ÉTUDE COMPARATIVE EN PÉPINIÈRE DE QUELQUES PROVENANCES FRANÇAISES DE SAPIN PECTINÉ (*ABIES ALBA*) MILL.).

PREMIER APERÇU DE LA VARIABILITÉ INFRASPÉCIFIQUE ET MISE AU POINT SUR LE "SAPIN DE L'AUDE"

M. ARBEZ

*Station d'Amélioration des Arbres forestiers,
Centre national de Recherches forestières, 54 - Nancy
Institut national de la Recherche agronomique.*

SOMMAIRE

— Cette étude présente les résultats des mesures effectuées en pépinière sur 21 provenances de Sapin pectiné, appartenant en majorité à la portion française de l'aire naturelle.

Les principaux caractères retenus concernent les dimensions, la ramification, la phénologie et la densité du bois de tige.

— Le mémoire aborde successivement :

l'étude séparée des caractères,

les liaisons entre les caractères (tant au niveau des provenances, qu'au niveau des individus dans les provenances),

l'analyse des composantes principales effectuée sur 21 caractères choisis parmi les précédents.

— Les principales conclusions concernent les points suivants :

la variabilité de l'espèce et ses conséquences très provisoires pour le choix des sources de graines à utiliser dans les reboisements français, le problème des régions de provenances, la lenteur des processus d'organisation et les difficultés qui en résultent pour la mise au point de tests précoces.

INTRODUCTION

Les sapinières naturelles occupent en France près de 710 000 ha ; leur production confère à l'espèce un rôle économique important.

Elles représentent la limite occidentale de l'aire de répartition, par ailleurs étendue à l'Europe centrale et méridionale, dans l'étage montagnard supérieur. La portion française de l'aire comprend : le Jura et les Vosges, les Alpes, le Massif central, les Pyrénées, sans oublier les collines du Perche et la Corse ; elle est reproduite en figure 1.

Dans sa « Contribution à l'étude de la répartition du sapin » en France, ROL en caractérise les limites par les paramètres climatiques suivants :

- indice d'aridité ⁽¹⁾ supérieur à 50 ;
- température moyenne annuelle inférieure à 8°C.

Les conditions normales de reboisement transgressent assez peu ces limites.

Le Sapin, espèce de reboisement, ne représente que 8 % de la production des pépinières forestières ; il est fréquemment utilisé en enrésinement de taillis. Malgré les productions élevées enregistrées à l'âge adulte, on reproche à l'espèce sa plasticité faible, sa croissance initiale lente (entraînant des dégagements répétés et coûteux) et sa sensibilité particulière aux gelées tardives.

I. — BUTS

Cette expérimentation a pour objectif théorique l'étude de la variabilité naturelle du sapin pectiné en France, et pour objectif pratique le choix des meilleures sources de graines pour les reboisements.

Le sapin de l'Aude (région de Quillan) était jusqu'à présent considéré comme un écotype unique et particulier, différencié des formes plus septentrionales par un débourrement plus tardif, une tolérance plus grande vis-à-vis de la lumière et de la sécheresse estivale. L'utilisation de cet écotype « mésophile et tardif » était en particulier recommandée dans les reboisements du secteur méridional et dans certaines conditions marginales du reste de la France : limite inférieure des sapinières aux expositions chaudes, enrésinement des taillis du Sud du Jura ou du plateau de Langres (gelées tardives), régénération artificielle des sapinières dépérissantes du versant alsacien des Vosges... etc.

L'utilisation pratique de la graine du sapin de l'Aude en vue de ces reboisements semblait subordonnée à l'existence d'une sécherie moderne à proximité des lieux de récolte ; elle fut créée à la Cabanasse ; cette sécherie était par ailleurs destinée au traitement de la graine de pin à crochet (*Pinus uncinata*).

Il est apparu cependant que le sapin de l'Aude introduit en reboisement n'avait pas un comportement uniforme, certaines introductions manifestant au débourrement une précocité égale ou supérieure à celle des formes septentrionales. On était alors en droit de se demander si toutes les sources de graines de l'Aude représentaient réellement un écotype unique. C'est en particulier dans le but de comparer rigoureusement plusieurs provenances de l'Aude, entre elles (test d'homogénéité) et avec d'autres provenances françaises (test d'originalité), que cette expérience a été réalisée.

Par ailleurs, l'étude comparative d'un bon échantillonnage de provenances françaises devait *a priori* fournir quelques éléments objectifs pour résoudre le délicat problème des « régions de provenances ». En effet, le regroupement de provenances aux performances comparables et appartenant à une même unité géographique est nécessaire pour l'application effective de la réglementation des récoltes et du commerce des graines forestières prévue par le Marché commun.

Cet article fait le point des résultats obtenus en pépinière.

(1) Indice d'aridité annuel de De Martonne, $I = \frac{P}{T + 10}$

P pluviométrie moyenne annuelle en mm.

T température moyenne annuelle en degrés centigrades.

II. — DESCRIPTION DE L'EXPERIMENTATION

2.1. — *Echantillonnage des provenances.*

L'expérience comprend 21 provenances dont la liste complète figure au tableau I, la durée de la saison de végétation a été calculée suivant la formule de Wiersma (1).

Deux provenances sont d'origine roumaine (Carpathes et Alpes de Transylvanie), et 19 d'origine française, ces dernières sont repérées sur la carte reproduite en figure 1.

Les Vosges, le Jura, le nord-est du Massif Central (Haut-Beaujolais compris), la Haute-Normandie, l'Aude et les Pyrénées-Orientales sont ainsi représentés.

Le sous-échantillonnage des Vosges et du Jura, comme l'absence des provenances alpines, s'expliquent par une meilleure représentation de ces régions géographiques importantes dans une expérience antérieure.

A l'inverse, le sur-échantillonnage de l'Aude correspond au désir d'étudier plus en détail la variabilité dans cette région. L'échantillon choisi traduit la diversité des conditions écologiques, il comprend en effet :

— des provenances de basse altitude (600-700 m), telles que Nébias en lisière du Pays de Sault, la Bétouze d'Arques et le Rialsesse dans les hautes Corbières ;

— des provenances de moyenne altitude (900-1.000 m), représentant l'optimum de végétation de l'espèce dans cette région : Callong et les Fanges ;

— une provenance de haute altitude : La Fajolle (1.600 m).

2.2. — *Dispositif d'étude en pépinière.*

L'expérience était installée en pépinière d'Amance, à 15 km à l'est de Nancy.

Après un semis en plein, effectué sans répétition au printemps 1963, les 21 provenances de l'expérience ont été repiquées à l'automne 1964 suivant un dispositif en blocs incomplets équilibrés (5 répétitions, 21 blocs et 5 provenances par bloc ; échantillon systématique de 36 plants étiquetés par parcelle unitaire).

2.3. — *Mesures.*

Elles ont concerné successivement les graines, les semis et les plants repiqués. Le repérage des individus, l'enregistrement et l'analyse des mesures individuelles ne sont intervenues qu'à ce dernier stade.

L'échantillonnage des provenances a été très légèrement modifié au repiquage. Saint-Julia-de-Bec et Mont-Saint-Rigaud représentées par des nombres de semis insuffisants ont été remplacées par le Rialsesse et la Bétouze d'Arques, semées en même temps que les provenances précédentes dans des conditions identiques.

2.31. — *Mesures concernant les graines.*

Nous n'évoquerons par la suite que le résultat des mesures du poids de 1.000 graines, elles ont porté sur quatre échantillons de 100 graines par provenance. Les échantillons analysés n'ont subi aucun tri densimétrique préalable en vue d'éliminer les graines vides. La précision des mesures ne devrait guère en être affectée ; chez le sapin, les graines pleines et les graines vides ont en effet des poids voisins, ce qui interdit pratiquement tout tri densimétrique rigoureux.

2.32. — *Mesures concernant les semis.*

— A la fin de la première saison de végétation : nombre de cotylédons, longueur du cotylédon le plus long.

Ces mesures ont porté sur un échantillon de 30 individus par provenance.

— A la fin de la deuxième saison de végétation : hauteur totale.

$$(1) N = 510 - \frac{5,75 (L + \frac{H}{100})}{100}$$

N : durée calculée de la saison de végétation en jours.

L : latitude en degrés et décimales.

H : altitude en mètres.

TABLEAU 1

Description des provenances

Provenance	Pays	Département ou région	Abrévia- tion	N°	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Longueur calcu- lée de la saison de végétation (jours)
Saint-Julia-de-Bec **	France	Aude	SJ-BE	1	42° 52' N	2° 18' E	420 — 600	
La Bétouze d'Arques	France	Aude	BE-AR	2	42° 58' N	2° 24' E	600 — 700	225,55
Rialsesse	France	Aude	RIAL	3	42° 58' N	2° 24' E	600 — 700	225,55
Nébias	France	Aude	NEBS	4	42° 54' N	2° 08' E	600	228,83
Puivert	France	Aude	PUIV	5	42° 54' N	2° 02' E	700 — 900	217,33
Callong II	France	Aude	CALL II	6	42° 51' N	2° 07' E	900-1.000	208,99
Fanges II	France	Aude	FANG II	7	42° 50' N	2° 17' E	800-1.000	211,98
La Fajolle	France	Aude	LAFA	8	42° 46' N	2° 00' E	1.600	172,07
Balcère	France	Pyrénées-Orientales	BALC	9	42° 35' N	2° 06' E	1.800	161,66
Canigou	France	Pyrénées-Orientales	CANG	10	42° 33' N	2° 27' E	1.800	161,84
La Joux II	France	Jura	JOUX II	11	46° 51' N	6° 03' E	700 — 800	197,49
Donon	France	Vosges	DONO	12	48° 31' N	7° 10' E	400 — 800	196,51
Bois d'Ajoux	France	Rhône	BO-AJ	13	46° 17' N	4° 28' E	800 — 900	195,02
Bois des Mollières	France	Rhône	MOLL	14	46° 00' N	4° 26' E	800	199,50
Mont-Saint-Rigaud **	France	Rhône	SRIG	15	46° 12' N	4° 30' E	980-1.012	
Bois Noirs II	France	Loire	BO-NO II	16	45° 55' N	3° 48' E	1.000	188,46
Grand Bois	France	Loire	GR-BO	17	45° 21' N	4° 31' E	860-1.270	188,87
Forez	France	Puy-de-Dôme	FORE	18	45° 31' N	3° 33' E	1.000	190,76
Jassoneix *	France	Corrèze	JASO	19	45° 32' N	2° 08' E	980	190,70
Ecouves II *	France	Orne	ECOU II	20	48° 31' N	0° 04' E	250 — 350	213,76
Perseigne *	France	Sarthe	PERS	21	48° 18' N	0° 18' O	200 — 300	217,90
Lapusul supérieur	Roumanie	Carpathes	LA-SU	22	47° 40' N	23° 35' E	700 — 850	189,90
Prahovei	Roumanie	Alpes de Transylvanie	PRAH	23	45° 21' N	25° 33' E	1.100	185,99

* Provenance d'origine artificielle.

** Provenance représentée en semis seulement.

En fait, cette variable n'a pas été mesurée directement, mais calculée par différence à partir de la pousse effectuée durant la troisième année de végétation et de la hauteur totale correspondante.

FIG. 1. — Aire naturelle du Sapin en France (d'après ROL) et localisation des provenances. Les numéros correspondent au tableau 1 (nos 1 à 21) et au texte (n° 24 à 29). Les points noirs correspondent aux provenances naturelles, les points blancs aux provenances d'origine artificielle. Au-dessous, agrandissement pour la région de l'Aude : localisation des provenances représentées dans l'expérience

2.33. — *Mesures et observations concernant les plants repiqués.*

Elles peuvent se classer suivant trois grandes rubriques :

2.331. — *Dimensions.*

- Hauteur totale et pousse terminale à 3 et 4 ans.
- Longueur moyenne des rameaux latéraux du dernier verticille à 3 et 4 ans.
- Diamètre au collet à 4 ans.
- Longueur du pivot racinaire à 4 ans.

Les mesures de longueur ont été effectuées à la règle graduée en classe de 0,5 cm (à l'exception de la longueur du pivot racinaire mesurée par classes de 2cm), les mesures de diamètre ont été effectuées au calibre gradué en classes de 1mm.

2.332. — *Organisation (ramification).*

— Pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à la fin de la seconde et de la troisième année de végétation.

A cet âge, il arrive en effet fréquemment chez le sapin pectiné que le bourgeon terminal et sa couronne de bourgeons latéraux subterminaux soient remplacés par deux bourgeons disposés en V à l'extrémité de la pousse, et sans vocation distincte en apparence (l'observation prouve qu'il n'en est rien : le premier bourgeon qui débouffe donnant toujours naissance à une branche tandis que le second, plus tardif, érige la pousse terminale).

— Nombre des rameaux latéraux du dernier verticille à la fin de la troisième et de la quatrième année de végétation.

— Nombre des bourgeons latéraux subterminaux de la flèche aux mêmes âges.

Pour plus de clarté, ces différents caractères sont reproduits en figure 2.

2.333. — *Phénologie.*

— Notations de débourrement du *bourgeon terminal* au début de la troisième et quatrième saison de végétation.

La tardiveté du débourrement est en effet le facteur qui semble conditionner le plus efficacement la résistance aux gelées printanières, ce caractère est donc particulièrement important chez une espèce sensible comme le sapin.

Les observations portent sur le bourgeon terminal, responsable de l'édification de la flèche, donc de la croissance en hauteur.

Au début de la troisième année de végétation, chaque individu échantillonné a fait l'objet de trois séries successives de notation, en fonction de l'échelle conventionnelle suivante :

1. — bourgeon dormant,
2. — bourgeon gonflé, vert tendre,
3. — bourgeon débouffé, aiguilles apparentes serrées en pinceau,
4. — le pinceau d'aiguilles s'allonge, les extrémités se séparent,
5. — les premières aiguilles sont presque horizontales,
6. — la pousse s'allonge et la majorité des aiguilles sont horizontales.

Au début de la quatrième année, l'échelle a été ramenée à deux classes seulement :

0. — bourgeon dormant ou gonflé,
1. — bourgeon débouffé.

On a toutefois conservé les trois séries successives de notations. Ces notations étaient en principe effectuées lorsque 25, 50 et 75 % de l'ensemble des individus de l'expérience étaient débouffés. La première et la dernière série de notations étaient séparées par 34 jours en 1965 (période froide, évolution lente) et par 6 jours seulement en 1966 (période chaude, évolution rapide). Ceci rend compte de l'étalement très variable du phénomène en fonction des conditions de température, dans les deux cas cependant la période de débourrement était centrée sur le 26 avril (50 % environ des individus débouffés).

Dans tous les cas, les mesures et observations portant sur les plants repiqués concernaient un échantillon systématique de 36 individus par parcelle unitaire soit, compte tenu des cinq répétitions du dispositif, 180 individus par provenance.

Dans les calculs, tous les pourcentages p , ont été transformés par la fonction $\arcsin \sqrt{p}$ en vue d'en normaliser les distributions.

FIG. 2. — Schéma de l'organisation d'un jeune plant de sapin pectiné à 4 ans. En A : bourgeon terminal et bourgeons latéraux subterminaux bien différenciés. En B : absence de bourgeon terminal différencié.

2.4. — Poursuite de l'expérimentation en plantation comparative.

A l'issue des quatre ans d'élevage et d'observations en pépinière d'Amance, l'expérience se poursuit par des plantations comparatives conçues suivant des dispositifs identiques dans trois stations françaises :

— Forêt communale de Rouvres-sur-Aube (Haute-Marne, plateau de Langres), altitude 410 m, installation au printemps 1967.

— Série domaniale d'Anglès (Tarn, monts du Somail), altitude 900 m, installation à l'automne 1966.

— Forêt sectionale de la Brugeire (Lozère, monts de la Margeride), altitude 1.100 m, installation au printemps 1967.

III. — RESULTATS

3.1. — ETUDE ANALYTIQUE, CARACTÈRE PAR CARACTÈRE

3.11. *Caractères des graines*

Le poids de 1.000 graines fait l'objet du tableau 2. On notera l'amplitude de variation du caractère (de 21,8 à 69,6 g) et la grosseur particulière des graines récoltées sur les deux peuplements des hautes Corbières: la Betouze d'Arques et le Rialsesse.

TABLEAU 2

Poids de 1.000 graines (g)

RIAL	69,6	NEBS	43,2	BO-AJ	36,8
BE-AR	69,0	PERS	42,2	JOUX II	36,2
JASO	54,3	BALC	40,8	Lafa	36,1
LA-SU	53,1	FANG II	40,5	BO-NO II	33,4
PUIV	52,9	MOLL	39,5	CANG	31,9
SJ-BE	49,6	DONO	38,2	GR-BO	25,2
PRAH	48,7	ECOU II	37,8	SRIG	21,8
CALL II	46,1	FORE	37,6		

3.12. *Caractères des semis*

Les provenances diffèrent significativement par :

— le nombre de leurs cotylédons ($F = 3,59^{**}$ pour 20 et 609 degrés de liberté) ; en particulier les deux provenances d'origine roumaine, Lapusul Superior et Prahovei, se caractérisent par un nombre plus élevé de cotylédons ; l'amplitude de variation reste cependant faible ;

— la longueur de ces cotylédons ($F = 15,35^{**}$ pour 20 et 609 degrés de liberté), les deux provenances roumaines figurant au nombre de celles qui ont les cotylédons les plus longs.

Les graphiques correspondants font l'objet de la figure 3 (les moyennes qui ne sont pas significativement différentes entre elles au seuil de probabilité 5 % sont reliées par un trait vertical).

3.13. *Caractères des plants repiqués*3.131. *Dimensions.*3.1311. *Hauteurs totales.*

La croissance initiale conditionne :

- la durée de la période d'élevage en pépinière (quatre ou cinq ans chez le sapin), donc le prix de revient des plants ;
- le nombre des dégagements (nécessairement répétés chez le sapin et constituant par suite une part importante des frais de reboisement) ;
- la durée des investissements en liaison avec l'époque des premières éclaircies et l'âge d'exploitabilité.

En raison de ses incidences économiques, c'est un critère important de l'amélioration. Néanmoins, compte tenu du comportement particulier des sapins du groupe circum-méditerranéen (croissance lente durant les premières années succédant à l'ins-

FIG. 3. — Nombre (A) et longueur en mm (B) des cotylédons

tallation, subitement plus rapide ensuite), la hauteur à quatre ans ne constitue qu'un premier élément d'information à utiliser avec prudence.

Hauteur totale à quatre ans.

Les moyennes de provenances sont significativement différentes au seuil de 1 % ($F = 17,28^{**}$ pour 20 et 64 degrés de liberté, tous les résultats d'analyse de variance

évoqués par la suite correspondent aux mêmes degrés de liberté). Les résultats sont reproduits en figure 4, la photo de la figure 5 les complète.

Les deux régions les mieux représentées, l'Aude et le nord-est du Massif central (haut Beaujolais, Forez, mont Pilat), apparaissent génétiquement hétérogènes. Leur amplitude de variabilité est comparable à celle que l'on observe sur l'ensemble de l'aire française.

Les provenances d'altitude, la Fajolle et Balcère, ont une croissance initiale lente lorsqu'elles sont cultivées en plaine, ce qui est conforme à ce que l'on enregistre généralement chez d'autres espèces. Canigou se montre plus vigoureuse.

La Joux, qui représente sans doute la source de graines la plus utilisée, manifeste une croissance initiale assez faible.

Les deux provenances carpathiques ont une croissance très satisfaisante.

C'est une provenance artificielle de première génération qui arrive en tête de classement : Jassoneix. Sans conclure à la supériorité systématique des provenances artificielles, le fait est suffisamment fréquent chez d'autres espèces, et en particulier l'épicéa, pour qu'il mérite d'être souligné. L'hypothèse explicative la plus communément avancée est la suivante : la pollinisation croisée s'effectue de façon préférentielle entre arbres voisins, et les graines se disséminent à faible distance du semencier ; en forêt naturelle, les individus voisins ont donc de grandes chances d'être apparentés ; par contre, c'est faux en ce qui concerne les peuplements artificiels de première génération (reboisements), dont les descendants peuvent ainsi bénéficier d'un effet de vigueur hybride.

La variabilité enregistrée dans le Massif central et l'Aude motive des commentaires plus détaillés.

Dans le Massif central, la vigueur des provenances du haut Beaujolais, Bois d'Ajoux et surtout Mollières, s'oppose à la croissance lente de Grand Bois (mont Pilat) classée aux côtés des provenances d'altitude. Les différences subsistent au sein même du Forez, entre la provenance du même nom, assez peu vigoureuse, et Bois Noir, de croissance plus satisfaisante.

Dans l'Aude, le classement suggère l'existence de trois groupes :

- les hautes Corbières (la Bétouze d'Arques, le Riassesse, auxquelles se rattache de façon assez inattendue les Fanges) ;
- le plateau de Sault (Callong, Puivert) ;
- les forêts d'altitude (La Fajolle).

Correspondant à des conditions écologiques marginales (à 600 m d'altitude, sur terrain plat, le sapin côtoie le chêne vert) en bordure nord du plateau de Sault, Nebias se caractérise par une croissance en pépinière très comparable à celle de Callong et Puivert. Sur le terrain, ces forêts ne sont d'ailleurs séparées que par quelques kilomètres.

Pour qui connaît la magnifique forêt de Callong et les fortes productions enregistrées dans ce massif (souvent plus de 10 m³/ha/an), sa position au classement peut paraître surprenante. Il n'est cependant pas exclu que cette productivité remarquable relève plus du « milieu » (conditions de station très favorables, densité et régularité des peuplements) que des qualités proprement génétiques de la provenance.

FIG. 4. — Hauteur totale en cm à 2 (A), 3 (B) et 4 ans (C)

Les différences de hauteur entre provenances atteignent au maximum 5,2 cm ; apparemment faible en valeur absolue, cet écart représente cependant 27 % de la hauteur moyenne de l'expérience.

Evolution des classements de hauteur de deux à quatre ans

En comparant le classement des hauteurs à quatre ans avec ceux obtenus à deux et trois ans, on remarque que Mollières, dont la croissance était restée faible durant les deux premières années, a manifesté une croissance beaucoup plus rapide durant les deux années suivantes ; cette provenance qui occupait la queue du classement de hauteur à deux ans figure dans le lot de tête à quatre ans. Ce comportement particulier affecte d'ailleurs d'autres caractères (organisation et débourrement), comme nous le verrons ultérieurement. On observe que Bois d'Ajoux, Fanges II, Jassoneix et Donon

FIG. 5. — Hauteurs comparées de deux provenances françaises à 4 ans. A gauche Bois d'Ajoux (haut Beaujolais, altitude 850 m), à droite La Fajolle (Aude, altitude 1.600 m)

poussent également plus vite que la moyenne des provenances durant leurs deux dernières années d'élevage en pépinière. A l'inverse, Betouze d'Arques et Rialsesse, en tête du classement de hauteur à deux ans (ce qui pouvait sans doute s'expliquer par la grosseur de leurs graines), ont partiellement perdu leur avantage initial deux ans plus tard.

On peut se demander s'il existe une liaison entre la longueur de la saison de végétation dans les diverses stations d'origine (calculée d'après la formule de WIERSMA) et la croissance en pépinière des provenances correspondantes : cette liaison existe effectivement avec les hauteurs à deux ans ($r = 0,449^{\circ}$ pour 19 degrés de liberté) et à trois ans ($r = 0,449^{\circ}$) ; elle disparaît à quatre ans ($r = 0,329$ NS).

Les différences de grosseur des graines pourraient expliquer ces liaisons très juvéniles ; on constate effectivement que dans cette expérience le caractère est nettement influencé par la longueur de la saison de végétation ($r = 0,465^{\circ}$), et qu'il réagit à son tour sur la vigueur des plants.

3.1312. *Diamètre au collet à quatre ans.*

Les différences entre provenances sont significatives au seuil de probabilité 1 % ($F = 18,60^{**}$). Le classement (figure 6) est très comparable à celui des hauteurs, à quelques exceptions près cependant : les provenances roumaines Prahovei et Lapusul Superior ont un diamètre faible par rapport à leur hauteur ; c'est l'inverse pour Mollières, Puivert et Grand Bois. Soit les provenances roumaines ont une sensibilité particulière à la concurrence, soit elles ont génétiquement une forme différente et plus élancée que la moyenne des provenances françaises, il est encore trop tôt pour trancher la question.

FIG. 6. — Diamètre au collet en mm (A) et longueur du pivot racinaire en cm (B)

3.1313. Normes de qualité des plants.

Instituées par le Fonds Forestier National, elles dérivent directement des mesures de hauteur et de diamètre à quatre ans. Les pourcentages de répartition entre catégories diffèrent significativement selon les provenances, sauf en ce qui concerne les rebuts (US: $F = 7,39^{**}$; A: $F = 2,44^{**}$; B: $F = 7,48^{**}$). Les différences sont particulièrement marquées pour la catégorie US (pourcentages compris entre 33,7 % Rialsesse et 0,4 % Nébias) et la catégorie B.

Par mesure de concision, les graphiques correspondants ne sont pas reproduits ici.

3.1314. Longueur moyenne des rameaux latéraux du dernier verticille à trois et quatre ans.

Les analyses de variance montrent qu'il existe des différences significatives au seuil de 1 % entre les moyennes de longueur des rameaux latéraux du dernier verticille ($F = 8,25^{**}$ à trois ans, $F = 6,59^{**}$ à quatre ans). Les classements ne sont pas reproduits ici; ils présentent de sérieuses analogies avec les classements correspondants de hauteur et de diamètre précédemment analysés. Ceci implique l'existence d'un équilibre commun à l'ensemble des provenances françaises, entre la croissance des branches et celle de la tige principale. Par ailleurs, les provenances roumaines Prahovei et Lapusul Superior ont des branches plus courtes par rapport à leur hauteur que la moyenne des provenances françaises, sans qu'il soit possible de préciser s'il s'agit d'une différence intrinsèque de forme ou d'une sensibilité plus grande à la concurrence. Cette remarque est à rapprocher de celle effectuée précédemment au sujet du diamètre et concernant les mêmes provenances.

3.1315. Longueur du pivot racinaire à quatre ans.

Malgré les précautions prises à l'arrachage, et surtout parce que le sol de la pépinière d'Amance est particulièrement lourd, la précision est nécessairement moins bonne que celle des mesures portant sur les parties aériennes. Les différences sont encore significatives, mais le F est plus faible ($F = 3,81^{**}$). Le classement (figure 6) est plus proche de celui des diamètres que des hauteurs; par rapport au premier, on notera cependant les racines plus longues de Lafajolle et Puivert et plus courtes de Forez et Perseigne.

3.132. Organisation (ramification).

3.1321. Pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à la fin de la deuxième et de la troisième année de végétation.

Le pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé augmente en moyenne régulièrement de deux à quatre ans: 41,7 % à deux ans, contre 63,1 % à trois ans et 99 % à quatre ans. Les différences entre provenances sont maximums à trois ans ($F = 22,06^{**}$ à trois ans, contre $F = 15,69^{**}$ à deux ans), pour s'estomper presque complètement un an plus tard ($F = 0,59$ NS à quatre ans).

Certaines provenances se sont organisées brutalement entre la fin de la deuxième et de la troisième année, par exemple Mollières, Bois d'Ajoux et Puivert, alors que

d'autres, pourtant mieux organisées à deux ans, n'atteignaient le même niveau d'organisation qu'à la fin de la quatrième année.

Les résultats relatifs à la fin des deuxième et troisième années de végétation sont reproduits en figure 7.

FIG. 7. — Pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à la fin des 2^e (A) et 3^e années (B) de végétation

3.1322. *Nombre des bourgeons latéraux subterminaux et des rameaux latéraux du dernier verticille à trois et quatre ans.*

Le nombre moyen des rameaux latéraux du dernier verticille augmente de 1,33 à trois ans à 1,46 à quatre ans. C'est à trois ans que les différences entre provenances sont les plus marquées ($F = 30,95^{**}$ contre $F = 12,20^{**}$ à quatre ans). La différence entre le nombre des bourgeons latéraux subterminaux à l'automne de la troisième année (2,06) et le nombre correspondant des rameaux latéraux au printemps suivant (1,46), traduit l'importance des avortements de bourgeons. Le nombre des rameaux latéraux du dernier verticille s'explique donc par l'action conjuguée de deux facteurs opposés : le nombre des bourgeons latéraux subterminaux de l'année précédente et la fréquence des avortements de bourgeons ; certains exemples sont à ce titre particulièrement démonstratifs : Forez et Donon, qui avaient le même nombre de bourgeons latéraux subterminaux à trois ans : 2,03, différaient très sensiblement par le nombre correspondant des rameaux latéraux du dernier verticille à quatre ans : 1,06 seulement pour Forez contre 1,57 pour Donon. Le tableau 3 donne les valeurs du taux d'avortement pour les diverses provenances ; il s'exprime par le rapport :

$$\frac{\text{Nbre bourgeons lat. subterm. 3 ans} - \text{Nbre rameaux dernier verticille 4 ans}}{\text{Nbre bourgeons lat. subterm. 3 ans}}$$

TABLEAU 3

Taux d'avortement des bourgeons latéraux subterminaux entre trois et quatre ans (%)

FORE	48	ECOU II	36	FANG II	23
CALL II	45	BE-AR	33	LA-SU	23
BALC	44	PERS	31	DONO	23
GR-BO	43	BO-NO II	29	JASO	21
CANG	41	RIAL	24	MOLL	17
LAFA	37	JOUX II	24	PRAH	16
NEBS	36	PUIV	23	BO-AJ	13

On constate qu'il est dans l'ensemble d'autant plus faible que la vigueur des provenances est plus grande.

Le classement des provenances pour le nombre des rameaux latéraux est brutalement modifié entre trois et quatre ans par le comportement singulier de certaines provenances : classée au dernier rang à trois ans (1,01), Mollières passe au premier rang à quatre ans (1,88) ; cette provenance compte parmi celles qui ont le moins souffert des avortements de bourgeons ; Bois d'Ajoux manifeste un comportement semblable. A l'inverse, certaines provenances forment à quatre ans un nombre de rameaux latéraux comparable (Betouze d'Arques, Perseigne) ou paradoxalement plus faible qu'à trois ans (Canigou, Callong II, Balcère, Forez).

Ces résultats sont reproduits en figure 8.

Le pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à la fin de la troisième année et le nombre des rameaux latéraux du dernier verticille à quatre ans conduisent à des conclusions sensiblement identiques : à l'intérieur de chacune des deux régions géographiques les mieux représentées : l'Aude et le nord-est du

FIG. 8. — Nombre de bourgeons latéraux subterminaux à 3 (A) et 4 ans (B). Nombre de rameaux latéraux du dernier verticille à 3 (C) et 4 ans (D).

Massif central, le degré d'organisation est extrêmement variable avec les provenances. Il y a un certain parallélisme entre précocité de l'organisation et croissance initiale rapide: les provenances du haut Beaujolais, celles de Roumanie, les provenances les plus vigoureuses de l'Aude (Rialsesse, Fanges II) et la provenance artificielle Jassoneix sont bien organisées, alors que les provenances d'altitude de l'Aude et des Pyrénées orientales (La Fajolle, Balcère, Canigou), certaines provenances de moyenne altitude peu vigoureuses du nord-est du Massif central et de l'Aude (Forez, Grand Bois, Callong) manifestent un net retard d'organisation.

3.133. *Phénologie.*

3.1331. *Débourrement.*

Les observations effectuées au début de la troisième année de végétation ont été interprétées de deux façons différentes, en calculant pour chaque provenance, d'une part la note moyenne de débourrement, d'autre part le pourcentage des individus débourrés. Ces deux méthodes donnaient des résultats pratiquement identiques ($r = 0,98^{**}$) quant aux classements obtenus. Cependant, les avantages liés à l'utilisation de la méthode des pourcentages nous ont conduit à l'utiliser seule au printemps de la quatrième année. Ces avantages sont les suivants:

- simplicité et objectivité de l'observation (deux classes parfaitement tranchées: l'une correspondant aux individus dont le bourgeon terminal est encore dormant ou seulement gonflé, l'autre aux individus débourrés);

- interprétation biologique parfaitement claire et directement utilisable si l'on admet que tout individu débourré n'est plus protégé contre d'éventuelles gelées tardives;

- interprétation statistique rigoureuse liée à l'utilisation d'une transformation connue applicable à la normalisation des distributions de pourcentages p ($y = \arcsin \sqrt{p}$).

En dehors du fait que les dernières notes de l'échelle de notation la plus complète présentée au paragraphe 2.333 sont liées à la rapidité d'élongation de la jeune pousse, l'utilisation directe de cette échelle permet de calculer des corrélations au niveau individuel entre le débourrement et d'autres caractères.

Des trois séries successives d'observations effectuées chaque année (au début, au milieu et à la fin du débourrement), la seconde fournit les résultats les plus discriminants (valeur élevée du test F de SNEDECOR) et par conséquent les classements correspondants sont seuls reproduits à la figure 2. Il convient cependant de souligner que si lors de la troisième année de végétation on n'a pas observé de différences importantes entre les classements obtenus à partir des trois séries successives d'observations, il n'en a pas été de même un an plus tard. A température constante, l'allure, et en particulier la pente de la courbe du débourrement (loi d'évolution du pourcentage des individus débourrés en fonction du temps), varie probablement d'une provenance à l'autre. Dans les conditions naturelles, elle est fonction de l'allure des variations de la température au cours du phénomène (en 1965, le débourrement s'étalait sur plus d'un mois, contre une semaine seulement en 1966), mais les provenances réagissent sans doute différemment aux brusques changements de température du printemps, ce qui pourrait expliquer les anomalies enregistrées.

Cette remarque met en lumière les limites de la méthode utilisée ; en toute rigueur, les classements obtenus ne fournissent qu'un « instantané » du phénomène dans les conditions particulières de l'année d'observation. L'approximation reste dans l'ensemble suffisante lorsqu'il s'agit d'identifier les provenances au comportement extrême : tardiveté ou au contraire précocité particulièrement accusée.

Il existe des différences significatives entre provenances dans les six séries de mesures étudiées, en particulier les analyses de variance effectuées sur les données des secondes séries d'observations conduisent à des valeurs de F de 6,90** à trois ans (notes sans transformation) et 4,16** à quatre ans (pourcentage p des individus débourrés transformés par la fonction $\arcsin \sqrt{p}$), toutes deux significatives au seuil de 1 %.

Les distorsions observées entre les classements à trois et quatre ans reproduits à la figure 9 peuvent avoir plusieurs causes :

- un biais à trois ans provoqué par la proximité du repiquage effectué à l'automne précédent ;
- la lenteur générale du processus d'organisation et le fait que les provenances n'acquièrent pas au même âge leur modèle de ramification définitif (les provenances très imparfaitement organisées débourent précocement) ;
- chez les sapins, une instabilité du classement de précocité suivant les conditions de l'année d'observation, déjà signalée par DEBAZAC dans une étude pluriannuelle portant sur la comparaison de divers *Abies*.

Les résultats de plusieurs années d'observations intervenant sur des individus parfaitement organisés permettront seuls de tester la validité de la dernière hypothèse.

Ces distorsions révèlent cependant des analogies de comportement, notamment entre Mollières et Bois d'Ajoux, Forez et Grand Bois, Rialsesse et Betouze d'Arques, Fanges II et Joux II.

Le changement de comportement le plus singulier concerne la provenance Mollières, très précoce à trois ans et très tardive un an plus tard ; l'organisation brutale de cette provenance entre les deux classements de débourement ne semble pas étrangère à cette anomalie.

Nous admettons, pour les raisons évoquées précédemment, que le classement à quatre ans est le plus sûr, il permet de tirer les conclusions suivantes :

Dans l'Aude, la tardiveté des Fanges s'oppose à la grande précocité de Puivert et Nébias. Rialsesse et Betouze d'Arques conservent un comportement assez proche de celui des Fanges, ce qui confirme la cohésion du regroupement entrevu à propos des hauteurs.

Dans le nord-est du Massif central, les deux provenances du haut Beaujolais ont des comportements tardif (Mollières) ou moyen (Bois d'Ajoux) ; Grand Bois (mont Pilat) et Forez sont aussi tardives ; Bois Noirs, qui se singularisait déjà en matière de croissance initiale, semble plus précoce.

La Joux débourent tardivement, ce qui compense un peu sa modeste croissance initiale.

Comme pour la hauteur à quatre ans, c'est Jassoneix qui occupe la tête du classement de tardiveté.

En 1965, la plus tardive des provenances de l'expérience débourent douze jours après la plus précoce. Compte tenu de l'étalement du débourement cette année-là,

on peut considérer cet écart comme un maximum. Il n'atteignait que trois jours en 1966. Les comparaisons de notations du débourrement et des éventuels dégâts de gelée correspondants diront bientôt si des écarts de cet ordre (une semaine en moyenne) justifient une sélection de provenances pour la tardiveté.

Primitivement dans le but d'estimer la « vitesse » du débourrement au printemps de la troisième année, on a calculé au niveau individuel la quantité v :

$$v = \text{troisième note de débourrement} - \text{deuxième note de débourrement}$$

L'interprétation biologique de la variable v ainsi définie est cependant délicate ; l'échelle de débourrement utilisée confond en effet deux phénomènes consécutifs mais de nature différente : le débourrement proprement dit (notes 1, 2, 3) et l'élongation initiale de la pousse (notes 4, 5, 6). v traduit de façon sommaire la vitesse du phénomène complexe débourrement-élongation primaire.

L'analyse de variance entre moyennes de provenances fait apparaître des différences significatives au seuil de 1 % ($F = 4,72^{**}$) ; en d'autres termes, le temps qui sépare deux stades donnés de notre échelle de débourrement varie d'une provenance à l'autre.

Le classement des provenances en fonction des valeurs de v est reproduit à la figure 9. L'interprétation biologique donnée à cette variable aide à comprendre les analogies de ce classement avec ceux des hauteurs totales : les valeurs de v les plus fortes se rencontrent en moyenne chez les provenances manifestant une croissance initiale rapide (à l'exception de Puivert) et inversement.

3.134. *Densité du bois de tige (quatre ans).*

Les mesures de densité ont été réalisées au C.N.R.F. par la Station de Recherches sur la Qualité des Bois. Elles ont porté sur le bois de tige de dix individus par parcelle unitaire, soit au total cinquante individus par provenance.

Les résultats font apparaître des différences significatives entre provenances au seuil de 1 % ($F = 8,77^{**}$).

Dans l'ensemble, la densité diminue lorsque la vigueur augmente ; la figure 10 illustre ce résultat.

Les provenances roumaines ont une densité forte, compte tenu de leur hauteur à quatre ans, ce qui serait un avantage en leur faveur si cette particularité subsistait avec l'âge.

3.135. *Variabilité individuelle de quelques caractères.*

Le coefficient de variation des données individuelles par rapport à la moyenne de chaque parcelle unitaire a été calculé pour quatre caractères : la hauteur et le diamètre à quatre ans, le nombre de rameaux et le débourrement à trois ans. Les estimations globales portant sur l'ensemble de l'expérience conduisent aux résultats suivants :

Hauteur totale à quatre ans :

CV moy. : 17,0 % (max. : 20,0 % PERS ; min. : 15,2 % NEBS).

Diamètre au collet à quatre ans :

CV moy. : 16,2 % (max. : 18,5 % LAFA ; min. : 14,0 % JOUX II).

Fig. 9. — 2^e note de débourement (A) et différence entre les 3^e et 2^e notes de débourement (B) à 3 ans. Pourcentage des individus débouverts à 4 ans (C)

FIG. 10. — Densité du bois de tige en fonction de la hauteur totale à 4 ans (on a fait figurer sur le graphique l'axe principal de la régression)

Nombre de rameaux latéraux du dernier verticille à trois ans :

CV moy. : 34,7 % (max. : 41,2 % BO-NO II ; min. : 24,0 % GR-BO).

Notes de débourrement à trois ans :

CV moy. : 27,6 % (max. : 33,8 % PERS ; min. : 19,5 % PUIV).

On remarquera que les coefficients de variation des deux caractères dimensionnels sont en moyenne faibles et assez peu influencés par la provenance (*). Ceux concernant le nombre des rameaux et la note de débourrement sont nettement plus élevés et beaucoup plus variables d'une provenance à l'autre.

3.2. — LIAISONS ENTRE LES CARACTÈRES

3.2.1. Au niveau des moyennes de provenances

Le tableau 4 reproduit les valeurs des coefficients de corrélation totale entre moyennes de provenances de 23 caractères. Préalablement à l'exécution des calculs, tous les pourcentages ont été transformés par la fonction $y = \arcsin \sqrt{x}$, le nombre des bourgeons et des rameaux latéraux à quatre ans a été transformé par la fonction $y = \sqrt{x}$.

En toute rigueur, les liaisons calculées au niveau moyennes dépendent de l'échantillonnage des provenances ; la généralisation de ces résultats appelle donc une certaine prudence. Si l'échantillonnage est représentatif, elles traduisent effectivement des lois de variabilité infraspécifique (action convergente des facteurs de sélection).

Par ailleurs, il s'agit de corrélations totales ; il en résulte que la liaison statistique entre deux caractères ne traduit pas obligatoirement des rapports de causalité directe et biologique entre ces deux caractères : elle s'expliquera parfois par l'existence d'une liaison commune avec un ou plusieurs autres caractères.

Pour la clarté de l'exposé, nous avons déjà réparti les caractères selon plusieurs groupes (graines, semis, plants repiqués, et parallèlement dimensions, organisation, phénologie). Reprenant ce mode de présentation, nous aborderons successivement l'étude des liaisons dans ces groupes, puis entre ces groupes.

L'incidence du poids des graines sur la hauteur, très marquée à deux ans, s'estompe avec l'âge mais reste encore perceptible à quatre ans. La grosseur des graines de sapin (et par conséquent l'importance des réserves disponibles), comparée à celles d'autres espèces de reboisement, pourrait expliquer cette rémanence particulière. Le poids de 1.000 graines influe sur la longueur des cotylédons ; il est également lié à d'autres caractères dimensionnels ainsi qu'à des caractères d'organisation, sans doute par l'intermédiaire de la hauteur. Cette même explication vaut pour interpréter la liaison du poids des graines et de la différence des notes de débourrement à trois ans.

Le nombre des cotylédons apparaît complètement indépendant de tous les autres caractères étudiés.

L'existence d'une liaison entre la longueur des cotylédons et la hauteur totale à quatre ans pourrait être particulièrement intéressante pour l'élaboration de tests pré-

* Chez l'épicéa (*Picea abies*), les coefficients de variation enregistrés à 4 ans sont en moyenne plus élevés et très différents d'une provenance à l'autre (hauteur : 18 à 33 %, diamètre : 22 à 33 %, communication personnelle de J.-F. Lacaze). Comparé à l'épicéa, le sapin apparaît comme une espèce moins variable.

coces au niveau provenance. Ceci impliquerait cependant que cette éventuelle propriété soit vérifiée sur de nombreuses expériences concernant divers échantillonnages de provenances, que l'intensité de la liaison soit suffisante pour autoriser une sélection très juvénile (dans le cas présent, la longueur des cotylédons ne représente que 36 % de la variation de la hauteur à quatre ans) ; enfin que cette liaison reste valable à plus long terme, ce qui mérite d'être vérifié^(*).

C'est entre caractères dimensionnels qu'on rencontre les liaisons les plus nombreuses et les plus étroites. Autrement dit, l'équilibre qui existe au niveau individuel entre la croissance des différents organes ne change guère d'une provenance à l'autre, ce qui confère à l'espèce une forme propre.

On remarquera en particulier la corrélation étroite entre longueur de la pousse terminale et longueur moyenne des rameaux latéraux du dernier verticille, de même qu'entre hauteur totale et diamètre au collet, à quatre ans. A l'inverse, on pourra s'étonner de l'absence de liaison significative entre hauteur à deux ans et pousse terminale à trois ans ; les perturbations de croissance causées par le repiquage en fin de seconde année de végétation peuvent sans doute expliquer ce fait ainsi que la modicité du coefficient de corrélation enregistrée entre hauteur à deux ans et hauteur à quatre ans. L'imprécision qui affecte la mesure de longueur du pivot racinaire et qui est imputable aux imperfections de l'arrachage a sans doute minimisé les valeurs des coefficients de corrélation entre ce caractère et les autres caractères dimensionnels.

Les caractères d'organisation sont assez liés entre eux ; parmi les corrélations les plus étroites notons celles entre le pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à l'année n et le nombre des rameaux latéraux du dernier verticille à l'année $n + 1$.

Entre caractères dimensionnels et caractères d'organisation, les liaisons sont nombreuses, en particulier les corrélations les plus étroites sont enregistrées entre le pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé et le nombre des bourgeons latéraux subterminaux à trois ans d'une part, la hauteur totale et le diamètre à quatre ans d'autre part, entre le nombre des rameaux latéraux du dernier verticille à quatre ans d'une part, la pousse terminale à trois ans et la hauteur totale à quatre ans d'autre part. *Le niveau d'organisation juvénile d'une provenance semble incontestablement lié à sa vigueur.*

Les notations de débourrement au début de la troisième année de végétation présentent très peu de liaison avec les autres caractères, celles de la quatrième année n'en présentent aucune. Ces deux notations ne sont d'ailleurs pas corrélées entre elles ; on peut penser que la crise d'installation provoquée par le repiquage a biaisé les résultats de la notation à trois ans. A cet âge, le débourrement est cependant lié à quelques

^{*} On peut objecter que la longueur des cotylédons est en partie conditionnée par des effets non génétiques comme le poids des graines. Pour ces deux caractères, le schéma des liaisons est d'ailleurs très semblable. Si la longueur des cotylédons permettait néanmoins de pratiquer efficacement une sélection phénotypique très juvénile pour la vigueur, il semblerait dommage de ne pas en profiter. Il n'est d'ailleurs pas impossible que chez le sapin la grosseur des graines soit intéressante en soi : il suffirait que son influence favorable sur la vigueur, encore perceptible à 4 ans, se maintienne jusqu'à 8 ou 10 ans (économie de dégagements). En toute hypothèse, il semble avantageux de combiner le choix des meilleures provenances avec l'augmentation artificielle (et typiquement non génétique) du poids des graines par le traitement approprié des peuplements porte-graines (éclaircie, fertilisation, etc...).

caractères d'organisation (essentiellement, pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à la fin de la deuxième année et nombre des rameaux latéraux du dernier verticille à trois ans) et très faiblement à la hauteur totale à deux ans (au seuil de 5 % seulement) : les provenances les plus tardives sont aussi les mieux organisées au moment du débourrement.

Restent à expliquer les nombreuses liaisons enregistrées entre la différence des deuxième et troisième notes de débourrement à trois ans et les autres caractères étudiés : parce que notre échelle de débourrement n'est pas sans rapport avec la rapidité d'élongation initiale de la pousse, cette variable est en fait une expression de la vigueur et se trouve par conséquent liée aux caractères qui en découlent (croissance et organisation), d'autant que la brièveté de la période d'élongation du sapin fait que l'élongation initiale représente une fraction importante de l'élongation totale.

La densité du bois de tige à quatre ans est liée négativement aux diverses expressions de la vigueur (les liaisons les plus significatives sont enregistrées avec la pousse terminale à trois ans et la hauteur totale à quatre ans). Chez les conifères, on recherche généralement des bois denses (corrélation densité-qualités mécaniques), et cette liaison négative avec la vigueur apparaît comme un facteur défavorable.

3.22. *Au niveau des individus dans chaque provenance*

Ces corrélations trouvent leur interprétation au niveau des mécanismes génétiques qui régissent la croissance de l'individu (pléiotropie ou linkage). Elles peuvent *a priori* varier d'une provenance à l'autre, c'est ce que l'on constate effectivement. En fait, les calculs effectués sur l'ensemble des individus de chaque population (125 à 150 degrés de liberté) conduisent à des résultats très comparables à ceux enregistrés sur les moyennes. Les liaisons significatives affectent les mêmes caractères, mais les valeurs des coefficients de corrélation au niveau individuel sont généralement plus faibles (mais les nombres de degrés de liberté correspondants sont plus importants). Il faut par ailleurs signaler quelques discordances, en particulier l'absence de corrélation au niveau individuel, entre la hauteur à trois ans et la pousse de quatrième année, la corrélation faible ou parfois inexistante entre la différence des notes de débourrement au début de la troisième année et la hauteur à trois ans. La liaison faible entre la tardiveté du débourrement au début de la troisième année et la hauteur à deux ans qui existait au niveau des moyennes reste faible au niveau individuel et n'affecte que la moitié des provenances seulement (il n'existe aucun lien apparent entre ces différences et la localisation géographique ou l'origine naturelle ou artificielle des provenances). A quatre ans, cette liaison disparaît complètement. Significatifs ou non, les coefficients de corrélation n'en demeurent pas moins toujours du même signe. Comme il ne s'agit que de corrélations phénotypiques et non génétiques, nous ne pourrions cependant pas conclure sur l'efficacité d'une sélection individuelle visant à combiner vigueur et tardiveté. En fait, pour le sapin, cette question demeure secondaire, car l'amélioration procèdera principalement par sélection de provenances ; il suffit donc de savoir qu'il existe effectivement des populations combinant les deux caractères favorables.

3.3. — ESSAI D'INTERPRÉTATION GLOBALE : ANALYSE DES COMPOSANTES PRINCIPALES

On a effectué une analyse des composantes principales portant sur 21 caractères, dont les résultats font l'objet du tableau 5. Les cinq premières composantes rassemblent 87 % de la variation totale.

— La première composante, qui représente 49 % de la variation totale, est partagée entre diverses expressions de la vigueur et de l'organisation ; les plus importantes sont les hauteurs à quatre et trois ans, le diamètre, le nombre des bourgeons latéraux à trois ans et des rameaux à quatre ans, le pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé à trois ans.

— La deuxième composante explique 17 % de la variation totale ; les poids les plus importants sont affectés à trois caractères, deux exprimant l'organisation à trois ans (pourcentage d'individus possédant un bourgeon terminal individualisé, nombre de rameaux latéraux subterminaux) et un exprimant le débourrement au même âge. La hauteur à deux ans intervient dans une moindre mesure.

— La troisième composante rassemble environ 10 % de la variation ; la densité du bois, le débourrement et le nombre des bourgeons latéraux subterminaux à quatre ans sont les trois caractères prédominants.

— Les deux composantes suivantes représentent ensemble 11 % de la variation totale seulement ; elles expriment respectivement la vitesse du débourrement à quatre ans et le nombre des cotylédons.

Les projections des provenances sur le plan des deux premiers vecteurs propres font l'objet du graphique de la figure 11. Pour des raisons de concision, les projections sur le plan défini par le premier et le troisième vecteur propre ne sont pas reproduites ici ; les informations correspondantes ont néanmoins été utilisées pour le regroupement des provenances.

L'analyse des composantes principales apporte une confirmation objective et synthétique aux conclusions tirées de l'étude séparée des différents caractères. Elle précise certains regroupements.

— Elle illustre clairement l'hétérogénéité de la région de l'Aude, très schématiquement séparée en trois groupes :

les Corbières,

les provenances de moyenne altitude du pays de Sault,

les provenances de haute altitude.

— Le nord-est du Massif central apparaît tout aussi variable : les deux provenances du Forez, Bois Noirs et Forez, ont des comportements assez différents : la première occupant une position intermédiaire entre les provenances du Jura (La Joux) et des Vosges (Donon), la seconde moins vigoureuse et plus tardive assez isolée par rapport à l'ensemble. Grand Bois (mont Pilat) se sépare nettement des précédentes pour former avec deux provenances d'altitude, La Fajolle et Balcère, un groupe bien défini. Comme le laissait prévoir l'étude des différents caractères, mais néanmoins assez paradoxalement, Canigou échappe à ce regroupement et se rapproche des provenances de moyenne altitude.

TABLEAU 5

Analyse des composantes principales

	Composantes principales				
	Y 1	Y 2	Y 3	Y 4	Y 5
Valeurs propres	10,339	3,567	2,025	1,541	0,859
% variation	49,23	16,98	9,64	7,34	4,09
% cumulé	49,23	66,21	75,85	83,19	87,28
Caractères initiaux					
X ₂ Nombre des cotylédons . 1 an	— 0,060	— 0,205	— 0,255	— 0,290	0,728
X ₃ Longueur des cotylédons . 1 an	0,194	— 0,217	0,304	0,024	0,075
X ₄ Hauteur totale 2 ans	0,188	— 0,346	— 0,032	0,112	0,071
X ₅ Pousse terminale 3 ans	0,269	0,169	— 0,134	— 0,056	— 0,075
X ₆ Longueur moyenne des rameaux latéraux 3 ans	0,259	0,129	0,083	— 0,120	— 0,012
X ₇ Hauteur totale 3 ans	0,287	— 0,102	— 0,107	0,029	0,007
X ₈ Pousse terminale 4 ans	0,258	0,080	— 0,123	0,143	0,187
X ₉ Longueur moyenne des rameaux latéraux 4 ans	0,237	0,066	— 0,189	0,199	0,325
X ₁₀ Hauteur totale 4 ans	0,301	— 0,018	— 0,082	0,103	0,081
X ₁₁ Diamètre au collet 4 ans	0,284	0,097	— 0,116	0,049	— 0,006
X ₁₃ Pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé, début 3 ^e année	0,070	— 0,488	— 0,042	— 0,075	— 0,151
X ₁₄ Pourcentage des individus possédant un bourgeon terminal individualisé, fin 3 ^e année	0,277	0,161	0,114	0,011	— 0,184
X ₁₅ Nombre des bourgeons latéraux subterminaux . 3 ans	0,284	— 0,064	0,020	— 0,070	0,017
X ₁₆ Nombre des rameaux la- téraux du dernier ver- ticille 3 ans	0,129	— 0,465	0,042	— 0,033	— 0,170
X ₁₇ Nombre des bourgeons latéraux subterminaux .. 4 ans	0,199	— 0,092	0,400	0,154	0,194
X ₁₈ Nombre des rameaux la- téraux du dernier ver- ticille 4 ans	0,277	0,109	0,038	— 0,009	— 0,206
X ₁₉ Débourrement (note), dé- but 3 ^e année	0,060	0,428	0,313	— 0,112	0,216
X ₂₀ Différence des notes de débourrement (3 ^e -2 ^e ob- serv.), début 3 ^e année .	0,254	— 0,053	0,281	— 0,228	— 0,003
X ₂₁ Débourrement (pourcen- tage des individus dé- bourrés), début 4 ^e an- née	— 0,105	— 0,025	0,427	0,402	0,299
X ₂₂ Différence des pourcen- tages de débourrement (2 ^e -1 ^{re} observ.), début 4 ^e année	— 0,096	— 0,066	— 0,042	0,700	— 0,063
X ₂₃ Densité du bois de tige, 4 ans	— 0,156	— 0,139	0,441	— 0,246	0,005

FIG. 11. — *Analyse des composantes principales : projection des provenances sur le plan des deux premiers vecteurs propres*

— Les analogies de comportement déjà soulignées entre *Lapusul Superior* et *Prahovei* (Roumanie), *Ecouves II* et *Perseigne* (Perche, origine artificielle) apparaissent clairement sur le graphique.

Globalement, les regroupements géographiques semblent lâches ou même inexistants.

CONCLUSIONS

Le nombre relativement important des caractères pris en considération dans cette étude peut *a priori* sembler exagéré. En fait, espèce réputée peu variable malgré une aire de répartition assez vaste, le sapin pectiné a suscité très peu d'études de variabilité. Vis-à-vis des caractéristiques botaniques, c'est effectivement une espèce très uniforme ; seules les provenances roumaines tranchaient sur l'ensemble par des aiguilles plus longues et une insertion subdistique parfois proche du type en brosse. Faute d'informations disponibles dans la littérature, le choix d'un grand nombre de caractères obéissait à deux objectifs principaux : l'identification des caractères les plus discriminants permettant de simplifier toute étude ultérieure de variabilité, la recherche de tests précoces permettant une sélection juvénile des meilleures populations. Concernant le premier point, on peut conclure que la hauteur et le débourrement suffisent à donner une idée satisfaisante de la variabilité ; ce sont par ailleurs les deux caractères qui ont les répercussions économiques les plus importantes au stade juvénile. Concernant le second point, il faut attendre la confirmation à plus long terme de la liaison enregistrée au niveau population entre la longueur des cotylédons et la hauteur à quatre ans.

En fait, cette étude a souvent mis l'accent sur la difficulté des diagnostics précoces chez le sapin, en raison de l'influence prolongée du poids des graines sur la vigueur des jeunes individus et des biais imputables à la lenteur des processus d'organisation (ramification).

Ce travail fournit néanmoins des informations au stade juvénile concernant deux caractères précisément intéressants au stade juvénile en raison de leurs répercussions économiques : l'élongation et le débourrement. Recueillies à quatre ans seulement, ces informations doivent néanmoins être utilisées avec prudence.

Nos principales conclusions concerneront l'allure de la variabilité du Sapin en France, ses implications particulières dans l'Aude, et ses conséquences pour le choix des sources de graines.

Seul le secteur nord-est du Massif central est représenté dans cette expérience. Les provenances correspondantes manifestent des comportements différents :

Les deux provenances du haut Beaujolais, Bois d'Ajoux et surtout Mollières, sont vigoureuses ; la première est de précocité moyenne, la seconde est tardive.

Dans le Forez, la provenance du même nom est à tendance tardive et croissance assez lente ; Bois Noirs, au contraire, se montre à la fois plus précoce et plus vigoureuse. Enfin, Grand Bois, appartenant au massif du mont Pilat, possède un comportement tardif, la rapprochant de Forez mais avec une croissance initiale plus lente.

Le nord-est du Massif central apparaît donc assez variable, composé de provenances plutôt tardives (Bois Noirs exceptée), différentes surtout par la vigueur. A ce titre, les deux provenances du haut Beaujolais tranchent favorablement sur l'ensemble ;

on peut en conseiller l'utilisation à moyenne altitude dans les stations bien arrosées de la moitié septentrionale du Massif central.

Les provenances du mont Dore et du Cantal, de la Margeride et du Vivarais feront l'objet d'une expérience ultérieure.

Le sapin de l'Aude au sens de nos conceptions traditionnelles n'existe pas : les résultats de cette expérience prouvent une variabilité relativement grande du sapin dans cette région. Il semble qu'il faille désormais séparer :

— les provenances des hautes Corbières à l'est de l'Aude : la Betouze d'Arques et le Rialsesse, auxquelles se rattachent les Fanges ; ces provenances sont vigoureuses et plus ou moins tardives ;

— les provenances du pays de Sault, à l'ouest de l'Aude, en distinguant :

- celles de moyenne altitude (700 à 1.400 m), telles que Callong et Puivert, moins vigoureuses et plus précoces,
- celles de haute altitude (plus de 1.400 m), telles que La Fajolle, à croissance lente,
- celles de basse altitude en bordure du pays de Sault (au-dessous de 700 m).

Bien qu'elles puissent ne pas se différencier des provenances de moyenne altitude puisque Nebias a un comportement en tous points semblable à Puivert, il semble prudent de leur faire une place à part. Pratiquement, les Fanges et à plus basse altitude le Rialsesse sont à conseiller pour les reboisements de France méridionale. La forêt des Fanges est d'ailleurs une importante zone de récolte de graines pour l'Office National des Forêts. Trop précoces, Puivert et Nebias doivent être formellement déconseillées.

Les provenances des Pyrénées orientales, Balcère (Capcir) et Canigou (Conflent), représentent des conditions de haute altitude assez comparables, mais leur comportement en pépinière est différent : la croissance lente de la première l'apparente nettement à La Fajolle dont elle est d'ailleurs géographiquement assez proche ; la seconde est plus vigoureuse et pourrait être recommandée pour les reboisements locaux de haute altitude.

Les deux régions très importantes du Jura et des Vosges ne comptaient dans cette expérience qu'une seule provenance chacune : La Joux, assez tardive mais à croissance plutôt lente en pépinière. Le Donon, manifestant le comportement inverse.

La Joux représente bien les grandes sapinières du deuxième plateau, sans doute homogènes ; de plus, c'est l'une de nos principales sources de graines. Pour avoir une idée plus complète de la variabilité du sapin dans le Jura, il semblerait maintenant souhaitable d'étudier le comportement de quelques provenances du Doubs et de l'Ain.

Quant aux Vosges, quelques informations complémentaires nous sont fournies par une expérience antérieure sur les provenances du versant alsacien : Obernai-Bernardswiller (24), Bischoffsheim (25) et Rosheim-Grendelbruch (26) ; comme le Donon, elles avaient un comportement plus précoce que la Joux et des croissances égales ou supérieures.

L'aire alpine était représentée dans l'expérience précédente par trois provenances : Lantosque (27, Alpes-Maritimes), Pellafof et Lavalens (28 et 29, Isère), toutes précoces et dotées d'une croissance comparable ou supérieure (Lavalens) à La Joux.

Bien qu'artificielles par leur origine, Ecouves et Perseigne dérivent probablement

de populations locales ; ce sont deux provenances de tardiveté et de vigueur moyennes, dont l'utilisation peut être conseillée pour les reboisements du Perche et des régions voisines.

En dehors de l'aire française, les deux provenances carpathiques associent une tardiveté moyenne à une bonne croissance initiale ; leur intérêt est par ailleurs confirmé par les résultats d'une expérience effectuée au Danemark par LØFTING.

Complètement à l'écart de ce panorama de la variabilité naturelle, Jassoneix, en tête des classements de tardiveté et de vigueur, démontre l'intérêt de certains reboisements comme sources de graines. Soulignons cependant que chaque reboisement est un cas particulier et que sa valeur comme source de graines ne peut être appréciée qu'au moyen d'une expérimentation préalable.

Ce premier aperçu de la variabilité du sapin en France met l'accent sur les dangers d'un classement simpliste par grande région. La diversité des conditions écologiques et l'histoire de l'espèce (migrations, répartition continue ou discontinue, influences humaines) conditionnent la variabilité actuelle. Le caractère précoce et fragmentaire de nos informations n'autorise aucune conclusion définitive sur la validité de la notion de « région de provenances » : si la variabilité mise en évidence dans l'Aude fixe les limites de cette notion, elle ne permet pas d'en formuler la condamnation générale. On peut en effet considérer que la diversité des conditions de végétation du sapin dans l'Aude est plus grande que ce que l'on observe généralement dans la plupart des régions françaises. L'altitude varie entre 350 m en amont du défilé de Pierre Lys et plus de 1.600 m à La Fajolle, ce qui implique des conditions d'adaptation différentes (pluviométrie, longueur de la saison de végétation).

La faible variabilité individuelle du sapin restreint ses possibilités d'adaptation. S'il se trouve confronté à des conditions de milieu trop différentes de son optimum de végétation, peu plastique et incapable de s'adapter suffisamment, il disparaît. D'où la relative uniformité écologique de son aire de répartition actuelle, en majorité restreinte à l'étage montagnard humide. De ce fait, la diversité des conditions de végétation à l'intérieur de certaines régions, et l'Aude en particulier, peut être du même ordre que celle enregistrée sur l'ensemble de l'aire française.

On peut *a priori* s'attendre à ce que les régions caractérisées par une distribution presque continue du sapin et des conditions de végétation assez uniformes, comme le deuxième plateau du Jura ou les Vosges, soient plus homogènes que celles où il occupe une aire disjointe (populations isolées) comme les Alpes du Sud, les Pyrénées ou le Massif central.

Dans les études ultérieures, nous chercherons à vérifier ces hypothèses et nous replacerons le problème de la variabilité dans un contexte plus vaste, étendu à l'ensemble de l'aire de répartition européenne. Néanmoins, dans l'état actuel de nos connaissances, la provenance apparaît encore comme l'élément de réflexion principal dans le choix du matériel génétique.

Reçu pour publication en septembre 1969.

REMERCIEMENTS

Le Service forestier a activement participé aux récoltes de graines préalables à l'expérience, qu'il en soit ici vivement remercié.

Les mesures de densité du bois de tige ont été réalisées par la Station de Recherches sur la Qualité des Bois du C.N.R.F., à laquelle vont mes très vifs remerciements.

Les calculs ont été confiés au Service de Biométrie du C.N.R.F. Ils ont été menés à bien par le personnel de ce service, particulièrement M. C. MILLIER, Chargé de Recherches, dont la collaboration personnelle m'a beaucoup aidé, et à qui j'exprime mes très cordiaux remerciements.

SUMMARY

COMPARATIVE STUDY, IN NURSERY, OF SOME FRENCH PROVENANCES
OF SILVER-FIR (*abies alba* MILL.).

FIRST OUTLINES OF INFRASPECIFIC VARIABILITY AND REVIEW ON « AUDE-FIR »

— This study is devoted to nursery investigations on 21 provenances of european silver fir (*Abies alba*), most of them belonging to the french part of the natural area. The sampling of provenances is mainly concerned with the traditionnally called Aude-fir, around the small town of Quillan, immediatly to the north of eastern Pyrenees, which is presumed more light and summer drought tolerant and more late flushing than northern provenances.

— The measures concern the seeds (weight of 1.000 seeds), the seedlings (height, number and length of cotyledons), and the transplants (dimension, early branching habit, phenology).

— Analytical study, characteristic by characteristic, gives the main following conclusions :
Seed weight varies proportionally from 1 to 3 according to provenances.

The two rumanian provenances (Prahovei and Lapusul superior) are characterized by high values for lenght and number of cotyledons.

The height-ranging of some provenances is deeply modified from 2 to 4 years after sowing. For this characteristic, the two best represented regions : Aude and north-east of Massif Central (Beaujolais, Forez, Mount Pilat) seem genetically heterogeneous. Their variability is comparable with what is observed on the whole french area.

— In the Aude, the ranging of provenances suggests 3 groups :

High Corbières (forests of Betouze d'Arques, Rialsesse, and, quite unexpected, Fanges) with fast early growth.

Sault upland (forests of Callong and Puivert) with moderate early growth.

Forests of high elevation (La Fajolle) with slow early growth.

— In the Massif Central, the vigour of high Beaujolais provenances (Bois d'Ajoux and particularly Mollières) is opposite to the slow growth of Grand Bois (Mount Pilat) classed with the high elevation provenances. Differences also exist in the Forez, between the provenance called Forez which is not vigourous and Bois Noirs the growth of which is more interesting.

— On an other hand, the provenance La Joux which represents probably the most used seed source in France, shows a rather slow early growth. The two carpathic provenances have a very good growth. This is an artificial provenance of first generation which is the best classed (hybrid vigour attributed to the breaking of inbreeding circles which exist in natural forests).

Height differences between provenances reach a maximum of 5,2 cm, 4 years after sowing ; this is a weak difference in absolute value, however it represents 27 % of the mean height of the experiment.

The degree of ramification (early branching habit) is very variable between provenances, even within a given region.

With the provenances sampling of this experiment, differences in flushing date vary between 3 and 12 days in relation with the year concerned. One notes some distortions between the rangings at 3 and 4 years after sowing; this fact may have several causes:

- the biases originating from the transplanting operation on the observations done on the spring of the third year of growth,
- provenances do not reach their final branching habit to the same age and imperfectly branched provenances have an early flushing,
- perhaps with fir, an instability of flushing ranging, following the climatic conditions of the year.

There are significant differences between provenances for the stem wood density. Rumanian provenances have a high density by comparison with their height at 4 years.

Individual variation-coefficients for characteristics of dimension are generally lower (height at 4 years: 17,0 %, collar diameter at 4 years: 16,2 %) than the corresponding values for norway spruce; they are quite a few influenced by provenances.

At the provenance level, the study of correlation between characteristics gives the following results:

- prolonged influence of seed weight about plant height (this influence decreases with the age but still remains sensitive at 4 years),
- positive correlation between the length of the growing season, seed weight and height at 2 and 3 years,
- independence of the number of cotyledons,
- positive correlation between length of cotyledons and height at 4 years,
- numerous, high and positive correlation between dimensional characteristics (particularly between the length of the terminal shoot and the mean length of the branches belonging to the last whorl),
- positive correlation between vigour and early branching level,
- positive but low correlation between late flushing, height and branching level, on the beginning of the third growth year,
- negative correlation between stem wood density and several vigour characteristics.

The study of correlations at the individual level within each provenance gives very similar results.

« Principal components analysis » computed with 21 characteristics gives objective and synthetical confirmation of the conclusions obtained by the separate study of the different characteristics. It states precisely some groupings of provenances and shows clearly the great variability within the regions of the Aude and the north-east of the Massif Central.

By comparison with norway spruce, european silver fir seems less variable. Early slow growth and branching process, and also the long influence of seed weight on the height, are difficult problems for early tests. Nursery stage informations about height growth and date of flushing are of practical interest, because these characteristics are really interesting at the early stage. The great variability within some regions seems to draw the limits of the « provenance-region » idea, at least for the french part of the natural area.

ZUSAMMENFASSUNG

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG EINIGER FRANZÖSISCHEN WEISSTANNENHERKÜNFTEN (*abies alba* MILL.) IN PFLANZGARTEN. KURZER UEBERBLICK ÜBER DIE INTERSPEZIFISCHE VARIABILITÄT UND SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE WEISSTANNE

Die vorliegende Arbeit behandelt die Messergebnisse im Pflanzgarten an 21 Weisstannenherkünften, welche vorwiegend aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet der Tanne in Frankreich stammen. Die Auswahl der Herkünfte trägt vor allem dem Interesse Rechnung das man der Weisstanne aus dem Departement Aude (Quillan) entgegen bringt,

welche allgemein als ein spezieller Ökotype angesehen wird, da sie sich dem mediterranen Lichtklima und der Sommertrockenperiode sehr gut anpasst und ausserdem sehr spät austreibt.

Die Messungen betreffen die Samen (Tausendkorngewicht); die Keimlinge (Höhe, Anzahl und Länge der Kotyledonen) und die verschulten Pflanzen (Dimensionen, Verzweigung und Phänologie).

Die analytische Untersuchung jedes einzelnen Merkmals führt zu folgenden wesentlichen Feststellungen:

- das Tausendkorngewicht variiert im Verhältnis 1 : 3 je nach Herkunft.
- die beiden rumänischen Herkünfte (Prahovei und Lapusul superior) sind durch die Länge und die grosse Anzahl ihrer Kotyledonen gekennzeichnet.
- die Reihung gewisser Herkünfte nach dem Merkmal Höhe verändert sich grundlegend nach 2 bis 4 Jahren. Die beiden am Besten vertretenen Wuchsgebiete, Aude und der Nordwesten des Zentralmassiv (Haut Beaujolais, Forez, Mont Pilat) erscheinen bezüglich der Höhe als genetisch heterogen. Ihre Variabilitätsamplitude ist mit jener vergleichbar, welche man für das gesamte französische Verbreitungsgebiet feststellen kann.

Für das Wuchsgebiet Aude können entsprechend der Reihung drei Gruppen unterschieden werden:

- Hautes Corbières (La Bétouze d'Arques, Le Riassesse und die unerwartete Zuordnung der Herkunft Les Fanges) mit ziemlich raschen Jugendwachstum.
- Plateau de Sault (Callong, Puivert) mit mittleren Jugendwachstum.
- die Hochlagenbestände (La Fajolle) mit langsamen Jugendwachstum.

Im Zentralmassiv, mit den sehr wüchsigen Herkünften aus dem Haut Beaujolais (Bois d'Ajoux und insbesondere Mollières) sticht besonders die Herkunft Grand Bois aus dem Gebiet des Mont Pilat hervor, welche ein sehr langsames Jugendwachstum zeigt und daher in die Hochlagenherkünfte eingereiht wurde. Desweiteren bestehen auch gewisse Unterschiede im Forez zwischen der langsamwüchsigen Herkunft Forez und der etwas wüchsigeren Herkunft Bois Noirs.

Im übrigen weist auch die Herkunft La Joux, welche wohl die meistverwendete Samenquelle darstellt, ein ziemlich langsames Jugendwachstum auf. Die beiden Herkünfte aus den Karpathen haben ein sehr befriedigendes Wachstum. An der Spitze der Reihung steht jedoch eine künstliche Herkunft erster Generation mit einem Hybridwachstum, das auf die Unterbrechung der im Naturwald bestehenden « Inzuchtkreise » zurückgeführt werden kann.

Die Höhenunterschiede zwischen den Herkunftsn erreichen maximal 5,2 cm im Alter von 4 Jahren; dieser gering erscheinende Absolutwert stellt jedoch 27 % der Mittelhöhe des Versuches dar.

Der Organisationsgrad der Verzweigung ist je nach Herkunft auch innerhalb eines Wuchsgebietes sehr verschieden.

Die Variationsamplitude des Austriebstermines schwankt bei den untersuchten Herkunftsn je nach Beobachtungsjahr zwischen 3 und 12 Tagen. Beobachtete Unterschiede in der Reihung im Alter von 3 und 4 Jahren können auf folgende Ursachen zurückgeführt werden:

- störender Einfluss der Verschulung auf die Messungen zu Beginn des dritten Vegetationsjahres.
- allgemein langsame Organisation der Verzweigung sowie die Tatsache, dass die verschiedenen Herkunftsn nicht gleichzeitig ihr definitives Verzweigungsmodell ausbilden (die sehr unvollkommen organisierten Herkunftsn treiben frühzeitiger aus).
- die Tanne zeigt eine Labilität in der Reihung nach dem Merkmal Austriebstermin, welche von den klimatischen Bedingungen des Beobachtungsjahres verursacht wird.

Bezüglich der Rohdichte des Sprossholzes konnten signifikante Unterschiede zwischen den Herkunftsn festgestellt werden. Die rumänischen Herkunftsn weisen, unter Berücksichtigung ihrer Höhe im Alter von 4 Jahren eine hohe Rohdichte auf.

Die individuellen Variationskoeffizienten der Dimensionsmerkmale sind im Mittel geringer als jene die bei der Fichte beobachtet werden (Höhe im Alter 4 = 17,0 %, Basisdurchmesser im Alter 4 = 16,2 %).

Die Untersuchung der Beziehungen zwischen Merkmalen auf Herkunftsebene erbrachte folgende Resultate :

- das Samengewicht hat einen langandauernden Einfluss auf die Höhe (dieser Einfluss verringert sich mit zunehmenden Alter, ist jedoch im Alter 4 noch deutlich merkbar),
- es besteht eine positive Korrelation zwischen der Länge der Vegetationsperiode dem Samengewicht und den Höhen im Alter 2 und 3,
- Unabhängigkeit der Kotyledonenanzahl,
- es besteht eine positive Korrelation zwischen der Kotyledonenlänge und der Höhe im Alter 4,
- es besteht eine grosse Anzahl von engen und positiven Korrelationen zwischen den verschiedenen Dimensionsmerkmalen, insbesondere zwischen der Länge des Gipfeltriebes und der mittleren Länge der Seitentriebe des obersten Astquirls,
- es besteht eine positive Korrelation zwischen der Wüchsigkeit und dem Organisationsgrad der Verzweigung in den ersten Jahren,
- es besteht eine positive, jedoch geringe Korrelation zwischen dem Spättreiben, der Höhe und der Organisation der Verzweigung zu Beginn des dritten Vegetationsjahres,
- es besteht eine negative Korrelation zwischen der Rohdichte des Sprossholzes und den verschiedenen Merkmalen der Wüchsigkeit.

Die Untersuchung der Beziehungen auf individueller Ebene innerhalb der Herkünfte führt zu sehr gut vergleichbaren Ergebnissen.

Die für 21 Merkmale durchgeführte Prinzipalkomponentenanalyse bekräftigt objektiv und synthetisch die Schlussfolgerungen der getrennten Untersuchung der verschiedenen Merkmale ; sie präzisiert gewisse Gruppenbildungen und unterstreicht die Heterogenität der beiden Wuchsgebiete Aude und Zentralmassiv (Nordwest).

Die Weisstanne zeigt im Vergleich zur Fichte eine verhältnismässig geringere Variabilität. Das langsame Jugendwachstum und die langsame Ausbildung der Organisation der Verzweigung sowie der langandauernde Einfluss des Samengewichtes auf die Höhe bereiten grosse Schwierigkeiten bei Frühstesten. Die im Pflanzgarten erzielten Ergebnisse bezüglich Höhenwachstum und Austriebstermin sind insbesondere im Jugendstadium von grosser Wichtigkeit und daher von unmittelbarer praktischer Bedeutung. Die sogar innerhalb bestimmter Wuchsgebiete festgestellte Variabilität setzt gewisse Grenzen an die Festlegung von Herkunftsgebieten zumindest in Frankreich.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BALDY F., 1932. Les sapinières de l'Aude. *Rev. Eaux For.*, **12**, 1011-1030.
- CAILLOUX C., 1939. Les sapinières du Massif Central. *Rev. Eaux For.*, **5**, 414-435.
- CUSIN, 1939. Les sapinières des Hautes-Alpes. *Rev. Eaux For.*, **2-3**, 120-129 et 213-224.
- DEBAZAC E. F., 1964. Manuel des Conifères, Jean imprimeur, Gap.
- 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., Mme CLAUDE, 1967. Nouvelles observations sur le débourrement et la croissance en longueur de quelques espèces de sapin. *Rev. forest. fr.*, **3**, 183-190.
- DE FAVELLY, 1933. Les forêts de l'Aude. *Le Chêne*, **6**, 65-87.
- LØFTING E., 1954. Danmark Aedelgranproblem. 1 — Del., Proveniensenvalg. *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark*, **21**, 4.
- MARTIN J.-J.-E., 1939. Sapin-Epicéa. Le sapin dans les Alpes de Savoie. *Rev. Eaux For.*, **2**, 113-119.
- PAVARI A., 1951. Esperienze a indigani su la provenienza e rhaze dell' abete bianco (*Abies alba* Mill.). Publ. Staz. Sperimenz. Selvicolt., Firenze, 8.
- ROL R., 1937. Contribution à l'étude de la répartition du sapin (*Abies alba* Mill.). *Ann. Ec. nation. Eaux For.*, **6**, (2), 8-61.
- SOULÈRES G., 1965. Sur la variation de la production et de la faculté germinative des graines de sapin pectiné. *Rev. forest. fr.*, **3**, 219-230.