ABIES NORDMANNIANA SPACH, *ABIES BORNMULLERIANA* MATTFELD.

PREMIERS RÉSULTATS D'UNE ÉTUDE DE PROVENANCES EN PÉPINIÈRE :
CONTRÔLE DE PURETÉ SPÉCIFIQUE DES PROVENANCES D'ORIGINE ARTIFICIELLE,
TARDIVETÉ DU DÉBOURREMENT ET CROISSANCE INITIALE.

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 en pépinière d'une expérience comparative de 16 provenances de sapin de Nordmann, dont 10 d'origine artificielle française et 6 d'origine naturelle.

Elle aborde les problèmes suivants :

- classement des provenances sur la base d'examens morphologiques (aiguilles et bourgeon terminal), détection des provenances d'origine artificielle hybridées et estimation du taux d'hybride ;
- rapidité de croissance initiale ;
- tardiveté du débourrement ;
- liaison entre ces caractères, tant au niveau des provenances, qu'au niveau individuel dans les provenances ;
- comparaison des populations hybride et pure (pour la rapidité de croissance initiale surtout) séparément dans quatre provenances artificielles françaises hybridées ;
- conclusions provisoires pour le choix des meilleures sources de graines pour le reboisement.

1. — BUT DE L'EXPÉRIENCE

Abies nordmanniana est originaire des montagnes du Caucase occidental (URSS) entre 400 et 2 000 m d'altitude, et de la partie orientale de la Chaîne Pontique (Tur-

quie). *Abies bornmulleriana* en est botaniquement très voisin et son aire, limitée à l'ouest de la Chaîne Pontique, s'étage entre 1 100 et 1 800 m d'altitude.

Ces espèces, que les reboiseurs confondent généralement sous l'appellation commune sapin de Nordmann, peuvent contribuer à l'enrésinement et à la mise en valeur des montagnes méditerranéennes françaises dans l'étage du chêne pubescent. Dans le reste du pays, elles pourraient assurer le relai du sapin pectiné à plus basse altitude, en particulier dans certaines stations, associant à un sol calcaire, des gelées tardives fréquentes et une période de sécheresse estivale.

Les besoins de graines augmentant, il fallait d'une part lancer une étude concernant la variabilité infraspécifique naturelle, pour orienter les programmes d'importation, d'autre part recenser les rares et maigres peuplements artificiels fructifères existant en France, évaluer leur production potentielle de graines, et comparer les aptitudes de ces origines artificielles à celles des provenances naturelles. Malheureusement, il a toujours été extrêmement difficile d'obtenir des graines de sapin de Nordmann d'origine précise en provenance du Caucase.

Ce travail a été commencé en 1961 par la 3^e Section de la Station de Recherches forestières de Nancy (aujourd'hui Station d'Amélioration des Arbres forestiers du C.N.R.F.).

Il convient déjà de souligner que les rares sources françaises de graines d'*Abies nordmanniana* actuellement recensées ne pourraient produire qu'une tonne de graines environ en année de bonne fructification ; elles sont par ailleurs fréquemment soumises aux risques d'hybridation par la présence dans leur voisinage immédiat d'espèces voisines de sapin du groupe méditerranéen.

La production peut être améliorée, en quantité et qualité (pureté spécifique surtout), par la constitution de vergers à graines entreprise par ailleurs.

En matière de provenances françaises, il s'avérerait donc important de distinguer les sources de graines spécifiquement pures des sources hybridées, et cela dès le stade précoce. Il était par ailleurs fondamentalement intéressant d'étudier le comportement des provenances et des individus hybrides sur le plan de la rapidité de croissance initiale et de la tardiveté du débourrement.

2. — MATÉRIEL VÉGÉTAL

La liste des 16 provenances étudiées et de leurs principales caractéristiques figure en *Annexe 1*. L'expérience comprend 6 provenances naturelles, et 10 provenances artificielles françaises qui sont des sources de graines couramment utilisées dans la pratique. L'échantillonnage des provenances naturelles est très insuffisant et ne rend pas compte de la variabilité infraspécifique possible des deux espèces pures. Cette remarque limite la portée des conclusions aux seules provenances étudiées.

Toutes les mesures ont été effectuées à la fin de la seconde année de repiquage, soit sur des plants de 4 ans. Il conviendra donc de discuter avec toute la prudence nécessaire les résultats obtenus sur ce matériel juvénile.

3. — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Les semis ont été repiqués à deux ans, en bêche, selon un dispositif statistique en lattices triples (lattices partiellement équilibrés à trois répétitions) à la pépinière expérimentale d'Amance (latitude 48°47' Nord, longitude 6°18' Est, altitude 240 m). Les échantillons systématiques comprenaient 36 plants étiquetés par parcelle unitaire.

4. — ÉTUDE PRÉCOCE DE QUATRE CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES

4.1. — Position du problème

Les premières observations au sein des provenances étudiées ont très vite montré l'existence de quatre types distincts :

— les deux types spécifiques purs correspondant respectivement à *Abies nordmanniana* et *Abies bornmulleriana* ;

— et deux types intermédiaires apparemment hybrides, semblant a priori résulter des croisements interspécifiques suivants :

A. nordmanniana × *A. alba* et *A. nordmanniana* × *A. cephalonica*.

L'hypothèse de l'hybridation se justifiait par le fait que les provenances françaises, au sein desquelles seulement étaient identifiés des types intermédiaires, se trouvaient représentées par des graines récoltées sur des arbres mères correspondant bien au phénotype *A. nordmanniana* (sauf réserves faites ultérieurement sur la provenance Vaugoin). Ces arbres appartenaient à des bouquets ou des petits placeaux, comportant fréquemment dans leur entourage immédiat *plusieurs* espèces voisines de sapin susceptibles de s'hybrider librement avec le sapin de Nordmann.

Faute de croisements contrôlés, il n'est pas possible de déterminer avec certitude l'espèce responsable de la pollinisation ; l'examen des caractères des hybrides n'apporte que des présomptions utilisables comme *hypothèse de travail*.

En fait, le problème pratique consiste à distinguer dans ce matériel juvénile les provenances spécifiquement pures de celles portant manifestement la marque d'une hybridation importante ; et cela, par des observations simples en pépinière, portant sur un nombre réduit de caractères morphologiques.

4.2. — Choix des caractères morphologiques

Au vu des descriptions botaniques concordantes de divers auteurs, nous avons été amenés à choisir quatre caractères morphologiques différentiels, sur un rameau latéral de l'année (pseudoverdille supérieur) et le bourgeon terminal de la flèche :

- le type de disposition des aiguilles,
- la forme de l'apex des aiguilles,
- la présence ou l'absence de stomates à la face supérieure de l'apex des aiguilles,

— la présence ou l'absence d'efflorescences résineuses sur le bourgeon terminal de la flèche.

L'étude de la pubescence ne sera pas envisagée ici. Elle aurait nécessité une étude microscopique sérieuse (comptages au micromètre), sur prélèvements de rameaux, qui ne pouvait être envisagée dans les conditions de l'expérience. La description des espèces ressortissant de l'analyse des résultats figure en *Annexe 6* du paragraphe 4.7., elle sera discutée à ce moment.

4.3. — *Système de notation utilisé et conditions de l'expérimentation*

En s'inspirant de la méthode des index d'hybridation d'ANDERSON, inapplicable au cas particulier puisqu'elle n'envisage la séparation qu'entre deux espèces distinctes et leur hybride, nous avons choisi un système simplifié de notation : $-1, 0, +1$, intéressant les quatre caractères morphologiques retenus. Ce système de notation figure en *Annexe 2*, les photographies de l'*Annexe 3* le complètent.

L'expérience en pépinière devant se poursuivre par des plantations comparatives dans trois stations françaises différentes, il n'était pas possible d'envisager un programme de mesures impliquant la mutilation des plants. Toutes les observations ont par conséquent été effectuées, à l'automne 1965, sur les plants de 4 ans en place en pépinière.

Aucune provenance pure d'*A. alba*, comme d'*A. cephalonica*, ne se trouvant représentée au sein de l'expérience étudiée, on a procédé à deux sondages parallèles sur ces espèces, afin de pouvoir comparer leurs caractères à ceux d'*A. nordmanniana* d'une part et ceux des hybrides identifiés dans l'expérience d'autre part. En ce qui concerne *A. alba*, les observations ont été effectuées dans des conditions identiques à celles de l'expérience principale, mais sur des plants de 3 ans appartenant à trois provenances différentes :

LA-SU : Lapuzul Superior - Roumanie - Effectif échantillonné : 35.

RIAL : Rialsesse - France, Département de l'Aude - Effectif échantillonné : 36.

JOUX II : La Joux - France, Département du Jura - Effectif échantillonné : 33.

Aucun plant repiqué d'*A. cephalonica* ne figurait en pépinière et il a fallu faire appel à 36 arbres âgés de 28 ans, originaires de Grèce, du plateau forestier 44 de l'Arboretum d'Amance. Les observations ont porté sur des rameaux de l'année, prélevés à l'extrémité de branches latérales de vigueur égale, à hauteur d'homme. L'étude du bourgeon terminal de la flèche a été remplacée par celle du bourgeon terminal d'un rameau latéral.

Les fréquences moyennes des notes $+1$ et -1 de chaque caractère étudié figurent au tableau suivant (Tableau 1).

TABLEAU 1

Espèces	Aiguilles				Bourgeon
	Disposition		Apex	Stomates à la face supérieure	
	Note + 1	Note - 1	Note - 1	Note - 1	Note - 1
<i>A. alba</i>					
LA-SU	100 %	0 %	0 %	31,4 %	0 %
RIAL	100	0	0	16,7	0
JOUX II	100	0	0	24,2	0
<i>A. cephalonica</i>	0	91,7	100	97,2	100

4.4. — Principe des calculs et résultats

Les caractères morphologiques étudiés étant a priori indépendants des variations de fertilité en pépinière, l'analyse statistique a porté sur les trois répétitions du lattice triple interprétées chacune comme un bloc complet.

Le système de notation adopté, assimilable à une notation par « tout ou rien », conduisait à des calculs de fréquence moyenne par parcelle unitaire.

Les distributions de pourcentages p s'éloignant sensiblement de la loi normale, on a procédé à la transformation angulaire des données initiales par la fonction $\arcsin \sqrt{p}$. Les calculs des moyennes des fréquences ont été effectués par l'intermédiaire des valeurs angulaires, la transformation inverse restituant les pourcentages correspondants en fin d'opération.

Le calcul des fréquences moyennes de chaque caractère dans chaque provenance a été complété par des analyses de variance effectuées sur les données transformées. Le tableau suivant donne les valeurs correspondantes de F et leur signification (Tableau 2).

TABLEAU 2

Expression des caractères	F
Disposition radiale des aiguilles : note - 1	84**
Disposition subdistique des aiguilles : note + 1	56**
Apex des aiguilles pointu et piquant : note - 1	118**
Stomates sur la face supérieure de l'apex des aiguilles : note - 1	37,5*
Bourgeon terminal couvert d'efflorescences résineuses : note - 1	11,8*

F** Significatif au seuil de probabilité 1 %

F* Significatif au seuil de probabilité 5 %

pour 15 (Provenances) et 30 (Erreur) degrés de liberté.

Les différences significatives entre fréquences moyennes des caractères notés +1 et -1 pour chaque provenance (DUNCAN's New Multiple Range Test) sont données en *Annexe 4*.

Les fréquences moyennes non significativement différentes à l'un des deux seuils de probabilité choisis (5 % ou 1 %) sont réunies par un même trait vertical.

4.5. — *Interprétation par caractère*

4.51. — *Disposition des aiguilles*

La disposition subdistique, allant d'une insertion pectinée presque parfaite à une disposition en deux faisceaux plus ou moins ouverts de part et d'autre du rameau, trouve son maximum de fréquence chez trois provenances françaises : Royat et Vaugoin, significativement différentes de toutes les autres au seuil de 1 %, Gerbéviller, significativement différente des deux premières et des suivantes au même seuil de signification.

D'un autre côté, la disposition radiale, donnant en particulier au ramule d'*A. cephalonica* son aspect hérissé caractéristique, se trouve représentée avec des fréquences notables, significativement différentes les unes des autres et du reste de celles des provenances étudiées au seuil de 1 %, chez trois provenances françaises Sarthe, Les Barres et Saint-Victor.

4.52. — *Forme de l'apex*

On a prélevé cinq aiguilles, dans la partie moyenne de l'un quelconque des rameaux du pseudoverticille supérieur de chaque plant échantillonné, pour étudier à la loupe de grossissement $\times 12$ la forme de l'apex et la présence ou l'absence de stomates sur la face supérieure à son voisinage.

Les provenances artificielles françaises Sarthe, Les Barres, Saint-Victor présentent les plus fortes fréquences d'individus caractérisés par des aiguilles à l'apex pointu et piquant, et se classent dans le même ordre que lors de l'étude de la disposition. Elles sont significativement différentes entre elles et du reste des provenances au seuil de 5 %.

4.53. — *Stomates sur la face supérieure de l'apex*

Ce caractère permet une excellente séparation entre les provenances d'*Abies bornmulleriana*, représentées dans notre expérience et celles d'*Abies nordmanniana*, le groupe de trois sources de graines naturelles de la première espèce se séparant significativement au seuil de 1 % du reste des provenances. Les sources artificielles françaises manifestant par ailleurs des signes évidents d'hybridation avec *A. cephalonica* : Sarthe, Saint-Victor, Les Barres montrent également, mais à un moindre degré, des fréquences importantes d'individus possédant des stomates sur la face supérieure de l'apex.

Alors qu'*A. bornmulleriana* et les hybrides *A. nordmanniana* $\times$ *A. cephalonica* montrent généralement des stomates d'un blanc éclatant, disposés en plusieurs files médianes parfois relativement longues, visibles à l'œil nu, ceux que l'on peut observer beaucoup plus rarement sur *A. nordmanniana*, *A. alba* et leur hybride, sont en très petit nombre et forment une tache très courte dans l'échancrure de l'extrémité des aiguilles ; ils sont très peu visibles à l'œil nu.

4.54. — Efflorescences résineuses sur le bourgeon terminal

Le groupe des trois provenances d'*A. bornmulleriana* se sépare des provenances pures d'*A. nordmanniana*, mais il n'est pas significativement distinct au seuil de 1 % de deux des provenances artificielles françaises hybridées par *A. cephalonica*.

Le caractère s'est avéré plus facile à observer à l'automne de la 4^e année de végétation que lors d'un essai effectué au printemps de cette même année.

4.6. — Fréquences moyennes par provenance des phénotypes observés

On peut définir le phénotype par la suite des quatre notes, dans l'ordre, attribuées aux quatre caractères étudiés d'un individu donné ; il existe donc théoriquement 24 phénotypes possibles sur lesquels 18 se trouvent effectivement représentés. Le tableau de l'Annexe 5 n'envisage que 9 phénotypes représentant au total 92,6 % des individus observés.

Les provenances caucasiennes d'*A. nordmanniana* et les 4 provenances artificielles pures de cette espèce ne figurent que sous 2 phénotypes notablement représentés. La même remarque s'applique aux 3 provenances d'*A. bornmulleriana*.

A l'inverse, les autres provenances artificielles françaises de première génération montrent une variabilité très étendue pouvant embrasser la totalité des phénotypes représentés.

4.7. — Conclusion de l'étude morphologique

Les 4 types qui semblaient se distinguer à l'examen préliminaire ont une réelle existence ; la description schématique de leurs caractères distinctifs est donnée au tableau de l'Annexe 6.

La représentation à des fréquences variables de chacun de ces types dans les provenances conduit à distinguer 4 groupes :

Groupe I : Les trois provenances naturelles d'*A. bornmulleriana* géographique-ment très voisines forment un groupe très homogène ; il se caractérise par des aiguilles à l'apex échancré portant des lignes de stomates très visibles à sa face supérieure, disposées en brosse dense relevée, le bourgeon terminal est très souvent couvert d'efflorescences résineuses.

Groupe II : Les provenances pures d'*A. nordmanniana*, aussi bien naturelles qu'artificielles (La Jonchère Gare, Amance, Maringues, La Jonchère) sont carac-

térisées par des aiguilles à l'apex échancré, pratiquement sans stomate à la face supérieure, disposées en brosse plus ou moins typiquement rabattue vers l'extrémité du rameau, et un bourgeon terminal non résineux.

Groupe III : Les provenances artificielles d'*A. nordmanniana*, apparemment hybridées par *A. Alba* comptent Royat, Vaugoin, Gerbéviller ; elles sont surtout caractérisées par la forte fréquence des individus montrant une disposition subdistique des aiguilles.

Groupe IV : Les provenances artificielles d'*A. nordmanniana*, apparemment hybridées par *A. cephalonica* comptent Sarthe, Les Barres, Saint-Victor, et se distinguent par la fréquence importante des individus possédant des aiguilles à l'apex pointu portant fréquemment des stomates à la face supérieure, et disposées radialement autour du rameau, ainsi qu'un bourgeon terminal éventuellement résineux. L'aspect hérissé et légèrement bleuté des ramules de l'année est caractéristique des individus hybridés.

La séparation graphique de ces quatre groupes est parfaitement réalisée par les résultats de l'étude de deux caractères seulement : disposition des aiguilles et présence de stomates à la face supérieure de l'apex (*Annexe 7*).

Les graphiques de l'Annexe 4 mettent en relief l'importance des risques d'hybridation sur des arbres de parc souvent isolés. Dans le cas de placeaux forestiers de faible étendue, les taux d'introggression sont sans doute exagérés par la pratique courante de la récolte des graines sur les lisières mieux accessibles et plus fructifères.

En effet, à Gerbéviller, Saint-Victor et l'Arboretum des Barres, les récoltes ont porté sur des arbres de parc au voisinage desquels étaient effectivement représentés *A. alba* et *A. cephalonica*.

Mais la réalité n'est pas toujours aussi simple que pourrait le laisser supposer notre hypothèse de travail ; celle-ci n'envisage que l'existence de deux types d'hybridation : *A. nordmanniana* $\times$ *A. alba* et *A. nordmanniana* $\times$ *A. cephalonica*.

En fait à Vaugoin, en Sologne, nous avons trouvé un peuplement de faible étendue au voisinage duquel il n'existe absolument aucun sapin pectiné, mais nous avons remarqué une certaine proportion d'arbres au sein même du peuplement qui diffèrent du type spécifique pur par la disposition subdistique des aiguilles sur le rameau. On peut supposer que de tels individus sont déjà hybridés.

A l'Arboretum de Royat, la provenance est représentée par un placeau forestier complet d'environ 0,5 ha ; les graines récoltées étaient issues en majorité des arbres de lisière. Les risques d'hybridation les plus importants viennent de la présence, dans le voisinage, de jeunes *Abies cilicica* et surtout de plusieurs petits lots de jeunes sapins, introduits sous le nom d'*Abies cephalonica* ; en fait, les caractères botaniques des arbres de deux parcelles, à proximité immédiate des Nordmann, n'évoquent en rien le sapin de Grèce, notamment l'extrémité des aiguilles échancrée et non piquante les rapprocherait beaucoup plus du sapin pectiné. Or, les graines provenaient de Macédoine orientale, en dehors de l'aire d'*Abies cephalonica*, mais dans le domaine de l'hybride naturel *A. cephalonica* $\times$ *A. alba* (*A. borisii regis* Matt.) et même du sapin pectiné pur.

La provenance intitulée Sarthe provient d'un lot de graines passant pour avoir été récolté dans le parc de M. d'AILLIÈRES. Il y a, dans cette propriété, de très beaux sapins de Nordmann âgés d'une soixantaine d'années, botaniquement purs ; il n'existe pas, à notre connaissance, de sapins de Cephalonie dans le voisinage immédiat. Comme 83 % des individus issus de ce lot ont des aiguilles incontestablement acérées et piquantes, on craint qu'il y ait eu erreur dans l'étiquetage du lot de graines qui nous a été expédié. La simple mise en évidence de cette erreur prouve l'intérêt de ce type d'étude pour le contrôle variétal.

Ces réserves faites, on peut remarquer par ailleurs que tout semble se passer comme si l'apex pointu des aiguilles d'*Abies cephalonica* était un caractère dominant.

5. — RAPIDITÉ DE CROISSANCE JUVÉNILE : MESURES DE HAUTEUR ET DE DIAMÈTRE AU COLLET

Les mesures ont été effectuées à la fin de la quatrième année de végétation en pépinière sur les plants échantillonnés arrachés. Les intervalles de classes choisis étaient de 2 cm pour la hauteur et 1 mm pour le diamètre au collet. L'analyse statistique a été effectuée selon le plan d'expérience en lattice triple. A titre d'exemple, nous donnons, ci-dessous, le tableau complet d'analyse de variance de la hauteur à l'arrachage (Tableau 3).

TABLEAU 3

Origine de la variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	F
Répétitions	83,899	2		5,53**
Traitements	188,119	15	12,541	
Blocs dans répétitions	15,631	9	1,737	
Erreur intra-bloc	47,597	21	2,267	
Total	335,246	47		

Mais par mesure de concision, nous continuerons par la suite à remplacer le tableau complet par la valeur correspondante de F. Ainsi, l'analyse de variance du diamètre au collet à l'arrachage conduit à la valeur $F = 2,84^*$ significative au seuil de probabilité 5 %. L'Annexe 8 donne sur un même graphique les moyennes ajustées et les différences significatives de ces deux caractères.

L'homogénéité respective, des trois provenances caucasiennes d'*A. nordmanniana* et des trois provenances turques d'*A. bornmulleriana*, qui s'était dessinée à l'issue des études morphologiques, se maintient sur le plan de la croissance en hauteur et en diamètre, par ailleurs faible. Ces deux groupes ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

Deux provenances artificielles françaises d'*A. nordmanniana*, contenant de fortes proportions d'hybrides : Les Barres (*A. nordmanniana* × *A. cephalonica*) et Royat

(*A. nordmanniana* $\times$ *A. alba*), se séparent significativement au seuil de 5 % des provenances naturelles de la même espèce par leur plus grande hauteur à 4 ans ; leurs diamètres au collet, encore significativement supérieurs à ce seuil à ceux des provenances naturelles d'*Abies bornmulleriana*, ne sont pas significativement différents de ceux des provenances naturelles d'*Abies nordmanniana*. Seule l'analyse des performances individuelles permettra d'établir si l'hétérosis peut être invoqué dans l'explication de cette supériorité.

Sarthe et Saint-Victor, tenant par ailleurs la queue des deux classements, illustrent une fois encore la grande hétérogénéité des provenances françaises hybridées.

Les provenances artificielles pures ne se séparent pas significativement des provenances caucasiennes d'*A. nordmanniana*.

Par ailleurs, on a procédé à une étude du paramètre H/D (rapport de la hauteur en cm au diamètre en mm). L'analyse de variance correspondante indique des différences significatives au seuil de 1 % entre les provenances ($F = 7,59^{**}$). Le graphique des différences significatives figure en *Annexe 9*. Ce graphique souligne une fois de plus :

— l'originalité de la provenance artificielle Les Barres très fortement hybridée dont le paramètre H/D est significativement supérieur à tous les autres au seuil de 5 % (forme élancée) ;

— l'homogénéité des provenances naturelles d'*Abies bornmulleriana* et d'*Abies nordmanniana*. Ces dernières comptant parmi les plus « trapues » de l'expérience.

Cependant, on peut craindre que la concurrence en pépinière (espacement des plants repiqués : 12,5 cm) interdise d'appréhender la valeur intrinsèque du paramètre H/D.

6. — NORMES DE QUALITÉ

La définition des normes de qualité des plants forestiers remonte en France au mois de juillet 1960. Cette initiative de la Direction générale des Eaux et Forêts avait pour objectif l'amélioration de la qualité du matériel végétal mis à la disposition des reboiseurs.

Le tableau des normes de qualité définit pour une espèce et un âge donnés trois catégories à partir de la hauteur et du diamètre au collet ; ce sont, par ordre de taille décroissante :

- Utilisations spéciales (U.S.),
- Catégorie A,
- Catégorie B.

Les plants ne répondant à aucune de ces catégories sont refusés pour les reboisements entrepris sous le contrôle de l'Etat ou de l'Office national des Forêts.

Dans le cas particulier du sapin de Nordmann, les spécifications sont les suivantes : (Tableau 4)

TABLEAU 4

Age des plants	Catégorie	Diamètre (mm)	Hauteur (cm)
2-1 ou 2-2 ou 2-3	US	9 et +	20 et +
	A	9 et + 7 et 8	14 à 19 14 à 30
	B	7 et + 5 et 6	8 à 13 8 à 24

On a calculé, pour chaque parcelle unitaire, le pourcentage des plants classés dans les catégories US, US + A, et Rebut.

Les analyses de variance en lattice ont porté sur les transformées de ces pourcentages p par la fonction $\arcsin \sqrt{p}$. Seuls les pourcentages des plants classés en catégorie US présentent des différences significatives selon les provenances au seuil de probabilité 1 % ($F = 3,91^{**}$). Le tableau donnant la répartition des plants en pourcentage entre les catégories US, US + A et Rebut (cette dernière catégorie n'étant pratiquement pas représentée) figure à l'Annexe 10.

Les catégories US et A regroupées représentaient 72 à 95 % des plants produits selon les provenances. Les différences étaient beaucoup plus marquées en ce qui concerne la catégorie US seule, pour laquelle les pourcentages correspondants variaient entre 11 (Sarthe) et 67 % (Les Barres).

7. — TARDIVITÉ DU DÉBOURREMENT

On a procédé au printemps 1965 à trois séries successives de notation du débourrement à partir de l'échelle suivante :

- note 1 — Bourgeon dormant,
 2 — Bourgeon gonflé, couleur verte à l'extérieur,
 3 — Les aiguilles apparaissent nettement serrées en pinceau,
 4 — Les aiguilles forment un long pinceau et ont leurs extrémités séparées,
 5 — Les premières aiguilles sont presque horizontales,
 6 — La pousse s'allonge et la majorité des aiguilles est horizontale.

Les résultats de la seconde série d'observations apportent un maximum d'informations et ils seront seuls évoqués ici. Par ailleurs, il nous est apparu, dans une étude annexe, qu'il était statistiquement plus satisfaisant de ramener l'interprétation à un calcul de fréquence moyenne p des plants non débourrés (notes 1 et 2 de l'échelle précédente) plutôt que d'utiliser directement le système de notation ; ce dernier garde cependant l'avantage de permettre des études de liaisons au niveau individuel.

Dans le but de normaliser leur distribution, les pourcentages p des plants non débourrés par parcelle unitaire ont été transformés par la fonction $\arcsin \sqrt{p}$, et les moyennes ajustées par provenance calculées par l'interprétation du lattice triple. L'analyse de variance des données transformées fait apparaître des différences significatives au seuil de probabilité 1 % dans la tardiveté du débourement ($F = 14,71^{**}$).

Le graphique de l'Annexe 11 sépare significativement au seuil de 1 % les trois provenances naturelles d'*A. nordmanniana* tardives, des trois provenances naturelles d'*A. bornmulleriana* précoces.

Parmi les provenances artificielles pures, Amance et La Jonchère Gare sont aussi tardives que le groupe des provenances d'*A. nordmanniana* caucasiennes ; La Jonchère au contraire ne se sépare pas significativement des provenances d'*A. bornmulleriana* ; enfin, Maringues a un classement intermédiaire.

A. cephalonica et *A. alba* étant reconnus plus précoces qu'*A. nordmanniana*, il est intéressant de remarquer que les provenances artificielles comportant les plus forts pourcentages d'hybrides avec ces espèces respectives : Sarthe et Royat se classent parmi les plus précoces.

8. — ÉTUDE DES LIAISONS PHÉNOTYPIQUES ENTRE LES CARACTÈRES

8.1. — Au niveau des moyennes des provenances

Les valeurs du tableau des coefficients de corrélation donné en Annexe 12 ont été calculées à partir des moyennes des provenances transformées par la fonction $\arcsin \sqrt{p}$ lorsqu'il s'agissait de pourcentages, sans transformation dans les autres cas.

Ce tableau met en évidence les faits suivants :

— il existe une corrélation positive et significative entre la tardiveté du débourement et le diamètre au collet, mais apparemment aucune corrélation avec la hauteur.

— par ailleurs, on observe une corrélation inverse entre la tardiveté du débourement d'une part, la fréquence des stomates sur la face supérieure des aiguilles et celle des bourgeons résineux d'autre part. Les provenances d'*Abies bornmulleriana*, et à un moindre degré les sources de graines d'origine artificielle comportant une forte proportion d'hybrides *A. nordmanniana* $\times$ *A. cephalonica* (ou supposés tels) sont en effet parmi les plus précoces.

— la valeur élevée et positive du coefficient de corrélation entre la fréquence des stomates sur la face supérieure des aiguilles et celle des bourgeons résineux traduit surtout la coexistence fréquente des deux caractères chez *A. bornmulleriana*, et chez les hybrides *A. nordmanniana* $\times$ *A. cephalonica* moins régulièrement.

— d'autre part, les fréquences de l'apex piquant et de la disposition radiale des aiguilles sont très étroitement corrélées ; ces caractères se trouvent en effet très

fréquemment associés chez les provenances artificielles comportant une forte proportion d'hybrides *A. nordmanniana* $\times$ *A. cephalonica*.

Il convient cependant de rappeler que les corrélations mises en évidence au niveau des moyennes sont, en toute rigueur, attachées à l'échantillonnage des provenances de l'expérience.

8.2. — *Au niveau individuel à l'intérieur des provenances*

Le système de notation des caractères morphologiques par « tout ou rien » ne permettait pas d'aborder le problème de leurs liaisons au niveau individuel. Cette analyse restait possible pour :

— la précocité du débourrement estimée par la somme des notes des trois séries successives d'observations*,

— la hauteur et le diamètre au collet.

L'analyse a porté sur les trois répétitions de chaque provenance.

— Sur la totalité des 16 provenances, 3 montrent une corrélation inverse de la précocité du débourrement avec le diamètre et la hauteur, 6 avec le diamètre seulement, 4 avec la hauteur seulement, 3 ne révèlent aucune liaison.

Pour la grande majorité des provenances représentées dans l'expérience, les individus les plus vigoureux semblent en moyenne les plus tardifs.

L'*Annexe* 13 reproduit les résultats obtenus pour les 16 provenances de l'expérience.

Les résultats au niveau individuel s'accordent avec ceux obtenus précédemment au niveau des moyennes : il semble bien exister, en général, une corrélation négative entre la précocité du débourrement (ou positive avec la tardiveté) et la vigueur. Mais cette dernière intervient diversement, tantôt et surtout par le diamètre, et tantôt par la hauteur, même pour des provenances par ailleurs très voisines (Catak et Kizilkize par exemple). On ne voit pas d'interprétation biologique satisfaisante à ce résultat.

Ces observations méritent d'être répétées sur plusieurs années. Il serait en effet particulièrement important de vérifier, comme ces premiers résultats permettent de l'espérer, que les deux objectifs de sélection essentiels dans le cas du sapin de Nordmann : tardiveté de débourrement et croissance initiale rapide, ne sont pas contradictoires, mais au contraire convergents.

— Toutes les provenances, sans exception montrent par ailleurs un coefficient de corrélation positif et significatif au seuil de 1 % entre la hauteur et le diamètre au collet.

Ce problème des liaisons sera analysé séparément pour les individus purs et hybrides de 4 provenances artificielles concernées par l'hybridation.

* Contrairement à la fréquence des plants non débourrés utilisée précédemment au paragraphe 7, cette variable varie en sens inverse de la tardiveté.

9. — COMPARAISON DES POPULATIONS PURE ET HYBRIDE, SÉPARÉMENT DANS QUATRE PROVENANCES ARTIFICIELLES HYBRIDÉES

9.1. — *Principe de la séparation des populations pure et hybride*

On a choisi deux provenances, Royat et Vaugoin, comportant une forte proportion d'hybrides *A. nordmanniana* $\times$ *A. alba* (ou tout au moins présumés tels), et on a séparé à l'intérieur de chacune d'elles les individus purs et hybrides sur la base de la disposition des aiguilles : les individus qui ont reçu la note 0 (disposition en brosse) ont été appelés purs ; les individus qui ont reçu la note +1 (disposition subdistique) ont été appelés hybrides.

De la même façon on a choisi deux provenances, Les Barres et Sarthe comportant une forte proportion d'hybrides *A. nordmanniana* $\times$ *A. cephalonica* (ou présumés tels), et on a séparé à l'intérieur de chacune d'elles les individus purs et hybrides sur la base de la forme de l'apex ; les individus qui ont reçu la note 0 (apex échancré ou bilobé) ont été appelés purs ; les individus qui ont reçu la note -1 (apex pointu et piquant) ont été appelés hybrides.

9.2. — *Comparaison analytique sur 3 caractères (diamètre, hauteur, précocité)*

Dans un premier temps, on a calculé, sur l'ensemble des 3 répétitions de l'expérience, le nombre d'individus, les moyennes des 4 caractères suivants : hauteur, diamètre, somme des 3 notes de débourrement, H/D, et les coefficients de corrélation entre les 3 premiers caractères, séparément pour les individus purs et hybrides de chacune des 4 provenances choisies. Ces résultats sont rapportés en *Annexe 14*.

9.21. — *Valeurs des caractères*

On remarque qu'à l'intérieur des provenances Royat et Les Barres, qui ont montré la croissance juvénile la plus rapide, les individus hybrides ont une hauteur et un diamètre significativement supérieurs à ceux des individus spécifiquement purs.

Cette observation mérite d'être répétée sur plusieurs années, car il importe de savoir si cette supériorité se maintiendra avec l'âge. Il semble par ailleurs nécessaire de la compléter par des expériences plus rigoureuses, portant sur un nombre plus important d'individus purs et hybrides, obtenus à partir de pollinisations contrôlées.

A l'intérieur de la provenance Vaugoin, on n'observe pas de différences significatives pour la hauteur, le diamètre et la précocité du débourrement entre les individus appelés hybrides et les autres. Cette remarque est à rapprocher de l'observation faite au paragraphe 4.7. à la suite de la visite du peuplement : ce dernier pourrait déjà comporter au départ une certaine proportion d'hybrides.

A l'inverse des remarques faites pour les provenances Les Barres et Royat, les hybrides de la provenance Sarthe ont un diamètre plus faible que les purs. Il n'y a cependant pas de différences significatives sur la hauteur.

La précocité du débourrement des hybrides est plus grande que celle des individus spécifiquement purs chez les provenances Royat et Sarthe.

9.22. — *Variances des caractères*

La variance de la précocité du débourrement (exprimée par la somme des notes des trois séries successives d'observations) est systématiquement plus forte chez les hybrides que chez les individus spécifiquement purs, à l'intérieur d'une même provenance. Cette règle ne s'applique pas pour le diamètre et la hauteur.

9.23. — *Liaisons des caractères*

La liaison inverse entre la précocité du débourrement et la taille des individus subsiste dans la population pure (Vaugoin excepté) ; elle disparaît généralement dans la population hybride.

Le coefficient de corrélation entre la hauteur et le diamètre est simplement légèrement plus faible chez les hybrides que chez les individus spécifiquement purs. L'hétérogénéité des liaisons entre les deux populations est essentiellement due à la variable débourrement.

9.3. — *Comparaison globale sur 2 caractères (diamètre et hauteur) : Analyse discriminante*

A l'intérieur de chaque provenance, nous avons pu séparer deux populations sur la base des différences morphologiques. L'analyse discriminante va nous permettre de dire si ces deux populations sont significativement différentes, globalement, pour la hauteur et le diamètre au collet. On est conduit à ne retenir que ces deux variables, car l'analyse discriminante suppose l'homogénéité des variances et des liaisons des caractères mesurés, dans les deux populations. Cette condition n'est vérifiée qu'en éliminant la variable débourrement.

On appelle fonction discriminante Y une combinaison linéaire des variables d'origine, les coefficients étant choisis de telle façon que le rapport

$$\frac{Y(A) - Y(B)}{\sqrt{\text{var}(Y_A - Y_B)}}$$

soit maximum, $Y(A)$ et $Y(B)$ représentant les valeurs prises par la fonction pour les populations A et B .

Dans le cas particulier, on a utilisé une méthode de calcul progressive et testant globalement la différence entre les deux populations par référence à leur distance généralisée. Pour plus ample information sur ces méthodes mathématiques, nous renvoyons le lecteur aux articles spécialisés indiqués dans la bibliographie.

L'analyse discriminante est efficace pour séparer les populations respectivement hybride et pure à l'intérieur de 3 provenances sur les 4 choisies pour cette étude : Royat, Les Barres et Sarthe.

L'Annexe 15 donne pour ces 3 provenances l'équation de la fonction discriminante finale Y , les valeurs prises par cette fonction dans les populations hybride (A) et pure (B), la distance généralisée D_i^* . Au cas particulier, ces distances sont toutes significatives au seuil de probabilité 1 %.

Ces résultats confirment ceux de l'analyse préliminaire et les complètent. Dans les provenances Royat, Les Barres et Sarthe, les populations hybride et pure diffèrent significativement lorsqu'on considère le diamètre seul, ou globalement le diamètre et la hauteur. Dans la discrimination, le diamètre joue un rôle plus important que la hauteur ; son coefficient dans la fonction discriminante finale est d'ailleurs plus fort.

10. — CONCLUSIONS

L'expérience dont nous venons d'analyser les résultats en pépinière a été conçue pour servir d'essai comparatif de sources de graines. Il en est résulté certaines difficultés lorsqu'il s'est agi d'aborder des problèmes différents, liés à l'existence de populations hybrides.

Malgré ces imperfections, cette expérience a fourni, dès la pépinière, des informations intéressantes sur les caractéristiques botaniques et le comportement des provenances. L'étude de quatre caractères morphologiques a conduit objectivement à distinguer quatre groupes de provenances, les deux premiers correspondant aux espèces pures, les deux derniers intéressant des provenances artificielles, comportant une proportion variable d'individus aux caractères intermédiaires entre *Abies nordmanniana* et *Abies cephalonica* d'une part, *A. nordmanniana* et *A. alba* d'autre part. Nous avons adopté les hybridations correspondantes comme hypothèses de travail. Cette façon de voir s'accorde avec les observations, mais en toute rigueur, l'identité des deux espèces incriminées dans la pollinisation n'est pas absolument certaine ; dans plusieurs cas en effet, il y avait, dans le voisinage immédiat des arbres-mères plusieurs espèces voisines de sapin du groupe circum-méditerranéen. Cette étude a mis expérimentalement en évidence les caractéristiques botaniques comparées des deux groupes de provenances pures appartenant respectivement à *Abies nordmanniana* et *A. bornmulleriana*. Notre échantillonnage de provenances naturelles était cependant insuffisant pour tenir compte d'une variabilité éventuelle des deux espèces.

Sur la base des résultats de croissance en pépinière, il serait prématuré de vouloir tirer des conclusions sans appel sur le meilleur choix des provenances pour le reboisement. On peut cependant remarquer que les jugements précoces, concernant le comportement au débourrement, risquent moins d'être modifiés dans l'avenir que ceux touchant à la rapidité de croissance. Par prudence, il nous semble sage, jusqu'à plus ample information, de déconseiller, en général, l'emploi des provenances artificielles d'*A. nordmanniana* très fortement hybridées et des provenances naturelles d'*A. bornmulleriana*, les unes comme les autres sont généralement plus précoces que les provenances pures naturelles ou artificielles d'*A. nordmanniana*.

Dans cette optique, on recommanderait provisoirement l'emploi des provenances Amance, La Jonchère Gare, Ambrolaorsky II et Caucase. Maringues, bien

que manifestant une croissance assez lente en pépinière, montre une excellente reprise à la plantation dans des conditions difficiles. Les provenances hybridées Saint-Victor et Sarthe, qui allient des précocités respectivement moyenne et accusée à une croissance très faible en pépinière, sont à éviter. Le jugement est plus délicat en ce qui concerne Les Barres et Royat. Ces deux provenances manifestent une croissance juvénile spectaculaire. Royat représente une source de graines importante ; l'exploitation en cours des jeunes sapins, supposés responsables de l'hybridation, permettra vraisemblablement d'ici quelques années de récolter des graines spécifiquement pures. Actuellement, cependant cette provenance est une des plus précoces. Bien que ce défaut soit moins prononcé pour Les Barres la provenance présente l'inconvénient de ne pas être une source de graines stable ; la présence de plusieurs espèces voisines de sapins méditerranéens, au voisinage immédiat des arbres mères, peut amener des changements dans la proportion et la nature des hybridations possibles d'une année sur l'autre, avec pour conséquence possible l'altération incontrôlée des qualités propres au sapin de Nordmann.

L'étude des liaisons entre caractères, aussi bien au niveau des moyennes des provenances, qu'au niveau individuel, a montré une certaine tendance de la tardiveté du débourrement à varier dans le même sens que la vigueur. Cette observation, si elle est vérifiée, établira la convergence, pour cette espèce, de ces deux objectifs de sélection majeurs.

Enfin, l'analyse discriminante appliquée à trois provenances hybridées sépare significativement les populations pure et hybride d'une même provenance sur la base des deux caractères hauteur et diamètre. Dans le cas particulier de Royat et Les Barres, la population hybride a une croissance plus rapide que la population pure. Cette première observation incline déjà à penser qu'un programme d'hybridation entre les espèces de sapin les plus intéressantes du groupe circum-méditerranéen pourrait parfaitement se justifier. En particulier, on peut espérer obtenir par cette méthode une variété synthétique de sapin débourrant plus tardivement et résistant mieux à la sécheresse que notre sapin pectiné, avec en plus des chances de bénéficier d'un effet d'hétérosis.

D'une façon plus réaliste, il convient d'abord d'apprendre à mieux connaître les populations naturelles. Le sapin de Nordmann promet d'être du plus haut intérêt en France pour relayer le sapin pectiné à plus basse altitude. *Abies bornmulleriana*, représenté dans cette expérience par des provenances en nombre insuffisant et très voisines, ne peut pas être condamné sans appel. Il est nécessaire d'envisager une expérience nouvelle, à partir d'un échantillonnage de provenances naturelles important et régulièrement réparti, en vue d'étudier sérieusement la variabilité de ces deux espèces de sapin dans le Caucase et la Chaîne Pontique.

REMERCIEMENTS

M. MILLIER, de la Station de Biométrie du C.N.R.F., nous a aidé de ses nombreux conseils et a dirigé l'exécution des calculs. Qu'il soit ici remercié de sa précieuse collaboration.

SUMMARY

Abies nordmanniana SPACH, *Abies bornmulleriana* MATTFELD
PRELIMINARY RESULTS OF A STUDY ON PROVENANCES
IN THE NURSERY STAGE :
TEST OF THE SPECIFIC PURITY OF FRENCH ARTIFICIAL PROVENANCES,
FLUSHING BEHAVIOUR AND EARLY GROWTH

This study presents the results of a comparative experiment devoted to *Abies nordmanniana* (6 provenances from the natural area of distribution and 10 french artificial provenances).

The analytical method, based on the characteristics of the fir needles and terminal bud, specifies objectively the botanical description of two pure species (*Abies nordmanniana* and *Abies bornmulleriana*). It shows the evidence of interspecific hybridizations in several french artificial provenances and permits estimating the corresponding amount of hybrids.

In practice, this study of the initial speed of growth and flushing behaviour permits to make a first selection of the best sources of seeds for re-forestation. Within the scope of the tested provenances, flushing of the species *Abies nordmanniana* takes place later than the close species *Abies bornmulleriana*.

Working with average data of provenances or with individual data within provenances, the speed of growth and late flushing are apparently linked.

In two french artificial provenances, the interspecific hybridization gives a significantly increased growth. Presumably, an hybridization plan involving the more valuable species of the circum-Mediterranean group, might lead to heterotic features.

ZUSAMMENFASSUNG

Abies nordmanniana SPACH, *Abies bornmulleriana* MATTFELD
ERSTE ERGEBNISSE EINER UNTERSUCHUNG VON PROVENIENZEN IM
PFLANZGARTEN : PRÜFUNG DER ARTENREINHEIT VON KÜNSTLICHEN
HERKUNFTEN AUS FRANKREICH ; SPÄTTREIBEN UND JUGENDWACHSTUM

In dieser Untersuchung werden die Baumschulergenergebnisse eines Vergleichsversuches von Provenienzen aus Nordmannstannen (6 aus natürlicher Herkunft und 10 aus französischer künstlicher Herkunft) vorgeführt.

Das Analysenverfahren, das auf Untersuchung der Nadel- und Gipfelknospenmerkmale beruht, erlaubt die botanische Beschreibung der zwei reinen Arten : *Abies nordmanniana* und *Abies bornmulleriana*, objektiv zu präzisieren. Auf diese Weise wird das Vorhandensein von interspezifischen Hybridisierungsphänomenen in einigen französischen künstlichen Provenienzen nachgewiesen und eine Abschätzung des entsprechenden Hybridenprozentsatzes möglich.

Die Untersuchung der Schnelligkeit des anfänglichen Wachstum und der Späte des Knospenaufbruchs führt praktisch zu einer provisorischen Selektion der besten Samenquellen für die Aufzucht. In den Grenzen der verwendeten Provenienzen zeigt die Art *Abies nordmanniana* einen späteren Knospenaufbruch als die verwandte Art *Abies bornmulleriana*.

Sowohl für das Mittel der Provenienzen als auch auf individueller Ebene, scheinen die Schnelligkeit des Wachstums und die Späte des Knospenaufbruchs voneinander abzuhängen.

Bei zwei französischen künstlichen Provenienzen äußert sich die interspezifische Hybridisierung durch einen bedeutsamen Zuwachs an Lebenskraft. Es ist daher anzunehmen dass, ein Hybridisierungsprogramm zwischen den interessantesten Tannenarten der circum-mediterranen Gruppe zu Heterosiserscheinungen führen würde.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON E., 1939. — Hybridization in american Tradescantias. *Ann. Mo. Bot. Gard.*, **23**, 511-525.
- CEBALLOS L., 1958. — Los Abetos del Mundo. *Montes*, **14**, 91-102.
- DEBAZAC E.F., 1964. — *Manuel des conifères*, 29-32, Louis Jean, Imprimeur, Gap.
- DEBAZAC E.F., 1965. — Observations sur le débourrement et la croissance en longueur de quelques espèces de sapin. *Rev. forest. fr.*, **2**, 120-130.
- KLAHN F.U., WINIESKI J.A., 1962. — Interspecific hybridization in the genus *Abies*. *Silvae Genet.*, **11**, 130-142.
- MERGEN F., BURLEY J., SIMPSON B.A., 1964. — Artificial hybridization in *Abies*. *Züchter*, **34**, 242-251.
- POURTET J., TURPIN P., 1954. — Catalogue des espèces cultivées dans l'Arboretum des Barres (Première partie : Gymnospermes). *Ann. Ec. nation. Eaux Forêts*, **9**, 98-105.
- TOMASSONE R., 1963. — Application des fonctions discriminantes à des problèmes biométriques. *Ann. Ec. nation. Eaux Forêts*, **20**, 583-617.
- TOMASSONE R., 1965. — Analyse discriminante progressive : cas de deux populations. *Ronéo. C.N.R.F., Stn. Biométrie*, 1-6.
- VAISSIÈRE (DE) J. et al., 1960. — Notes forestières sur l'Ouest de l'U.R.S.S. de Léninegrad à la Géorgie. *Rev. forest. fr.*, **6**, 382-407.
- VIGUIE L.-Th., GAUSSEN H., 1928. — Révision du genre *Abies*. *Trav. Lab. For. Toulouse*, **2**, 104-108, 121-124, 270-276, 297-305.
- WAGNER R., 1965. — Sélection progressive de variables utilisant la Statistique D^2 de Mahalanobis. *Ann. Amélior. Plantes*, **15**, 159-181.

ANNEXE I

Répartition géographique des provenances de l'expérience

Espèce	Provenance	Abré- viation	Pays d'origine	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Origine	Taille du peuplement
<i>Abies bornmulleriana</i> Mattf.	Baldiran	BALD	Turquie	41°30' N	33°30' E	2 100	Naturelle	1 ha
	Catak	CATK	Turquie	41°30' N	33°30' E	1 650	Naturelle	2 ha
	Kizilkize	KZLK	Turquie	41°30' N	33°30' E	1 750	Naturelle	2 ha
<i>Abies nordmanniana</i> Spach.	Caucase du Nord	CAUC	URSS (Caucase N)					
	Ambrolaorsky I	AMBR I	URSS (Géorgie)			700	Naturelle	
	Ambrolaorsky II	AMBR II	URSS (Géorgie)			1 500	Naturelle	
	Amance Annexe	AMAN	France (M.-et-M.)	48°47' N	6°18' E	240	Artificielle	< 100 arbres
	Maringues	MARN	France (P.-de-D.)	45°54' N	3°21' E	315	Artificielle	< 100 arbres
	La Jonchère Gare	LJOG	France (Hte-Vienne)	45°49' N	1°31' E	390	Artificielle	< 100 arbres
	La Jonchère	JONC	France (Hte-Vienne)	45°50' N	1°30' E	450	Artificielle	< 100 arbres
	Gerbéville	GERB	France (M.-et-M.)	48°30' N	6°30' E	270	Artificielle	< 100 arbres
	Vaugoin	VAUG	France (L.-et-C.)	47°37' N	1°42' E	130	Artificielle	1 ha
	Royat	ROYA	France (P.-de-D.)	45°46' N	3°02' E	800	Artificielle	0,5 ha
	Saint-Victor	SVIC	France (P.-de-D.)	45°56' N	3°37' E	650	Artificielle	< 100 arbres
	Les Barres	LBAR	France (Loiret)	47°50' N	2°45' E	150	Artificielle	< 150 arbres
	Sarthe	SART	France (Sarthe)	48°24' N	0°19' E	200	Artificielle	

ANNEXE 2

Système de notation

Caractère étudié	Condition d'observation (in situ)	Caractéristique	Note
— Aiguilles d'un rameau latéral du pseudoverticille supérieur :			
1. Disposition sur le rameau	A l'œil nu	Radiale	-1
		En brosse	0
		Subdistique	+1
2. Apex	Loupe × 12	Pointu, piquant, corné	-1
		Arrondi ou échancré ou bilobé	0
3. Stomates sur la face supérieure au voisinage de l'apex	Loupe × 12	Présence	-1
		Absence	0
— 4. Bourgeon terminal de la flèche	A l'œil nu	Présence d'efflorescences résineuses - couleur blanchâtre	-1
		Absence d'efflorescences résineuses - couleur brune	0

ANNEXE 3

Disposition et caractéristiques des aiguilles

Utilisation du système de notation

N°	Provenance	Notes		
		Disposition	Apex	Stomates
2	BALD	0	0	-1
3	SART	-1	-1	-1
4	ROYA	+1	0	0
5	AMBR II	0	0	0
6	<i>A. alba</i> (JOUX II)	+1	0	(-1)*
7	<i>A. cephalonica</i> (Grèce)	-1	-1	-1

* Assez rare en moyenne.

ANNEXE 3 (suite)

ANNEXE 4

Fréquences relatives des notes +1 et -1 pour les 4 caractères morphologiques analysés

BOURGEON TERMINAL

Fréquence zéro :

AMBR I, LJOG
MARN, GERB

APEX
DES AIGUILLES

Fréquence zéro :

CAUC, AMBR II
BALD, CATK, KZLK
AMAN, JONC, LJOG
MARN, ROYA

STOMATES A LA FACE
SUPÉRIEURE

ANNEXE 4 (suite)

DISPOSITION DES AIGUILLES

Fréquence Zéro :

CAUC, AMBR II
BALD, KZLK, CATK
SART, LJOG

Fréquence Zéro :

CAUC, AMBR I, AMBR II
BALD, KZLK, CATK
AMAN, JONC, LJOG
MARN, GERB, ROYA

ANNEXE 5

Répartition par provenance des principaux phénotypes représentés (en %)

Phénotypes	BALD	CATK	KZLK	CAUC	AMBR I	AMBR II	AMAN	JONC	LJOG	MARN	GERB	VAUG	ROYA	SVIC	LBAR	SART
0 0 0 0 ..	5,5			83,3	88,8	87,1	73,8	90,6	89,8	94,3	75,7	47,2	46,3	3,7	30,6	13,3
0 0 -1 0 ..	35,2	44,4	24,4	15,7	9,4	11,1	22,5	3,7	10,2	3,8	6,6	10,3	8,4	29,0	6,5	2,8
0 0 -1 -1 ..	59,3	46,7	74,5												1,8	1,8
+1 0 0 0 ..					0,9		1,8	3,8		1,8	15,9	27,4	9,3	1,8	0,9	
+1 0 -1 0 ..											0,9	8,4	26,9	2,8	0,9	
-1 -1 -1 0 ..														12,1	23,2	29,6
-1 -1 0 0 ..														1,8	6,4	12,1
-1 -1 -1 -1 ..														1,8	10,2	20,3
0 -1 -1 0 ..															2,8	8,3

Remarque : Les 9 principaux phénotypes retenus dans le tableau représentent 92,6 % des individus observés.

ANNEXE 6

Tableau schématique des caractères distinctifs au stade juvénile

Caractères	1	2	3	4	5	6
Aiguilles :						
1. Disposition	Brosse relevée	Subdistique	Subdistique	Brosse rabattue	Radiale	Radiale
2. Apex	Echancré	Echancré	Echancré	Echancré	Pointu	Pointu
3. Stomates à la face supérieure de l'apex	Présence constante en lignes visibles à l'œil nu	Présence assez rare	Présence assez rare	Présence très rare	Présence fréquente	Présence constante en lignes visibles à l'œil nu
4. Efflorescences résineuses sur le bourgeon terminal	Présence fréquente	Absence	Absence	Absence	Présence éventuelle	Présence constante (bourgeon empâté).

LÉGENDE

1 = *A. bornmulleriana*2 = *A. alba*3 = *A. nordmanniana* × *A. alba*4 = *A. nordmanniana*5 = *A. nordmanniana* × *A. cephalonica*6 = *A. cephalonica*

ANNEXE 7

Séparation graphique des groupes de provenances
(Disposition des aiguilles, stomates à la face supérieure)

Provenances pures

● *A. nordmanniana*

○ *A. bornmulleriana*

Provenances artificielles hybridées

△ *A. nordmanniana* × *A. alba*

□ *A. nordmanniana* × *A. cephalonica*

ANNEXE 8

Hauteur et diamètre au collet

Provenances pures

- *A. nordmanniana*
- *A. bornmulleriana*

Provenances artificielles hybridées

- △ *A. nordmanniana* × *A. alba*
- *A. nordmanniana* × *A. cephalonica*

ANNEXE 9

Etude du paramètre H/D

ANNEXE 10

Répartition des plants entre les différentes catégories définies par les normes (%)

Moyennes des pourcentages des plants classés dans les catégories US, US+A et Rebut

Provenance	Catégorie		
	US, %	US + A, %	Rebut, %
BALD	17,37	91,77	0,00
CATK	19,72	89,45	0,30
KZLK	20,52	87,54	0,30
CAUC	16,63	90,66	0,00
AMBR I	11,77	80,23	0,00
AMBR II	27,33	89,45	0,00
AMAN	35,66	94,32	1,20
JONC	39,55	89,45	0,30
LJOG	39,55	93,36	0,00
MARN	23,82	76,10	0,30
GERB	29,13	84,06	0,30
VAUG	33,78	84,06	0,00
ROYA	52,47	95,22	0,00
SVIC	13,75	71,71	1,20
LBAR	67,13	92,84	0,00
SART	10,51	77,79	1,20

ANNEXE 11

Tardiveté du débourrement (% des plants non débourrés)

ANNEXE 12

Tableau des coefficients de corrélation
au niveau des moyennes des provenances

1	2	3	4	5	6	7	8	
	-0,13	-0,12	-0,23	-0,25	-0,28	-0,19	0,25	1
		0,99**	0,23	0,24	-0,28	0,20	-0,25	2
			0,22	0,23	-0,32	0,17	-0,26	3
				0,94**	-0,63**	-0,03	-0,43	4
					-0,69**	0,12	-0,31	5
						-0,05	0,52*	6
							0,68**	7
								8

- 1 — Disposition des aiguilles : fréquence des notes + 1
 2 — Disposition des aiguilles : fréquence des notes - 1
 3 — Apex : fréquence des notes - 1
 4 — Stomates face supérieure de l'apex : fréquence des notes - 1
 5 — Bourgeon résineux : fréquence des notes - 1
 6 — Pourcentage de plants non débourrés exprimant la tardivité
 7 — Hauteur à l'arrachage
 8 — Diamètre au collet à l'arrachage

Transformé par arc sin $\sqrt{p}$

* Coefficient de corrélation significatif au seuil de probabilité 0,05 (r limite pour 14 ddl : 0,50).

** Coefficient de corrélation significatif au seuil de probabilité 0,01 (r limite pour 14 ddl : 0,61).

ANNEXE 13

*Tableau des coefficients de corrélation
au niveau individuel dans les provenances*

Provenances	Coefficients de corrélation		
	r_{8-7}	r_{9-7}	r_{9-8}
BALD	+0,58**	-0,13	-0,26**
CATK	+0,61**	-0,27**	-0,19
KZLK	+0,65**	-0,16	-0,29**
CAUC	+0,58**	-0,21*	-0,42**
AMBR I	+0,65**	-0,24*	-0,17
AMBR II	+0,47**	-0,05	+0,00
AMAN	+0,63**	-0,08	-0,14
JONC	+0,44**	+0,09	-0,33**
LJOG	+0,69**	-0,14	-0,40**
MARN	+0,75**	-0,06	-0,32**
GERB	+0,64**	-0,20*	-0,26**
VAUG	+0,72**	-0,27**	-0,15
ROYA	+0,65**	-0,04	-0,15
SVIC	+0,84**	-0,25**	-0,26**
LBAR	+0,76**	-0,08	-0,20*
SART	+0,62**	-0,24*	-0,18

r_{8-7} : Coefficient de corrélation entre le diamètre au collet (8) et la hauteur (7).

r_{9-7} : Coefficient de corrélation entre la somme des 3 notes de débourrement (9) exprimant la précocité, et la hauteur (7).

r_{9-8} : Coefficient de corrélation entre la somme des 3 notes de débourrement (9) exprimant la précocité, et le diamètre au collet (8).

Valeurs significatives du coefficient de corrélation pour 100 degrés de liberté :

au seuil 5 % : 0,20 *

au seuil 1 % : 0,25 **

ANNEXE 14

*Etude comparée des hybrides et des individus spécifiquement purs
à l'intérieur de 4 provenances*

Provenance	Nature	n	7	8	9	7/8	DDL	r_{8-7}	r_{9-7}	r_{9-8}
ROYA	H	48	22,25	9,85	10,21	2,26	45	0,59**	-0,05	-0,12
	P	60	19,13	8,62	9,35	2,22	57	0,73**	-0,36*	-0,50**
	t		4,30**	4,52**	2,57*					
VAUG	H	40	18,25	8,77	9,20	2,08	37	0,62**	-0,29	-0,15
	P	66	17,73	8,48	9,41	2,09	63	0,78**	-0,22	-0,05
	t		0,57	0,81	0,42					
LBAR	H	59	25,19	10,14	9,02	2,48	56	0,68**	-0,11	-0,29*
	P	49	22,37	8,69	8,96	2,57	46	0,77**	-0,48**	-0,10
	t		3,32**	3,87**	0,15					
SART	H	88	16,16	7,53	10,44	2,21	85	0,56**	-0,05	-0,00
	P	19	16,84	8,42	9,26	2,00	16	0,71**	-0,55*	-0,35
	t		0,84	3,04**	2,11*					

H = Individus hybridés,

P = Individus spécifiquement purs,

t = Rapport de la différence des moyennes « purs » et « hybrides » (en valeur absolue) à son écart-type. La différence est significative si $t > 1,96$ (seuil 5 %) ou $t > 2,58$ (seuil 1 %),

n = Nombre d'individus,

7 = Hauteur en cm,

8 = Diamètre en mm,

9 = Somme des 3 notes de débourrement,

7/8 = Rapport H en cm/D en mm,

DDL = Nombre de degrés de liberté,

r_{8-7} = Coefficient de corrélation entre 8 et 7,

r_{9-7} = Coefficient de corrélation entre 9 et 7,

r_{9-8} = Coefficient de corrélation entre 9 et 8.

ANNEXE 15

*Analyse discriminante sur 2 caractères (hauteur et diamètre)
des populations pure et hybride,
séparément dans 3 provenances artificielles hybridées*

Provenance	Fonction discriminante Y	$Y(A)$	$Y(B)$	D_2^2	F
ROYA	$0,4510 x_2 + 0,1249 x_1$	7,221	6,227	0,944	12,47**
LBAR	$0,2993 x_2 + 0,06123 x_1$	4,577	3,971	0,607	8,05**
SART	$-0,8630 x_2 + 0,1525 x_1$	-3,861	-4,698	0,837	6,48**

x_2 = Diamètre,

x_1 = Hauteur,

$Y(A)$ = Valeur de la fonction discriminante appliquée à la population A = hybride,

$Y(B)$ = Valeur de la fonction discriminante appliquée à la population B = pure,

D_2^2 = Distance généralisée entre les deux populations

$$D_2^2 = Y(A) - Y(B) = \text{var } Y_A = \text{var } Y_B$$

$$F = \frac{N_A N_B (N_A + N_B - 3)}{2(N_A + N_B) (N_A + N_B - 2)} D_2^2$$

statistique suivant une loi du F de Snedecor à 2 et $N_A + N_B - 3$ degrés de liberté, N_A et N_B désignant respectivement les effectifs des deux populations A et B .