une valeur de 0,8808 ; on peut donc supposer qu'un second

(1) Cf. Annexe A 2, p. 242.

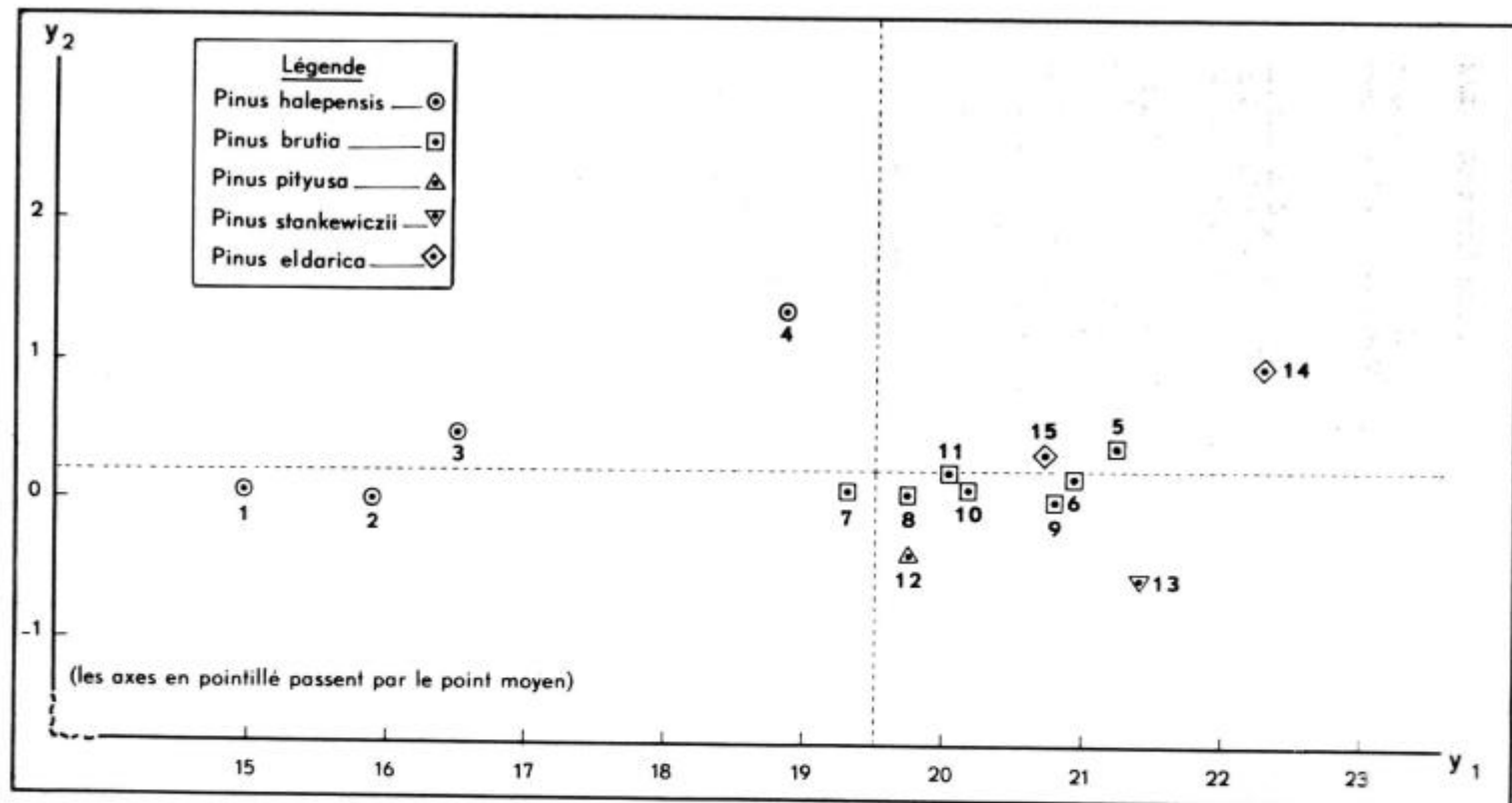


FIG. 5.

Représentation des points moyens des quinze échantillons étudiés sur le plan des deux premiers vecteurs propres.

facteur de différenciation est plus particulièrement lié aux *cotylédons*, ceci n'est qu'une hypothèse qui demanderait, pour être plus sûrement vérifiée, d'autres analyses.

7.22 — Si on reporte les points moyens des quinze lots sur le plan formé par les deux premiers vecteurs propres, les tendances que nous avons relevées lors de l'analyse séparée des caractères se confirment (cf. figure 5).

— Pour *Pinus halepensis*: les trois premiers lots se séparent nettement des autres, le lot 4 de Tunisie est beaucoup plus éloigné d'eux que d'un *Pinus brutia* comme le lot 7.

— *Pinus brutia*: la première composante seule permet de les différencier; et ils ont presque tous la même valeur pour la seconde. On peut voir un gradient de variation qui part des lots 7 et 8 (Thassos) vers 11 (Syrie), 10 (Turquie), 9 (Turquie), 6 (Mytilène) et 5 (Chypre).

— *Pinus stankeviczii*: ces caractères ont en général une valeur plus élevée que ceux des *Pinus brutia*, ce qui se traduit par une première composante plus forte, et une seconde faible à cause du nombre élevé des cotylédons.

— *Pinus eldarica*: les deux lots sont éloignés l'un de l'autre: si le second provenant d'Iran se rattache assez bien aux éléments « forts » de *Pinus brutia*, le premier d'origine soviétique s'éloigne suffisamment pour qu'il soit possible de le différencier des autres lots.

8 — Essai de classification

8.1 — Notion de distance.

En appliquant la méthode des composantes principales, les différences qui pouvaient exister entre les lots n'ont pas été modifiées; ces différences ont été simplement placées sous le meilleur éclairage. Cette interprétation ne peut faire apparaître aucune liaison par affinités.

Mais une classification peut être tentée en faisant intervenir une valeur qui permette de mesurer une distance entre les lots (1). Une

(1) De façon axiomatique, une distance est définie de la façon suivante: soit deux éléments A et B, leur distance $d(A,B)$ est telle que:

1° $d(A+C, B+C) = d(A,B)$, la distance est invariante dans une translation.

2° $d(A,B) = 0$, si, et seulement si $A = B$ (A et B confondus).

3° $d(A,B) = d(B,A)$.

4° $d(A,B) \leq d(A,C) + d(C,B)$, inégalité dite triangulaire. Cf. DUCHE D [13].

fois cette distance définie, il faut une méthode objective pour regrouper les lots suivant leurs affinités.

8.2 — *Essai de classification.*

Dans ce paragraphe, il est supposé que la distance précitée est définie sans ambiguïté. Pour classer n éléments, on dispose d'autant de distances qu'il existe de couples d'éléments (i, j) , soit

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

la distance du couple (i, j) est notée d_{ij} .

L'algorithme du même modèle que celui utilisé par JIZBA Z.-V. [21] est le suivant :

1° Classer les d_{ij} par ordre croissant de 1 à $\frac{n(n-1)}{1}$ (1).

2° Prendre la première distance et former avec les deux éléments correspondant un premier groupe (palier 1).

3° Prendre la seconde distance (palier 2) :

a) si les deux éléments sont différents de ceux du palier 1, ils forment un second groupe.

b) si un seul des deux éléments est différent des deux premiers, cet élément est rattaché au groupe déjà créé (2).

4° Prendre la troisième distance (palier 3) :

a) si les deux éléments sont différents de tous les précédents, ils forment un troisième groupe.

b) si un seul élément est différent, on le rattache au groupe auquel le second appartient.

c) si les deux éléments appartiennent déjà à un groupe, on passe au palier suivant sans rien modifier aux groupes.

d) si deux éléments réapparaissent sans appartenir déjà à un même groupe, les deux groupes auxquels ils appartenaient sont refondus.

5° Lorsque tous les groupes sont refondus, l'opération de classification est terminée.

(1) Puisque la distance est une quantité symétrique en i, j on suppose $j > i$ (propriété 3 de la distance).

(2) en vertu de la propriété 4 cet élément est voisin des deux premiers.

On peut représenter les résultats sous la forme d'un arbre dont les propriétés intrinsèques devraient être intéressantes à étudier par la théorie des graphes (1) (2).

8.3 — *Application aux quinze lots de Pinus halepensis et espèces voisines.*

8.31 — La distance choisie est celle définie dans l'espace des caractères, espace à cinq dimensions que nous avons utilisé au chapitre précédent :

$$d^2 = (y_1 - y'_1)^2 + (y_2 - y'_2)^2 + (y_3 - y'_3)^2 + (y_4 - y'_4)^2 + (y_5 - y'_5)^2$$

où les quantités y sont les valeurs des composantes principales du premier lot et y' celles du second (2).

8.32 — Les cent cinq distances ont été calculées (4), puis classées comme il est indiqué au paragraphe précédent; les résultats sont reportés sur le tableau suivant :

Palier	Groupe	A	B	C
1		(5,6)	(7,8)	—
2			(7,8,11)	
3		(5,6,9)		
4				
5		(5,6,9,15)		
6				
7			(7,8,11,10)	(2,3)
8		(5,6,7,8,9,10,11,15)		
9				
10		(5,6,7,8,9,10,11,15,12)		
etc...				
58		(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15)		

(1) Pour plus de détails sur cette analyse, cf. ROGERS D.J. and TANIMOTO T.T. [40], JIZBA Z.V. [21], BERGE C. [5].

Un organigramme complet des calculs peut être fourni par les auteurs sur simple demande.

(2) Ce lien entre les rangs des distances (caractère purement qualitatif) et la disposition spatiale des éléments (caractère quantitatif) est beaucoup plus profond puisqu'il est possible de reconstituer la seconde à partir des premiers. Cf. BENZECRI J.M. [A2], bibliographie de l'annexe 2.

(3) Les variables initiales auraient pu tout aussi bien être choisies. Les distances n'auraient pas été modifiées compte tenu de la perte de précision due au calcul. Cette forme adoptée permet toutefois de voir que la contribution à la distance est surtout importante de la part des premières composantes: si de nombreux caractères sont étudiés, cette formule est plus intéressante puisqu'on peut calculer les distances sur les premières composantes.

(4) Cf. Annexe 3, tableau A-3.3, p. 248.

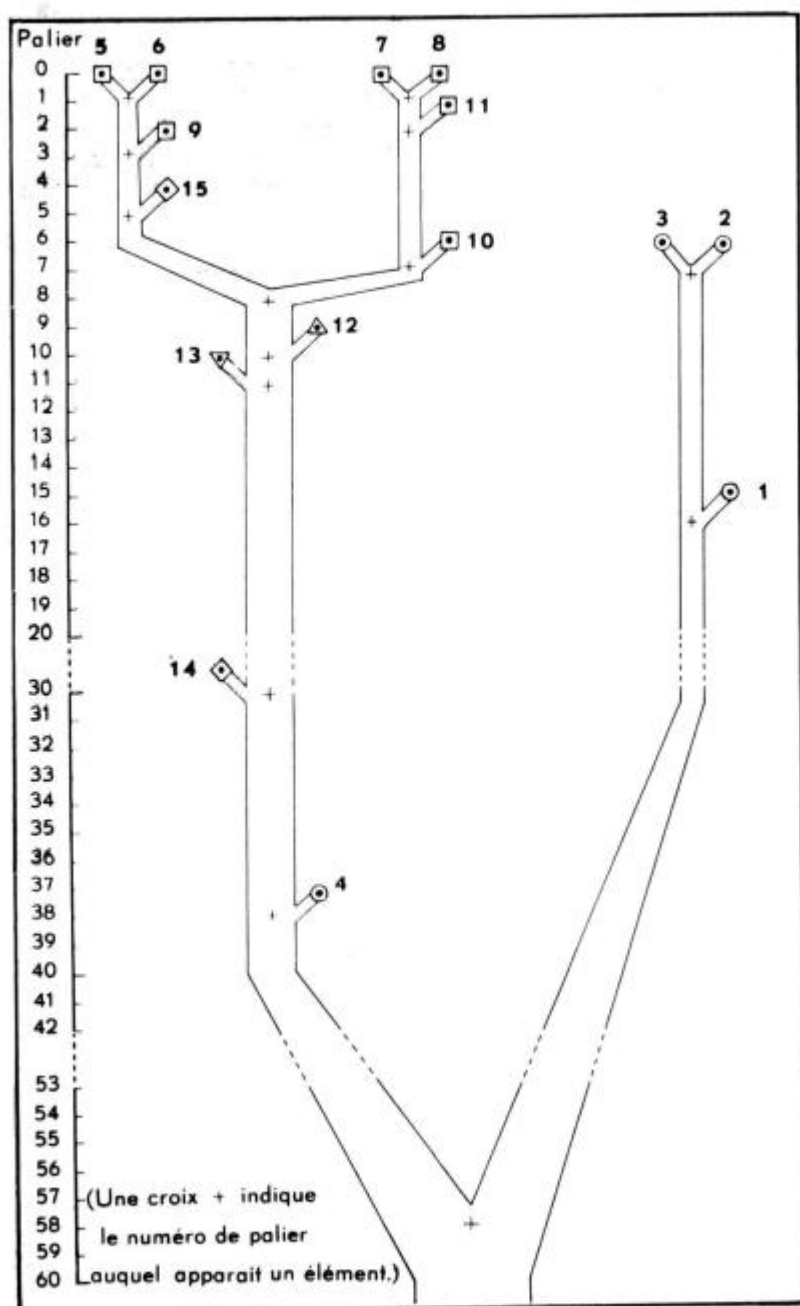


FIG. 6.

Essai de classification des pins de la section *halepensis* d'après les échantillons étudiés (les notations conventionnelles sont celles des figures 1 à 5. Les numéros sont ceux donnés aux échantillons étudiés).

— au palier 1: les groupes A (5,6) et B (7,8) sont formés.
 — au palier 2: (11) est rattaché au groupe B.
 — au palier 3: (9) est rattaché au groupe A.
 — au palier 4: rien n'est modifié puisque c'est la distance entre (9) et (5) qui apparaît, les deux lots appartiennent déjà au même groupe A.

...

— au palier 8: les groupes A et B sont réunis.

...

...

L'opération se poursuit jusqu'au palier 58 où les deux branches restant sont rattachées par l'intermédiaire de (4) et (3).

La classification obtenue peut être représentée par un arbre comme celui de la figure 6.

Remarques:

1° Tout élément nouveau pourrait être introduit dans cette classification en utilisant des calculs analogues qui le rattacherait à l'arbre à un certain palier.

2° La méthode de classification, utilisée ici avec des variables continues peut être également employée avec des variables non continues, à condition de pouvoir définir une distance.

Conclusions

Les résultats des recherches effectuées sur les graines et les plantules de quinze échantillons de Pins de la section méditerranéenne *Halepensis* ont permis tout d'abord d'apporter des précisions sur certains caractères de ces espèces: longueur et largeur des graines; poids de 1 000 graines; nombre et longueur des cotylédons. Ces renseignements ont un intérêt pratique pour les forestiers amenés à utiliser ces essences qui, malgré leurs affinités, doivent cependant être soigneusement distinguées les unes des autres.

En outre, l'analyse séparée des caractères étudiés, l'analyse globale par la méthode des composantes principales ainsi que l'essai de classification qui a été tenté, apportent des données intéressantes sur les rapports qui existent entre les différentes espèces ou sous-espèces de cette section. Compte tenu des échantillons étudiés, il est en effet possible de tirer les conclusions suivantes:

1° Les échantillons étudiés se classent suivant un gradient géographique. Les dimensions et le poids des graines, le nombre et la longueur des cotylédons croissent dans le même sens, de l'Ouest vers l'Est. Ces caractères sont fortement liés entre eux.

2° Malgré certaines différences, les échantillons provenant de la Méditerranée orientale, qu'ils soient rattachés aux espèces *P. brutia*,

P. pityusa, *P. stankeviczii* ou *P. eldarica* peuvent se regrouper dans un ensemble qui se distingue bien des formes du nord de la Méditerranée occidentale. L'essai de classification est de ce point de vue extrêmement expressif : ce sont les lots en provenance des îles de la Méditerranée orientale (Chypre, Lesbos, Thassos), de Turquie et de Syrie qui montrent entre eux le plus d'affinités. La présence parmi eux d'un Pin d'Iran (échantillon n° 15) n'est pas surprenante en raison de l'incertitude sur l'origine exacte de ce Pin qui n'est pas une essence spontanée de ce pays. Les formes de la côte orientale de la Mer Noire (*P. pityusa*), de Crimée (*P. stankeviczii*) et d'Azerbeïdjan (*P. eldarica*) se rattachent, dans cet ordre, par affinité décroissante, avec les formes précédentes.

Du point de vue taxonomique, il paraît donc très légitime de rattacher toutes les formes de Pins de la section *halpensis* de la Méditerranée orientale à une seule espèce *P. brutia*, à l'intérieur de laquelle trois sous-espèces, isolées géographiquement (*P. pityusa*, *P. stankeviczii* et *P. eldarica*) peuvent être distinguées. La classification adoptée par NAHAL [35] se trouve ainsi confirmée. Il faut d'ailleurs remarquer que *P. pityusa* et *P. stankeviczii* apparaissent très proches l'un de l'autre, ce qui rejoint l'opinion de KOLESNIKOV [25].

En pratique, les caractères distinctifs de *P. brutia* en ce qui concerne les graines et les plantules par rapport aux autres formes de *Pinus halepensis* sont les suivants : longueur de la graine supérieure à 6,5 mm — largeur de la graine supérieure à 4 mm — poids de 1 000 graines supérieure à 45 gr — nombre de cotylédons supérieur à 8.

3° Les échantillons de *Pinus halepensis* du nord de la Méditerranée occidentale sont sensiblement différents. Cette espèce apparaît donc comme hétérogène. D'ailleurs, le seul échantillon d'Afrique du Nord étudié dans l'expérience est intermédiaire par les caractères de graine et de plantule, entre les autres échantillons de *Pinus halepensis* et ceux de *P. brutia*. Il est possible qu'entre les formes du nord et du sud de la Méditerranée existe une nette différence qui justifierait ainsi une sous-division de l'espèce *P. halepensis*, sous-division qui a été envisagée par divers auteurs, sans toutefois être précisée. Une nouvelle étude serait nécessaire pour situer exactement la place des Pins d'Afrique du Nord.

Les caractères distinctifs des graines et des plantules des Pins ne sont que les premiers résultats d'une étude comparée qui sera poursuivie sur les plants obtenus, introduits dans un arboretum de la région méditerranéenne. Il importe en effet de mettre en évidence les autres caractères distinctifs qui peuvent apparaître aussi bien dans la morphologie que dans le comportement de ces Pins, afin de préciser l'intérêt de ces espèces comme essences de reboisement dans la région méditerranéenne française.

Annexe A 1

TABLEAUX D'ANALYSE DE VARIANCE

TABLEAU A1-1

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré Moyen	F (ou estimateur)
Entre les lots	44457,50	14	3175,54	75,62**
Entre les espèces	25611,45	4	6402,86	152,46**
Entre lots de P. Halepensis	12758,19	3	4252,73	101,27**
Entre lots de P. Brutia	5365,86	6	894,31	21,30**
Entre lots de P. Eldarica	722,00	1	722,00	17,19**
Erreur	62363,75	1485	42,00	
Totale	106821,25	1499		

Analyse de variance pour le caractère X₁ (Longueur des graines)

TABLEAU A1-2

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré Moyen	F (ou estimateur)
Entre les lots	46049,44	14	3289,25	134,33**
Entre les espèces	40117,76	4	10029,44	409,27**
Entre lots de P. Halepensis	3638,25	3	1212,75	49,49**
Entre lots de P. Brutia	1748,93	6	291,49	11,89**
Entre lots de P. Eldarica	544,50	1	544,50	22,22**
Erreur	36990,50	1485	24,51	
Totale	82439,44	1499		

Analyse de variance pour le caractère X₂ (Largeur des graines)

TABLEAU A1-3

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré Moyen	F (ou estimateur)
Entre les lots	214,81	14	15,34	18,48**
Entre les espèces	184,69	4	46,17	55,63**
Entre lots de P. Halepensis	17,90	3	5,96	7,18**
Entre lots de P. Brutia	12,02	6	2,00	2,40*
Entre lots de P. Eldarica	0,20	1	0,20	0,24 NS
Erreur	576,93	693		
Totale	791,74	707		

Analyse de variance pour le caractère X₃ (Nombre de cotylédons)

TABLEAU A1-4

Origine de la variation	Somme des carrés	d.l.	Carré Moyen	F (ou estimateur)
Entre les espèces	21728,90	4	5432,33	124,71**
Entre les lots à l'intérieur des espèces	11324,38	10	1132,43	26,00**
Entre lots de P. Halepensis	8786,79	3	2928,93	67,24**
Entre lots de P. Brutia	1224,52	6	204,09	4,69**
Entre lots de P. Eldarica	1313,07	1	1313,07	30,14**
Entre échantillons à l'intérieur des lots	30185,98	693	43,56	
Entre mesures à l'intérieur des échantillons	1014,47	1416	0,72	
Totale	64253,73	2123		

Analyse de variance pour le caractère X_5 (Longueur des cotylédons)

Tableau A1-5 — Test des différences entre échantillons pour les quinze lots (les valeurs de F sont toutes significatives au seuil 1 %) (longueur des cotylédons)

Lot	Entre échantillons		A l'intérieur des échantillons		F
	d.l.	Carré moyen	d.l.	Carré moyen	
1	49	21,479	100	0,641	33,51
2	49	23,334	100	0,375	62,27
3	49	34,668	100	0,583	59,42
4	49	30,269	100	0,769	39,36
5	49	67,071	100	0,871	77,00
6	49	30,081	100	0,722	41,65
7	49	45,412	100	0,788	57,62
8	49	29,885	100	0,662	45,16
9	49	24,940	100	0,810	39,80
10	49	49,674	100	0,668	74,34
11	49	50,021	100	0,590	84,85
12	49	46,474	100	0,520	89,34
13	31	57,744	64	1,265	45,65
14	25	47,421	52	1,177	40,29
15	49	102,047	100	0,725	140,83

Annexe A 2

PRINCIPE DE L'ANALYSE
DES COMPOSANTES PRINCIPALESA 2.1 — *Position du problème.*

Lorsqu'on étudie et lorsqu'on mesure plusieurs caractères sur les éléments d'un ensemble, la difficulté essentielle surgit au moment où l'on désire faire une synthèse de ces mesures. L'étude séparée des caractères, intéressante en première analyse, présente deux inconvénients :

— l'information apportée par chaque étude est obligatoirement limitée.

— la synthèse des résultats est délicate, voire impossible.

Il est donc indispensable d'utiliser une méthode qui permette d'observer les différences entre les éléments, avec le meilleur pouvoir séparateur. Nous sommes naturellement conduits à rechercher les combinaisons des variables initiales dont la variance est maximum.

A 2.2 — *La méthode des composantes principales.*

21 — Soit \mathbf{X} un vecteur aléatoire à p dimensions (*), et soit $\mathbf{\Lambda}$ la matrice des variances et covariances. Nous voulons trouver un vecteur \mathbf{V} , de longueur l'unité, c'est-à-dire tel que (**):

$$(1) \quad \mathbf{V}' \mathbf{V} = 1$$

La projection de \mathbf{X} sur ce vecteur doit avoir une variance maximum; cette variance a pour estimation :

$$(2) \quad E (\mathbf{V}' \mathbf{X})^2 = E (\mathbf{V}' \mathbf{X} \mathbf{X}' \mathbf{V}) = \mathbf{V}' \mathbf{\Lambda} \mathbf{V}$$

On démontre que pour que la quantité donnée par (2) soit maximum, en tenant compte de la condition (1), il faut et il suffit que la quantité :

$$(3) \quad U = \mathbf{V}' \mathbf{\Lambda} \mathbf{V} - \lambda (\mathbf{V}' \mathbf{V} - 1)$$

soit maximum pour toute variation des composantes du vecteur \mathbf{V} (***). On a donc légalité (où \mathbf{I} représente la matrice unité) :

$$(4) \quad \frac{\delta U}{\delta \mathbf{V}} = 2 \mathbf{\Lambda} \mathbf{V} - 2 \lambda \mathbf{V} = 2 (\mathbf{\Lambda} - \lambda \mathbf{I}) \mathbf{V} = 0$$

(*) Nous supposons que la moyenne de chacune des coordonnées est nulle, ce qui ne change rien à la démonstration. Pour toutes les définitions relatives au calcul matriciel, cf. ANDERSON T.W. [A1], RAO C.R. [A9], TOMASSONE R. [A10].

(**) \mathbf{V}' est le vecteur transposé de \mathbf{V} .

(***) λ est appelée un multiplicateur de Lagrange, son utilisation est fréquente, par exemple en mécanique.

Pour que \mathbf{V} satisfasse à la condition (1), il faut que la matrice $\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}$ soit singulière: son déterminant doit être nul:

$$(5) \quad \det (\mathbf{A} - \lambda \mathbf{I}) = 0$$

L'équation (5) est l'équation aux valeurs propres de \mathbf{A} : \mathbf{V} est un vecteur propre, λ une valeur propre.

On voit en multipliant l'équation (4) à gauche par \mathbf{V}' que:

$$(6) \quad \mathbf{V}' \mathbf{A} \mathbf{V} = \lambda \mathbf{V}' \mathbf{V} = \lambda$$

La projection de \mathbf{X} sur \mathbf{V} qui est appelée *composante principale* a pour variance λ (*); elle s'exprime en fonction des variables initiales par

$$x_1 = a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1p} x_p$$

Quand cette première composante est trouvée, on « l'extrait » de la variation totale et on se trouve ramené à un problème identique dans un espace de dimension $p-1$ où l'amplitude de variation est bien diminuée. En extrayant les vecteurs propres correspondant à des valeurs propres décroissantes mais positives, on introduit par paliers les composantes qui expliquent le mieux la variation globale.

22. Nous pouvons associer à la matrice des variances et covariances de dimension p , p valeurs propres et p vecteurs propres orthogonaux deux à deux: les *nouvelles variables sont donc non corrélées*.

En général, on utilise non pas la matrice \mathbf{A} , mais la matrice des coefficients de corrélation; ceci revient à considérer des variables initiales réduites. On voit que dans ce cas la somme des valeurs propres est égale à p , chaque vecteur propre représente une part de la variation totale qui ne peut dépasser p . On peut donc n'étudier que les composantes principales dont la participation à la variation totale est grande, et négliger les autres.

La méthode est donc puissante et efficace puisqu'elle permet:

— de se mettre dans les meilleures conditions pour séparer les éléments d'un ensemble.

— de diminuer le nombre de combinaisons des caractères à prendre en compte, puisqu'on se limite pratiquement à un nombre de combinaisons des variables initiales inférieures à p .

(*) On peut démontrer par ailleurs, que dans le cas d'une matrice des variances et covariances, toutes les valeurs propres sont positives (ce qui est nécessaire puisqu'elles représentent des variances); de plus, leur somme est égale à la somme des termes de la diagonale principale de la matrice.

23. *Distribution des variables*: nous n'avons fait aucune hypothèse sur la distribution des variables initiales, et la méthode peut s'appliquer quelle que soit cette distribution. Toutefois, si on désire donner un sens aux coefficients de corrélation et aux composantes principales il est presque toujours nécessaire de supposer les distributions normales. En particulier, l'absence de corrélation entre les composantes principales n'entraîne leur indépendance qu'en supposant la normalité des distributions.

24. *Interprétation des composantes*: les composantes principales apparaissent sous forme de combinaisons linéaires des variables. Leur interprétation n'est pas toujours facile. Bien qu'elle ne soit pas strictement indispensable si on se contente d'observer des différences sous le meilleur éclairage, il est quelquefois intéressant de pouvoir leur donner un sens. On peut opérer de trois façons:

— en analysant les coefficient a_{ij} de chacune des composantes principales,

— en exprimant les variables initiales X en fonction des nouvelles variables Y.

— en calculant les coefficients de corrélation entre les quantités X et les quantités Y.

Pour d'autres renseignements sur la méthode, voir:

pour l'aspect théorique: ANDERSON (T.W.) [A1], DAGNELIE (P.) [A3], HARMANN (H.H.) [A4], KENDALL (M.G.) [A8], RAO (C.R.) [A9].

pour l'aspect pratique: DAGNELIE (P.) [A3], GREIG-SMITH (P.) [A5], JEFFERS (J.N.R.) [A6], JEFFERS (J.N.R.) and BLACK (T.M.) [A7].

BIBLIOGRAPHIE DE L'ANNEXE 2

- [A1] ANDERSON (T.-W.). — *Introduction to multivariate statistical analysis*. John Wiley, New York (1964).
- [A2] BENZECRI (J.-M.). — *Sur l'analyse factorielle des proximités*. Publ. Inst. Stat. Univ. Paris XIII, 4 (1964), p. 235-282.
- [A3] DAGNELIE (P.). — *Contribution à l'étude des communautés végétales par l'analyse factorielle*. Bull. Serv. Carte Phytogéog., ser. B, T. V. (1960), fasc. 1 et 2.
- [A4] HARMANN (H.-H.). — *Factor analysis*. Chicago U.P. (1964).
- [A5] GREIG-SMITH (P.). — *Quantitative Plant Ecology*. Butterworths, London (1964).
- [A6] JEFFERS (J.-N.-R.). — *Principal component analysis of designed experiment*. The Statistician 12 (1962), p. 230-242.
- [A7] JEFFERS (J.-N.-R.) et BLACK (T.-M.). — *An analysis of variability in Pinus contorta*. XXXVI, 2 (1963), p. 129-218.
- [A8] KENDALL (M.-G.). — *A course in multivariate analysis*. Griffin, Londres (1961).
- [A9] RAO (C.-R.). — *Advanced statistical methods in biometric research*. John Wiley, New-York (1962).
- [A10] TOMASSONE (R.). — *Application des fonctions discriminantes à des problèmes biométriques*. Ann. E.N.E.F. et St. Rech. et Exp. For., XX, 4 (1963), p. 603-609.
-

Annexe A 3

RESULTATS DE L'ANALYSE DES COMPOSANTES PRINCIPALES

La diagonalisation de la matrice des coefficients de corrélation a donné les résultats suivants (*):

Variable principale		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
valeur propre	λ_i	4,58188	0,22804	0,12206	0,06133	0,00669
	% variation	91,64	4,56	2,44	1,23	0,13
	% cumulé	91,64	96,20	98,64	99,87	100,00
composantes sur x_1		0,44693	0,38293	0,45425	- 0,65111	0,15277
x_2		0,45890	- 0,31594	- 0,21750	- 0,20437	- 0,77494
x_3		0,45890	- 0,29680	- 0,58589	- 0,13521	0,58855
x_4		0,44297	- 0,43473	0,59136	0,49455	0,14315
x_5		0,43528	0,69027	- 0,23102	0,52099	- 0,09621

Tableau A 3.1 — *Analyse des composantes principales: vecteurs propres et valeurs propres*

Les valeurs des composantes principales sont données au tableau A3.2, on remarquera que la différence entre la valeur maximum et la valeur minimum décroît au fur et à mesure que le pourcentage de variation de la composante diminue (ces résultats ont été reportés sur la figure 5).

(*) La majorité des calculs ont été effectués sur la calculatrice 650 IBM de la Faculté des Sciences de Nancy, la diagonalisation a été faite à la Station Centrale de Génétique Animale de Jouy-en-Josas sur calculatrice 1620 IBM (P 62 023).

Espèce	Lot	Caractères mesurés					Composantes principales				
		x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅
FH	1	9,8	5,3	1,0	12,3	5,3	15,0	0,1	8,8	1,2	-0,8
	2	10,5	5,6	1,2	13,0	5,5	16,0	0,0	9,2	1,1	-0,8
	3	11,0	5,8	1,2	13,1	6,0	16,5	0,5	9,4	1,2	-0,8
	4	12,5	6,7	1,9	13,8	7,6	18,9	1,4	9,5	1,0	-1,0
<i>P. halepensis</i>		11,0	5,9	1,3	13,0	6,1	16,6	0,5	9,2	1,1	-0,8
PB	5	13,0	8,1	3,6	15,0	8,0	21,3	0,4	9,1	1,0	-0,8
	6	12,9	8,1	3,4	15,0	7,6	21,0	0,1	9,2	0,8	-0,8
	7	11,6	7,4	3,0	14,2	7,2	19,4	0,1	8,6	1,3	-0,9
	8	11,8	7,6	3,0	14,5	7,4	19,8	0,0	8,8	1,4	-1,0
	9	12,4	8,1	3,6	14,9	7,8	20,9	0,0	8,8	1,2	-0,9
	10	12,4	8,0	3,4	14,3	7,4	20,2	0,1	8,7	0,8	-0,9
	11	12,1	7,5	2,9	14,9	7,6	20,1	0,2	9,2	1,6	-0,9
<i>P. brutia</i>		12,3	7,8	3,3	14,7	7,6	20,4	0,1	8,9	1,1	-0,9
<i>P. pityusa</i>	12	12,0	7,5	2,6	15,4	7,0	19,8	-0,4	9,8	1,5	-0,9
<i>P. stankeviczii</i>	13	13,0	8,4	3,7	15,7	7,3	21,5	-0,6	9,5	0,9	-0,8
PE	14	13,4	8,3	4,0	15,4	9,2	22,4	0,9	8,9	1,4	-0,7
PE	15	12,7	7,7	3,1	15,2	7,9	20,8	0,3	9,4	1,4	-0,8
<i>P. eldarica</i>		13,0	8,0	3,6	15,3	8,5	21,6	0,6	9,1	1,4	-0,7
Moyenne générale		12,1	7,4	2,8	14,4	7,2	19,6	0,2	9,1	1,2	-0,9
Max-Min		3,6	3,1	3,0	3,4	3,9	7,4	2,0	1,2	0,8	0,3

Tableau A 3.2 — Valeurs des moyennes réduites (x), des composantes (y) pour les quinze lots et les espèces.

Lot ↓ →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1														
2	1,09 ¹⁶													
3	1,66	0,74 ⁷												
4	4,18	3,24	2,58 ³⁸											
5	6,32	5,32	4,81	2,64										
6	6,03	5,01	4,54	2,50	0,48 ¹									
7	4,41	3,46	3,04	1,69 ³⁸	2,01	1,78								
8	4,81	3,84	3,40	1,85	1,64	1,42	0,48 ¹¹							
9	5,90	4,92	4,47	2,55	0,68 ⁴	0,59 ³	1,52	1,12						
10	5,22	4,25	3,81	2,02	1,23	0,95 ¹²	0,95 ¹²	0,74 ⁷	0,82 ⁹					
11	5,13	4,14	3,64	1,83	1,36	1,21	0,97 ¹⁴	0,58 ²	1,00	0,96 ¹³				
12	4,94	3,89	3,46	2,10	1,91	1,60	1,38	1,09	1,57	1,45	0,91 ¹⁰			
13	6,58	5,54	5,13	3,29	1,10	0,92 ¹¹	2,43	2,01	1,15	1,68	1,79	1,84		
14	7,45	6,48	5,94	3,62	1,47 ³⁰	1,77	3,13	2,77	1,77	2,43	2,44	3,05	1,92	
15	5,84	4,82	4,31	2,24	0,72 ⁶	0,69 ⁵	1,63	1,22	0,72 ⁶	1,12	0,77 ⁸	1,29	1,25	1,78

Tableau A3.3 — Distances entre les quinze lots (la distance est définie par la formule du § 8.3)

Les chiffres supérieurs indiquent le classement des distances par valeur croissante (les paliers définis dans le texte).

Les paliers indiqués sont ceux de 1 à 14, puis ceux qui correspondent au rattachement d'un élément à un groupe déjà formé.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

1. AGOSTINI (Renzo). — *Aspetti fitosociologici delle pinete di pino d'Aleppo (Pinus halepensis Mill.) del Gargano*. Annali Accademia italiana di scienze forestali, 1964, p. 173-200.
2. ALEMDAG. — *Development, yield and management rules of red pine (Pinus brutia) forests in Turkey*. Orm. Arast. Enst. Tek. Bult., 1962, n° 11.
3. ANONYME. — *Provenance trials of P. halepensis var. brutia*. Rep. for. dep. Cyprus, 1953, 1954, p. 24.
4. ARBAUD (A.). — *Le Pin d'Alep et ses peuplements en terrains calcaires*. Voyage d'études en France dans la région provençale. Ecole nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 1957, p. 157-166.
5. BERGE (C.). — *Théorie des graphes et ses applications*. Dunod, Paris, 1963.
6. BERJAOUI (A.). — *La distribution des essences forestières au Liban*. Revue forestière française, 1952, p. 833-837.
7. BERNHARD (C.). — *Die Kiefern Kleinasien*. Mittel. d. Deutsch. Dendrol. Gesel., XIII, 1931, p. 29-50.
8. BOUDY. — *Economie forestière nord-africaine*, tome II, 1950, p. 639-690.
9. BOUVAREL (P.). — *Les principales essences forestières au Liban*. Revue forestière française, p. 323-332, 1950.
10. COCHRAN (W.-G.) et COX (G.-M.). — *Experimental designs*. John Wiley, New York, 2^e édit., 1964, p. 61-70.
11. DAMIAN (I.). — *La république Albanie. Considérations sur les conditions physiques naturelles et sur la végétation ligneuse*. Institutul Politehnic Orasul Stalin Lucrari Stiintifice, vol. IV. Seria silvicultura, 1960.
12. DUGELAY (A.). — *Une belle réalisation: les reboisements du Farou*. Revue forestière française, 1959, p. 19-39.
13. DUGUE (D.). — *Traité de statistique théorique et appliquée*. Masson, Paris, 1958.
14. GAUSSEN (H.). — *Les gymnospermes actuelles et fossiles*. Fasc. VI, chap. XI. Généralités genre Pinus, 1960.
15. GIORDANO (E.). — *Osservazioni su alcune provenienze italiane di Pinus halepensis Mill.* Publ. Cent. Sper. Agric. for. Roma 5, 1961-1962, p. 13-43.
16. GOWER (J.-C.). — *Variance component Estimation for unbalanced hierarchical classifications*. Biometrics, 18, 4, 1962, p. 537-542.
17. FERRE (Y. de). — *Les formes de jeunesse des Abiétacées. Ontogénie. Phylogénie*. Travaux du laboratoire forestier de Toulouse. Vol. III, fasc. 1, 1952.
18. FOMIN (A.-B.). — *Flore de l'U.R.S.S.*, 1934.
19. HICKEL (R.). — *Graines et plantules des arbres et arbustes indigènes communément cultivées en France*. Première partie: Conifères, 1911, p. 178.
20. HORVATIC (Stjepan). — *Classification typologique de la végétation des garrigues arbustives et des forêts de pins dans le littoral adriatique oriental*. Prestampamo iz Acta Botanica Croatica, vol. XVII, 1958, Zagreb, 1958.
21. JIZBA (Z.-V.). — *A contribution to statistical theory of classification*. Stanford Univ. Publ. geol. Sci., 9, 2, 1964, p. 729-756.

22. KAYACIK (H.). — *Pines in Turkey and their geographical distribution*. Istanbul Univ. Orm. Fak. Derg. A 13 (1), 1963, p. 1-10.
23. KAYACIK (H.). — *Pines in Turkey and an investigation about their geographical distribution*. Istanbul univ. Orm. Fak. Seig. 4 A (1/2), 1954, p. 44-64.
24. KRAMER (C.-Y.). — *Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications*. Biometrics, 12, 1, 1956, p. 307-310.
25. KOLESNIKOV (A.-I.). — *Pinus pityusa et espèces affines*. Moscou, 1963, p. 175.
26. LITARDIÈRE (R. de) et MALCUI (G.). — *Sur la découverte en Corse de Pinus halepensis à l'état spontané*. C.R. Académie des Sci., 203, p. 688-690, 1946.
27. MAGINI (E.). — *Pinete di pino d'Aleppo*. Istituto di selvicoltura dell'università di Firenze, 1955.
28. MAJEFF (W.). — *Pinus pityusa Stev. et P. eldarica Medw. Zwei relikt Kiefern der Taurisch Kaukasien Flora*. Mitteilungen der Deutschen dendrologischen Gesellschaft, n° 41, 1929.
29. MEDWEDJEW. — *Travaux du jardin botanique de Tiflis*, 1902, VI, p. 21, in Mitt. Deutsch d. Dendro. Gesellschaft. Beisner VI, 1902-1903, p. 56-57.
30. MEDWEDJEW. — *Arbres et arbustes du Caucase*, p. 14-16. Tiflis, 1905.
31. MOLINIER (René). — *Sur la nature et la signification de divers bois de Pins dans le Sud-Est de la France*. VIII^e congrès international de Botanique, section 13, p. 35-38, 1954.
32. MOLINIER (Roger). — *Étude des groupements végétaux terrestres du Cap Corse*, Thèse faculté des Sciences de l'Université de Paris, 1958, 76 p.
33. MOULOPOULOS et MPASLOTES. — *Artificial hybrid of Pinus halepensis and Pinus brutia*. Epistemonike Epeteris geoponike kai sasologike Scholé fristoteleion sanepostemion Thessalonikes Phessalonike 6, 1961, p. 169-80.
34. NAHAL (I.). — *La végétation forestière naturelle dans le Nord-Ouest de la Syrie*. Revue forestière française, 2, 1960, p. 90-101.
35. NAHAL (I.). — *Le Pin d'Alep (Pinus halepensis Millre). Étude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole*. Ann. de l'École nationale des Eaux et Forêts, XIX, 4, 208 p., 1962.
36. PAPAIOANNOU (J.-K.). — *Les limites de la répartition géographique de P. halepensis et P. brutia au N.O. de la Chalcidique et leurs associations forestières*. Bulletin der Physikalischen Wissenschaften, 1935, 13 p.
37. PARDÉ (J.). — *La productivité des forêts de Pin d'Alep en France*. Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts XV, 2, p. 365-414, 1957.
38. POPOV (K.-P.). — *Les reliques tertiaires de Crimée et leurs aires actuelles de refuge*. Bot. Z. 46 (5), 1961, p. 695-700.
39. RIVES (M.). — *Sur la comparaison des moyennes dans les essais variétaux*. Ann. Am. Pl. 9,3, 1959, p. 357-376.
40. ROGERS (D.-J.) et TANIMOTO (T.-T.). — *A computer program for classifying plants*. Science, vol. 132, n° 3434, 1960, p. 1115-1118.
41. SELIK (Muzaffer). — *Botanische untersuchungen an Pinus brutia Ten insbesondere im Vergleich mit Pinus halepensis Mill.* Istanbul Univ. Orm. Fak. Seig. 8 A (2), 1958, p. 161-98.
42. SELIK (M.). — *Pinus brutia en Turquie*. Forstwiss. Cbl., 78 (1/2), 1959, p. 43-58.
43. SENNI (L.). — *Le Pin d'Alep en Italie*. Ann. Cong. int. Sylviculture. Paris, 1931, p. 271-276.

RÉSUMÉ

Différentes espèces de pins existant dans la région méditerranéenne peuvent être rattachées en raison de leurs caractères morphologiques, biologiques et anatomiques à une même section *halensis*. Ces différentes espèces sont *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten., *Pinus pityusa* Stev., *Pinus eldarica* Medw., *Pinus stankeviczii* Sukachev.

Les principaux caractères distinctifs et les aires respectives de ces espèces sont connues. Mais certains caractères concernant les graines et plantules restaient imprécis du fait même des affinités interspécifiques.

En raison de l'importance pratique de ces derniers caractères pour distinguer ces espèces qui, quoique très proches les unes des autres, peuvent avoir cependant des intérêts forestiers différents, une étude comparative a été entreprise sur les graines (longueur, largeur et poids de 1 000 graines) et les plantules (nombre et longueur des cotylédons).

Quinze lots de graines en provenance de peuplements de France, d'Italie, de Grèce, de Tunisie, de Chypre, de Turquie, de Syrie, d'U.R.S.S. (Crimée, côte orientale de la Mer Noire) et d'Iran ont été utilisés comme matériel d'études.

Les caractères ont été analysés tout d'abord séparément par la méthode classique d'analyse de variance. En outre, une analyse globale des cinq caractères a été faite par la méthode des composantes principales.

Ces analyses ont permis de préciser les affinités des cinq espèces d'après les caractères étudiés.

Un essai de classification a enfin été élaboré par l'application de la notion de distance.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées :

1° Les échantillons étudiés se classent suivant un gradient géographique : les dimensions et le poids des graines, le nombre et la longueur des cotylédons croissent dans le même sens de l'Ouest vers l'Est. Ces caractères sont fortement liés entre eux.

2° Les espèces dont les aires de répartition se trouvent en Méditerranée orientale, c'est-à-dire *Pinus brutia*, *Pinus pityusa*, *Pinus*

stankeviczii et *Pinus eldarica* peuvent se regrouper en un ensemble qui se distingue bien des formes du Nord de la Méditerranée occidentale.

Aussi, du point de vue taxonomique, il paraît légitime de rattacher ces espèces à une seule espèce, *Pinus brutia*, à l'intérieur de laquelle, trois sous-espèces isolées géographiquement (*Pinus pityusa*, *Pinus stankeviczii*, *Pinus eldarica*) peuvent être distinguées.

3° Les échantillons de l'espèce *Pinus halepensis* en provenance de la Méditerranée occidentale font apparaître l'hétérogénéité de cette espèce.

Cette étude comparative sera poursuivie en utilisant le même matériel par l'analyse d'autres caractères morphologiques et biologiques.

SUMMARY

Different pine species of mediterranean regions can be considered as belonging to the same halepensis classification, because of their morphological, biological and anatomical features. These different species are *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten., *Pinus pityusa* Stev., *Pinus eldarica* Medw., *Pinus stankeviczii* Sukachev.

We know the main distinctive features and the respective ranges of these species. But some features concerning seeds and plantules are still unclear, owing to the interspecific relations.

Considering the practical importance of those features when differentiating these species, which are rather similar but may be of varying interest to foresters, a comparative study has been undertaken on the seeds (length, width and weight of 1 000 seeds) and plantules (number and length of cotyledons).

Fifteen seed-lots issuing from stands of France, Italy, Greece, Tunisia, Cyprus, Turkey, Syria, U.S.S.R. (Crimea, eastern coast of the Black Sea) and Iran, have been used as material for the study.

The characteristics were first examined separately with the usual method for analyzing variations. Besides a general analysis of the five characteristics has been made by the method of main elements.

These analysis have permitted a precise determination of the relationship between the five species according to the studied characteristics.

A classification was also developed by applying the idea of distance.

The following conclusions may be drawn:

1) The studied samples are to be classified according to a geographical gradient: size and weight of seeds, number and length of cotyledons increase from West to East. These features are closely related to one another.

2) The species with ranges situated at the East of Mediterranean — *Pinus brutia*, *Pinus pityusa*, *Pinus stankeviczii* and *Pinus eldarica* — may form a group with characteristics very different from the northern ones of Western Mediterranean.

Therefore it seems justified, with regard to taxonomy, to classify these species as a single one, *Pinus brutia*, which may be divided into three geographically isolated subspecies.

3) The samples of species *Pinus halepensis* from Western Mediterranean show the heterogeneity of that species.

This study will be carried on, using the same material and with analysis of further morphological and biological characteristics.

ZUSAMMENFASSUNG

Verschiedene Kieferarten der Mittelmeergebiete können auf Grund ihrer morphologischen, biologischen und anatomischen Eigenschaften als zu ein und derselben Halepensis-Gattung gehörig betrachtet werden. Diese verschiedenen Arten sind *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten., *Pinus pityusa* Stev., *Pinus eldarica* Medw., *Pinus stankeviczii* Sukachev.

Die wesentlichen Merkmale und jeweiligen Verbreitungsgebiete dieser Arten sind bekannt. Was aber die Samen und Keimlinge betrifft, blieben noch einige Eigenschaften ungeklärt, besonders wegen der Ähnlichkeiten der Arten untereinander. In Hinsicht auf die praktische Bedeutung der bereits erwähnten Unterscheidungsmerkmale dieser Arten, die trotz ihrer grossen Ähnlichkeit nicht den gleichen forstlichen Wert besitzen, ist eine Untersuchung über die Samen (Länge, Breite und Gewicht von 1000 Samen) und die Keimlinge (Anzahl und Länge der Kotyledonen) durchgeführt worden.

Als Untersuchungsmaterial lagen fünfzehn Samengruppen vor, die aus Beständen in Frankreich, Italien, Griechenland, Tunesien, auf Zypern, in der Türkei, in Syrien, in der U.d. S.S.R. (Krim, östliche Küste des Schwarzen Meeres) stammten.

Die Eigenschaften wurden zuerst nach der üblichen Untersuchungsmethode der Varianzanalyse einzeln geprüft. Dazu ist eine Gesamtuntersuchung der fünf Eigenschaften durch die Methode der Hauptbestandteile vorgenommen worden.

Diese Untersuchungen haben durch die geprüften Eigenschaften eine nähere Bestimmung der Ähnlichkeiten der fünf Arten ermöglicht.

Schliesslich wurde ein Klassifikationsversuch durch Anwerdung des Abstandskriteriums ausgearbeitet.

Daraus können wir Folgendes schliessen:

1) Die untersuchten Probesamen gliedern sich nach einer geographischen Abstufung: Ausmass und Gewicht der Samen, Anzahl und Länge der Kotyledonen nehmen von West nach Ost zu. Dabei sind die Eigenschaften eng aneinander gekoppelt.

2) Die Arten, deren Verbreitungsgebiet im östlichen Mittelmeerraum liegt, nämlich *Pinus brutia*, *Pinus pityusa*, *Pinus stankeviczii* und *Pinus eldarica*, können als eine Ganzes aufgefasst werden, das gegenüber der nördlichen Gruppe des westlichen Mittelmeeres unterschiedliche Züge aufweist.

Daher scheint es hinsichtlich der Systematik gerechtfertigt, dieser Arten einer einzigen Art, *Pinus brutia*, zuzugliedern. Innerhalb dieser Art können drei geographisch isolierte Unterarten unterschieden werden.

3) An den Proben der Art *Pinus halepensis* aus dem westlichen Mittelmeer zeigt sich die Unterschiedlichkeit dieser Art.

Diese vergleichende Untersuchung soll am selben Material durch die Prüfung weiterer morphologischer und biologischer Eigenschaften fortgesetzt werden.
