

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 148 (1997)
Heft: 2

Artikel: Provenances vaudoises d'épicéa : bilan de 30 ans de tests comparatifs
Autor: Fouvy, Patrik / Jeantet, Gaston
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-765445>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Provenances vaudoises d'épicéa: Bilan de 30 ans de tests comparatifs

Par Patrik Fouvy et Gaston Jeantet

Keywords: *Picea abies*; provenance trial plantation; juvenile-mature relationship; wood quality; wood density.

FDK: 174.7 Picea: 232: 568: (494.45)

1. Introduction

Les essais comparatifs d'épicéa vaudois ont trente ans et sont probablement les plus anciens de Suisse. En 1965, l'ensemble du corps forestier vaudois établit un cadastre des peuplements semenciers conforme aux directives de l'époque. Le cadastre comprend une centaine de peuplements semenciers, répartis entre les Alpes, le Plateau et le Jura. L'année suivante, une fructification exceptionnelle permet de récolter de grandes quantités de graines d'épicéa sur 37 peuplements du Plateau, 37 peuplements du Jura et 12 des Alpes. En 1967, Monsieur René Badan, alors adjoint au Chef du Service cantonal des forêts à Lausanne, décide de tester la descendance issue des peuplements récoltés: les premiers essais comparatifs étaient nés.

Pourquoi avoir choisi l'épicéa plutôt qu'une autre essence? L'épicéa est l'essence principale des forêts vaudoises, dont elle représente 40 % des tiges et 48% du volume. Elle est aussi l'essence «phare» des plantations: dans les années 60, on en introduisit dans les forêts environ 1,2 millions chaque année soit 85% des plants. Les feuillus ne représentaient alors que 3%, les 12% restants étant constitués par le douglas, le mélèze, le sapin blanc et quelques pins divers. Le bois produit, très utilisé et apprécié, trouve de nombreux débouchés.

Il en va différemment aujourd'hui : on ne plante annuellement plus que 200000 plants d'épicéa dans tout le Canton (6 fois moins), ce qui représentent 40% des plantations. Toutefois, même si on plante beaucoup moins d'épicéa, la surface boisée reste importante car la densité des plantations a fortement diminué.

L'étude des provenances a pour objectif d'assurer dans toutes les régions la production d'un matériel végétal capable de produire des peuplements les mieux adaptés et les plus productifs possible. Jusqu'aux années 60, le forestier vaudois a très souvent utilisé les plants issus de graines provenant des environs mêmes de la plantation d'où probablement un effet négatif dû à une forte consanguinité.

Actuellement, on ne sélectionne plus les provenances exclusivement sur la quantité de bois produite, mais surtout sur des critères de qualité technologique (densité du bois, sinuosité du fût, etc.) et sur des caractères phénotypiques et sylvicoles : débourrement, aoûtement, pousse d'août, grosseur des branches.

L'étude présente montre d'une part, qu'il y a une forte corrélation entre les résultats obtenus au stade juvénile et ceux obtenus à 30 ans et d'autre part, que les gains génétiques et phénotypiques sont de plus en plus importants.

1.1 Historique des essais

Au printemps 1967, un échantillonnage de graines de 74 provenances est semé à la pépinière de Genolier, avec une densité des semis fixée en fonction de la faculté germinative. Le poids unitaire des graines est calculé par comptage et pesage de 300 graines non triées. Au printemps 1969, la hauteur des brins d'épicéa de 2 ans est mesurée. Quarante à cinquante pourcent des brins les plus petits sont éliminés, les semis restants étant repiqués selon un dispositif de 3 à 6 répétitions.

Au printemps 1971, les plants des 37 provenances du Plateau, alors âgés de 4 ans, sont plantés selon le même dispositif de 3 à 6 répétitions au bois de Boulex près de Payerne à 480 mètres d'altitude. Cet essai occupe une surface homogène en légère pente exposée au nord-ouest. Le sol sur moraine est assez lourd. La partie supérieure de la surface d'essai a subi une influence anthropique défavorable (tassement du sol, dégagement et blessures des racines). Les provenances testées sont issues de peuplements semenciers sélectionnés, situés entre 500 mètres (bord du lac de Neuchâtel) et 870 mètres (Jorat). Trois éclaircies ont été effectuées dans l'essai d'épicéa du Plateau; huit ans après la plantation, une éclaircie systématique d'une ligne sur deux, soit une intensité de 44%, a réduit le nombre des tiges de 4000 à 2250; quatre ans plus tard, 50% des tiges ont été supprimées au cours d'une éclaircie qualitative; en automne 1993, soit 23 ans après la plantation, le concurrent principal des arbres objectifs a été enlevé lors d'une éclaircie sélective dont l'intensité a atteint 24%; il reste actuellement 832 tiges soit environ 19% des tiges mises à demeure en 1971.

Au printemps 1972, les plants des 37 provenances du Jura, alors âgés de 5 ans, sont mis à demeure à 950 mètres d'altitude sur la commune de Juriens. Cet essai est installé au Plan de la Sagne, sur une ancienne prairie exploitée jusqu'au début des années soixante. La surface relativement uniforme est en

légère pente exposée au nord-est. Les parcelles unitaires du dispositif situées à l'extrême ouest de la surface sont sous l'influence d'un léger rehaussement du terrain. L'altitude des peuplements-mères varie entre 730 mètres (pied du Jura) et 1350 mètres (forêt du Risoux). En raison de l'accroissement beaucoup plus faible des plants dans l'essai d'épicéa du Jura, la première éclaircie n'a été réalisée qu'en 1995, soit 24 ans après la plantation, lors de cette éclaircie sélective, environ 40% des tiges ont été coupées.

De 1971 à 1996, ces plantations comparatives ont fait l'objet de nombreuses mesures et observations: la hauteur, le diamètre à 1,30 m, le diamètre à 4 m, les pousses d'août, le débourrement, l'aoûtement, le défilement, la sinuosité des tiges, le diamètre des branches, le nombre de branches par verticille, la largeur du houppier, la présence de fourches, la cicatrisation après élagage, l'influence des éclaircies, la densité du bois. Les premiers résultats ont été publiés par *François Bossel* en 1983 dans le «Journal Forestier Suisse».

1.2 Objectifs des essais

L'objectif de ces dispositifs est double:

D'une part, sélectionner par zone altitudinale les populations supérieures aux autres, non seulement au niveau de la productivité mais également selon les critères phénotypiques (débourrement tardif, pousse d'août, etc.), les qualités sylvicoles (rectitude du fût, faible nodosité) et la densité du bois.

D'autre part, obtenir un outil de sélection et de discrimination des provenances, permettant à l'avenir d'effectuer des tests au stade juvénile avec le maximum de sécurité afin d'en faire bénéficier le plus rapidement possible tous les maillons de la chaîne depuis la graine stockée jusqu'à l'introduction du plant en forêt.

2. Relevés

La présente étude porte sur les relations interprovenances et considère le facteur provenance comme unique variable aléatoire. Compte tenu de la structure et de la faible densité actuelle du dispositif, l'influence de la sélection massive intraprovenance n'a pas été étudiée. Des différences très hautement significatives existent entre les provenances pour tous les critères de croissance et de qualité étudiés après 28 périodes de végétation (*tableau 1*).

Les variations aléatoires de l'intensité des éclaircies, mesurées après coup au moyen de l'espacement moyen métrique, n'influencent pas significativement la majorité des critères de vigueur et de qualité étudiés (*tableau 2*). Seul le coefficient d'élancement «H/D»¹ et le diamètre des branches sont faiblement influencés par l'espacement moyen.

¹ Note explicative voir p. 106.

Tableau 1. Domaine de variation et seuils de signification des différences entre les maximas (a).

Critères	Volume (m ³)	Diamètre (cm)	Hauteur (mètres)	Diamètre des branches (mm)	Nombre de branches	Envergure du houppier (note)	H/D	Rectitude (% de tige droite)	Densité (mm de pénétration)
Plateau									
Minimum	0.12	16.6	14.0	14.4	5.8	0.22	0.73	28%	10.6
Moyenne	0.19	20.1	16.4	17.9	7.3	1.46	0.84	51%	11.5
Maximum	0.26	22.9	17.7	21.9	8.7	2.50	0.98	83%	12.5
(a)	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	10%	0,1%	0,1%	1%	0,1%
Jura									
Minimum	0.028	11.1	8.22	11.7	5.4	0.46	0.66	36%	*
Moyenne	0.051	12.9	9.9	15.1	62	1.20	0.73	49%	*
Maximum	0.071	14.6	11.0	18.4	7.6	2.14	0.80	67%	*
(a)	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	1%	0,1%	1%	5%	*

*critère non mesuré.

Tableau 2. Corrélation entre les différents critères de qualité, de productivité et l'espacement moyen métrique pour les provenances du Plateau.

Volume (m ³)	Diamètre (cm)	Hauteur (mètres)	Diamètre des branches (mm)	Nombre de branches	Envergure du houppier (note)	H/D	Densité (mm de pénétration)	Rectitude (% de tige droite)
0,03 ns	0,11 ns	- 0,23 ns	0,33*	0,06 ns	0,24 ns	0,38*	0,06 ns	0,19 ns

2.1 Méthodologie

Dans ce chapitre sont décrits brièvement les principes généraux de la méthode utilisée lors de la récolte et de l'analyse des données de base.

- Le diamètre «d» a été calculé à partir de la circonférence «c» mesurée en centimètre.
- La hauteur a été mesurée en décimètre à l'aide du dendromètre Talltax.
- Le volume a été calculé selon la formule du cône de révolution, soit $V = c^2 * h / 12 * \pi$.

¹ Au cours de cet article nous utiliserons les abréviations suivantes: «Age» = âge des peuplements semenciers, «Août» = date de l'aoûtement ou période de formation du bourgeon terminal, «d» = diamètre à 28 ans, «DBr» = diamètre des branches, «Déb» = date du débourrement, «EH» = envergure du houppier, «Esp. moy» = espacement moyen métrique, «H/D» = coefficient d'élanement, «h4, 5, 13, 28» = hauteur à 4, 5, 13, ou 28 ans, «IDE» = indice de durée d'élongation, «NBr» = nombre de branches, «PA» = pousses d'août, «PG» = poids de 300 graines, «V» = volume à 28 ans.

- Le nombre de branches par verticille ainsi que le diamètre des branches ont été mesurés sur 4 arbres par placette, soit environ 12 tiges par provenance. Le nombre de branches a été compté sur le verticille situé immédiatement au-dessus de l'observateur. Le diamètre de deux branches par tige a été mesuré en millimètre.
- La densité du bois a été mesurée grâce au pénétromètre Pilodyn. Il faut relever que l'échelle de mesure de la pénétration est inversement proportionnelle à la densité du bois.
- L'écartement moyen métrique est calculé selon une répartition en triangle, à partir du nombre de tiges dont le diamètre est supérieur à 10 centimètres.
- L'envergure du houppier est notée selon une échelle subjective de 0 à 3.
- Les caractéristiques phénologiques ont été évaluées à partir du pourcentage de tiges débourrées ou aoûtées à diverses dates.

2.2 Vigueur et productivité

La croissance des plants a été appréciée à partir de trois critères: le diamètre, la hauteur et le volume. Ces données ont été mesurées sur l'ensemble des tiges à Payerne et sur les arbres objectifs à Juriens (environ un quart des tiges de l'essai).

Après 28 ans, le volume a pour la première fois été calculé. Ce critère met particulièrement en valeur les gains potentiels réalisables par une sélection des provenances les plus productives.

A Payerne, les performances des provenances de plaine varient entre 0,12 et 0,26 m³ pour le volume moyen, avec un volume moyen de l'ensemble des tiges de l'essai de 0,19 m³; entre 16,6 et 22,9 cm de diamètre à 1,3 m (d moyen = 20,1 cm) et entre 14,0 et 17,7 m de hauteur (h moyenne = 16,4 mètres).

A Juriens, où sont testées les provenances d'altitude, le volume moyen par provenance s'échelonne entre 0,028 m³ et 0,071 m³, pour un volume moyen de 0,051 m³; le diamètre se répartit entre 11,1 et 14,6 cm (d moyen = 12,9) et la hauteur varie entre 8,2 et 11,0 mètres (h moyenne = 9,9 mètres) (*tableau 3*).

Les hiérarchies des performances moyennes à 28 ans font apparaître des provenances au comportement nettement supérieur à la moyenne des essais. Contrairement aux résultats à 14 ans, une distribution des provenances en fonction de l'altitude n'a pu être mise en évidence qu'indirectement entre les plants jurassiens; par contre la moyenne du volume des tiges du Plateau originaires de stations inférieures à 750 mètres d'altitude est significativement (au seuil de 1%) plus élevée que la moyenne du volume des tiges provenant des stations d'altitude supérieure. Parmi les onze provenances les plus rapides (provenance croissant le plus rapidement et produisant le plus), neuf proviennent d'une altitude inférieure à 750 mètres et parmi les onze plus lentes, sept sont originaires d'une station plus élevée.

Tableau 3. Performances moyennes des provenances.

PROVENANCES DU PLATEAU										PROVENANCES DU JURÀ																	
Provenance	Altitude [m]	Age	Poids de 300 graines [mg]	Hauteur à 4 ans [cm]	Volume à 4 ans [m ³]	Diamètre à 28 ans [cm]	Hauteur à 28 ans [m]	HD à 28 ans [mm]	Diamètre des branches à 28 ans [mm]	Nombre de branches par véhicule	Rectitude	Envergure du houpier	Densité [pénétration de l'aiguille du Pilodyn] [mm]	Espacement moyen [m]	Provenance	Altitude [m]	Poids de 300 graines [mg]	Hauteur à 5 ans [cm]	Volume à 5 ans [m ³]	Diamètre à 28 ans [cm]	Hauteur à 28 ans [m]	HD [mm]	Diamètre des branches à 28 ans [mm]	Nombre de branches par véhicule	Rectitude	Envergure du houpier	
Ballens	66EA017	700	2085	32	0.19	20.5	16.6	0.83	18.6	8.2	79%	1.43	11.4	3.6	Baumès	66EA085	1050	2600	32	0.057	12.8	10.2	0.72	14.3	6.3	50%	1.20
Berolle	66EA126	800		29	0.19	20.1	16.5	0.85	15.2	7.3	56%	1.50	10.6	3.3	Bonmont	66EA018	1150	2014	26	0.039	11.4	9.3	0.76	14.5	5.1	50%	2.14
Bourmens	66EA073	800	2778	35	0.25	22.9	17.3	0.76	19.3	6.7	31%	1.54	11.3	3.4	Bonvillars	66EA091	800	2410	38	0.068	14.6	10.5	0.72	15.8	5.8	58%	1.08
Champvent	66EA019	550	2562	32	0.19	20.4	16.5	0.82	20.0	8.7	35%	1.60	12.0	3.4	Bonvillars	66EA117	800	2310	43	0.053	13.1	10.6	0.79	13.6	6.8	46%	0.92
Charmontel	66EA67b	550	2880	35	0.26	22.9	17.7	0.79	16.4	8.6	38%	1.00	11.0	3.2	Bonvillars	66EA118	800	2298	40	0.057	13.7	11.0	0.80	16.7	6.8	46%	0.46
Carcellès-le-Jort	66EA003	870	2517	29	0.17	19.0	16.1	0.89	16.5	7.0	46%	1.17	11.4	2.9	Cuarnes	66EA115	1100	2320	36	0.058	13.5	10.5	0.76	14.6	6.5	50%	1.25
Cossonay	66EA084	600	2490	28	0.18	19.5	16.5	0.87	16.7	7.1	38%	1.50	10.8	3.6	Gimel	66EA046	1250	1990	28	0.052	13.2	9.9	0.71	14.1	6.3	40%	1.00
Démoré	66EA030	730	100	33	0.23	22.0	17.5	0.81	17.8	7.5	41%	1.55	11.4	3.5	* Girvins	66EA009	1300	2251	26	0.065	13.6	10.8	0.72	14.4	5.4	50%	1.75
Etberey	66EA069	750	120	26	0.16	18.8	15.5	0.86	18.6	8.4	33%	1.44	11.8	3.3	Grand Risoux	66EA070	1200	2251	26	0.051	12.4	9.9	0.73	13.8	5.5	45%	1.40
Esserines/Y	66EA033	650	110	29	0.17	18.8	16.3	0.89	17.7	6.3	44%	1.00	11.6	3.2	Grandson	66EA014	730	2210	30	0.045	12.5	9.5	0.72	14.4	6.0	46%	2.07
Fazrin	66EA67a	550		23	0.12	16.6	14.0	0.88	18.3	6.7	63%	1.63	12.2	3.5	Juriens	66EA013	950	2504	30	0.063	13.7	10.9	0.75	16.8	5.9	50%	1.17
Fermens	66EA075	680		29	0.21	21.1	16.0	0.78	16.6	7.8	68%	1.00	11.6	3.5	Juriens	66EA01a	950	1880	33	0.065	13.4	10.4	0.69	15.9	6.5	50%	0.80
Gollon	66EA077	500	2855	31	0.14	17.1	15.4	0.94	19.7	7.4	39%	1.89	12.5	3.3	Juriens	66EA1cb	950	31	0.051	12.7	9.8	0.72	12.9	6.3	63%	0.75	
Grancy	66EA081	600	2380	27	0.17	19.7	15.8	0.81	21.9	8.0	61%	1.56	10.9	3.5	* L'Abbaye	66EA050	1350	2380	27	0.044	12.5	9.7	0.74	13.4	5.8	38%	1.75
* Jorat-Élat	66EA044	850		30	0.19	20.3	16.3	0.83	20.8	6.4	68%	1.36	11.8	3.3	L'Abbaye	66EA065	900	2401	29	0.053	12.6	10.3	0.76	16.5	5.5	40%	1.20
Lausanne	66EA034	840		30	0.19	20.3	16.4	0.84	17.3	7.5	39%	1.29	10.6	3.4	L'Isle	66EA065	900	1800	25	0.051	13.2	9.4	0.66	18.4	6.0	40%	1.20
Lausanne	66EA035	865	2285	28	0.16	19.1	15.2	0.83	18.5	7.0	36%	1.29	10.6	3.4	La Coudre	66EA116	1200	1980	29	0.052	13.2	10.1	0.73	14.9	6.3	54%	1.17
Lausanne	66EA036	855	2222	31	0.19	20.2	16.5	0.84	17.3	7.5	39%	1.22	12.0	3.3	* Le Chenit	66EA054	1300	2002	30	0.057	14.3	10.3	0.73	15.9	6.0	50%	1.11
Lausanne	66EA037	845	2459	30	0.17	19.3	16.1	0.85	18.1	7.4	56%	2.33	11.1	3.4	* Le Chenit	66EA065	1300	2280	29	0.067	14.2	10.8	0.71	16.7	5.7	47%	0.60
Lausanne	66EA039	750	120	32	0.21	22.1	15.6	0.73	17.5	8.7	50%	1.29	12.3	3.6	Le Lieu	66EA123	1200	2258	30	0.040	12.3	9.1	0.72	16.7	7.4	47%	0.70
Lausanne	66EA041	750	2290	30	0.17	18.2	16.7	0.98	15.9	7.5	40%	1.60	10.8	2.9	Le Lieu	66EA124	1200	2300	27	0.048	12.3	9.9	0.74	14.5	6.8	56%	1.44
Lausanne	66EA042	800	2401	30	0.17	18.8	16.5	0.88	16.9	7.6	56%	1.44	11.2	3.2	Les Clées	66EA025	750	38	0.068	14.3	10.3	0.68	15.8	5.8	50%	1.08	
Lausanne	66EA043	750	2270	27	0.15	18.7	15.2	0.82	19.0	6.3	28%	2.00	12.3	3.4	Mollens	66EA104	800	1750	35	0.036	12.0	9.0	0.75	16.8	5.8	41%	0.73
Lausanne	66EA048	870		30	0.16	19.0	16.4	0.88	16.4	6.6	70%	2.20	11.9	3.3	Mollens	66EA105	800	2265	32	0.047	12.5	9.7	0.74	14.5	6.3	47%	1.47
* Momens	66EA006	550	2359	31	0.19	19.8	15.9	0.86	20.4	8.0	75%	1.50	11.0	4.2	Mollens	66EA122	1250	1930	29	0.042	12.4	9.3	0.72	16.1	6.2	45%	1.10
Neyruz	66EA066	700	2560	32	0.17	19.2	16.0	0.85	18.5	5.8	65%	1.77	11.4	3.0	Mont-la-Ville	66EA063	1100	2352	27	0.050	12.4	9.9	0.73	14.9	6.9	43%	0.86
Pampigny	66EA078	650	2877	34	0.22	21.4	17.4	0.84	17.3	7.2	43%	1.29	11.2	3.1	Mont-la-Ville	66EA064	1100	2310	33	0.058	13.6	10.6	0.74	15.7	7.1	50%	1.40
Pampigny	66EA079	680	2885	33	0.21	20.8	17.5	0.86	14.4	8.4	50%	1.25	11.0	3.0	Montficher	66EA057	800	2330	35	0.052	13.5	9.7	0.71	14.4	6.4	46%	0.50
* Pampigny	66EA080	630	2853	37	0.21	20.9	17.5	0.85	15.4	7.0	56%	0.89	11.8	3.1	Montficher	66EA158	800	2404	33	0.052	13.3	10.2	0.75	16.3	5.9	50%	1.25
Prahins	66EA031	650	2735	32	0.20	20.9	17.1	0.81	17.2	8.1	32%	1.09	11.3	3.3	Omnes	66EA119	850	2652	40	0.071	13.8	10.8	0.72	13.5	7.6	67%	1.17
St-Cierges	66EA022	850		31	0.21	21.3	17.4	0.83	16.4	7.5	65%	2.00	12.1	3.3	Provence	66EA047	800	30	0.035	11.6	9.1	0.78	15.5	5.8	55%	1.90	
St-Pierre	66EA071	750	2585	31	0.20	20.8	16.9	0.83	21.6	6.9	45%	1.10	12.1	3.5	Provence	66EA086	1000	2263	30	0.040	12.1	9.4	0.76	14.9	5.6	50%	1.15
Suchy-Élat	66EA026	600	2806	35	0.22	21.4	17.5	0.84	16.0	6.4	58%	1.50	11.1	3.3	St-George	66EA045	1150	28	0.028	11.1	8.2	0.73	12.6	6.2	44%	1.63	
* Sullens	66EA074	570	2690	33	0.21	21.5	16.2	0.81	17.9	8.7	83%	1.83	10.6	3.3	St-Croix	66EA004	1100	2240	28	0.044	12.8	9.4	0.72	15.6	6.1	50%	1.42
Yens	66EA062	670	30	32	0.18	20.1	16.4	0.83	19.5	7.7	63%	0.88	10.9	3.4	St-Croix (Élat)	66EA005	1100	1740	28	0.053	12.6	10.2	0.74	15.3	5.8	55%	1.09
Yverdon	66EA028	600	100	30	0.19	20.3	16.6	0.83	19.7	6.0	50%	2.50	11.8	4.1	Vallorbe	66EA027	950	2264	28	0.042	12.3	9.4	0.73	16.5	6.0	65%	1.70
Yverdon	66EA029	510	90	33	0.20	21.0	16.2	0.78	19.4	6.6	55%	1.30	11.3	3.5	Vaulion	66EA020	1100	2215	27	0.049	13.0	9.6	0.71	16.1	6.0	36%	0.73
Minimum		500	60	23	0.12	16.6	14.0	0.73	14.4	5.8	28%	0.22	10.6	2.9	Minimum		730	1740	25	0.028	11.1	8.2	0.66	11.7	5.4	36%	0.46
Moyenne		695	92	2557	31	0.19	16.4	0.84	17.9	7.3	51%	1.46	11.5	3.4	Moyenne		1034	2214	31	0.051	12.9	9.9	0.73	15.1	6.2	49%	1.20
Maximum		870	120	2885	37	0.26	22.9	0.98	21.9	8.7	83%	2.50	12.5	4.2	Maximum		1350	2652	43	0.071	14.6	11.0	0.80	18.4	7.6	67%	2.14

* provenances testées avec moins de trois répétitions.

2.2.1 Gains de productivité

Les plants les plus performants en terme de volume moyen proviennent à Payerne de : Charmontel, Bournens, Suchy-Etat, Pampigny, Sullens, Fermens pour les provenances originaires de stations inférieures à 750 mètres d'altitude et Lausanne (66EA039) et St-Cierges pour celles provenant d'altitude plus élevée. Ces onze provenances offrent chacune un gain supérieur à 75% du volume moyen des tiges les plus chétives; ce gain dépasse même 100% en ce qui concerne les deux provenances les plus vigoureuses (*figure 1; tableaux 3 et 4*). A Juriens, les plants les plus productifs sont originaires de : Onnens, Les Clées, Bonvillars (66EA091 et 66EA118), Le Chenit, Juriens (66EA013 et 66EA01a), Givrins, Cuarnens, Mont-la-Ville (66EA064). Le volume moyen de chacune de ces douze provenances est plus de 2 fois supérieur à celui des tiges les plus chétives. Un gain de productivité dépassant 150 % a été observé dans l'essai du Jura entre la provenance la plus rapide et la plus lente; de fait, les plants originaires d'Onnens ont un volume moyen plus de 2,5 fois supérieur à celui des plants de St-George.

Tableau 4. Gains de productivité sur le volume en % des n provenances les plus lentes.

<i>Plateau</i>		
<i>Provenances</i>	<i>Volumes</i>	<i>Gains</i>
Charmontel / Farzin	0,26 / 0,12 m ³	114%
5 plus rapides / 5 plus lentes	0,24 / 0,15 m ³	62%
11 plus rapides / 11 plus lentes	0,22 / 0,16 m	41%
<i>Jura</i>		
<i>Provenances</i>	<i>Volumes</i>	<i>Gains</i>
Onnens / St-George	0,071 / 0,028 m ³	151%
5 plus rapides / 5 plus lentes	0,068 / 0,035 m ³	91%
12 plus rapides / 12 plus lentes	0,062 / 0,040 m	55%

Une analyse du volume moyen des groupes de provenances rapides et de provenances lentes met en évidence des gains hautement significatifs dépassant 40% pour les provenances du Plateau et 55 % pour celles du Jura (*figure 2; tableau 4*). Ces résultats concordent avec ceux obtenus lors d'essais menés à l'étranger, qui indiquent des gains de productivité en volume jusqu'à 100% 25 ans après la plantation (*Nanson 1964*) et même 200% après 50 ans (*Gärtner 1975*). Comme le montre le chapitre 3.1, les provenances les plus productives à 28 ans étaient déjà les plus rapides à 4 et 5 ans; ainsi les gains considérables obtenus par les provenances rapides permettent aux sélectionneurs et aux pépiniéristes d'éliminer les lots des provenances les plus chétives et de mettre à la disposition des forestiers uniquement des lots de provenances offrant des plants très productifs et vigoureux.

Ces écarts sont importants non seulement au niveau du volume supérieur produit mais également au regard des années de production gagnées. Ainsi les

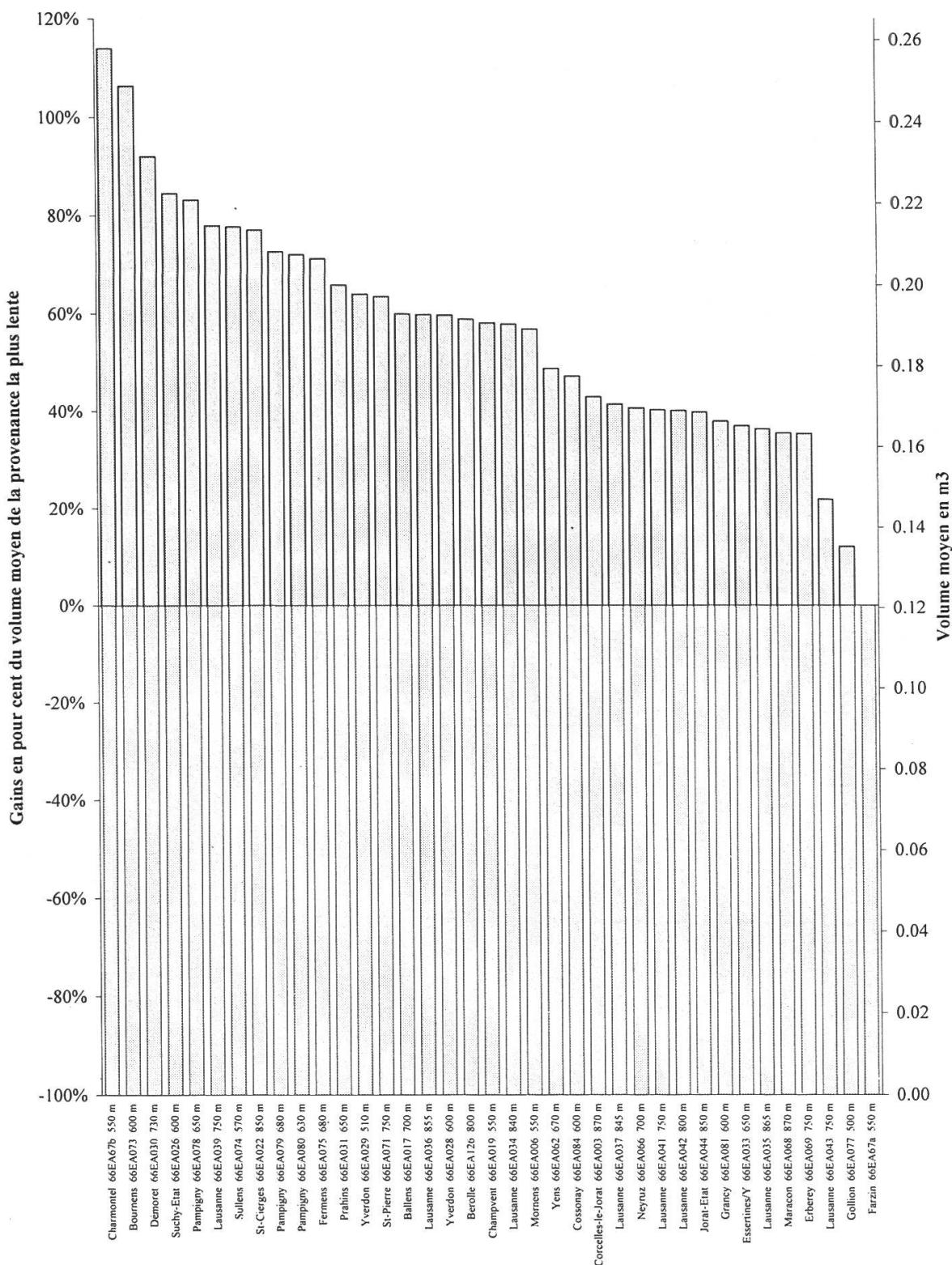


Figure 1a. Plateau: Volume moyen à 28 ans par provenance.

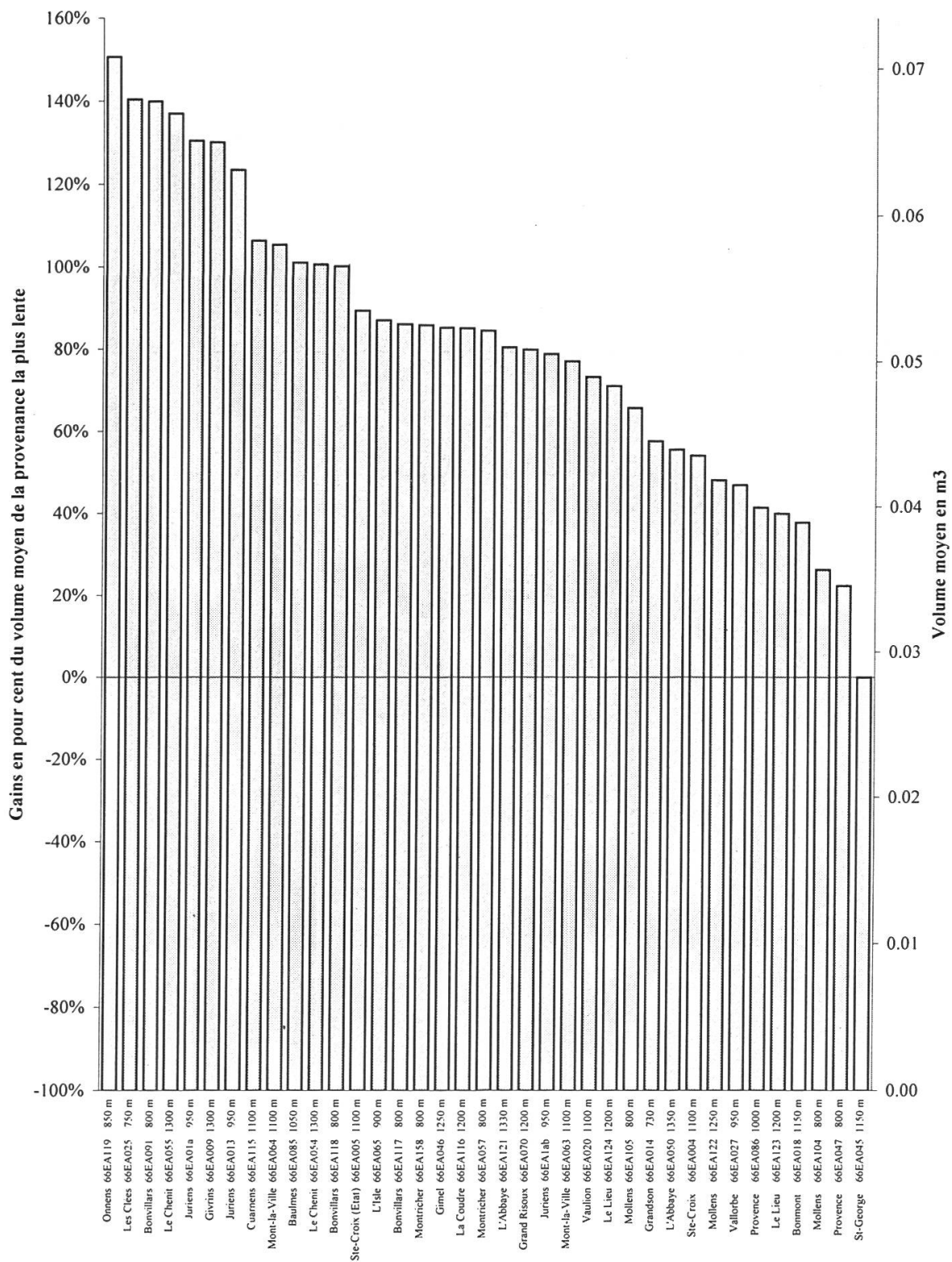


Figure 1b. Jura: Volume moyen à 28 ans par provenance.

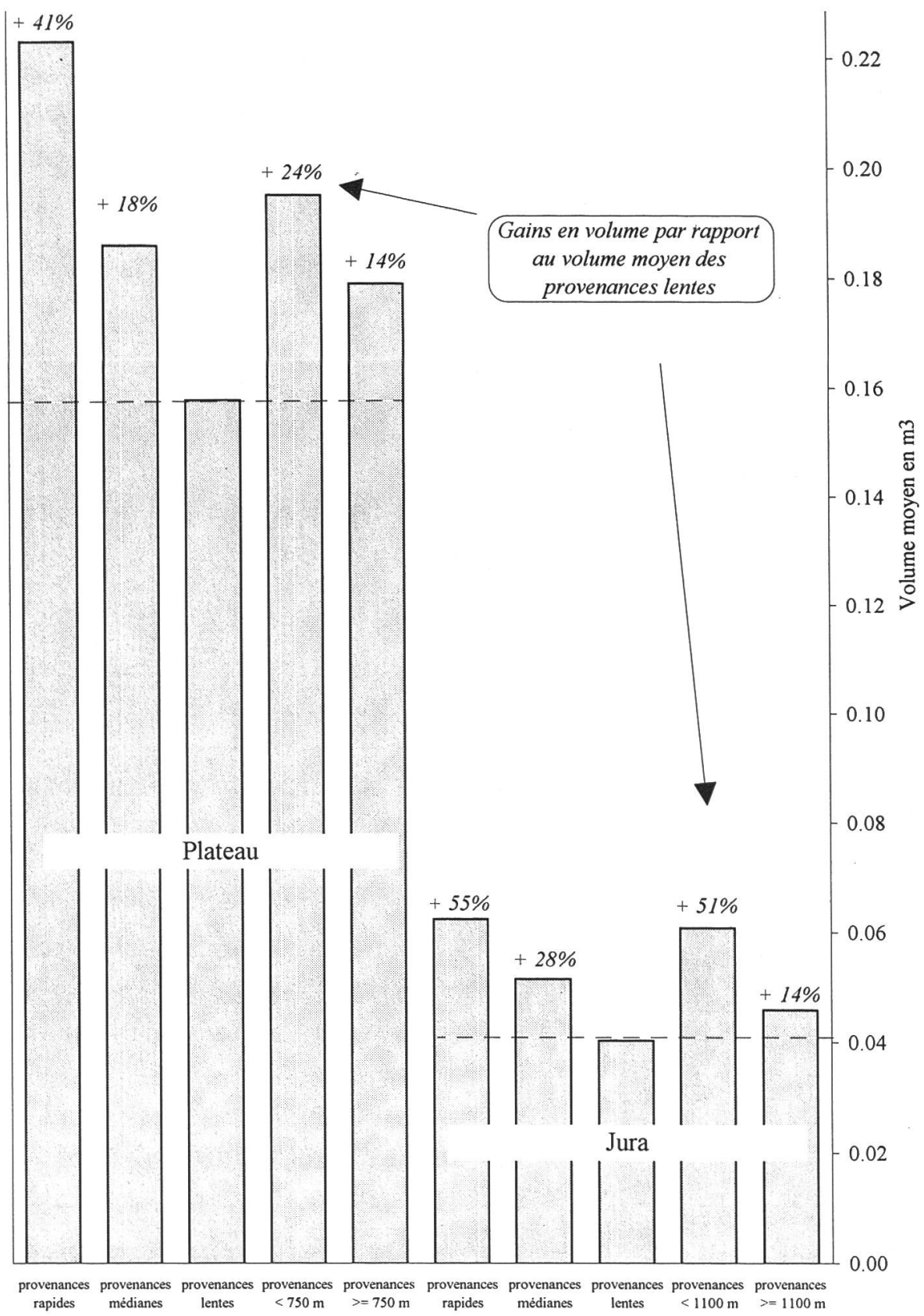


Figure 2. Volume moyen à 28 ans par groupe de provenances.

gains de deux à trois ans entre les provenances extrêmes mis en évidence par Bossel dès la cinquième période de végétation, se sont accrus pour atteindre près de six ans actuellement entre la provenance la plus rapide et la plus lente. Ces gains restent significatifs en prenant en compte non seulement les valeurs extrêmes, mais également la moyenne des plus lentes et des plus rapides (*figure 3*).

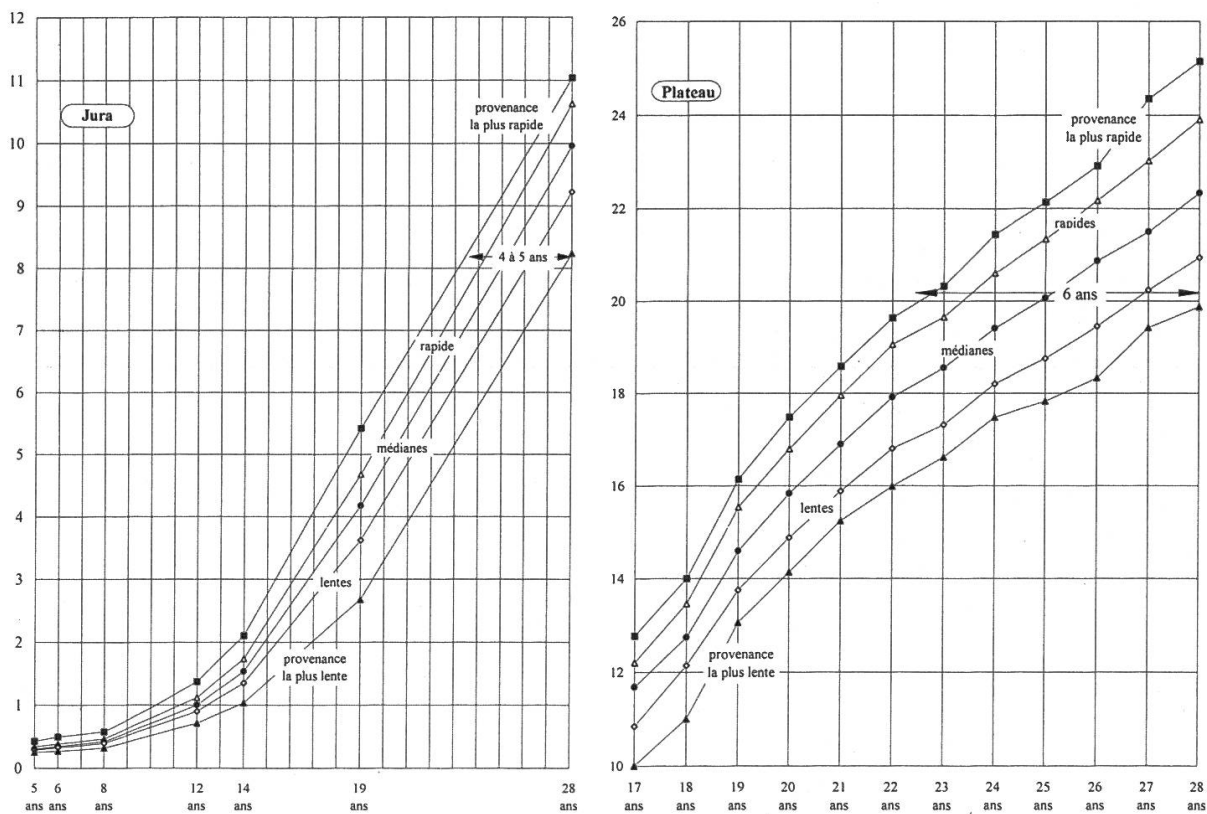


Figure 3. Evolution de la croissance moyenne des arbres objectifs par groupe de provenances.

2.3 Critères qualitatifs

Sous le terme de qualité du bois, nous englobons d'une part des caractéristiques visuelles directement liées au prix de vente du bois, telles que la nodosité et la forme des tiges (rectitude, fourches) d'autre part la résistance du bois, appréciée à partir de sa densité mesurée indirectement au moyen du pénétromètre Pilodyn.

2.3.1 Branchaison

On sait (*Nanson 1971*), qu'aussi bien le nombre de branches par verticille que le diamètre des branches sont principalement influencés par le milieu, et que le nombre et le diamètre des branches ne sont pas en relation avec la vigueur. Cette dernière constatation, comme nous le verrons au chapitre 3,

n'est que partiellement vérifiée par les présents essais. Étudiées globalement, ces caractéristiques sont l'expression d'un caractère génétique propre à chaque provenance. La combinaison du diamètre des branches, du nombre de branches, de la qualité de la cicatrisation et de l'envergure du houppier permet de sélectionner les meilleures provenances au niveau de la finesse de la branchaison et ainsi de discriminer les provenances particulièrement grossières.

Les plants du Plateau originaires de : Maraçon, Yverdon (66EA028), Neyruz, Suchy-État, St-Cierges, Berolle et Farzin se distinguent par une nodosité significativement peu importante (*tableau 3*). Quatre provenances très productives sont à utiliser avec parcimonie compte tenu de leur nodosité importante: il s'agit de Lausanne (66EA039), Pampigny (66EA078), Prahins et Charmontel; concernant cette dernière provenance, il faut souligner que son mauvais classement est dû principalement au nombre élevé de branches par verticille (8,6), alors que le diamètre des branches (16,4 mm) est quant à lui fort acceptable. Les plants provenant de Suchy-État, St-Cierges, Pampigny (66EA080) et dans une moindre mesure de Pampigny (66EA079), associent à la fois une faible nodosité et un volume important de la tige.

Les plants du Jura originaires de Givrins, Grand Risoux, L'Abbaye (66EA050), Grandson, Provence (66EA047), St-George et Mollens (66EA105) se caractérisent par une nodosité peu importante. Deux provenances très productives sont à utiliser avec parcimonie compte tenu de leur nodosité importante: il s'agit de Juriens (66EA01a) et d'Onnens; tout comme les tiges provenant des peuplements de Charmontel sur le Plateau, celles d'Onnens doivent leur mauvais classement au nombre élevé de branches par verticille (7,6), alors que le diamètre moyen des branches (13,5 mm) est parmi les plus faibles. Les provenances suivantes associent une croissance importante et une nodosité faible: Bonvillars (66EA091), Le Chenit (66EA055) et Givrins.

2.3.2 *Forme de la tige*

La rectitude de la tige de l'épicéa est influencée par divers éléments: premièrement, l'épicéa a une très forte tendance à former une tige monopodiale rectiligne. Deuxièmement, les déformations de l'axe du fût sont principalement liées à l'action d'événements exogènes (gelées tardives, neige, accidents divers), combinés avec le rythme phénologique des plants, *Nanson* (1990) a montré que les gelées tardives sont la cause de nombreux dégâts et d'importants retards de croissance. Par conséquent, la rectitude des plants ne semble pas être héritée directement des peuplements-mères (*Gärtner* 1975). Il ressort toutefois que certaines provenances sont moins sensibles à ces incidents et que le choix de provenances ayant un rythme végétatif adapté à la station d'implantation permet de maintenir ces dégâts et retards dans une marge acceptable.

Malgré l'importance des conditions de la station sur la forme des tiges, les différences hautement significatives observées entre les provenances pour les critères de forme de la tige nous permettent de sélectionner les provenances les plus rectilignes et les plus soutenues. Les plants originaires de Lausanne (66EA042 et 66EA035), Erberey, Cossonay de l'essai du Plateau et ceux de Bonvillars (66EA117 et 66EA091), Provence (66EA047), Cuarnens et Bonmont pour l'essai du Jura se détachent des autres au regard de leur forme. Parmi les provenances les plus rapides: Charmontel, Pampigny (66EA078) et Démoret pour les provenances du Plateau et Bonvillars (66EA091) et Cuarnens pour celles du Jura semblent particulièrement intéressantes par l'association d'une très bonne croissance et d'une forme droite et soutenue.

Le coefficient d'élanement «H/D» donne à la fois une estimation de la stabilité des tiges, et une appréciation de la forme de celles-ci. Une bonne tige doit être à la fois stable et soutenue. La limite de stabilité se situe à 0,85 et la limite critique à ne pas dépasser à 1,00 (*Schütz* 1992). Le «H/D moyen» à 28 ans se situe entre 0,73 et 0,98 chez les provenances du Plateau et entre 0,66 et 0,80 pour celles du Jura. Le peuplement présente donc en général une stabilité suffisante; nous avons cependant observé le bris d'une quinzaine de tiges à Payerne durant l'hiver 95-96; cette faiblesse semble plus particulièrement liée à un enracinement très superficiel et non pas à un coefficient de forme trop élevé. Il ne faut toutefois pas oublier que l'intensité et le suivi régulier des éclaircies jouent un rôle prépondérant dans la formation de tiges stables.

2.3.3 Densité du bois

La résistance du bois est appréciée à partir de sa densité, mesurée indirectement au moyen du pénétromètre Pilodyn. (Le pénétromètre est un appareil qui propulse une aiguille d'acier avec une force de frappe constante.) La densité moyenne du bois est fortement corrélée avec la pénétration de l'aiguille du pénétromètre (*Nepveu* 1984; *Chantre* 1992; *Le Pâques* 1996). De manière générale, plus l'épicéa pousse vite, plus la densité de son bois est faible, et par conséquent ses caractéristiques mécaniques baissent. Nous cherchons avec les mesures au pénétromètre à détecter des provenances qui, tout en ayant une croissance supérieure à la moyenne, gardent une densité élevée. Les différences entre les provenances denses et peu denses sont pour la plupart significatives au seuil de 1%.

A Payerne, la mise en évidence de la densité à l'aide du pénétromètre fait apparaître douze provenances particulièrement denses (pénétration variant entre 10,6 et 11,1 mm) (*tableau 3*). Parmi ces douze, quatre provenances: Sulens, Pampigny (66EA079), Charmontel et Suchy-Etat ajoutent à leur densité élevée une production supérieure à la moyenne.

2.4 Caractères phénologiques

Nous reprenons dans ce paragraphe les principales conclusions faites par Bossel en 1983. Les provenances les plus précoces débourent jusqu'à deux semaines avant les provenances les plus lentes, soit un gain d'environ 25 % sur une période d'élongation moyenne de deux mois à deux mois et demi.

La date de débourrement est influencée par trois facteurs :

- de manière générale, les provenances s'adaptent aux conditions climatiques de la station, elles deviennent plus tardives avec l'altitude;
- en dessous de 750 mètres, les provenances trop précoces sont éliminées par les gelées tardives, alors qu'en dessus de cette altitude la venue tardive et rapide du printemps met les populations à l'abri du retour des gelées.
- les provenances trop tardives sont éliminées par la concurrence de celles utilisant au mieux la période de végétation.

De ce fait, les provenances débourent le plus précocement et le plus tardivement viennent de la même zone altitudinale (750 à 870 mètres).

La fin de la période de croissance en hauteur marquée par la formation des bourgeons terminaux ou «aoûtement» est fortement influencée par l'altitude; en effet les populations originaires des stations les plus élevées s'adaptent à la venue précoce de l'hiver en avançant leur aoûtement.

La présence de pousses d'août dénote une stratégie de concurrence des tiges. Les plantes ont comme objectif d'assurer leur pérennité. Pour ce faire, elle utilise diverses stratégies: En montagne et lors de conditions de stress, les plantes diminuent leur activité et leur croissance afin d'augmenter leur survie. Au contraire, en plaine et sur de bonnes stations, les plantes pour assurer leur avenir doivent se ménager une place au soleil; dans cet objectif, elles développent des stratégies de concurrence. Une de ces stratégies consiste à renforcer l'accroissement annuel en hauteur en produisant des pousses d'août (*Grime 1977*). Toutes les provenances du Plateau comportent des individus ayant formé des pousses d'août; par contre seule la moitié des provenances du Jura en ont formé. De fait, et comme le confirment des essais antérieurs, les provenances de haute altitude ont moins tendance à fabriquer des pousses d'août. Par contre on en trouve plus fréquemment chez les provenances vigoureuses en plaine.

3. Liens entre les valeurs moyenne des caractères des provenances

Les trois objectifs de ce chapitre sont:

- tenter d'exprimer au moyen de critères décelables précocement au stade de la récolte des graines ou sur les jeunes plants au stade de la pépinière, les potentialités de croissance et de qualité des arbres en devenir;

- évaluer l'influence de la vigueur sur la qualité du bois et des tiges;
- évaluer les critères de sélection disponibles pour le praticien.

Afin de mettre en évidence ces liens, nous utiliserons essentiellement des régressions linéaires. Celles-ci ont pour équation, $Y = a_0 + a_1 X_1$ pour les corrélations simples. Le coefficient de corrélation « r » est testé statistiquement afin de savoir s'il est significativement différent de zéro. Le coefficient de détermination « r^2 » indique la proportion de la fluctuation totale qui revient à la liaison entre les paramètres, c'est-à-dire par exemple, la part de la différence de volume entre les provenances, contrôlée ou prévisible à l'aide des critères précoces. Si par exemple $r = 0,9$, on peut dire que 81 % de la variabilité du critère étudié Y est dépendante du critère estimatif X_1 , et que les 19 % restants ($1 - r^2 = 0,19$) sont la part du hasard dans cette fluctuation ou liés à d'autres critères, le reflet des erreurs de mesure.

3.1 Relations entre la productivité adulte et les critères précoces

3.1.1 Productivité adulte en fonction de la hauteur juvénile

Le *tableau 5* contient les coefficients de corrélation entre les critères précoces et la croissance à 28 ans. La hauteur à 4 ou 5 ans est un très bon indice de la productivité adulte exprimée sous la forme du diamètre, de la hauteur ou du volume. En effet, aussi bien la productivité des provenances du Jura que celles du Plateau peut être pronostiquée à partir de la hauteur juvénile avec un seuil de signification très élevé. Les provenances classées parmi les plus rapides à quatre ans restent majoritairement les plus rapides après 28 ans, et ceci aussi bien pour les provenances du Jura que du Plateau (*figures 4 et 5*). A Payerne, plus de 62 % de la fluctuation du volume moyen par provenance peut être pronostiquée à partir de la hauteur à 4 ans.

Il apparaît que la corrélation est nettement plus élevée dans le cas des provenances du Plateau (*tableau 5*). Les constatations faites à partir d'essais âgés de 50 à 60 ans montrent que les corrélations juvéniles adultes sont pour ainsi dire toujours significatives et comprises entre 0,7 et 0,8 et que l'absence de corrélations significatives est principalement liée au trop petit nombre d'échantillons (*Gärtner 1975*). Ces constatations nous encouragent à émettre l'hypothèse que la différence d'intensité des corrélations juvéniles-adultes entre Payerne et Juriens découle du nombre inférieur de tiges mesurées à Juriens et non pas d'un déclassement significativement plus important entre les résultats juvéniles et adultes à Juriens. En effet, alors qu'à Payerne les critères de croissance ont été mesurés sur l'ensemble de la population, soit 747 tiges, à Juriens seuls les arbres objectifs ont pu être mesurés, ce qui correspond environ à un quart de la population, soit 379 plants. L'analyse des coefficients de corrélation, calculé à partir du volume des arbres objectifs à Payerne, confirme cette

Tableau 5. Corrélation entre la productivité adulte et les critères précoces².

Plateau							
	<i>Hauteur à 4 ans</i>	<i>Poids de 300 graines</i>	<i>Age</i>	<i>Altitude des peuplements semenciers</i>	<i>Débourrement</i>	<i>Aoûtement</i>	<i>Pousses d'août</i>
Volume à 28 ans	0,79***	0,53**	-0,15 ns	-0,16 ns	-0,05 ns	0,00 ns	0,38*
Diamètre à 28 ans	0,75***	0,50**	-0,12 ns	-0,12 ns	0,10 ns	0,03 ns	0,34*
Hauteur à 28 ans	0,79***	0,61***	-0,48*	-0,04 ns	-0,20 ns	-0,18 ns	0,33*
Jura toutes altitudes							
	<i>Hauteur à 5 ans</i>	<i>Poids de 300 graines</i>	<i>Altitude des peuplements semenciers</i>	<i>Débourrement</i>	<i>Aoûtement</i>	<i>Indice d'élongation</i>	<i>Pousses d'août</i>
Volume à 28 ans	0,42**	0,38*	-0,08 ns	0,40*	0,26++	0,59***	0,19 ns
Diamètre à 28 ans	0,50**	0,34+	-0,13 ns	0,49**	0,28+	0,68***	0,40++
Hauteur à 28 ans	0,48**	0,47**	-0,12 ns	0,42*	0,33+	0,65***	0,41++
Jura < 1100 m							
Volume à 28 ans	0,51*	0,51+	0,03 ns	0,50*	-0,11 ns	0,56*	0,04 ns
Diamètre à 28 ans	0,63**	0,45+	-0,21 ns	0,63**	-0,12 ns	0,73***	0,36 ns
Hauteur à 28 ans	0,58*	0,58*	0,03 ns	0,52*	-0,07 ns	0,63**	0,40++
Jura ≥ 1100							
Volume à 28 ans	0,27 ns	0,20 ns	0,21 ns	0,20 ns	0,63**	0,64**	pas de pousses d'août chez les provenances du Jura
Diamètre à 28 ans	0,38++	0,19 ns	0,27 ns	0,26 ns	0,65**	0,65**	
Hauteur à 28 ans	0,36++	0,29 ns	0,11 ns	0,22 ns	0,64**	0,68**	

hypothèse; de fait les coefficients de corrélation entre le volume et la hauteur juvénile s'élèvent à (0,45**) à Payerne et à (0,42**) à Juriens dans ce cas.

3.1.2 Croissance adulte en fonction du peuplement semencier et des graines

D'autres critères de prédiction de la productivité, tels que le poids des graines (figure 6) et l'âge des peuplements semenciers ont été étudiés. Nous con-

² La valeur des corrélations est exprimée à l'aide de la notation suivante: r significatif à «+++» p = 20 %, «++» p = 10 %, «*» p = 5 %, «**» p = 1 %, «***» p = 0,1 %, «ns» le coefficient de corrélation n'est pas significativement différent de zéro.

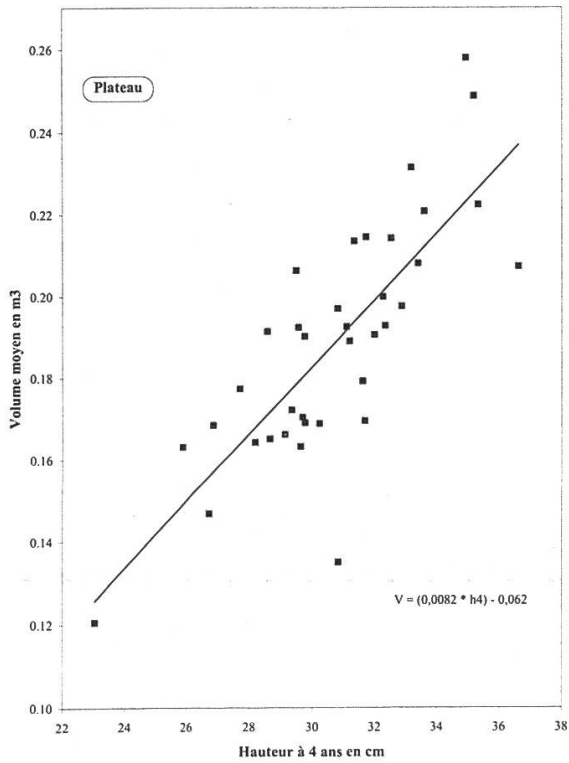


Figure 4. Volume moyen à 28 ans par provenance en fonction de la hauteur à 4 ans.

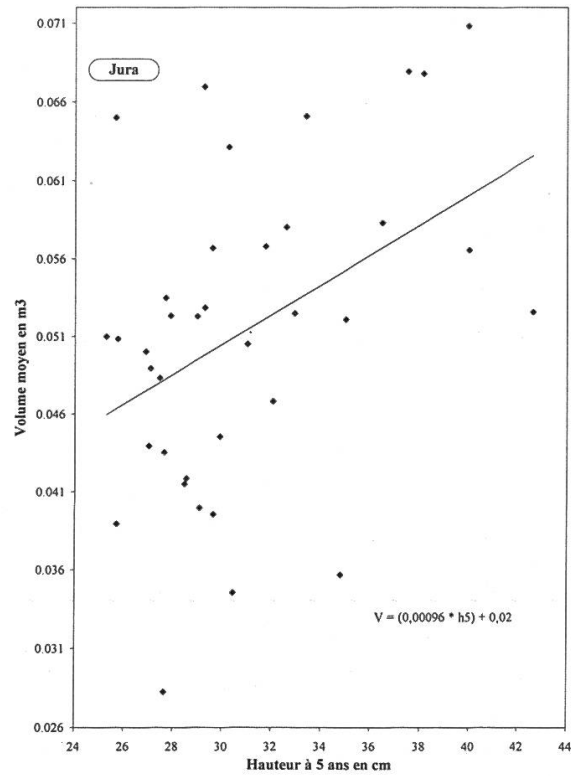


Figure 5. Volume moyen à 28 ans par provenance en fonction de la hauteur à 5 ans.

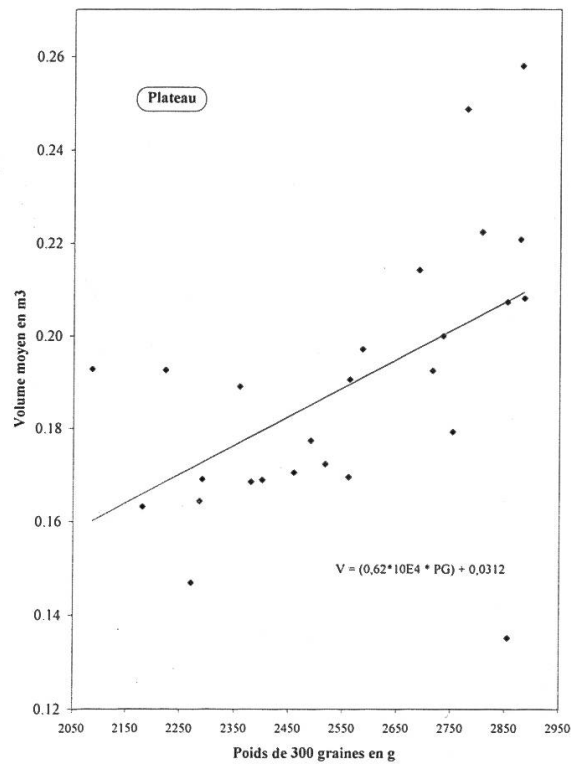


Figure 6. Volume moyen à 28 ans par provenance en fonction du poids de 300 graines.

statons une diminution de la corrélation entre le poids des graines et la vigueur avec l'augmentation de l'âge des essais; toutefois, après 28 ans, cette relation reste hautement significative. Le poids des graines explique près de 33 % des gains sur le volume ($r = 0,58^{**}$); en 1983, Bossel avait mis en évidence des liens s'élevant à près de 50 % entre la hauteur à 4 ans et le poids des graines, et à 36 % entre celui-ci et la hauteur à 13 ans. L'âge des semenciers reste faiblement corrélé avec les critères de vigueur. Seule la hauteur à 28 ans est significativement corrélée avec l'âge des semenciers. Il faut toutefois remarquer que l'influence de l'âge des semenciers sur la vigueur est plus importante actuellement qu'il y a 15 ans; en effet, alors que la hauteur à 13 ans n'était corrélée qu'à 16 % avec l'âge des semencier ($r = - 0,41$), ce dernier explique actuellement plus de 20% ($r = - 0,48^*$) des gains sur la hauteur.

Ces constatations s'inscrivent dans la suite de celles faites par *Nanson* (1964) et *Gärtner* (1975); en effet, nous constatons d'une part que des graines donnent naissance à des plants significativement plus vigoureux que ceux issus de graines plus légères, et d'autre part que les peuplements âgés ont des descendants significativement moins vigoureux. Elles justifient *a posteriori* les critères de sélection et de discrimination précoces des plants utilisés actuellement par le service forestier vaudois. Ce système de sélection, basé sur l'élimination des graines les plus légères, permet d'améliorer sensiblement la vigueur des plants commercialisés.

3.1.3 Influence de l'altitude et des caractéristiques phénologiques sur la croissance

Une corrélation entre la productivité des provenances et l'altitude des peuplements semenciers n'a pu être mise en évidence qu'indirectement. Comme l'a montré Bossel, le débourrement (début de la période d'élongation) et l'aoûtement (formation du bourgeon terminal, ou fin de l'accroissement en hauteur) sont fortement corrélés avec l'altitude (climat de la station): «dans la zone où les gelées tardives sont un facteur sélectif important (Plateau vaudois en dessous de 750 mètres), le débourrement tardif est un avantage pour la croissance, alors qu'au-dessus, les provenances précoces sont avantagées» (*Bossel* 1983); en altitude, les gelées automnales ont quant à elles éliminé les plants aoûtant tardivement; c'est ainsi que l'on trouve actuellement des provenances aoûtant plus précocement en altitude qu'en plaine. Comme nous allons le montrer ci-dessous, l'altitude joue un rôle indirect sur la croissance par la sélection de provenances aux caractéristiques phénologiques (débourrement, aoûtement ou pousses d'août) clairement établies.

Les coefficients de corrélation entre les critères phénologiques et la vigueur sont faibles mais significatifs (*tableau 5*); ils sont par contre hautement significatifs et importants entre la durée d'élongation et la vigueur. Pour les

provenances du Plateau, bien que la moyenne du volume à 28 ans des plants originaires des stations inférieures à 750 mètres soit significativement plus élevée que celle des provenances d'altitude supérieure, la corrélation entre l'altitude des semenciers et la vigueur adulte n'est pas significative ($r = 0,16$; $p = 34 \%$). Pour les provenances du Jura, le seuil de 1100 mètres d'altitude discrimine clairement le comportement des provenances. Dans la zone inférieure, la rapidité de croissance est très fortement liée au débourrement; de fait, la précocité du débourrement est garante d'une productivité accrue. Par contre, en dessus de 1100 mètres, le débourrement n'a plus d'influence sur la vigueur, un aoûtement tardif étant dans ce cas synonyme de croissance forte (*figures 7 et 8*). Ces constatations ne doivent pas nous faire oublier le principe de l'adéquation de la station des peuplements-mères avec la station où les plants seront installés; en effet, l'installation dans la zone supérieure de plants issus de peuplement d'une altitude inférieure, sous prétexte qu'ils aoûtent tardivement et produisent ainsi plus, serait vouée à l'échec compte tenu des gelées précoces de l'automne; de même, le choix systématique de provenances à débourrement précoce en plaine sur le seul critère de la productivité est à proscrire absolument en raison du risque élevé de gelées tardives; comme l'a mis en évidence *Nanson* (1990). De manière générale le caractère tardif du débourrement est positif chez les provenances de plaine. Comme nous l'avons vu au paragraphe 2.4, les pousses d'août jouent un rôle important dans la force concurrentielle des tiges de plaine. De fait, sur le Plateau les provenances produisant fréquemment des pousses d'août ont un volume sensiblement plus élevé que les autres provenances ($r = 0,38^*$).

3.2 Relation entre la qualité et la productivité adulte et juvénile

La question de la détermination précoce de provenances de qualité supérieure est cruciale dans l'objectif d'améliorer la rentabilité et la qualité de nos massifs forestiers. La mise en évidence de la relation entre la qualité et la vigueur tant juvénile qu'adulte devrait permettre de mieux valoriser nos provenances de qualité ainsi que la production des pépiniéristes locaux. Les tiges analysées dans ces essais sont issues de peuplements semenciers selon des critères de qualité (finesse des branches, rectitude).

3.2.1 Densité du bois

Peu de liaisons intercritères sont significativement différentes de zéro (*tableau 6 et 7*), et la majorité de celles-ci le sont avec un seuil de signification supérieur à 5 %. Cependant, dans certains cas, l'inexistence de corrélation, ou une corrélation très faible, est en soi intéressante. De fait, la densité mesurée

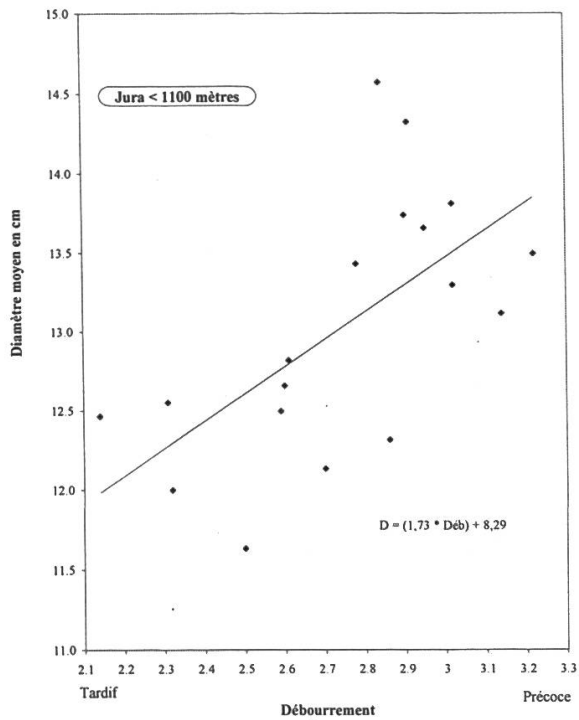


Figure 7a. Diamètre moyen à 28 ans par provenance en fonction de l'époque du débourrement.

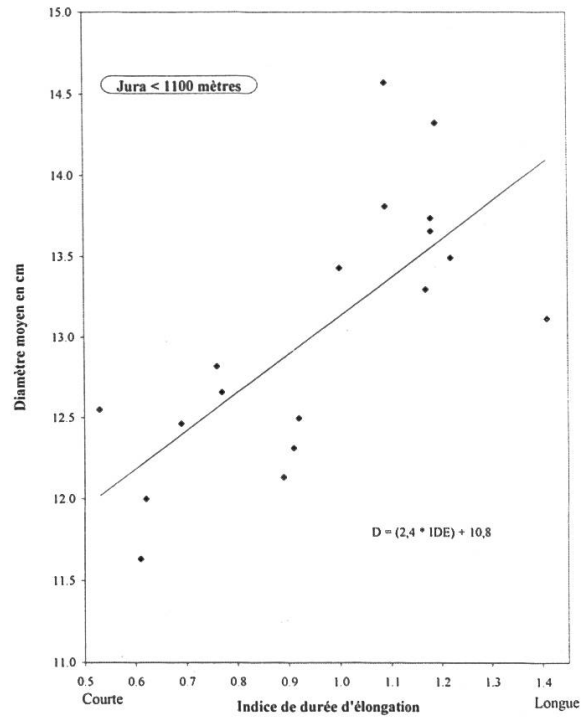


Figure 7b. Diamètre moyen à 28 ans par provenance en fonction de la durée d'élongation.

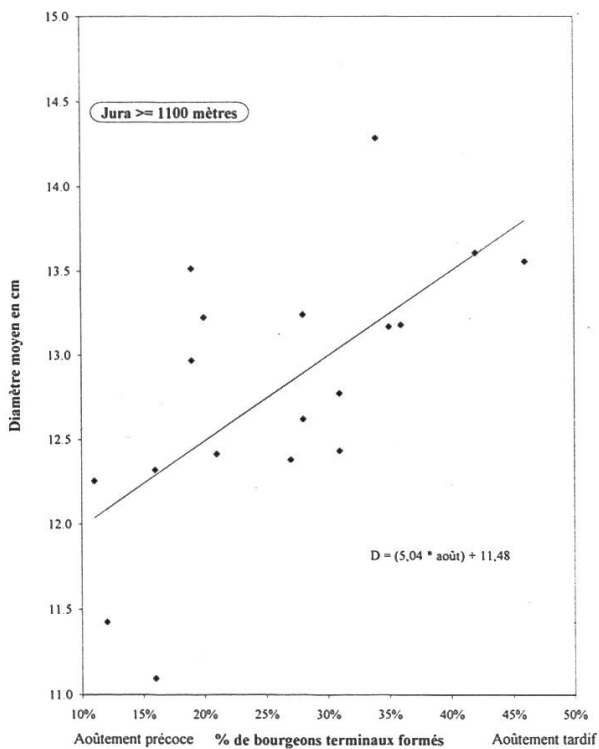


Figure 8a. Diamètre moyen à 28 ans par provenance en fonction de la période de formation du bourgeon terminal «aoûtement».

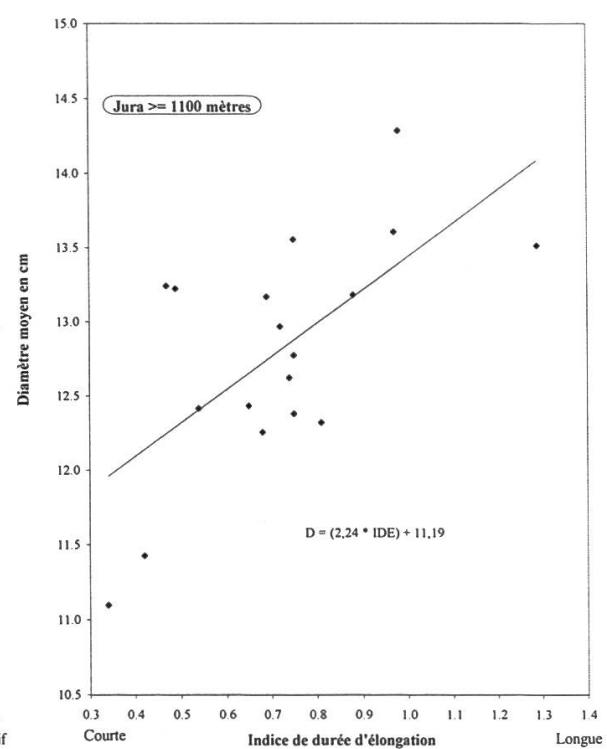


Figure 8b. Diamètre moyen à 28 ans par provenance en fonction de la durée d'élongation.

Tableau 6. Corrélation entre la qualité et la productivité à 28 ans.

	Plateau			Jura		
	Volume (m ³)	Diamètre (cm)	Hauteur (mètres)	Volume (m ³)	Diamètre (cm)	Hauteur (mètres)
Diamètre des branches (mm)	-0,22 ++	-0,11 ns	-0,37*	-0,04 ns	0,07 ns	-0,03 ns
Nombre de branches	0,29 +	0,27 ++	0,11 ns	0,35*	0,30 +ns	0,37*
Envergure du houppier (note)	0,27 ++	0,25 ++	0,21 ns	0,31 +	0,43**	0,29 +
Rectitude (% de tige droite)	-0,01 ns	0,01 ns	-0,09 ns	0,35*	0,27 ++	0,30 +
H/D	-0,57***	-0,72***	-0,11 ns	-0,28 +	-0,30 +	0,13 ns
Densité (mm de pénétration)	-0,26 ns	-0,18 ns	-0,28 +	Densité non mesurée chez les provenances du Jura		
	Jura < 1100 mètres			Jura >= 1100 mètres		
	Volume (m ³)	Diamètre (cm)	Hauteur (mètres)	Volume (m ³)	Diamètre (cm)	Hauteur (mètres)
Diamètre des branches (mm)	-0,05 ns	0,05 ns	0,05 ns	-0,07 ns	0,05 ns	-0,14 ns
Nombre de branches	0,44++	0,33 ++	0,48*	0,27 ns	0,30 ns	0,29 ns
Envergure du houppier (note)	0,35 ++	0,44 +	0,41 +	0,23 ns	0,39+	0,13 ns
Rectitude (% de tige droite)	0,23 ns	0,16 ns	0,03 ns	0,46*	0,34 ++	0,51*
H/D	-0,44+	-0,36 ++	0,06 ns	-0,11 ns	-0,31++	0,15 ns

à l'aide du Pilodyn n'est que très faiblement influencée par la croissance, le coefficient de corrélation atteint au maximum (- 0,28+) entre «h28» et la densité; ceci signifie que les provenances vaudoises les plus productives ne sont pas à priori désavantagées par une densité plus faible comme on pourrait l'imaginer en se basant sur les constatations de *Chantre* (1992). De plus, comme nous l'avons vu, certaines provenances associent densité élevée et croissance soutenue (Charmontel, Sullens et Suchy-Etat).

Il est très intéressant de remarquer que l'âge des semenciers conditionne la densité de ses descendants; en effet, les jeunes semenciers produisent des plants-fils au bois plus dense que les vieux semenciers. Le coefficient de corrélation s'élève à (0,51*) ce qui signifie que 0,26 % de la variance de la densité peut être expliquée à l'aide de l'âge des semenciers (*figure 9*), NB: comme indiqué dans la méthodologie, la densité est inversement proportionnelle à la pénétration de l'aiguille du Pilodyn; en conséquence le coefficient de corrélation entre la densité et l'âge devrait être négatif.

Tableau 7. Corrélation entre les critères de qualité et les critères précoces.

<i>Plateau</i>							
	<i>Hauteur à 4 ans</i>	<i>Poids de 300 graines</i>	<i>Age</i>	<i>Altitude des peuplements semenciers</i>	<i>Débourrement</i>	<i>Aoûtement</i>	<i>Pousses d'août</i>
Diamètre des branches (mm)	-0,21 ns	-0,29 ++	0,40+	-0,05 ns	0,10 ns	0,14 ns	0,06 ns
Nombre de branches	0,21 ns	-0,02 ns	0,12 ns	-0,16 ns	0,22 ++	0,23 ++	0,15 ns
Envergure du houppier (note)	0,26 ++	0,03 ns	-0,18 ns	0,00 ns	-0,18 ns	0,02 ns	-0,22 ns
Rectitude (% de tige droite)	0,05 ns	-0,03 ns	-0,09 ns	-0,06 ns	-0,10 ns	-0,11 ns	0,33*
H/D	-0,29 +	-0,17 ns	-0,15 ns	0,10 ns	-0,17 ns	-0,08 ns	-0,03 ns
Densité (mm de pénétration)	-0,21 ns	-0,09 ns	0,51*	0,09 ns	-0,05 ns	-0,17 ns	0,17 ns
<i>Jura</i>							
	<i>Hauteur à 5 ans</i>	<i>Poids de 300 graines</i>	<i>Altitude des peuplements semenciers</i>	<i>Débourrement</i>	<i>Aoûtement</i>	<i>Indice d'élongation</i>	<i>Pousses d'août</i>
Diamètre des branches (mm)	0,07 ns	-0,28 ++	-0,15 ns	0,05 ns	-0,01 ns	0,01 ns	0,18 ns
Nombre de branches	0,40*	0,30 +	-0,03 ns	0,25 ++	0,02 ns	0,25 ++	0,24 ns
Envergure du houppier (note)	0,41*	-0,01 ns	-0,11 ns	0,41*	0,08 ns	0,37*	0,25 ns
Rectitude (% de tige droite)	0,22 ++	0,30 ++	-0,15 ns	0,30 +	-0,03 ns	0,31 +	-0,22 ns
H/D	0,28 +	0,30 +	-0,27 ++	0,10 ns	0,03 ns	0,15 ns	0,57*

3.2.2 Nodosité

Dans l'essai du Plateau, le nombre de branches n'est pas dépendant de la vitesse de croissance ou des différences aléatoires du taux d'éclaircie. Il apparaît que les provenances du Plateau les plus rapides en hauteur, celles dont les semenciers sont jeunes ou celles issues des graines les plus lourdes, ont statistiquement des branches plus fines. Il en va différemment à Juriens où les provenances les plus rapides semblent avoir un nombre plus élevé de branches; cette caractéristique apparaît plus particulièrement chez les provenances d'altitude inférieure. Ce facteur négatif est cependant atténué par le fait que les provenances ayant un grand nombre de branches par verticille ont tendance à produire des branches d'un diamètre inférieur ($r = -0,52^*$).

Toutefois, comme l'ont mis en évidence des essais sur des provenances polonaises et françaises d'épicéa, la nodosité adulte est fortement prévisible à par-

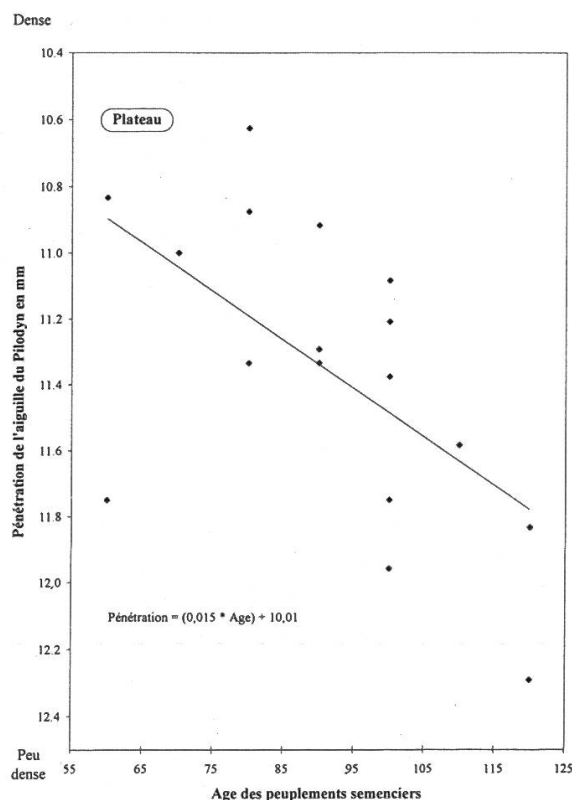


Figure 9. Densité du bois à 20 ans en fonction de l'âge des semenciers.

tir de l'analyse de la nodosité juvénile; en effet, l'importance de la branchaison à l'âge adulte est en relation étroite avec le rapport au stade juvénile du poids des branches sur le poids de la tige (Lacaze 1969); cette relation offre la possibilité de discriminer à la pépinière les provenances à très grosses branches.

Comme le nombre de branches, l'envergure du houppier semble être indépendante de la vitesse de croissance et des différences aléatoires de l'espace moyen dans l'essai du Plateau alors que dans celui du Jura, les provenances rapides ont tendance à produire un houppier plus large; il faut toutefois noter que des échelles de notation indépendantes ont été utilisées pour apprécier l'envergure du houppier des plants du Jura et du Plateau. Il serait en conséquence mal fondé de conclure que les provenances du Jura ont un houppier plus étalé que celles du Plateau.

3.2.3 Forme et stabilité des plants

Les trois critères que nous analysons ci-dessous ne répondent pas à l'hypothèse de l'indépendance du facteur éclaircie; de ce fait, la part de la variance due à d'autres critères est plus difficile à estimer.

Il apparaît que la présence de pousses d'août en plaine joue un rôle favorable sur la rectitude des tiges; en effet, alors que la rectitude des plants des

provenances du Plateau n'est pas corrélée avec la vitesse de croissance; les provenances ayant un haut pourcentage de pousses d'août, sont sensiblement plus droites ($r = 0,33^*$). Dans l'essai du Jura, les provenances à forte croissance sont quant à elles significativement plus droites que celles croissant plus lentement. Le coefficient de forme «H/D» est influencé par la différence aléatoire de l'intensité des éclaircies. Néanmoins, il apparaît clairement que les tiges les plus productives ont un coefficient de forme plus faible que les plus lentes ($r = -0,72^{***}$ à Payerne). Il ressort que cette relation exprime avant tout un gain de stabilité dû à une position sociale dominante et non pas une diminution de la qualité par une conicité élevée. A Juriens, le coefficient de forme est également fortement corrélé avec le pourcentage de pousses d'août (*tableau 7*). Parmi les provenances du Plateau, celles de Lausanne (Liaises), Bournens et Fermens, classées parmi les plus productives, paraissent indiquées dans les stations où le risque de neige mouillée est grand à cause de leur meilleure stabilité. La majorité des provenances rapides du Jura ont un «H/D» inférieur à la moyenne; seuls Bonvillars (Tillex), Cuarnens et Juriens sont un peu moins stables. Toutefois, il faut se garder de prendre la stabilité supérieure de ces provenances comme un bénéfice acquis. Le coefficient d'élancement dépend en effet fortement du traitement sylvicole.

La présence de fentes de croissance à la suite d'une éclaircie intensive et de fourches a été observée dans l'essai du Plateau. Compte tenu de la dimension réduite des placettes unitaires et de la rareté de ces phénomènes, aucune relation liée au milieu ou aux provenances n'a pu être mise en évidence.

Un classement combiné de la croissance et de la qualité, bien que réalisable mathématiquement, ne signifie pas grand chose. Au contraire, un choix spécifique des provenances adaptées à la station d'implantation semble plus proche des besoins de la pratique.

4. Conclusions

La sélection des peuplements semenciers assez jeunes, le tri des graines (élimination de 20 à 30 % des graines les plus petites), la sélection des provenances les meilleures pour nos conditions et nos stations à partir d'essais comparatifs à court terme (4 à 5 ans), la commercialisation exclusive de la graine des provenances sélectionnées, permettent d'améliorer très rapidement, de façon simple et sans frais excessifs, la production et la qualité de nos peuplements futurs.

Les gains génétiques et phénotypiques que l'on peut en attendre sont très nombreux et remarquables :

- Les différences de croissance entre provenances rapides et lentes sont très importantes. Le gain de volume à 28 ans des provenances rapides sur les lentes est de 40 % au moins, il peut dépasser 150 % dans les meilleurs cas.

- Le classement à 4 et 5 ans en fonction de la hauteur est conservé au niveau du volume, de la hauteur et du diamètre à 28 ans.
- Le critère hauteur juvénile est un excellent indice de la productivité à 28 ans: jusqu'à 64% de la variabilité de la productivité peut être pronostiquée à partir de la hauteur juvénile.
Les autres critères précoces: poids des graines, âge des semenciers et pousses d'août, permettent également d'estimer la productivité mais dans une moindre mesure.
- La croissance accélérée des provenances rapides permet de raccourcir de 1 à 2 ans la période des dégagements et des soins aux plantations et de près de 5 ans celle des soins aux perchis.
- La survie après la plantation des provenances rapides est significativement plus élevée. De fait, à Juriens 76 % des plants des provenances rapides sont en vie 5 ans après la plantation alors que seulement 67 % des plants des provenances lentes ont survécu à ces 5 premières années.
- La sélection des provenances les plus productives n'entraîne pas de conséquences négatives importantes sur la qualité du bois et des tiges. Au contraire, la densité du bois ainsi que le pourcentage de tiges rectilignes est amélioré dans certaines situations.
- L'âge des semenciers conditionne la densité de ses descendants; en effet, les jeunes semenciers produisent des plants-fils au bois plus dense que les vieux semenciers.

5. Conséquences pratiques

5.1 Choix des peuplements semenciers

Ces essais démontrent que l'âge du porte-graine joue un rôle capital dans la vigueur et la qualité de sa descendance. En effet, plus le semencier est âgé et moins ses enfants sont vigoureux.

Contrairement aux années 1960–1970, où le cadastre des peuplements sélectionnés était «statique» *ad vitam aeternam*, c'est-à-dire jusqu'à la mort du peuplement, le canton de Vaud travaille actuellement avec un cadastre «mobile». La prospection et la sélection de nouveaux peuplements semenciers plus jeunes sont réalisées avant chaque grande récolte (tous les 5 à 8 ans) selon les règles ci-après:

- sur les bonnes stations du Plateau: récolte sur des arbres dont l'âge varie entre 55 et 70 ans;
- dans les Alpes, en dessous de 1300 mètres et dans le Jura en dessous de 1100 mètres: récolte dans des peuplements dont l'âge varie entre 60 et 80 ans;
- pour les altitudes supérieures des Alpes et du Jura: récolte sur des semenciers de 70 à 100 ans avec exceptions jusqu'à 120-130 ans sur des arbres exceptionnels.

5.2 Conséquences pour l'approvisionnement en graines, le pépiniériste et le forestier

Si nous nous basons sur la bonne corrélation des résultats entre le niveau juvénile et le stade adulte, même si celle-ci n'est pas fiable pour l'ensemble des provenances testées, la graine des provenances à comportement médiocre peut être rapidement éliminée. Seule est stockée et commercialisée la graine de provenances de qualité, d'où une amélioration à très court terme des plantations en forêt.

En ne fournissant aux pépiniéristes que des graines triées de peuplements certifiés MRC (matériel de reproduction contrôlé) par tests juvéniles et prélevées exclusivement sur des arbres dominants du peuplement, le Service cantonal des forêts permet au reboiseur de choisir, sur le catalogue, des provenances d'épicéa recommandées par zone d'altitude et par région géographique sans risque de se tromper dans ses plantations.

Le pépiniériste, pour sa part, participe lui aussi à l'amélioration des plantations en remplissant les conditions de culture de l'épicéa demandées selon l'accord passé avec le Service cantonal des forêts concernant le label de qualité :

- densité maximale des semis de 800 à 1000 brins par m²
- sélection des brins au repiquage et élimination des 30 à 50 % de la population inférieure à la moyenne des hauteurs
- densité maximale de repiquage de 40 à 50 brins par m² suivant la durée de culture
- à l'arrachage, tri sanitaire et qualitatif très sévère.

Résumé

La plus ancienne plantation comparative de provenances de Suisse est présentée 30 ans après son installation. Septante-quatre provenances vaudoises d'épicéa sont testées par zone altitudinale sur deux sites: les provenances de plaine à 480 mètres d'altitude et celles du Jura à 950 mètres. Les résultats présentés sont l'aboutissement de 30 années de soins, de relevés et d'analyses effectués par le Service des forêts du canton de Vaud.

Ces résultats mettent en évidence la diversité génétique existant entre les populations d'épicéa vaudois. La sélection de provenances rapides permet d'obtenir des gains de productivité en volume pouvant atteindre 150 % sans que la qualité du bois ou des tiges soit pénalisée.

La hauteur juvénile (4 ou 5 ans) est un excellent critère de prévision de la productivité à l'âge adulte; en effet, jusqu'à 64 % de la variabilité de la productivité en volume est corrélée avec la hauteur juvénile. D'autres critères précoces tels que le poids des graines, l'âge des semenciers, l'époque du débourrement et le pourcentage de pousses d'août, permettent d'affiner la sélection précoce et de choisir les provenances les plus adaptées aux stations d'implantation.

En partant de ces faits, on a analysé la pratique actuelle et mis en évidence quelques principes à respecter dans le choix et la sélection des provenances.

Zusammenfassung

Fichten – Provenienzversuch im Kanton Waadt: Bilanz eines 30jährigen vergleichenden Versuchs

Vom ältesten Fichten-Provenienzversuch der Schweiz im Kanton Waadt werden 30 Jahre nach der Pflanzung Ergebnisse präsentiert. Im Versuch sind 74 waadtländische Fichtenherkünfte entsprechend ihrer Höhenlage auf zwei verschiedenen Versuchsfeldern angepflanzt worden: Die Tieflagenherkünfte auf 480 m, die Hochlagenherkünfte aus dem Jura auf 980 m ü. M. Die dargestellten Ergebnisse sind die Früchte aus 30 Jahren Pflegearbeit, Messtätigkeit und Auswertungsarbeit, die vom Forstdienst des Kantons Waadt geleistet worden sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass grosse genetische Unterschiede zwischen den Fichtenherkünften im Kanton Waadt bestehen. Durch die Wahl von schnellwachsenden Herkünften ist es möglich, die Volumenleistung um bis zu 150% zu steigern, ohne dass dadurch die Qualität der Stämme und des Holzes ungünstig beeinflusst wird.

Die Wuchsleistung im Alter von 4 bis 5 Jahren eignet sich hervorragend, um die Leistung im Alter vorherzusagen; bis zu 64% der Variation in der Volumenleistung im Alter 30 ist mit der Höhe in der Jugend korreliert. Zusätzliche, ebenfalls früh erkennbare Eigenschaften, wie das Samengewicht, das Alter der Samenerntebestände, der Zeitpunkt des Austriebes und der Anteil an Augusttrieben erlauben es, die am besten angepassten Herkünfte für bestimmte Standorte auszuwählen.

Ausgehend von diesen Feststellungen wird die aktuelle Praxis analysiert, und es werden einige Grundsätze präsentiert, die bei der Wahl der Herkünfte beachtet werden sollten.

Übersetzung: *Peter Rotach*

Summary

Spruce provenance experiment in the canton of Vaud: results of a 30 year comparative trial

Thirty years after planting, the results of the oldest spruce provenance experiment in Switzerland, conducted in the canton of Vaud, will be presented. Depending on their origin from one of 74 sites in Vaud, spruce trees were planted at two experimental sites: those from lower altitudes at 480 m, those from higher altitudes in the Jura region at 980 meters above sea level. The results are the fruit of 30 years of tending the trees, as well as measuring and evaluating them, all carried out by the forest service of the canton of Vaud.

The results show that large genetic differences exist between the origins of spruce trees in the canton of Vaud. By selecting sites of origin where spruce trees grow quickly, it is possible to increase the volume by up to 150 % without harming the quality of the trunks and wood.

The growth capacity of four to five year old trees is ideal for predicting the capacity of the older trees. Up to 64 % of the variation in volume after 30 years of growth is correlated to the height of the young trees. In addition, characteristics that are identifiable at early stages of growth, such as weight of the seeds, age of the forest stands from which the seeds are harvested, time of sprouting and the portion of sprouts in August, make it possible to select the most suitable, best adapted origins for certain locations.

On the basis of these observations, current practices will be analysed and some of the principles presented, which should be taken into account when selecting origins.

Translation: *Marcia Schoenberg*

Bibliographie

- Badan, R., Jeantet, G.* (1975): A propos de la croissance juvénile de l'épicéa et de son amélioration par voie de sélection. *La forêt*, 9: 254–266.
- Bossel, F.* (1983): Tests comparatifs de provenances vaudoises d'épicéa. Résultats et conséquences pratiques pour le forestier. *J. For. Suisse*, 134, 5: 339–360.
- Chantre, G.,* (1992) *et al.*: De l'intérêt de l'utilisation du pilodyn dans l'étude de la qualité du bois. *Annales Afocel*, 145–147.
- Gärtner, E.* (1975): Untersuchung zur Beurteilung der Jugendentwicklung von Fichtenprovenienzen. Diss. Univ. München.
- Grime, J.-P.* (1977): Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory: *American Naturalist* 111: 1169–1194.
- Jeantet, G.* (1971): A propos des provenances d'épicéa. *La forêt*, 4: 97–105.
- Lacaze, J.-F.* (1969): Etude de la variabilité intraspécifique de l'épicéa, Résultats au stade juvénile. *Ann. Sci. For.* 26, 3: 345–396.
- Le Pâques* (1996): Variabilité naturelle du mélèze. I. Mélèze d'Europe: bilan de 34 ans de test comparatif de provenances. *Ann. Sci. For.* 53: 51–67.
- Nanson, A.* (1964): Données complémentaires au sujet de l'expérience internationale sur l'origine des graines d'épicéa en Belgique. Travaux de la station de recherches des Eaux et Forêts, Groenendaal, Belgique, série B, N° 28, 40 p.
- Nanson, A.* (1971): Test de descendance d'épicéa commun. Travaux de la station de recherches des Eaux et Forêts, Groenendaal, Belgique, série E, N° 4, 64 p.
- Nanson, A.* (1990): Comment accroître la qualité et la santé de nos forêts par la génétique forestière. *Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique* 88, 2: 49–66.
- Nepveu, G.* (1984): Variabilité génétique de la qualité du bois chez l'épicéa et le douglas. *Revue forestière française*, 4: 303–312.
- Schütz, J.-P.* (1992): *Sylviculture 1: Principe d'éducation des forêts*, 1ère édition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, collection Gérer l'environnement 5, 243 p.

Remerciements

Nous remercions M. Peter Rotach du département de sylviculture à l'EPFZ pour ses nombreux conseils techniques et scientifiques. MM. David Petter et Vivien Pleines, Inspecteurs des forêts à Orbe et à Payerne; MM. Albert Chatelanat et William Cheseaux, Gardes forestiers à Payerne et à Juriens qui ont permis d'assurer le suivi et l'entretien des essais. Nous remercions également les personnes qui ont contribué à la réalisation de cet article, en particulier Mme Monique Golaz, secrétaire du Service cantonal des forêts, de la faune et de la nature.

Auteurs:

Patrik Fouvy, ing. forest. EPFZ, Chemin de Sous-Mont 18, CH-1032 Romanel-sur-Lausanne.
Gaston Jeantet, adjoint technique, Service cantonal des forêts, de la faune et de la nature, Caroline 11 bis, CH-1014 Lausanne.