CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA VARIABILITÉ INFRASPÉCIFIQUE d'*Abies grandis* LINDL.

CARACTÉRISTIQUES JUVÉNILES

J.-F. LACAZE, R. TOMASSONE

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

1 — ABIES GRANDIS, ESSENCE DE REBOISEMENT

Abies grandis LINDL. est une essence qui a la faveur des reboiseurs surtout depuis la fin de la deuxième guerre mondiale.

A — Historique

Depuis 1945, il est apparu que d'immenses surfaces de taillis, ou taillis sous futaie, ne présentaient plus guère d'intérêt économique et devaient être enrésinées. Pour cette opération en basse et moyenne altitudes, on utilise assez fréquemment *Abies grandis* qui supporte l'ombre latérale dans le jeune âge et qui n'a pas des exigences écologiques aussi strictes que les deux autres essences d'ombre classique : *Abies alba* et *Tsuga heterophylla*.

B — Comportement en France

Abies grandis a été installé dans des stations très différentes, et nous pouvons dégager dès maintenant quelques conclusions sur le comportement du matériel introduit avant 1940 (¹).

(¹) La production annuelle de plants d'*A. grandis* atteint approximativement 9 000 000 de plants, ce qui correspond à l'utilisation de 1 500 kg de graines et le reboisement de 3 000 ha (données minima).

En ce qui concerne *les sols*, il s'adapte à des conditions diverses. Cependant, on enregistre les meilleurs résultats sur sol profond, meuble, bien drainé mais bien approvisionné en eau. Lorsque le substratum est calcaire, il convient d'être prudent et de le réserver aux sols profonds, recevant une forte tranche d'eau annuelle. Il est à prohiber sur les sols mouilleux.

S'il prospère parfaitement bien sous climat humide, il peut se développer avec une pluviométrie relativement faible (700 mm), mais supporte mal les étés exceptionnellement secs (comme 1959) qui sont fréquemment suivis d'attaques cryptogamiques (Armillaire).

Il convient aussi de souligner le démarrage plus tardif (que chez *A. alba*) des bourgeons au printemps ce qui le met partiellement à l'abri des gelées tardives.

Enfin, la présence d'un abri (surtout latéral) se révèle généralement favorable pendant les premières années suivant la plantation; mais, il semble qu'un abri vertical soit presque toujours nuisible lorsqu'il est maintenu au-delà des cinq premières années. Dans certaines stations (climat humide et à gelées tardives peu fréquentes), la plantation en plein découvert est courante. Le caractère d'essence d'ombre serait donc moins accusé que pour le sapin pectiné.

Parmi toutes les espèces résineuses utilisables en Europe occidentale, le sapin de Vancouver serait, d'après les tables de production anglaises, l'espèce la plus productive en bonne station (près de 31 m³/ha/an à 50 ans en classe de fertilité I).

La valeur technologique des bois fournis par les reboisements français d'*Abies grandis* est encore peu connue. Toutefois, les premiers essais montrent qu'il s'agit d'un bois d'œuvre très médiocre (résistance mécanique insuffisante, cohésion transversale faible). Pour la production de pâtes (mécanique, au bisulfite et kraft), il convient parfaitement (longueur des fibres 3,05-5, couleur claire). Cependant, il s'agit d'un bois de faible densité (0,37 à 0,40), ce qui entraîne une certaine diminution des rendements en pâte.

Néanmoins, dans les stations où elle est particulièrement bien adaptée, cette essence, exploitée à courte révolution, est susceptible de jouer un rôle non négligeable pour l'approvisionnement de notre industrie papetière.

2 — AIRE NATURELLE D'ABIES GRANDIS (voir carte p. 319)

Dans son aire naturelle, c'est-à-dire dans le nord-ouest des USA et le sud de la Colombie britannique, cette espèce se développe dans des conditions écologiques très différentes entre 39° et 51° de latitude Nord et 114° à 125° de longitude Ouest.

Cette aire se divise en deux secteurs principaux : un secteur occidental côtier et un secteur intérieur (voir carte). Un auteur allemand, MULLER, se basant sur le

gradient des conditions écologiques, a distingué les cinq grandes races géographiques suivantes :

<i>secteur côtier</i>	{	1 : Ouest de la chaîne des Cascades.
	{	2 : Est de la chaîne des Cascades de l'Oregon et du Washington.
	{	3 : Hauts plateaux de l'Oregon (Blue Mountains)
<i>secteur continental</i>	{	4 : Ouest de la chaîne de Silkerk de Colombie britannique et de la chaîne de Bitterroot de l'Idaho.
	{	5 : Est de la chaîne de Bitterroot du Montana.

1 — *Ouest de la chaîne des Cascades*

Dans cette zone, *A. grandis* apparaît depuis l'est de l'Ile de Vancouver jusqu'au centre de la Californie. Il se cantonne généralement, surtout dans les zones basses, aux stations bien approvisionnées en eau. Rarement en peuplements purs, on le trouve mélangé à la plupart des grandes espèces de l'ouest américain : *Pseudotsuga menziesii*, *Tsuga heterophylla*, *Thuja plicata*, etc, voire *Sequoia sempervirens* au Sud.

Fréquent à basse altitude, il remonte jusqu'à 850 m dans les Cascades de l'état de Washington et 1 200 m dans celles de l'état de l'Oregon.

Les stations à *A. grandis* sont généralement très bien arrosées (plus de 1 m d'eau annuellement) avec cependant un minimum estival marqué.

2 — *Est de la chaîne des Cascades*

Cette région est caractérisée par un climat beaucoup plus sec (500 à 750 mm d'eau), avec des extrêmes de température plus marqués (-34°C à $+40^{\circ}\text{C}$). L'espèce s'étage entre 500 et 1 600 m d'altitude, en mélange avec *Pinus contorta* et *Pinus ponderosa*. Elle présenterait des aiguilles dressées et grises, très différentes des aiguilles vertes de la race 1.

3 — *Hauts plateaux de l'Oregon*

Le caractère continental du climat de cette région est encore plus marqué que pour la zone précédente : *A. grandis* y atteint 2 100 m d'altitude avec une tranche pluviométrique annuelle comprise entre 350 et 1 000 mm, et une saison de végétation parfois inférieure à 100 jours. Il vit en mélange avec *Pseudotsuga glauca* et *Pinus ponderosa*.

4 — *Ouest de la chaîne de Silkerk de Colombie britannique et de la chaîne de Bitterroot de l'Idaho*

Encore très continental, le climat de cette région est nettement plus humide (600 à 1 200 mm dont 200 pendant la saison de végétation). *Abies grandis* devient très abondant et forme des peuplements purs entre 1 450 et 1 750 m d'altitude, mais

peut se développer entre 600 et 1 200 m. Sur sol frais, il voisine avec *Thuya plicata*, *Tsuga heterophylla* et *Pseudotsuga glauca*. Sur sol plus sec, avec *Pinus contorta* et *Pinus ponderosa*. On le trouve également en mélange avec *Picea engelmanni* et *Larix occidentalis*.

5 — Est de la chaîne de Bitterroot du Montana

Dans cette région à climat sec (500 à 700 mm) et très continental, il occupe une place peu importante entre 1 100 et 1 600 m d'altitude en mélange avec *Larix occidentalis* et *Pinus contorta*.

En résumé, il existerait, d'après MULLER, une race côtière et océanique (1) et quatre races continentales, la plus importante de celles-ci étant la n° 4.

Il faut signaler enfin que dans la partie sud-ouest de son aire, *A. grandis* vient en contact avec *Abies lowiana* Murr. Les forestiers américains ne distinguent pas *A. lowiana* d'*Abies concolor* Gord. Glend. Lindl. ; *A. lowiana* correspond à l'aire occidentale d'*A. concolor*.

3 — BUT DE L'EXPÉRIMENTATION

En France, jusqu'à présent, le choix des sources de graines ne semble pas avoir préoccupé les utilisateurs d'*Abies grandis*. Jusqu'aux années 60, les graines importées d'Amérique provenaient presque exclusivement des zones côtières des états de Washington et d'Oregon et de l'île de Vancouver. Depuis quelques années, les marchands grainiers américains offrent le plus souvent des graines récoltées sur le versant ouest de la chaîne des Cascades à des altitudes relativement élevées.

Les peuplements correspondant à ces zones de récolte s'intègrent tous dans la race 1 décrite précédemment, et *a priori* ce choix semble judicieux pour les régions de reboisement françaises à climat océanique.

Néanmoins, le problème n'est pas résolu. En effet, on peut supposer qu'aux variations écologiques dans l'aire naturelle correspond une certaine variation génétique (pression de sélection naturelle), et celle-ci peut se manifester non seulement entre les races déjà décrites (sous réserve de vérification expérimentale), mais aussi à l'intérieur de chacune d'elles, en particulier dans le cas de la race 1 qui couvre des régions fort différentes (gradient latitude, altitude, etc.).

Un programme d'étude sur les provenances d'*Abies grandis* a donc été élaboré en 1960 en vue de répondre essentiellement aux quatre questions pratiques suivantes :

— quelles sources de graines faut-il utiliser dans la zone d'introduction actuelle de cette espèce pour obtenir le meilleur rendement, voire la meilleure qualité de bois ?

— est-il possible, en faisant appel à d'autres provenances, par exemple continentales, d'étendre la zone d'introduction, en particulier vers des régions à climat rude ?

— peut-on considérer les peuplements artificiels français sélectionnés comme porte-graines, comme de bonnes sources de graines ?

— enfin, est-il possible de mettre en évidence des caractères suffisamment stables permettant de différencier morphologiquement les différentes provenances ?

Il s'agit donc essentiellement d'une expérimentation à but pratique (informations aux reboiseurs). En effet, *A. grandis* présente apparemment des inconvénients trop accusés (concernant la qualité de son bois) pour justifier dans l'immédiat des recherches dépassant le stade de la sélection des provenances. Néanmoins, une expérimentation de ce type doit permettre également de fournir quelques éclaircissements sur le mode de variabilité de l'espèce (établissement de lois de variabilité).

Le présent article a pour but de faire le point sur les résultats acquis à l'issue de l'élevage en pépinière, c'est-à-dire trois ans après semis.

4 — DESCRIPTION DE L'EXPÉRIMENTATION

1 — *Echantillonnage des provenances*

Nous avons essayé de réunir un certain nombre de lots de graines avec le double souci suivant :

- obtenir une représentation des différentes races géographiques décrites par MULLER,
- représenter les principales sources de graines commercialisées.

Il n'a pas été possible d'atteindre pleinement le premier objectif. Sur le tableau 1 qui donne une description résumée des provenances étudiées, on remarquera que l'échantillonnage présente les défauts suivants :

— représentation faible ou nulle de certaines races (3 et 5) et absence de certains peuplements porte-graines français,

— à l'intérieur de la race 1, pourtant représentée par 14 provenances, on décèle des lacunes regrettables : zone côtière du nord-ouest de l'état de Washington (péninsule olympique) et chaîne côtière du nord de la Californie, et basse altitude des Cascades.

Néanmoins, quelques lots de graines arrivés après la date des premiers semis permettront de combler les lacunes les plus graves. Les difficultés de conservation sur plus de deux ans des graines d'*Abies* sont telles qu'il s'avère impossible d'attendre la réunion de collections complètes avant d'entreprendre l'expérimentation. Les lots supplémentaires feront l'objet d'expériences complémentaires comportant des provenances témoins incluses dans la première tranche expérimentale, objet du présent compte rendu.

On remarquera également la présence de quelques provenances d'*A. lowiana* et d'un lot d'*A. concolor* prélevées à proximité des limites de l'aire d'*A. grandis* ou correspondant à des peuplements porte-graines français.

Il faut signaler enfin que les renseignements fragmentaires concernant le milieu, portés sur le tableau 1, doivent être pris en considération avec prudence. Les stations météorologiques se situent le plus souvent dans des conditions fort différentes de celles régnant en forêt, même voisine.

Les défaillances de l'échantillonnage ne permettront vraisemblablement pas de déboucher sur une étude théorique absolument complète de la variabilité d'*A. grandis*; par contre, les principales sources de graines commercialisées étant représentées, nous pouvons espérer fournir des informations pratiques utiles aux reboiseurs.

2 — *Dispositifs et mesures en pépinière*

Semis au printemps 1962, les lots ont été repiqués en pépinière, près de Nancy, au printemps 1963, selon les dispositifs décrits sur le tableau 2.

Les trois premières expériences (1, 2, 3) furent installées dans la pépinière d'Amance caractérisée par un sol riche, mais très argileux, la quatrième (4) dans la pépinière de Velaine, moins argileuse et beaucoup moins riche.

On trouvera sur le tableau 3 la liste des mesures et observations effectuées au cours des années 1963 et 1964.

Les mesures de hauteur ont été effectuées avec des réglettes portant des classes de 2 cm, celles des diamètres au collet avec un calibre divisé en classes de 1 mm.

Les poids anhydres furent obtenus par séchage en étuve à 110° pendant 24 h, la précision des pesées allant au dg.

Les mesures de densité, effectuées par les spécialistes de la chaire de Technologie, seront décrites par ailleurs.

On a jugé le débourrement par deux mesures successives (les 21-22-4-64 et 16-5-64) en utilisant l'échelle de notation suivante :

- 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 sont horizontales.

Sous le vocable « allure de croissance », nous entendons l'étude du rythme de croissance de la pousse terminale. L'observateur a noté l'état des extrémités de cette pousse en fonction de l'échelle suivante :

- 10 — en croissance, première pousse ; pas de bourgeon visible à l'œil
- 11 — en croissance, existence d'un bourgeon vert à l'extrémité de la première pousse
- 12 — croissance arrêtée, existence d'un bourgeon brun à l'extrémité de la première pousse
- 20 — en croissance, deuxième pousse ; pas de bourgeon visible à l'œil
- 21 — en croissance, existence d'un bourgeon vert à l'extrémité de la deuxième pousse
- 22 — croissance arrêtée, existence d'un bourgeon brun à l'extrémité de la deuxième pousse.

En fait, les notes 10 et 11, 20 et 21 signifient que le plant continue à croître en hauteur. Ces observations ont été faites six fois, à 15 jours d'intervalle environ (les 16-6-64, 1-7-64, 15-7-64, 30-7-64, 16-8-64 et 31-8-64).

L'absence ou la présence de pousse d'août ont été vérifiées fin août 1963 et 1964, en utilisant l'échelle suivante :

- 0 — pas de pousse d'août
- 1 — pousse d'août sur des rameaux latéraux
- 2 — pousse d'août sur des rameaux latéraux et à partir du bourgeon terminal (ou à partir du bourgeon terminal seulement).

Les aiguilles, objet de mesures, ont été prélevées au milieu de la pousse terminale, l'apex et le sillon ayant été jugés avec les échelles suivantes :

<i>apex</i>	1 — pointu	<i>sillon</i>	0 — pas de sillon
	2 — assez pointu		1 — sillon sur 1/3 de la longueur de l'aiguille
	3 — arrondi		2 — » sur 2/3 »
	4 — échancré		3 — » sur toute »

La répartition en fonction des normes de qualités a été faite après mesure de hauteur et diamètre au collet, en utilisant les tableaux de normes établis par le Fonds Forestier National. Les mesures et observations choisies avaient donc pour but de comparer les différentes provenances en fonction de leur croissance, de certains caractères physiologiques liés au phénomène croissance, de caractères morphologiques des aiguilles, et enfin de critères commerciaux actuellement en vigueur sur le marché des plants forestiers.

TABLEAU 2
Dispositifs en pépinière

Numéro de l'expérience	Type de dispositif	Nombre de provenances	Nombre de répétitions	Nombre de plants par parcelle unitaire	Observations
<i>P 031-1</i>	lattice triple	25	3	240	Deux provenances supplémentaires non répétées.
<i>P 031-2</i>	lattice double	16	2	352	
<i>P 031-3</i>	»	16	2	352	
<i>P 031-4</i>	sans dispositif	24	0	100	Trois répétitions pour 5 provenances.

TABLEAU 3

Liste des mesures et observations effectuées au cours des années 1963 et 1964

Nature du caractère mesuré ou observé		Années	Nombre de plants de l'échantillon mesuré par parcelle unitaire et par expérience				Observations
			1p	2p	3p	4p	
Dimensions et poids	Nombre de branches du verticille supérieur	1963	100	—	—	—	sans les aiguilles pour 3p avec les aiguilles pour 1p
	Hauteur	1963	100	—	—	—	
		1964	100	100	100	100	
	Diamètre au collet	1964	—	—	20 (2 rép.)	—	
	Poids anhydre des racines	1964	20 (1 répétition)	—	40 (2 rép.)	—	
	» » des parties aériennes	1964	20 »	—	40 »	—	
	» » des branches	1964	20 »	—	40 »	—	
	» » des tiges	1964	20 »	—	40 »	—	
	Nombre de racines principales	1964	—	—	40 »	—	
	» » secondaires	1964	—	—	40 »	—	
Rythme de croissance	Densité	1964	20 (1 répétition)	—	—	—	
	Débourrement	1964	100	—	—	—	
	Allure de croissance	1964	100	20	20	—	
	Pousse août	1963	100	100	100	—	
		1964	100	100	100	100	
Aiguilles	Longueur	1963	20 (2 répétitions) 2 aiguilles/plant)	—	—	—	
		1964	10 (2 répétitions 4 aiguilles/plant)	—	—	—	
	Longueur de la face supérieure portant des stomates	1964	10 » »	—	—	—	
	Apex	1963	20 (2 répétitions 2 aiguilles/plant)	—	—	—	
	Sillon central	1963	20 » »	—	—	—	
	Nombre de lignes de stomates à la face inférieure	1963	20 » »	—	—	—	
Commercial	Normes de qualité	1964	56	—	20	—	

3 — *Poursuite de l'expérimentation sur le terrain*

Les plants produits ont permis de créer 6 dispositifs d'inégale importance et conçus pour un essai sur 30 ans, dans les stations suivantes, en 1964 et 1965 :

Plaine lorraine : Forêt domaniale d'Amance

Perche : Forêt domaniale de Tourouvre

Plateau de Millevaches : Forêt domaniale de Larfeuil

Segala du lot : Forêt domaniale de la Boule Blanche

Dévoluy : Série domaniale d'Aspres-sur-Buëch

Sologne : Forêt domaniale de Lamotte-Beuvron.

Ces plantations comparatives sont trop récentes pour être étudiées et seuls les résultats obtenus en pépinière seront abordés ci-après.

5 — RÉSULTATS — ÉTUDE DES CARACTÈRES PRIS ISOLÉMENT

5.1. — *Caractères de dimension : croissance*5.11. *Hauteur* (figure 1, pour les trois premières expériences ⁽¹⁾)

Les quatre expériences révèlent des différences notables, le classement entre les provenances étant toujours approximativement le même.

Un groupe de tête réunit toutes les provenances artificielles d'*A. grandis* sélectionnées en France, et les sources côtières de la race 1 de MULLER ; on remarque que la provenance Saint-Avit (artificielle) semble se distinguer par une croissance initiale très forte. Toutes les autres provenances, qu'il s'agisse de celles issues du versant ouest de la chaîne des Cascades (zone intérieure de la race 1 de MULLER) ou de régions plus continentales (races 2, 3 et 4), se retrouvent dans un même groupe nettement inférieur au premier (différence significative au seuil de 1 % dans l'expérience 1). Ainsi, les provenances des Cascades : Palmer et Chemult, se placent au dernier rang et se classent après la provenance continentale Sand Point II (race 4).

Les hauteurs des plants de 2 ans (1-1) et de 3 ans (1-2) sont très fortement liées (coefficient de corrélation au niveau provenance : 0,96**), ce qui semble indiquer qu'on puisse établir, un an après repiquage, le classement juvénile pour ce caractère.

L'allure de la variabilité de l'espèce *A. grandis* pour le caractère croissance en hauteur, obtenue dans les conditions de l'expérience décrite, ne coïncide pas avec celle décrite par MULLER.

En fait, dans la suite de cet exposé, nous serons amenés à distinguer fréquemment les provenances côtières et les provenances des Cascades, y compris celles du versant ouest de cette chaîne, bien que MULLER les ait groupées dans une seule race.

Il convient de souligner aussi le gain de précision dû à l'emploi du dispositif en lattices. L'efficacité du système en lattices confronté à celui des blocs complets peut s'exprimer par le rapport des carrés moyens de l'erreur obtenus à partir des

⁽¹⁾ Sur toutes les figures, les noms de code des provenances artificielles françaises sont précédés d'un point noir.

Figure 1

Figure 1

FIG. a. — A gauche, provenance des Cascades : Palmer, à croissance en hauteur nettement plus faible que Saint-Avit, provenance artificielle (peuplement sélectionné dans le Puy-de-Dôme). Age : 3 ans.

deux types d'analyse de variance. Ainsi, dans le cas de l'expérience 1 (3 répétitions), l'efficacité atteint 380 %, pour l'expérience 2 (2 répétitions) : 280 %. Chaque répétition complète couvrait 5 planches de pépinière de 20 m de long et 1 m de large. Chaque bloc du lattice, une seule planche. Il n'est pas douteux que ces « blocs complets », malgré l'homogénéité apparente, présentaient des différences de fertilité non négligeables. L'avantage considérable du système en lattices compense largement les inconvénients à savoir, d'une part un léger supplément de travail pour l'établissement du dispositif (répartition des provenances à l'intérieur des répétitions complètes) et d'autre part, la complexité des calculs pour l'analyse de variance (dans la mesure où l'on utilise des procédés de calcul modernes).

5.12. Diamètre au collet (fig. 2)

En pépinière, une seule analyse a été effectuée sur ce caractère, à partir de l'expérience 3 et sur un échantillon assez faible par provenance (20 plants, 10 par répétition). C'est probablement ce qui explique la faible précision des résultats, qui se traduit par un test F nul ($F = 2,27$). On remarquera toutefois que l'analyse portant sur les hauteurs des plants des mêmes échantillons révèle des différences plus accusées ($F = 9,84$ significatif au seuil de 1 %). On peut en déduire dès maintenant que le caractère hauteur de la partie aérienne discrimine mieux les provenances que le caractère diamètre au collet ; toutefois, étant donné le poids du diamètre dans l'expression du phénomène croissance, il serait peut-être dangereux de se référer au seul critère hauteur pour classer les provenances étudiées.

Figure 2

Diamètre au collet (mm)

Figure 3

Bien que dans le cas particulier, le test F indique qu'il n'existe pas de différences significatives entre les traitements, le test de Duncan, moins exigeant, révèle quelques différences significatives montrant la supériorité des provenances Saint-Avit et Les Barres.

Ces conclusions sont confirmées par l'analyse des mesures de hauteur et diamètre effectuées sur tous les plants avant installation d'une plantation comparative (La-motte-Beuvron), c'est-à-dire sur un échantillon pris au hasard de 360 plants par provenance. Les deux valeurs de F s'élèvent respectivement à 59,07 pour les hauteurs et 5,94 pour les diamètres. Il en résulte une différenciation beaucoup plus nette des provenances à partir des hauteurs (voir fig. 3).

5.13. Poids anhydre

C'est probablement par le poids anhydre que le résultat global de la croissance s'exprime le mieux. Il s'agit malheureusement d'un essai destructif, relativement long et coûteux et qui dans la pratique ne peut concerner que des échantillons de faible importance.

Dans l'expérience 3, les pesées ont porté sur les organes suivants : tiges, branches, racines (fig. 4).

Le classement en fonction des *poids de tiges* correspond sensiblement à celui déjà obtenu à partir des hauteurs. Il apparaît en effet un groupe de provenances côtières et un groupe réunissant les provenances continentales et celles des Cascades.

L'analyse des *poids de branches* latérales ne donne pas d'informations différentes sauf dans les cas suivants : la provenance Les Barres semble peu branchue alors que La Jonchère et Saint-Germain-Langot le seraient davantage. Ceci est confirmé par l'étude de la variable

$$\frac{\text{poids de tiges}}{\text{poids de branches}^{(1)}}$$

pour laquelle il existe des différences significatives ($F = 5,55$, significatif au seuil 1 %). Il conviendra de vérifier à l'avenir sur les plantations comparatives, si ce résultat précoce se maintient, ce qui reviendrait à pouvoir prédire dès le jeune âge certaines caractéristiques de forme.

Les mesures de poids de racines et de poids totaux n'indiquent plus de différences significatives entre provenances. Ce résultat est *a priori* surprenant. Considérons les différentes valeurs de F, obtenues dans l'analyse des caractères déjà cités mesurés sur l'échantillon de 20 plants par provenance :

- diamètre au collet : 2,27 non significatif
- hauteur : 9,84 significatif au seuil 1 %

(¹) On a comparé les moyennes de la variable $\frac{\text{poids de tige}}{\text{poids de branches}}$ ce qui permet de penser que l'hypothèse de normalité est respectée.

Figure 4

Figure 4
Poids anhydres (g)

Figure 4

Poids anhydre (g)

- poids anhydre des tiges : 5,06 significatif au seuil 1 %
- poids anhydre des branches latérales : 3,01 significatif au seuil 5 %
- poids anhydre des racines : 1,25 non significatif
- poids anhydre total : 2,50 non significatif.

Il apparaît que les données concernant la hauteur et le poids des parties aériennes discriminent les provenances, tandis que celles relatives au diamètre au collet et au poids des racines se révèlent inefficaces et il en résulte que, malgré un étagement assez important des moyennes des provenances (fourchette de 8,69 à 17,89 g), la mesure des poids anhydres totaux ne permet pas de mettre en évidence des différences significatives au sens statistique du terme et dans les conditions expérimentales décrites. En d'autres termes, on serait amené à conclure que les provenances d'*A. grandis* expérimentées qui apparemment présentent des différences incontestables pour le caractère hauteur, ne se distinguent plus pour leur production totale.

Nous proposerons plusieurs explications de ce résultat.

— En premier lieu, il est certain que le fait d'étudier le phénomène croissance sur un échantillon de deux fois 10 plants, réduit considérablement la précision des résultats lorsque l'on sait que chaque traitement correspond à une provenance composée d'individus génétiquement différents (variation individuelle). On note, en particulier pour le caractère hauteur, une valeur de $F = 26,53$ en étudiant un échantillon de deux fois 100 plants par provenance et de $F = 9,84$ pour un échantillon de deux fois 20 plants. Il est donc probable que la réponse négative du test F concernant la comparaison des moyennes de poids anhydres totaux soit due à la faiblesse numérique de l'échantillon (supposition confirmée par le fait que la valeur trouvée 2,50 n'est pas éloignée de celle correspondant au seuil 5 %). Il convient donc de souligner l'intérêt de faire porter mesures et observations sur des échantillons d'effectifs suffisamment grands pour obtenir une image non déformée de chaque population étudiée. Lorsque ce n'est plus possible, en particulier pour des raisons d'ordre matériel, il serait justifié de ne plus choisir les individus de l'échantillon au hasard, mais ceux qui se rapprochent le plus de la moyenne pour un caractère voisin et facilement mesurable (hauteur, débourrement, par exemple).

— Le résultat négatif, concernant les moyennes de poids anhydres de racines peut s'expliquer au moins partiellement de la même façon : une réduction supplémentaire de la précision pouvant être due à des mutilations incontrôlées de racines au moment de l'arrachage, particulièrement difficile en sol argileux.

Cependant, il est possible d'avancer une autre raison : l'étude de la variable

$$\frac{\text{poids des racines}}{\text{poids de la partie aérienne}}$$

montre qu'il existe pour ce critère des différences très significativement différentes de 0 ($F = 9,32$). Les valeurs moyennes de ce rapport s'étagent entre 0,95 et 1,75,

les provenances se répartissant en deux groupes identiques à ceux déjà décelés en étudiant les hauteurs et qui, dans l'expérience 3, sont d'égale importance (8 provenances). Les provenances côtières et artificielles à croissance forte comportent une proportion de matière sèche moins importante sous forme de racines (valeur moyenne du rapport compris entre 0,95 et 1,23) que les provenances continentales et des Cascades à croissance plus faible (rapport compris entre 1,37 et 1,75). Il en résulte que les écarts entre les valeurs moyennes des poids de racines sont plus faibles que les écarts entre les valeurs moyennes des poids de parties aériennes d'où l'absence de différences significatives pour les racines. Ce résultat permet aussi de déceler un caractère héréditaire important, probablement adaptatif : les provenances continentales et des Cascades, exposées à des conditions de milieu sévères développent un système racinaire proportionnellement plus important que les provenances côtières. Il conviendra de vérifier, sur les plantations comparatives installées en conditions ventées (Aspres-sur-Buëch, Millevaches) dans quelle mesure ce caractère juvénile se confirme à l'état adulte, en particulier par l'étude de la stabilité (fréquence de chablis) qui semble être un point faible de l'espèce, vraisemblablement représentée exclusivement en France par des provenances côtières.

5.14. *Nombre de branches du premier verticille*

Cette mesure est rattachée un peu arbitrairement à celle des caractéristiques de croissance. Elle a consisté à mesurer le nombre de branches latérales (expérience 1), du premier verticille. Elle traduit l'aptitude des plants à une organisation précoce.

L'analyse statistique effectuée sur la variable moyenne de $\sqrt{\text{nombre de branches du verticille}}$, révèle des différences très significatives ($F = 18,84^{**}$) et met en évidence les deux groupes déjà distingués par l'étude des hauteurs.

Chez les provenances cascadiennes ou continentales, ce verticille est moins bien organisé (0,25 à 1,6 branches en moyenne selon les provenances) que chez les provenances côtières ou artificielles (2,1 à 3,1 branches).

Le nombre de bourgeons des premiers verticilles et leur aptitude à se développer, constituent un indice de vigueur juvénile appréciable.

5.2 — *Rythme de croissance en hauteur*

Nous abordons dans ce paragraphe le débourrement, le phénomène pousse d'août et l'arrêt de croissance en hauteur, mesures et observations concernant des plants dans leur 3^e année de végétation.

5.21. *Débourrement* (expérience 1, fig. 5)

Les deux séries d'observations sont intervenues à 24 jours d'intervalle, la première alors qu'en moyenne 75 % des plants n'avaient pas dépassé le stade 2 (bourgeon terminal gonflé) et la deuxième au moment où en moyenne 95 % des bour-

Figure 5

Débourrement bourgeois terminal
(date de débourrement)

geons terminaux étaient débourrés. Cette deuxième observation est donc intervenue beaucoup trop tard.

L'analyse du phénomène a été effectuée à partir des moyennes de notes par provenance et sur la variable $\arcsin \sqrt{\text{pourcentage de plants débourrés}}$.

Les 21 et 22 avril 1964, l'une et l'autre méthode révèlent des différences très significatives entre provenances (seuil de 1 %) ($F = 24,69$ et $7,49$) et fournissent des informations à peu près semblables permettant de distinguer trois groupes principaux. Le plus tardif rassemble les deux lots d'*A. lowiana* (Prospect et Les Barres), puis le lot d'*A. concolor* artificiel Serandon, une provenance des Cascades (Lewis), une provenance continentale Clarkia et une provenance méridionale d'*A. grandis* (Chemult). Le groupe correspondant à une tardiveté moyenne comprend les provenances artificielles, les continentales côtières, les continentales (à l'Est des Cascades) et quelques provenances des Cascades (en général les plus méridionales : Leaburg I, Cascadia). Le groupe de provenances les plus précoces concerne tous les lots de l'Île de Vancouver et deux lots du nord des Cascades (Wind River et Snoqualmie).

Les observations du 16 mai 1964 confirment celles du 21-22 avril. L'analyse des moyennes des notes conduit à un test F significatif au seuil 1 % ($F = 9,53$) et un classement voisin de celui déjà présenté. On constate toutefois deux divergences : La Jonchère qui en avril semblait être la plus précoce des provenances artificielles, devient en mai la plus tardive. Il est possible de faire intervenir dans ce cas l'hypothèse d'un débourrement relativement précoce mais se réalisant plus lentement, ce qui signifie que les différents stades correspondant aux notes de l'échelle choisie, exigent des délais plus importants. Un raisonnement inverse s'applique à la provenance Chemult. L'analyse des pourcentages de plants débourrés ne fournit à cette date trop tardive aucune indication précise ($F = 1,66$).

La précocité du débourrement est un caractère juvénile qui revêt une importance pratique certaine. Beaucoup d'espèces résineuses utilisées en reboisement subissent des dégâts de gelée tardive, au cours des premières années suivant la plantation, avant que les flèches sortent des couches d'air froid qui s'accumulent au ras du sol (sur 1 à 2 m). Il est bien évident que ce sont les dégâts concernant le bourgeon terminal qui retiennent le plus l'attention des reboiseurs (destruction de flèche et arrêt de la croissance en hauteur). C'est ce qui explique le choix du seul bourgeon terminal pour l'étude du débourrement, mais pour une étude plus intensive du phénomène, il faudrait étendre les observations aux bourgeons latéraux.

Compte tenu des objectifs pratiques poursuivis, nous tenterons d'interpréter les résultats exposés précédemment, en abordant successivement les points suivants :

- choix entre les deux méthodes d'analyse (notation ou pourcentage de plants débourrés) ;
- importance pratique des décalages de date de débourrement observés ;
- loi de variabilité pour le caractère débourrement du bourgeon terminal.

A priori, la méthode basée sur les proportions de plants présentant à des dates données des bourgeons terminaux débourrés ou au repos, répond mieux aux préoccupations pratiques. Dès le stade 3, bourgeon éclaté, aiguilles apparentes, une

gelée tardive a des effets nocifs. Si le débourrement se présente comme un phénomène continu, le seuil de sensibilité aux basses températures printanières est, au contraire, ponctuel : il se situe entre les stades 2 et 3. Cependant, la précision de cette analyse se révèle inférieure à celle basée sur une échelle de notation. On pourrait remédier à cet inconvénient en multipliant les dates d'observations, en commençant dès les premiers symptômes de débourrement sur un faible nombre de sujets.

L'échelle de notation rend mieux compte du phénomène en tenant compte des différentes étapes de son évolution dans le temps. On remarque toutefois que les dernières notes 5 et 6 mesurent également la vigueur de la jeune pousse, ce qui peut entraîner une certaine confusion dans l'interprétation des résultats. De toute manière, pour l'expérience décrite, les deux méthodes ne fournissent pas des renseignements contradictoires. Les moyennes par provenance, obtenues par les deux types d'analyses, sont fortement liées pour l'observation du 21-22 avril (coefficient de corrélation $r = 0,87^{**}$) et celle du 16 mai ($r = 0,53^{**}$). Pour cette dernière date, on peut considérer qu'un grand nombre de plants reçoivent une note de vigueur après débourrement, d'où une liaison moins étroite.

Ce qui compte, pour le reboiseur, c'est l'importance du décalage entre les dates moyennes de débourrement des provenances. Une fois encore, on regrettera que la fréquence des observations ait été trop faible pour répondre précisément à cette question. On peut seulement estimer la date probable à laquelle chaque provenance a atteint en moyenne un stade donné de débourrement, par exemple 25 % des plants débourrés ou note moyenne égale à 3, puis calculer les décalages en jours entre ces dates. Un calcul simple montre que l'écart maximum entre la provenance la plus tardive et la plus précoce est de l'ordre d'une semaine.

Dans la pratique, une différence de cet ordre n'est pas négligeable, mais semble toutefois insuffisante pour justifier une sélection de provenances en fonction de ce seul critère sans tenir compte par exemple de la rapidité de croissance.

Il faut noter que la valeur absolue de cet écart ne peut pas être dissociée des conditions climatiques du printemps 1964 et en particulier du régime de température en avril et mai.

Si les applications de ces résultats semblent assez limitées, la variabilité du caractère précocité du débourrement fournit des informations précieuses pour l'étude de la variation génétique de l'espèce. Ce caractère discrimine les provenances étudiées selon un gradient qui apparemment n'est plus dans le sens ouest-est (longitude). Le problème a été abordé en calculant la régression partielle du débourrement en fonction des paramètres altitude et latitude qui donne les résultats ci-dessous :

Variable expliquée	Unité	Coefficient de régression		Coefficient de corrélation multiple (r^2)	Test de l'apport de l'altitude après latitude (test F)
		Altitude (m)	Latitude (radian)		
Débourrement	Moyenne des notes de débourrement	-0,01440 NS	346,4*	0,638**	1,696 NS

Figure 6

Figure 6

Figure 6

La précocité des provenances augmente donc avec la latitude et l'influence de l'altitude apparaît comme négligeable sous latitude égale.

Ce schéma de variation semble nouveau ; il ne figure pas dans l'étude de MULLER déjà citée.

L'interprétation de ce phénomène reste hypothétique. On peut supposer par exemple que les provenances méridionales exigent une quantité de chaleur plus importante pour débourrer que les provenances plus nordiques et ce seuil thermique serait atteint plus rapidement pour les secondes, à Amance. Il est par contre difficile d'expliquer l'influence négligeable de l'altitude, car pour beaucoup d'espèces, les provenances d'altitude transférées à basse altitude se révèlent précoces, ce qui n'est pas le cas ici.

5.22. Pousse d'août (fig. 6)

Le phénomène observé est celui rapporté par CHAMPAGNAT sous le nom « pousse de la Saint-Jean » comme étant les pousses « qui apparaissent sur les arbres qui, au cours de la belle saison présentent deux périodes de croissance séparées par une nette période de repos avec bourgeon terminal normalement recouvert d'écaïlles ».

Les observations effectuées en 1963 et 1964 sur des plants de 2 ans (1-1) des expériences 1, 2 et 3, révèlent l'existence de plants notés 0 (absence de pousse d'août) et 2 (pousse d'août sur rameaux latéraux et à partir du bourgeon terminal). La note 1 (pousse d'août sur rameaux latéraux seulement) discrimine moins bien les provenances (F souvent inférieur à la valeur du seuil de signification 5 %).

L'analyse des résultats obtenus en 1963 ne permet pas de distinguer des groupes nettement tranchés. Les provenances artificielles et les provenances côtières présentent des fréquences de plants avec pousses d'août notées 2, plus élevées (supérieures à 40 %) que celles des Cascades ou de la zone continentale. On note toutefois que certaines provenances continentales occupent dans le classement une place élevée (Sand Point, Clarkia) et que la provenance côtière de l'état d'Oregon, Jewell, comporte une proportion relativement élevée de plants sans pousse d'août.

En 1964, on obtient toujours des différences très significatives (au seuil de 1 %) mais pour toutes les provenances, la proportion moyenne de plants sans pousse d'août augmente plus ou moins, ce qui se traduit par des modifications du classement de 1963. Certains lots qui, en 1964, se situaient en tête pour la croissance, tels Jonchère ou Saint-Avit, semblent pénalisés.

En fait, les deux années en cause ont été caractérisées par des conditions météorologiques fort différentes ; on a enregistré en 1963 une chute de pluie bien répartie alors qu'en 1964 la saison de végétation a coïncidé avec un temps très chaud et très sec (chute de pluie négligeable du 1^{er} mai au 1^{er} août).

Tout se passe comme si l'expression du phénomène pousse d'août était partiellement inhibé par des conditions d'environnement défavorables (sécheresse), cette action inhibitrice étant particulièrement accusée pour des provenances de hauteur moyenne élevée.

La liaison entre les observations de 1963 et 1964 est un peu plus forte à partir des fréquences moyennes de plants notés 0 qu'à partir des fréquences de plants

notés 2 (pour l'expérience 2, on obtient respectivement, pour la note 0 : $r = 0,71^{**}$, et pour la note 2 : $r = 0,50^{*}$). En année sèche, la dormance du bourgeon terminal serait plus difficile à lever.

5.23. Arrêt de croissance en hauteur

L'échelle de notation utilisée devait permettre de repérer les arrêts de croissance en se référant à l'existence d'un bourgeon terminal brun recouvert d'écaïlles.

En fait, la fréquence des mesures (6 en trois mois, de juin à fin août) s'est révélée insuffisante pour calculer assez précisément pour chaque provenance, le nombre de jours moyen de croissance en hauteur des différentes provenances.

Quelques résultats méritent cependant d'être mis en relief :

— tout d'abord, une observation globale a montré qu'une proportion importante des plants avaient cessé leur croissance en hauteur avant le 24 juin 1964, ce qui infirme l'hypothèse faisant intervenir uniquement un mécanisme d'arrêt sous contrôle photopériodique ;

— par ailleurs, dans les trois expériences, l'analyse du caractère fréquence de plants dont la croissance en hauteur est arrêtée, montre qu'il existe des différences significatives entre provenances (au seuil de 1 %), les classements étant voisins dans les trois cas. Ainsi, le 1^{er} juillet 1964, on distingue deux groupes, d'une part les provenances continentales dont 70 % et plus des plants ont cessé leur croissance (première pousse), et d'autre part, les provenances côtières pour lesquelles cette proportion s'inscrit à quelques exceptions près dans la fourchette 50-60 % ; les autres plants (30 % dans le premier cas, 50 à 40 % dans le second) n'ayant pas terminé leur première pousse ou effectuant une deuxième pousse ;

— le 31 août 1964, la plupart des plants avaient pratiquement cessé leur croissance en hauteur. Cependant, certains sujets présentaient encore des bourgeons verts dépourvus d'écaïlles, la proportion étant approximativement la même dans toutes les provenances (de l'ordre de 10 %) ;

— enfin, les deuxièmes pousses affectant le bourgeon terminal étaient pratiquement toutes parties avant le 15 juillet d'où l'imperfection du terme pousse d'août appliqué à ce phénomène.

Il faut rappeler que ces observations, effectuées pendant l'été 1964 particulièrement sec, ne traduisent peut-être pas exactement l'aptitude réelle des différentes provenances à utiliser les mois d'été pour la croissance en hauteur (arrêt probablement prématuré pour les provenances ayant une longue période de croissance en hauteur). Les commentaires ci-dessus n'ont pas d'autre ambition que d'indiquer des tendances.

5.3 — Caractères morphologiques

Toute étude concentrée sur la variabilité infraspécifique d'une espèce doit laisser une part importante à celle des caractères morphologiques (tests variétaux). Pour les

essences de reboisement, cet aspect du problème revêt un certain intérêt, en particulier pour faciliter le contrôle de l'origine des plants en pépinière.

Dans le cas présent, nous avons choisi quatre caractères morphologiques macroscopiques des aiguilles :

— longueur occupée par des stomates sur la face supérieure, exprimée en millimètres

— forme de l'apex

— présence d'un sillon central sur la face supérieure

— nombre de lignes de stomates à la face supérieure.

A cette liste s'ajoute un caractère de dimension : la longueur des aiguilles.

Voici, présenté schématiquement, les données concernant quatre de ces caractères étudiés, pour les trois espèces *A. grandis*, *lowiana* et *concolor* (d'après DEBAZAC).

<i>Abies grandis</i>	<i>Abies lowiana</i>	<i>Abies concolor</i>
<i>Stomates sur la face supérieure</i>		
Quelques stomates vers l'apex, ou sans stomates	Bandelette médiane de stomates	Stomates sur toute la face supérieure
<i>Apex</i>		
Arrondi ou peu échancré	Arrondi, faiblement échancré	Pointu ou arrondi, faiblement échancré
<i>Sillon central face supérieure</i>		
Sillonné	Faiblement sillonné	Non sillonné
<i>Longueur des aiguilles</i>		
20 à 55 mm	Longues, jusqu'à 65 mm	Longues, jusqu'à 70 mm

5.31. Longueur occupée par des stomates sur la face supérieure

Le caractère a été étudié sur des aiguilles prélevées au milieu de la pousse terminale en 1963 et en 1964, sur toutes les provenances de l'expérience 1.

L'analyse a porté sur les longueurs moyennes occupées par des stomates (exprimées en pourcentage de la longueur totale d'aiguilles) et les fréquences d'aiguilles portant ou non des stomates à la face supérieure.

En fait, les aiguilles de toutes les provenances étudiées pouvaient comporter des stomates souvent réduites à quelques unités, disposées dans ce cas plutôt linéairement.

L'analyse de variance des moyennes de longueurs de face supérieure d'aiguilles, occupées par des stomates, permet de distinguer très significativement certaines provenances ; les résultats des deux années fournissent des informations très semblables (voir fig. 7) ($F = 40,92^{**}$ pour la mesure de 1963, $F = 130,24^{**}$ pour celle de 1964). Le lot artificiel Serandon s'individualise : 91 % de la face supérieure des aiguilles est couverte de stomates : il s'apparente logiquement à l'espèce *A. concolor*. Les aiguilles des lots Chemult, Les Barres (*lowiana*) et Prospect présentaient des stomates sur, en moyenne, 40 %, 35 % et 25 % (1963) et 33 %, 31 % et 25 % (1964)

Figure 7

de la longueur des aiguilles. Ensuite, pour les provenances Leaburg I, Lewis et Cascadia, les proportions correspondantes observées s'établissent à 22 %, 16 % et 9 % (1963); 10 %, 11 % et 9 % (1964). Pour toutes les autres provenances, la proportion tombe au-dessous de 5 % (différences non significatives).

On peut supposer qu'au-dessous d'une certaine latitude qui serait approximativement le 45^e parallèle, les aiguilles des *A. grandis* commencent à présenter des stomates sur une partie non négligeable de la face supérieure. En principe, les limites entre *Abies lowiana* (espèce non reconnue par les botanistes américains qui ne la distinguent pas d'*A. concolor*) et *A. grandis* se situeraient dans les Cascades, un peu au sud de 44° de latitude. En fait, on se trouve peut-être en face d'un cas d'introggression : les deux espèces se développent au contact l'une de l'autre d'où un échange de gènes. Remarquons que les lots Chemult, Cascadia nous furent livrés sous le nom d'*A. grandis*, et Prospect sous celui d'*A. concolor*. Est-il même logique de distinguer deux espèces ? La réponse ne pourrait être fournie qu'après une étude nouvelle faisant appel à un échantillonnage beaucoup plus dense entre les 40^e et 45^e parallèles.

Un cas mérite une attention particulière ; le lot de graines Lewis a été prélevé sur une importante livraison de graines fournies par le commerce aux environs de l'année 1960. Le Comté de Lewis, situé dans l'état de Washington, s'inscrit entre 46°20' et 46°45' de latitude. Tout porte à croire — nous verrons plus loin d'autres arguments en faveur de cette thèse — que l'origine exacte de ces graines est plus méridionale.

Variable expliquée	Coefficient de régression		Coefficient de corrélation multiple (r^2)	Test de l'apport de l'altitude après latitude (Test F)
	Altitude (m)	Latitude (radian)		
Longueur de stomates sur la face supérieure	0,1372 NS	-0,3540*	0,575**	1,181 NS

Ces diverses conclusions sont confirmées par l'étude de régression partielle longueur de stomates en fonction des paramètres altitude et latitude, en partant des seules provenances naturelles et en éliminant Lewis pour laquelle nous disposons de renseignements douteux.

Ces résultats font apparaître une forte liaison négative entre la variable expliquée et la latitude, alors que l'altitude ne semble jouer aucun rôle sous latitude constante.

Le caractère longueur de stomates sur la face supérieure des aiguilles tend donc à discriminer les provenances dans le même sens que la précocité du débourrement (nord-sud).

Ceci nous a conduit à essayer de calculer la position géographique théorique de la provenance Lewis par une étude de la régression progressive inverse latitude en fonction de débourrement et longueur de stomates : on aboutit à l'équation latitude (en radian) =

$$0,06366 + 0,000836 \text{ Débourrement} - 0,00006082 \text{ Longueur de stomates}$$

ce qui, dans le cas de Lewis, donne la latitude 45°05'. Cette provenance aurait donc été récoltée dans les Cascades de l'Oregon et non dans le Comté de Lewis qui appartient à l'état de Washington.

Appliquée aux différentes provenances artificielles, cette équation permet de localiser théoriquement l'origine de Saint-Germain-Langot, Pézanin, La Jonchère, Saint-Avit entre 46°30' et 47°40' de latitude, c'est-à-dire dans l'état de Washington, et non pas dans l'île de Vancouver. Cette hypothèse recevra d'autres confirmations ultérieurement (chapitre VI).

5.32. *Apex*

L'analyse à partir des pourcentages (par provenance) d'aiguilles présentant un apex pointu ($\arcsin \sqrt{\%}$), ne permet pas de conclure à des différences significatives ($F = 2,06$). On remarque toutefois que le lot Serandon se classe en tête, suivi de près par les *A. lowiana* ou certains *A. grandis* méridionaux (Les Barres lowiana, Cascadia, Prospect). A l'opposé, toutes les provenances continentales accusent des pourcentages très faibles.

5.33. *Présence d'un sillon central sur la face supérieure*

Il existe généralement un sillon sur la face supérieure, mais qui occupe une partie plus ou moins importante de la longueur de l'aiguille. La variable choisie, c'est-à-dire le pourcentage par provenance d'aiguilles présentant un sillon sur l'ensemble de l'aiguille (transformé en $\arcsin \sqrt{\%}$) ne discrimine pas les provenances au sens statistique du terme. Il apparaît seulement une tendance à savoir que le lot d'*A. concolor*, ainsi que certains lots d'*A. lowiana* (Les Barres) ou d'*A. grandis* méridionaux (Chemult) correspondent aux fréquences les plus faibles. Une provenance des Cascades (Palmer) se grouperait avec ces derniers.

5.34. *Nombres de lignes de stomates à la face inférieure*

Les moyennes par provenance diffèrent peu (5,70 à 6,25), sauf le lot Serandon qui s'écarte quelque peu de cette fourchette (5,50).

5.35. *Longueur des aiguilles (fig. 8)*

Les dimensions mesurées en 1963 et 1964 sont inférieures à celles indiquées par les botanistes. Etant donné la progression enregistrée entre 1963 et 1964, on peut conclure que les aiguilles des pousses terminales des jeunes plants ont une taille inférieure à la normale.

Dans les deux cas, il existe pour ce caractère des différences significatives entre les provenances ($F = 3,89$ et $3,35$), mais les classements obtenus ne concordent pas exactement. On peut supposer qu'en 1963, la proximité du repiquage est un élément de perturbation. En 1964, on note que le lot supposé d'*A. concolor* : Serandon, puis les provenances d'*A. lowiana* ou d'*A. grandis* méridionaux, portent des aiguilles plus longues, ce qui est conforme aux descriptions botaniques et confirme l'hypothèse d'une certaine introgression à la limite des espèces dans la chaîne des Cascades.

Figure 8

5.36. Liaison entre caractères morphologiques

Les caractères mesurés en 1963 se relient entre eux de la manière suivante :

le caractère abondance de stomates sur la face supérieure des aiguilles est lié à l'absence de sillon ($r = -0,48^*$) et la présence d'un apex pointu ($r = 0,52^*$). L'absence de sillon est liée à la longueur ($r = -0,49^*$).

Pour les mesures de 1964, il apparaît une liaison très forte ($r = 0,80^{**}$) entre longueur d'aiguille et abondance de stomates à la face supérieure, alors que cette liaison n'existe pas au niveau individuel dans chaque provenance (coefficient de corrélation significatif pour 3 provenances seulement sur 25).

Ces liaisons confirment la validité des descriptions des botanistes pour les trois espèces : *A. grandis*, *A. lowiana* et *A. concolor*. Il est également permis de supposer l'existence d'une zone de transition entre les aires d'*A. grandis* et *lowiana* avec des peuplements présentant des caractères intermédiaires.

6 — ESSAI DE CLASSEMENT GLOBAL TENANT COMPTE DE PLUSIEURS CARACTÈRES

Cette tentative a été faite en utilisant la méthode des composantes principales et en calculant des « distances » entre provenances.

Schématiquement, la méthode des composantes principales consiste à remplacer les caractères observés ou mesurés par de nouvelles variables présentant les caractéristiques suivantes :

— chaque composante est une expression linéaire des caractères initiaux ; les composantes sont non corrélées entre elles ;

— chaque composante contribue pour une certaine part à la variation totale, comme celle-ci est constante, seules les composantes à forte variabilité sont intéressantes à conserver.

Les « distances » entre provenances sont tout simplement les distances cartésiennes dans l'espace des composantes principales ⁽¹⁾.

6.1 — Expérience n° 3 (caractères de croissance)

L'analyse des composantes principales a été effectuée à partir des 8 caractères suivants :

- x_1 — fréquence de pousses d'août en année humide 1963
- x_2 — fréquence de pousses d'août en année sèche 1964
- x_3 — fréquence de plants ayant cessé leur croissance le 15-7-64
- x_4 — hauteur

(1) L'analyse des composantes principales ne modifie pas ces distances ; elles sont plus faciles à calculer dans ce nouvel espace, cf. DEBAZAC E.F. et TOMASSONE R., 1965.

x_5 — poids anhydre total

x_6 — poids anhydre des racines/poids anhydre des parties aériennes

x_7 — poids anhydre des tiges/poids anhydre des branches

x_8 — diamètre au collet.

Dans ce choix, on a recherché, dans toute la mesure du possible, des caractères discriminants et concernant le phénomène « croissance ». Le choix des rapports dans cette analyse est très contestable, cf. JEFFERS J.N.R. (1967) ; mais ici, ils ont une signification biologique, et, pour le statisticien, leur normalité a été vérifiée.

Les résultats sont portés sur le tableau 4 (analyse des composantes principales, vecteurs propres et valeurs propres).

TABLEAU 4

*Analyse des composantes principales : vecteurs propres
et valeurs propres (exp. 3)*

Variable principale		y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
Valeur propre	1	5,670	0,941	0,598	0,436	0,195
	%	70,9	11,9	7,5	5,5	2,4
	cumulé	70,9	82,8	90,3	95,8	98,2
Composantes						
x_1		0,362	0,069	0,446	0,242	-0,706
x_2		0,276	0,495	-0,718	0,115	-0,283
x_3		-0,328	0,267	0,395	0,837	0,239
x_4		0,406	-0,030	0,137	0,272	0,073
x_5		0,386	-0,338	-0,142	0,067	0,085
x_6		-0,394	0,059	-0,236	-0,172	-0,385
x_7		0,266	0,703	0,288	-0,329	0,353
x_8		0,377	-0,252	-0,322	0,099	0,276

Il apparaît que la première composante $y_1 = 0,362 \times$ pousse d'août 1963 + ... + $0,377 \times$ diamètre, absorbe 70,9 % de la variation. Dans cette composante, tous les caractères initiaux interviennent avec un poids à peu près équivalent (voir valeurs des vecteurs propres).

La deuxième composante y_2 absorbe 11,9 % de la variation et est dominée par les caractères pousse d'août 1964 et surtout le rapport :

$$\frac{\text{poids de tiges}}{\text{poids de branches}}$$

Les distances entre provenances ont été classées par ordre d'importance en partant de la plus petite (0,33) à celle de rang 35 (7,40). Les provenances ont ensuite été groupées par paliers successifs (de 1 à 35) selon la méthode exposée par DEBAZAC

et TOMASSONE. Une figure (9) en forme d'arbre généalogique, indique la disposition des différentes provenances les unes par rapport aux autres.

Cette figure (9) met en évidence deux groupes principaux, à savoir :

a) un groupe assez homogène rassemblant les provenances continentales et celles des Cascades,

b) un groupe moins compact, avec les provenances côtières et artificielles. Les deux provenances de l'île de Vancouver (Denman Island et Nanaïmo) sont très voisines l'une de l'autre, le lot d'*A. lowiana* des Barres tendant à s'en rapprocher (ce dernier point étant difficilement interprétable). Une deuxième branche de ce groupe,

Fig. 9.

groupe les deux provenances artificielles Saint-Avit et La Jonchère, la provenance la plus proche étant Jewell (côte de l'Oregon). Les deux autres provenances artificielles, Saint-Germain-Langot et surtout Les Barres, s'écartent des précédentes.

6.2 — *Expérience n° 1*

Pour cette analyse, 13 caractères ont été pris en considération :

- x_1 — hauteur 1963
- x_2 — hauteur 1964
- x_3 — fréquence de plants ayant cessé leur croissance en hauteur le 15-7-64
- x_4 — fréquence de pousses d'août en année humide 1963
- x_5 — fréquence de pousses d'août en année sèche 1964
- x_6 — nombre de branches du verticille 1962 ($\sqrt{\%}$)
- x_7 — fréquence de plants non débourrés le 21-4-64 ($\arcsin \sqrt{\%}$)
- x_8 — fréquence de plants non débourrés le 8-5-64 ($\arcsin \sqrt{\%}$)
- x_9 — longueur de stomates sur la face supérieure des aiguilles 1963
- x_{10} — longueur de stomates sur la face supérieure des aiguilles 1964
- x_{11} — fréquence de plants dont les aiguilles présentent des stomates sur la face supérieure
- x_{12} — poids anhydre parties aériennes
- x_{13} — poids anhydre racines.

Les caractères x_1 à x_8 , x_{12} et x_{13} expriment le phénomène croissance ; les caractères x_9 à x_{11} concernent la morphologie des aiguilles.

La méthode suivie est identique à celle adoptée pour l'expérience n° 3 et les résultats sont présentés sur le tableau 5.

On constate que pour la première composante y_1 qui absorbe 55,12 % de la variation, ce sont les caractères de croissance qui semblent avoir le poids le plus fort. La deuxième composante y_2 participe pour une part non négligeable de la variation (21,74 %). Elle est dominée par les caractères morphologiques et la mesure de débourrement de mai.

La troisième composante y_3 (9,66 % de la variation) comporte un facteur important : la mesure de débourrement d'avril.

Note : Cette méthode de classification non paramétrique est un simple outil d'investigation ; il faut utiliser ces résultats avec précautions : c'est un premier tri qui permet une classification valable pour les cas bien tranchés et met en évidence les cas litigieux. Des méthodes plus évoluées sont d'ailleurs en cours d'étude.

TABLEAU 5

Analyse des composantes principales : vecteurs propres
et valeurs propres (exp. 1)

Variable principale		y_1	y_2	y_3	y_4
Valeur propre	λ_1	7,165	2,826	1,256	0,605
	%	55,12	21,74	9,66	4,65
	cumulé	55,12	76,86	86,52	91,17
Composantes					
x_1		0,337	0,186	0,063	0,166
x_2		0,354	0,125	-0,046	0,096
x_3		-0,279	-0,233	0,358	0,308
x_4		0,347	0,022	0,071	0,168
x_5		0,306	0,179	-0,353	-0,170
x_6		0,338	0,056	0,043	0,245
x_7		-0,119	0,198	0,711	-0,140
x_8		-0,146	0,417	-0,063	0,699
x_9		-0,228	0,429	-0,095	-0,324
x_{10}		-0,224	0,442	-0,098	-0,220
x_{11}		-0,199	0,435	-0,037	0,180
x_{12}		0,303	0,203	0,291	-0,186
x_{13}		0,287	0,185	0,342	-0,136

L'arbre généalogique représenté sur la figure 10 montre un regroupement des provenances selon les bases suivantes :

a) *Existence de trois grands groupes : « le tronc » et deux branches*

La branche de gauche porte toutes les provenances côtières ou artificielles (sauf le lot de *lowiana* des Barres).

La branche de droite concerne les provenances des Cascades et continentales.

Sur le tronc, apparaissent une provenance très méridionale d'*Abies grandis* ainsi que les lots d'*A. lowiana* et d'*A. concolor*.

b) *Sur la branche de gauche* : les 5 lots de l'île de Vancouver se regroupent étroitement sauf Denman Island qui s'écarte très légèrement de North of Courtenay, Campbell River, Nanaïmo et Anderton Road.

Les lots artificiels Les Barres, Saint-Germain-Langot, La Jonchère, semblent s'apparenter à la provenance côtière à l'Oregon : Jewell, alors que les lots Pézanin et Saint-Avit se rapprocheraient de la provenance côtière du Washington : Pe-Ell.

c) *La branche de droite* montre un groupement serré de trois provenances cascadiennes méridionales ou supposées telles : Leaburg, Cascadia et Lewis. Les autres lots, qu'ils soient continentaux ou cascadiens, peuvent difficilement être distingués.

Fig. 10.

6.3. Conclusion — Hypothèse sur la variabilité d'*Abies grandis*

Les deux « arbres » présentés pour les expériences 1 et 3 diffèrent essentiellement, par l'existence pour l'expérience n° 1, d'un troisième groupe de provenances situé sur le tronc.

L'explication avancée est la suivante : pour l'expérience n° 1, on a fait intervenir des variables supplémentaires concernant la morphologie des aiguilles et le débourrement qui discriminent les provenances selon le gradient latitude, alors que les autres variables (croissance) assurent une bonne discrimination dans le sens est-ouest.

Schématiquement, et en fonction de l'échantillonnage de provenances retenu, il semble que nous puissions avancer les hypothèses suivantes :

— On peut discerner dans l'espèce *A. grandis* deux types de populations génétiquement différents d'après le critère croissance : l'une occupant les zones côtières, l'autre les Cascades et l'aire continentale. Contrairement à ce qui a été décrit pour le Douglas, cette limite génétique ne coïncide pas avec la ligne de crête des Cascades, mais se situerait plus à l'ouest, des peuplements du versant ouest de cette chaîne se rattachant au groupe continental. Ceci infirme les conclusions de MULLER puisque son écotype 1 perd ainsi son individualité alors que les autres écotypes qu'il avait décrit sont regroupés.

Malgré les apparences, il serait hasardeux de conclure à l'existence d'une variation discontinue, l'échantillonnage de provenances étant fort réduit pour la région comprise entre la zone côtière et le versant ouest des Cascades, où l'on trouverait peut-être des populations intermédiaires entre les deux types décrits.

— Nous avons quelques preuves de l'existence d'une variation génétique nord-sud, aussi bien dans la zone côtière que dans la zone continentale et Cascades. En particulier, une zone d'introgression entre les espèces *A. grandis* et *A. lowiana* entre le 43° et le 44° de latitude. Pour le caractère débourrement, ces variations semblent se présenter de façon clinale, alors que le caractère morphologique choisi (longueur de stomate à la face supérieure des aiguilles) indique une variation de type discontinu, sauf la zone d'introgression proprement dite.

— Génétiquement, les populations de l'île de Vancouver semblent particulièrement homogènes.

— Les premières introductions en France d'*A. grandis*, qui ont permis de juger l'intérêt de l'espèce pour les reboisements, se rattachent vraisemblablement aux populations côtières des états de Washington et d'Oregon. Ce qui explique la bonne réputation de croissance rapide et de tardiveté de cette essence, mais aussi la mauvaise réputation de son bois (faible densité).

Ces quelques conclusions montrent combien sont fragiles les jugements portés sur les essences de reboisement introduites lorsqu'il s'agit d'espèces génétiquement non homogènes. L'étude de leur variabilité dans les zones d'introduction constitue une étape indispensable avant d'envisager toute autre forme d'amélioration, et ce raisonnement s'applique à toutes les espèces actuellement utilisées en France, sauf peut-être le pin maritime pour lequel les études sur les provenances ont déjà été réalisées et exploitées.

7 — CONCLUSIONS PRATIQUES. CHOIX DE SOURCES DE GRAINES ET NORMES DE QUALITÉ DES PLANTS

7.1. — Choix de sources de graines pour les reboiseurs

Rappelons que l'objectif initial de cette expérimentation est de fournir aux reboiseurs des informations susceptibles de les guider dans le choix de leurs sources de graines.

Il serait prématuré de baser des conseils définitifs sur des résultats concernant un matériel aussi jeune. C'est pourquoi, les conclusions qui vont suivre seront présentées sous toutes réserves, en considérant que la croissance à 3 ans fournit une indication sur la production à l'âge adulte.

Nous avons la quasi-certitude que les introductions âgées d'*A. grandis* furent effectuées à partir de graines récoltées dans la zone côtière. Les reboiseurs désireux d'obtenir une production rapide et importante de bois de râperie devront par conséquent faire appel aux mêmes sources côtières, choisies si possible dans l'état de Washington ou dans le Nord de l'Oregon (provenances probablement plus tardives). Ils préféreront, dans la mesure du possible, les sources artificielles françaises sélectionnées (approvisionnement facile et risque d'erreur plus faible).

Sur les sources cascadiennes et continentales, il est difficile d'émettre dès maintenant un jugement de valeur. Leur croissance est vraisemblablement moins forte, mais la qualité du bois produit est encore inconnue (probablement meilleure)⁽¹⁾. Il faut considérer qu'il s'agit pratiquement d'une autre essence de reboisement dont nous ignorons et l'écologie d'introduction et l'intérêt économique; mais, il convient de souligner l'erreur qui consisterait à utiliser indistinctement l'une ou l'autre de ces deux grandes catégories d'*A. grandis* (côtière d'une part, cascade et conti-

Zone géographique	Provenance	US	A+US	B	Rebut	
Provenances artificielles et deux côtières	La Jonchère	100	100	0	0	plus de 80 % de plants US
	Les Barres (grandis)	98	98	0	2	
	Saint-Avit	98	98	0	2	
	Mesachie Lake	93	98	2	0	
	Les Barres (lowiana)	91	98	2	0	
	St-Germain-Langot	86	100	0	0	
	Pe-Ell	84	100	0	0	
Côtières et une provenance des Cascades (basse altitude)	Pézanin	82	98	0	2	de 55 à 80 % de plants US
	North of Courtenay	79	100	0	0	
	Anderton Road	75	98	2	0	
	Campbell River	75	93	4	4	
	Nanaïmo	73	100	0	0	
	Jewell	66	100	0	0	
	Denman Island	57	98	2	0	
Provenances des Cascades	Leaburg I	57	100	0	0	0 à 25 % de plants US
	Lewis	23	93	5	2	
	Sand Point I	23	95	5	0	
	Wind River	25	93	7	0	
	Clarkia	11	77	23	0	
	Palmer	7	79	20	2	
	Prospect	7	61	38	2	
	Cascadia	5	64	36	0	
	Snoqualmie Pass	4	80	20	0	
	Chemult	2	25	66	9	
	Fernwood	0	39	57	4	

(1) En effet, une étude menée parallèlement à celle-ci sur la densité du bois des jeunes arbres de cette expérimentation, révèle que les provenances du groupe cascade et intérieur produisent un bois notamment plus dense (caractère favorable) que les provenances côtières.

mentale d'autre part), ce qui est malheureusement le cas actuellement : le commerce des graines livre depuis quelques années d'importantes quantités de graines récoltées en altitude dans la chaîne des Cascades. Il n'est pas possible enfin de tirer la moindre conclusion concernant l'espèce voisine *A. lowiana*, très mal représentée dans cette étude.

7.2. — Application des normes de qualité à l'espèce *A. grandis* (pépinière)

Les conclusions dans ce domaine seront beaucoup plus affirmatives. Il est évident que la production que peut attendre un pépiniériste dépend notablement du choix des sources de graines.

Les mesures effectuées sur des échantillons de 56 plants par provenance permettent d'établir le classement suivant, en fonction des différentes normes US, A, B, Rebut, utilisées par les services du Fonds Forestier National.

On voit donc qu'en fonction du seul choix de la provenance, le pépiniériste peut obtenir soit 0 %, soit 100 % de plants US. Le niveau de fertilité d'Amance est particulièrement élevé. Dans une pépinière moins riche, les décalages de répartition entre les catégories se maintiendraient, avec des proportions plus faibles dans les catégories supérieures, en particulier des proportions de plants rebuts nettement plus élevées.

CONCLUSION

Malgré des lacunes importantes dans l'échantillonnage de provenances, et malgré l'état encore très juvénile du matériel étudié, il a paru intéressant de tirer un premier bilan de l'expérimentation engagée sur *A. grandis*, espèce dont la variabilité est encore inconnue.

Le résultat le plus marquant concerne la distinction de deux grandes unités génétiques qui mériteraient d'être traitées comme deux espèces de reboisement différentes.

Reçu pour publication en février 1968

SUMMARY

ELEMENTS OF A STUDY OF THE INTRASPECIFIC VARIABILITY OF *ABIES GRANDIS* LINDEL.

JUVENILE CHARACTERISTICS

A. grandis is now a fairly important species for reforestation in France.

The genetic variability of this species is almost unknown. Its natural range is very large and covers different regions with very different ecological conditions. MULLER has described five ecotypes, after studying the ecological variability.

An experimentation was started in 1963 in order to study, in five locations, the behaviour of different sources of seeds which can be bought for practical purposes. This paper gives the results obtained at the end of the nursery stage (3 years).

Seedlings were lined out in the nursery of Amance, near Nancy, according to lattices designs. The following characters were assessed : size et weight (height, collar diameter, dry weight of different organs), height growth rhythm and different morphological needles traits.

The statistical analysis of each character shows important differences between provenances for height growth. The amount of variability is more reduced for collar diameter and dry weight. The number of branches of the first whorl is also a discriminant character. This first result does not fit to the MULLER's pattern. We can distinguish two main groups, the first one grouping the coastal provenances and the artificial stands selected in France, the second one with continental and Cascades (East and West Slope) sources.

Those conclusions are corroborated by two other traits : frequency of lamma shoots and date of height growth break ; in the contrary, the flushing date shows a different variability pattern, following a North-South direction, the northern provenances being early flushing.

The more interesting morphological needle character seems to be the length of the upper face having stomata. The southern provenances of *A. grandis* tends to have more stomata like the neighbouring species *A. lowiana* ; it is suggested the existence of an introgression zone between those two species.

Using the principal components method, it has been tried to obtain a classification using several characters and to calculate distances between provenances. With the sample of provenances included in the experience, it appears again two main genetic groups : a coastal and a continental including the Cascades sources (variability West-East).

The conclusions concerning practical forestry are not yet definitive. To grow stands having the same characters than those created in France before the war, we must use Washington State coastal sources. Even belonging to the same botanical species, the Cascades sources (the only one available in big quantities now) looks like a new reforestation species not yet well known. Inferior for growth, the timber may be better (higher density).

ZUSAMMENFASSUNG

BEITRAG ZUM INFRASPEZIFISCHEN STUDIUM DER KÜSTENTANNE (*Abies grandis* LINDL.) : MERKMALE DES JUGENDSTADIUMS

Die Küstentanne hat seit einigen Jahren bei Aufforstungen eine bestimmte Bedeutung erlangt und ihr Holz ist als Faserholz geschätzt.

Die genetische Variabilität dieser Holzart ist nahezu unbekannt. Das sehr ausgedehnte natürliche Verbreitungsgebiet dieser Holzart weist äusserst verschiedenartige Umweltsbedingungen auf. MULLER, ein deutscher Autor, hat fünf verschiedene Standortstrassen beschrieben, denen diese ökologischen Unterschiede zu Grunde liegen.

Die von der « Station d'Amélioration des Arbres Forestiers » (Abteilung für Forstpflanzenzüchtung) unternommenen Versuche haben zum Ziele, das Verhalten der wesentlichen kommerziellen, autochthonen oder künstlichen Samenherkünfte auf fünf verschiedenen Standorten in Frankreich zu untersuchen. Die vorliegende Arbeit betrifft die Untersuchungsergebnisse an dreijährigen Pflanzen im Pflanzgarten von Amance in der Nähe von Nancy, kurz vor deren Auspflanzung in den fünf Versuchsanlagen.

Die Sämlinge wurden im Pflanzgarten nach dem Schema einer Gitteranlage verschult. Die Messungen und Beobachtungen betreffen : Höhe, Durchmesser am Wurzelhals, Trockengewicht der verschiedenen Organe, Wachstumsrhythmus und morphologische Nadelmerkmale.

Die statistische Analyse die für jedes einzelne Merkmal durchgeführt wurde erbrachte wesentliche Unterschiede im Höhenwachstum zwischen den Provenienzen und etwas geringere Unterschiede der Durchmesser am Wurzelhals und der Trockengewichte. Die Anzahl der Zweige des ersten Astquirls ist ein weiteres Unterscheidungsmerkmal.

Es zeigte sich bereits im Jugendstadium, dass das Schema von MULLER nicht entspricht. Man kann zwei Gruppen unterscheiden ; die erste Gruppe umfasst die Küstenprovenienzen und die in Frankreich ausgewählten künstlichen Herkünfte, die zweite Gruppe wird von den kontinentalen Provenienzen und den Herkünften aus den Cascade Mountains (Ost- und Westabfall) gebildet.

Die Häufigkeit der Johannistriebbildung und das Datum der Beendigung des Höhenwachstums, unterscheiden in gleicher Weise die verschiedenen Herkünfte, während die Beobachtung des Austriebtermines einen von Norden nach Süden verschiedenen Variabilitätsgradienten aufscheinen lässt wobei die Provenienzen aus dem Norden frühzeitiger austreiben.

Unter den verschiedenen morphologischen Merkmalen der Nadeln erlaubt vor allem die Länge der von Spaltöffnungen bedeckten Zone an der Nadeloberseite eine Unterscheidung zwischen *A. grandis* und der sehr nahestehenden *Abies lowiana* MURRAY. Die meridionalen Provenienzen von *A. grandis* scheinen bezüglich dieses Merkmals der *A. lowiana* sehr ähnlich, und man kann das Bestehen einer Überschneidungszone an der gemeinsamen Verbreitungsgrenze dieser beiden Arten annehmen.

Ein globaler Klassifizierungsversuch für mehrere Merkmale (Methode der Prinzipalkomponentenanalyse) erlaubt die Berechnung der globalen Abstände zwischen den Provenienzen und die graphische Darstellung der infraspezifischen Variabilität. Unter Berücksichtigung der zur Verfügung gestandenen Provenienzen und deren Verteilung im natürlichen Verbreitungsgebiet, konnten zwei genetisch verschiedene Gruppen festgestellt werden. Eine Küstengruppe — die künstlichen Herkünfte mitinbegriffen — und eine zweite Gruppe, welche die Herkünfte aus den Cascade Mountains und der kontinentalen Zone (Ost-West Gradient) umfasst. Bei den Küstenprovenienzen und jenen aus den Cascade Mountains besteht eine Nord-Süd Variation (Austriebstermin, Spaltöffnungen an der Nadeloberseite).

Die Ratschläge für die Praxis tragen dem geringen Alter des Versuches Rechnung und werden daher mit grosser Vorsicht vorgebracht. Für Aufforstungen welche den ersten, nach Frankreich eingeführten Herkünften entsprechen sollen, müssten Küstenprovenienzen aus dem Staate Washington oder ausgewählte künstliche Herkünfte verwendet werden. Provenienzen aus den Hochlagen der Cascade Mountains, (diese sind die Einzigen, die man ohne Schwierigkeiten im Handel erhalten kann) oder jene aus dem Inneren des Verbreitungsgebietes stellen unserer Ansicht nach eine andersgeartete Aufforstungsholzart dar, deren Merkmale noch wenig bekannt sind. Diese Provenienzen scheinen ein geringeres Wachstum, jedoch günstigere holztechnologische Eigenschaften aufzuweisen als die klassischen Küstenherkünfte von *A. grandis*.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRADLEY M.A., CHRISTIE J.M., JOHNSTON M.A. 1966. Forest Management Tables. *Forestry Commission Booklet*, 16.
- BOUVAREL P., 1957. Génétique forestière et amélioration des arbres forestiers (2^e partie). *Bull. Soc. bot. Fr.*, **104**, 7-8, 552-586.
- BOUVAREL P., 1961. Observations sur la date d'aoûtement de quelques provenances françaises d'épicéa. *Ann. Ec. nation. Eaux Forêts et Stn. Rech. Exper. forest.*, **18**, 1.
- CHAMPAGNAT P., 1954. Recherches sur « les rameaux anticipés » des végétaux ligneux. *Rev. Cytol. Biol. vég.*, **15**, 1.
- COCHRAN W.G., COX G.M., 1964. Experimental Designs, 611 pp., 2^e édition. New York.
- 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 sapins. *Rev. forest. fr.*, **3**, 183-190.
- MULLER K.M. *Abies grandis* und ihre Klimarassen. Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft, 54-124, 1935, 82-123, 1936.
- JEFFERS J.N.R., 1967. Analyse multivariate des essais de descendance et de provenance. Communication Section 22 IUFRO, Munich, traduction *Stn. Biométrie C.N.R.F.*
- NANSON A., 1965. Contribution à l'étude de la valeur des tests précoces. I - Expérience internationale sur l'origine des graines d'épicéa, 1938. *Trav. Stn. Rech. Eaux Forêts de Groenendaal, Série E*, n° 1, 60 p.
- PARDÉ J., 1960. Contribution à l'étude de la productivité des reboisements de la région du plateau de Millevaches. *Rev. forest. fr.*, n° 8-9, 557-571.
- PARDÉ J., PRAX J.L., 1964. Les résineux dans le nord-ouest de l'Hérault. *Rev. forest. fr.*, n° 4, 286-301.
- POURTET J., 1945. Itinéraire forestier en Amérique du Nord. *Ann. Ec. nation. Eaux Forêts*, **11**, 2.
- POURTET J., 1964. *Les repeuplements artificiels*, 3^e éd. Ec. nat. Eaux Forêts, Nancy.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 1965. Silvics of Forest Trees of the United States. *Agriculture Handbook*, n° 271.

Nom de la provenance	Code	Pays	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Race géographique (d'après Muller)	Code	Pluviométrie (mm)		Température			Observations
								Annuelle	Pendant la saison de végétation	Minimum	Maximum	Moyenne	
CAMPBELL RIVER	CA-RV	Canada (Ile de Vancouver)	50°	125°15'	200	1	CA-RV NCOU	1 400 1 400	340 330	-15° -17°	34° 38°	9° 10°	Récolte effectuée par la Station d'Humlebaek (Danemark) sur un peuplement situé à 6 km au nord de Courtenay, entre Island Highway et Headquarters Road, au nord-ouest de Bridges Road. Récolte effectuée par la Station d'Humlebaek (Danemark).
NORTH OF COURTENAY	NCOU	"	49°50'	125°	60	1							
ANDERTON ROAD	ANDE	"	49°50'	125°	30	1							Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
DENMAN ISLAND	DE-IS	"	49°45'	124°50'	50	1							
NANAIMO	NANA	"	49°10'	124°	0 à 200	1							Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
MESACHIE LAKE	ME-LA	"	48°49'	124°08'	180	1	ANDE	1 400					
SNOQUALMIE PASS	SNOQ	USA (Etat de Washington)	47°25'	121°30'	750 à 900	1							Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
PE-ELL	PE-EL	"	46°45'	123°15'	100	1	DE-IS	1 400					
LEWIS	LEWS	"	45°45'	121°30'	750 à 900	1	NANA	950	220	-17°	38°	10°	Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
WIND RIVER	WI-RV	"	45°45'	121°30'	750 à 900	2	ME-LA						
JEWELL	JEWE	USA (Etat de l'Oregon)	45°50'	123°25'	200	1							Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
PALMER	PALM	"	45°35'	122°15'	900 à 1 050	1	SNOQ	2 400	520		39°	5°5	
CASCADIA	CASC	"	44°25'	122°40'	900 à 1 050	1							Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
LEABURG I	LEAB I	"	43°45'	123°	150 à 300	1	PE-EL	1 125	275	-27°	40°	10°	
LEABURG II	LEAB II	"	43°45'	123°	230	1	LEWS						Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
CHEMULT	CHEM	"	43°05'	122°05'	1 500	2							
MILTON FREEWATER	MI-FR	"	45°55'	117°05'	300	3							Zone de récolte fréquemment commercialisée. Lot envoyé par le Service Forestier de Colombie Britannique. Versant ouest de la Chaîne des Cascades. Zone de récolte fréquemment commercialisée.
SAND POINT I	SAND I	USA (Etat de l'Idaho)	48°18'12"	116°17'50"	960	4	WI-RV	2 200					
SAND POINT II	SAND II	"	48°18'24"	116°18'14"	960	4	JEWE	1 750	350	-20°	40°	10°	Zone côtière. Versant ouest de la Chaîne des Cascades.
SAND POINT III	SAND III	"	48°18'	116°19'	900	4	PALM						
CLARKIA	CLAR	"	47°07'	116°08'	960	4	LEAB I	1 500	350			10°5	Versant ouest de la Chaîne des Cascades.
FERNWOOD	FERN	"	47°17'	116°25'	850	4	LEAB II	1 500	350			10°5	
SAINT-GERMAIN-LANGOT	SG-LA	France (Calvados)				Artificiel	CHEM	1 350	300				Blue Mountains.
LES BARRES	LBAR-G	France (Loiret)	47°50'	2°45' E	150	Artificiel	MI-FR						
PEZANIN	PEZA	France (Saône-et-Loire)	46°21'	4°32' E		Artificiel	SAND I	720	132	-47°	40°		Source de graines commercialisées. Sol brun sur argile à silex. Source assez répandue dans les reboisements.
LA JONCHÈRE	JONC	France (Haute-Vienne)	45°50'	1°30' E	450	Artificiel	SAND II	720	132	-47°	40°		
SAINT-AVIT I	SAVT I	France (Puy-de-Dôme)	45°51'	2°31' E	740	Artificiel	SAND III	720	132	-47°	40°		Source de graines commercialisées. Sol brun sur argile à silex. Source assez répandue dans les reboisements.
PROSPECT (A. lowiana)	PROS	USA (Etat de l'Oregon)	42°45'	122°30'	1 350 à 1 500		CLAR	792	155	-32°	42°		
LES BARRES (A. lowiana)	LBAR-L	France (Loiret)	47°50'	2°45' E	150	Artificiel	FERN	629	119	-32°	41°		A. lowiana. A. lowiana. A. concolor.
SERANDON (A. concolor)	SERA	France (Corrèze)	45°28'	2°22' E	550	Artificiel	SG-LA						
							LBAR-G	673		-32°			
							PEZA						
							JONC	1 000					
							PROS	975					
							LBAR-L	673					
							SERA						