

Table 5. — Result of fruit development after pollinating with stored pollen.

Bag number	Tree number	Number of flowers	Date of pollination	Stage of pistil	Time of day	Number set
023	23	80	19/7/75	A	10.00	4
024	24	120	19/7/75	A	11.00	6
025	25	95	19/7/75	A	13.00	8
026	26	50	19/7/75	A	14.00	2
027	27	58	19/7/75	A	15.30	3
028	28	45	19/7/75	A	16.30	0
029	29	60	19/7/75	A	17.30	0
030	30	48	19/7/75	A	17.30	0

stored pollen showed that longer pollen tubes were produced by pollen stored in the vacuum desiccator than in the other two media. It is, therefore possible that increased fertilization followed but further investigations are needed for confirmation.

No attempt was made to study either the variation in viability and pollen tube length or the variation in pollen production in the provenances of teak planted in Nigeria. Such studies are planned for the future.

Conclusion

Knowledge of the viability of both the pollen and stigma of the teak is necessary for the effective application of controlled pollination. The *in vivo* study showed that pollen was viable until the second day after anthesis and not viable on the third day. The stigma was viable for one day after anthesis and it was possible to obtain fertilization from pollinations made early in the morning. As expected the best result was obtained by using A pollen on A stigma. Pollen was no longer viable if collected three days after or one day before anthesis. The *in vitro* study confirmed that sucrose at 14% concentration was a suitable medium for germinating teak pollen because it gave early and profuse germination. When pollen was stored for 35 days in a

vacuum desiccator, or in a cooled incubator or a deep freeze and germinated, there was no significant difference in viability but there was significant difference between the mean lengths of pollen tubes. Some fruit was set after pollinating with stored pollen suggesting that it can be used for controlled pollination.

Acknowledgements

The author acknowledges the support given by the Director, Forestry Research Institute of Nigeria for this study and the authorities at the Cocoa Research Institute of Nigeria for permitting use of their laboratory for part of the study. The author is indebted to Dr. V. Jacobs, formerly of the Cocoa Research Institute of Nigeria, and to Dr. GBOAHUN ASHIRU, Head of Agriculture, Cocoa Research Institute of Nigeria for their advice and comments.

References

- BAWA, D. S. and STETTLER, R. F.: Information on breeding systems in Tropical Tree Species In: Proc. 2nd World Consultation on Forest Tree Breeding, Washington DC USA 2, 997-1003 (1969). —
- BRYNDUM, K. and HEDEGART, T.: Pollination of Teak (*Tectona grandis* L.), *Silvae Genetica* 18 (3), 57-96 (1969). — EGENTI, L. C.: Preliminary Studies on Pollinators of Teak (*Tectona grandis* L.f.), F.R.I.N. Research Paper No. 29 (1974). — HEDEGART, T.: Pollination of Teak (*Tectona grandis* L.) 2, *Silvae Genetica* 22 (4), 93-147 (1973). — STAIRS, G. R. and TROFENDLE, V.: Male Bud and Pollen Radiosensitivity in Selected Conifer Species. *Silvae Genetica* 18 (3), 61-64 (1969).

Variabilité géographique du poids de la graine de *Pinus contorta*

Par Y. BIROT

(Reçu Décembre 1977 / Juin 1978)

avec la collaboration technique de DANIELE AUBERT

Station d'Amélioration des Arbres forestiers
Centre de Recherches Forestières
I.N.R.A.
Ardon — 45160 Olivet — France

Résumé

La variabilité géographique du poids de la graine chez *Pinus contorta* a été étudiée sur la majeure partie de l'aire naturelle de l'espèce grâce aux récoltes de graines effectuées par l'I.U.F.R.O.; 140 provenances ont été observées.

La sous-espèce *murrayana* des Cascades de l'Oregon et de la Sierra Nevada (Californie) présente une graine nettement plus lourde que les autres sous-espèces (*bolanderi*, *contorta*, *latifolia*).

La variabilité interprovenance du poids de la graine « s'explique » de façon assez satisfaisante en fonction des variables géographiques (latitude, altitude, longitude); cependant les lois de variabilité (clines) ne sont pas très différentes entre sous-espèces, excepté pour la sous-espèce *bolanderi* (qui occupe une aire restreinte en Californie) dont la graine est très légère compte-tenu de sa latitude méridionale.

Summary

Geographic variation in seed weight of *Pinus contorta* was studied on 140 provenances (I.U.F.R.O.) collection sampled throughout the natural range.

The subspecies *murrayana* from Cascades (Oregon) and Sierra Nevada (California) had heavier seed than the other ones (*contorta*, *bolanderi*, *latifolia*).

Interprovenance variation of seed weight could be "explained" rather satisfactory according to the geographic parameters (latitude, elevation, longitude). However, the differences between the patterns of the different subspecies were not consistent. An exception was the subspecies *bolanderi* (restricted range in California) which had a very light seed considering its southern latitude of origin.

Key words: *Pinus contorta*, seed weight, provenance, geographic variation.

Zusammenfassung

An Hand der Untersuchung von 140 *Pinus contorta*-Samenherkünften (IUFRO-Provenienzversuch) aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet der Art lassen sich die mittleren Samengewichte der Provenienzen nach geogr. Länge und -breite sowie Seehöhe einander so zuordnen, daß geographische Variation anzunehmen ist.

Die Subspezies *murrayana* aus den Kaskaden (Oregon) und der Sierra Nevada (Kalifornien) hatte schwereren Samen als die anderen (*contorta*, *bolanderi*, *latifolia*).

Die Unterschiede der Eigenschaften zwischen den einzelnen Subspezies traten jedoch nicht gleichmäßig verteilt auf. Eine Ausnahme war die Subspezies *bolanderi* (mit beschränktem Vorkommen in Kalifornien) die einen in Anbetracht des südlichen Breitengrades ihrer Herkunft außerordentlich leichten Samen hatte.

Introduction

L'exploration de la variabilité génétique intraspécifique des arbres forestiers a été souvent abordée par des études de type biosystématique. Parmi les caractères observés, les caractéristiques de la graine ont retenu l'attention de nombreux auteurs étudiant des espèces très diverses:

- . pour le Douglas: *Pseudotsuga menziesii* MIRB. FRANCO: ALLEN (1960), SWEET (1965), SZIKLAI (1969), EL LAKANY et SZIKLAI (1971), YAO (1971), BERNEY (1972), BIROT (1972), GRIFFIN (1974), GRIFFIN et CHING (1977).
- . pour l'Epicéa commun: *Picea abies* KARST.: ANDERSSON (1965), DUTKIEWICZ (1968), FOBER et GIERTYCH (1971).
- . pour le Pin sylvestre: *Pinus sylvestris*: WRIGHT et BULL (1963).
- . pour *Pinus strobus*: GENYS (1968).
- . pour le Mélèze d'Europe (*Larix europaea*): BOUVAREL et LEMOINE (1958).
- . pour les Epicéas américains: MORGENSTERN (1969) sur *Picea mariana*, HELLUM (1968) sur *Picea glauca*, BURLEY (1965) sur *Picea sitchensis*.
- . pour *Abies procera* et *magnifica*: FRANKLIN et GREATHOUSE (1968).

Parmi les différentes caractéristiques de la graine, le poids de la graine est, sous réserve des quelques biais possibles (effets maternels), un critère simple permettant souvent de discriminer les populations. Pour un certain nombre d'espèces forestières des variations cliniques ont pu être mises en évidence en fonction de paramètres géographiques simples (latitude, altitude par exemple) sans qu'il soit toujours possible d'ailleurs d'expliquer les causes des gradients constatés.

Chez *Pinus contorta*, MASCHNING (1971), sur un échantillon de 35 provenances récoltées par l'I.U.F.R.O. en 1968, a trouvé une relation étroite entre poids de la graine et latitude de la provenance ($r = -0,88^{***}$), ainsi que d'importan-

tes différences entre provenances. L'étude dont les résultats sont présentés ici est basée sur un échantillonage beaucoup plus abondant: 140 provenances représentant l'ensemble de l'aire de cette espèce. Les principales questions posées sont les suivantes:

- le poids de la graine permet-il de distinguer les 4 sous-espèces habituellement décrites chez *Pinus contorta*: *latifolia* (zone intérieure), *contorta* (zone côtière), *murrayana* (Chaîne des Cascades et Sierra Nevada), *bolanderi*: plaine de Mendocino (Californie) (CRITCHFIELD, 1957)?
- à l'intérieur de chacune de ces sous-espèces existe-t-il des lois de variabilité géographique du poids de la graine? Ces lois varient-elles selon les sous-espèces?
- sur l'ensemble de l'espèce collective *Pinus contorta*, le poids de la graine constitue-t-il un critère taxonomique suffisamment précis?

Materiel et Methodes

L'étude est fondée sur la collection de provenances de

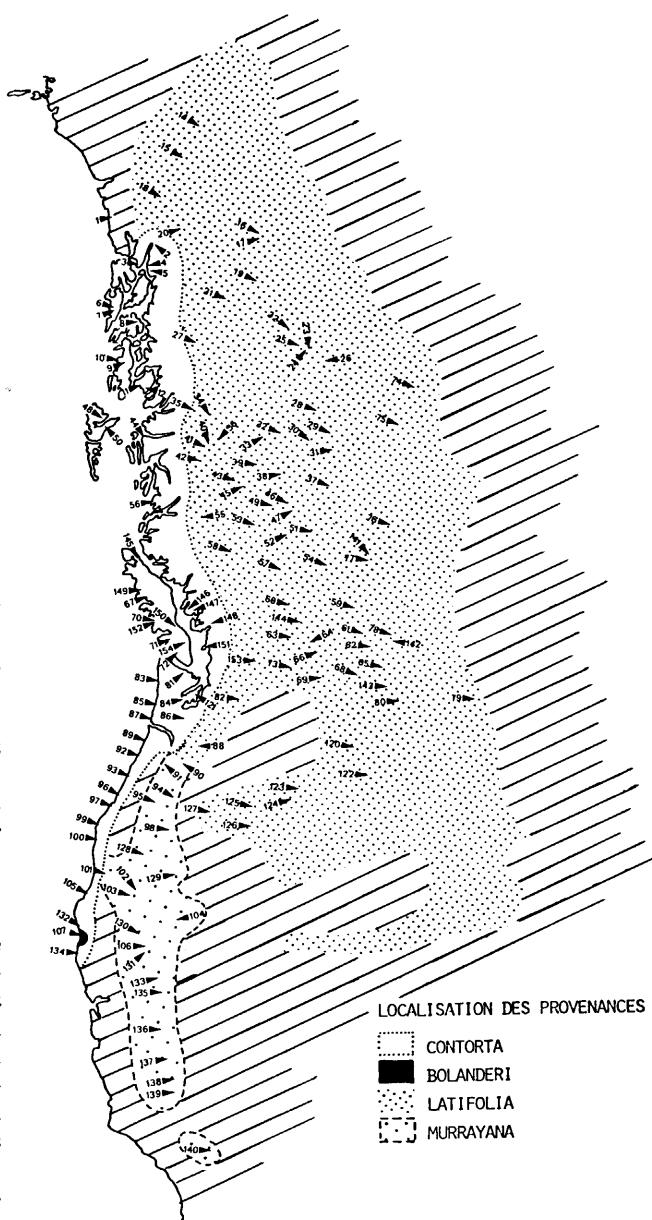


Fig. 1. — Localisation des provenances.
Provenances location.

Tab. 1. — Liste des provenances.
List of provenance.
C: contorta, L: latifolia, M: murrayana, B: bolanderi

Numéro	Nom de l'Etat ou de la Province	Nom de la Provenance	Latitude en ° mn.	Longitude en ° mn.	Alt. m.	Poids de 1000 gr. pleines	Sous-espèce
2001	Alaska	Yakutat	59°30'	139°10'	46	3,76	C
2002	"	Skagway	59°27'	135°18'	30	2,62	C
2003	"	Gustavus	58°27'	135°45'	6	3,64	C
2004	"	Auke MTN. Juneau	58°24'	134°42'	419	2,36	C
2005	"	N.E.Douglas	58°20'	134°31'	46	3,28	C
2006	"	Beaver Lake	57°05'	135°11'	259	3,40	G
2007	"	Sitka	57°04'	135°21'	30	3,74	C
2008	"	Petersburg	56°47'	132°58'	23	3,68	C
2009	"	Thorne River	55°40'	132°45'	69	3,16	C
2010	"	Klawack River	55°34'	133°03'	30	3,66	C
2011	"	Gravina Island	55°22'	131°42'	23	3,10	C
2012	"	Annette Airfield	55°03'	131°35'	34	3,38	C
2014	Yukon	Ethel Lake	63°18'	136°28'	876	2,42	L
2015	"	Carmacks	62°14'	136°18'	671	2,54	L
2016	"	Frances Lake	61°22'20"	129°38'20"	835	2,60	L
2017	"	Frances Lake	61°10'	129°20'	884	2,44	L
2018	"	Takhini River	60°41'	136°11'	747	2,52	L
2019	Br. Columbia	Lower Post Mile 624	59°59'	128°33'	640	2,70	L
2020	" "	Atlin Magnus- sens Road	59°48'	133°47'	789	2,56	L
2021	" "	4-4,5 Miles S.E.Cottonwood River Bridge	59°06'	129°44'	792	2,62	L
2022	" "	Moncho Lake	59°03'	125°46'	853	3,02	L
2023	" "	Testa River	58°40'	124°10'	762	3,10	L
2024	" "	Testa River	58°39'10"	124°19'20"	893	3,16	L
2025	" "	Summit Lake	58°39'	124°46'	1173	2,86	L
2026	" "	Jack Fish Creek Fort Nelson	58°32'	122°42'	457	3,22	L
2027	" "	Kinaskan Lake	57°29'	130°13'	815	2,42	L
2028	" "	Pink Mt.	57°00'	122°24'	1113	3,46	L
2029	" "	Fort St.John	56°25'30"	121°10'50"	860	3,30	L
2030	" "	Hudson Hope	56°02'	122°05'	725	2,62	L
2031	" "	Tower Lake	56°01'	120°37'	724	3,14	L
2032	" "	Finlay Forks	55°57'	123°48'	686	2,94	L
2033	" "	Nina Creek	55°48'	124°49'	762	2,76	L
2034	" "	Kispiox	55°38'	127°54'	610	2,40	L
2035	" "	Nass River	55°37'	128°38'	305	2,46	L
2036	" "	Babine	54°59'	126°33'	960	2,42	L
2037	" "	Red Willow River	54°56'	120°15'	954	3,18	L
2038	" "	McLeod Lake	54°49'	122°51'	696	2,66	L
2039	" "	Kalder Lake	54°49'	124°16'	945	2,96	L
2040	" "	S.Corner, Old Telkwa Air Strip	54°39'	127°03'	518	2,88	L

Pinus contorta réalisée par l'I.U.F.R.O. en 1967—68 et 1968—69 (BARNER 1968). Les provenances utilisées sont localisées sur la fig. 1 et décrites au tableau 1. Ce tableau précise également la sous-espèce à laquelle appartient chaque provenance; on a, pour ce faire, tenu compte des informations fournies par CRITCHFIELD (LINES 1976). Chaque provenance est constituée par un mélange égal des graines de 15 arbres-mères en moyenne.

Le poids de 1000 graines pleines: P, a été déterminé sur échantillon séparé par tri densimétrique à l'éther de pétrole (cf. BIROT 1972); les valeurs moyennes trouvées pour chaque provenance ont été indiquées dans le tableau 1. Cette approche, qui permet d'éliminer la quasi totalité des graines vides, est meilleure que l'utilisation de la valeur brute, p, obtenue après tri simplifié et qui sousestime la valeur réelle. Cependant dans le cas de la collection I.U.F.R.O. de *Pinus contorta*, la corrélation entre P et p (1) atteint un niveau très élevé: $r = 0,988^{***}$ pour les 140 provenances étudiées, confirmant ainsi la validité des conclusions de MASCHNING (1971), basées sur le poids brut de 1000 graines

(p), pour 35 provenances de la même collection I.U.F.R.O.

Résultats

3.1 Variabilité entre sous-espèces

Le regroupement des provenances par sous-espèces, opéré selon les indications de CRITCHFIELD, permet de calculer pour chaque sous-espèce, un poids moyen de la graine (cf. tableau 2).

Tab. 2. — Variabilité du poids de la graine entre différentes sous-espèces de *Pinus contorta*.

Variation in seed weight between the different subspecies of *Pinus contorta*.

Sous-espèces	Nbre de prov.	Poids de 1000 gr. pleines Moyenne en g.	Ecart type	C.Var. %	Minimum	Maximum
<i>latifolia</i>	73	3,19 (a)	0,76	23,8	2,40	5,80
<i>contorta</i>	45	3,54 (a)	0,87	24,6	2,14	6,06
<i>murrayana</i>	21	6,32 (b)	1,68	26,6	4,08	11,38
<i>bolanderi</i>	1	2,92	--	--	--	--

(a), (b) : pas de différences significatives (0,95) entre sous-espèces repérées par la même lettre (analyse de variance à un facteur contrôlé).

(1): valeur donnée par BARNER: circulaire n° 6 (1970).

(Continuation Tab. 1)

N°	Nom de l'Etat ou de province	Nom de la Provenance	latitude en ° mn.	Longitude en ° mn.	Alt. m.	Poids de 1000 gr. pleines	Sous-espèce
2041	Br. Columbia	Microwave Road					
	" "	Telkwa Valley	54°38'	127°26'	1006	2,82	L
2042	" "	Collins Lake	54°08'	127°14'	937	2,42	L
2043	" "	Francois Lake	54°03'	125°05'	968	2,50	L
2044	" "	Porcher Isl.	54°02'	130°17'	46	3,08	C
2045	" "	Nechako River	54°01'	124°32'	732	2,70	L
2046	" "	Bowron River	53°54'	122°00'	671	3,06	L
2047	" "	Purden Lake	53°52'	121°44'	838	3,00	L
2048	" "	Masset Road N. of Port Clements	53°49'	132°08'	23	2,82	C
2049	" "	Lynx Lake	53°39'	122°58'	823	2,70	L
2050	" "	Mayer Lake	53°39'	132°04'	21	2,92	C
2051	" "	McKale River	53°25'	120°20'	701	3,00	L
2052	" "	Wells	53°08'	121°33'	1113	2,86	L
2053	" "	Udy Creek	53°08'	121°33'	983	2,56	L
2054	" "	Albreda Turn-off	52°35'	119°10'	975	2,90	L
2055	" "	Tweedsmuir Park	52°30'	125°48'	1311	2,86	L
2056	" "	Campbell Isl.	52°08'	128°08'	38	3,08	C
2057	" "	Oie Lake	52°00'	121°12'	991	3,18	L
2058	" "	Chilco Lake	51°59'	123°54'	1059	2,86	L
2059	" "	Donald, Marl Creek	51°31'	117°11'	945	2,88	L
2060	" "	Wentworth Creek Road	50°58'	120°20'	1059	3,32	L
2061	" "	Westside Cartwright Lake	50°49'	116°26'	1173	2,98	L
2062	" "	Settlers Road	50°31'	115°44'	1036	3,56	L
2063	" "	Esperton Lake	50°03'	119°39'	1067	2,78	L
2064	" "	Kettle Valley	50°02'	118°34'	1137	2,76	L
2065	" "	Valley Road	49°59'	114°55'	1280	2,92	L
2066	" "	Innoaklin Valley	49°54'	118°12'	579	2,98	L
2067	" "	Cold River	49°46'	126°03'	91	2,70	C
2068	" "	Sawdust Creek Road	49°34'	116°04'	1661	2,74	L
2069	" "	Champion Lake	49°11'	117°35'	998	2,64	L
2071	" "	Mesachie Lake	48°49'	124°08'	213	3,46	C
2072	" "	Sooke	48°28'	123°39'	549	2,54	C
2073	" "	Jolly Creek	49°09'	119°11'	1539	2,56	L
2074	Alberta	Mount Watt	58°39' 30"	117°27'00"	759	3,62	L
2075	"	Hawk Hills	57°22' 45"	117°33'25"	716	3,54	L
2076	"	Swan Hills	54°18' 40"	116°34'30"	823	3,50	L
2077	"	Mercoal	53°05' 00"	117°11'00"	1402	3,90	L
2078	"	Kananaskis	51°01' 40"	115°02'22"	1402	4,78	L
2079	"	Cypress Hills	49°37' 47"	110°18'00"	1448	5,58	L
2080	"	Waterton Lakes	49°04' 00"	113°47'30"	1652	4,12	L
2081	Washington	Blue Mountain	47°57'	123°16'	1676	3,44	C
2082	"	Stevens Pass	47°47'	120°56'	2867	3,58	L
2083	"	Queets	47°38'	124°18'	30	2,54	C
2084	"	Johns Prairie	47°14'	123°05'	61	3,46	C
2085	"	Westport	46°53'	124°07'	15	3,66	C
2086	"	Vail	46°52'	122°36'	137	3,60	C
2087	"	Long Beach	46°26'	124°03'	15	3,42	C
2088	"	Trout Lake	46°04'	121°27'	1219	5,80	L
2089	Oregon	Manzanita	45°43'	123°56'	15	4,18	C
2090	"	Zigzag	45°23'	121°45'	549	4,08	M
2091	"	Mount Hood	45°18'	121°45'	1280	4,64	M
2092	"	Pacific City	45°13'	123°57'	15	4,54	C
2093	"	New Port	44°34'	124°04'	15	2,86	C
2094	"	Black Butte Swamp	44°23'	121°40'	1006	4,08	M

Les sous-espèces *contorta* (45 provenances étudiées) et *latifolia* (73 provenances) ont une graine d'un poids très comparable: respectivement 3,54 g. et 3,19 g. (poids de 1000 graines pleines). Par contre, la graine de la sous-espèce *murrayana* (21 provenances étudiées) est significativement plus lourde: 6,32 g. en moyenne. Une provenance 2102 (McCloud) atteint même le poids record de 11,38 g. Quant à la sous-espèce *blandereri* elle n'est représentée ici que par une seule provenance.

3.2. — Lois de variabilité géographique

En utilisant la technique de la régression progressive multiple (cf. BIROT 1972) on a cherché à «expliquer» le poids de la graine en fonction de variables géographiques simples traduisant certains facteurs environnementaux de la provenance, ce sont: la latitude, l'altitude et la longitude.

La latitude est indicatrice de la longueur du jour et d'une certaine façon des conditions thermiques. L'altitude est un critère climatique d'intérêt évident (longueur de la saison de végétation, température, etc. ...). La longitude

exprime d'une certaine façon, pour l'Amérique de l'Ouest, la continentalité. Cependant, la Côte Pacifique n'est pas toujours orientée sud-nord et la distance à l'Océan semblerait mieux traduire ce facteur (GRIFFIN 1974). Cette dernière variable a été utilisée dans un deuxième temps à la place de la longitude, afin de comparer l'intérêt de ces deux variables.

Les calculs ont été menés successivement sur chacune des 3 sous-espèces (*contorta*, *latifolia*, *murrayana*) et sur l'espèce collective *Pinus contorta* (toutes sous-espèces confondues). Les tableaux n° 3 et n° 4 donnent respectivement les corrélations totales entre poids de la graine et variables géographiques et les «meilleures» équations «explicatives» du poids de la graine en fonction de ces variables. La meilleure équation est celle qui combine les variables de façon à obtenir la corrélation maximum et l'écart-type résiduel minimum.

a) lois de variabilité par sous-espèce

Le tableau 3 des corrélations totales montre l'existence de liaisons souvent fortes entre poids de la graine et les

(Continuation Tab. 1)

N°	Nom de l'Etat ou de la Province	Nom de la Provenance	latitude en ° mn.	Longitude en ° mn.	Alt. m.	Poids de 1000 gr. pleines	Sous-espèce
2095	Oregon	Broken Top	44°08'	121°38'	1707	5,96	M
2096	"	Carter Lake	43°50'	124°09'	15	4,24	C
2097	"	Hauser Dunes	43°30'	124°14'	15	4,76	C
2098	"	Chemult	43°19'	121°39'	1676	5,30	M
2099	"	Port Orford	42°46'	124°31'	15	4,84	C
2100	"	Pistol River	42°15'	124°24'	15	6,06	C
2101	California	Coon Mountains	41°50'	123°53'	1097	5,80	M
2102	"	McCloud	41°16'	121°55'	1219	11,38	M
2103	"	Gumboot Lake	41°13'	122°30'	2134	7,90	M
2104	"	Patterson Meadow	41°11'	120°10'	2179	8,16	M
2105	"	Samoa	40°47'	124°13'	15	5,38	C
2106	"	Bucks Lake	39°53'	121°07'	1646	5,96	M
2107	"	Fort Bragg	39°25'	123°50'	15	2,92	B
2120	Montana	St. Regis	47°22'	115°24'	945	3,68	L
2121	Washington	Port Orchard	47°25'	122°40'	76	3,46	C
2122	Montana	Lolo Hot Springs	46°40'	114°33'	1341	3,92	L
2123	Oregon	Enterprise	45°38'	117°16'	1311	5,04	L
2124	"	Lostine	45°19'	117°24'	1524	3,88	L
2125	"	Ukiah	45°10'	118°43'	1280	4,42	L
2126	"	Prairie City	44°32'	118°34'	1494	4,34	L
2127	"	Mitchell	44°29'	120°25'	1341	5,28	L
2128	"	Klamath Falls	42°23'	122°12'	1509	4,80	M
2129	"	Quartz Pass	42°18'	120°47'	1616	5,62	M
2130	California	Mineral	40°21'	121°29'	1494	6,12	M
2131	"	Bucks Lake	39°53'	121°08'	1615	6,20	M
2132	"	Fort Bragg	39°29'	123°48'	15	5,64	C
2133	"	Truckee	39°13'	120°12'	1829	7,32	M
2134	"	Manchester	38°58'	123°42'	30	5,36	C
2135	"	South Lake Tahoe	38°48'	119°58'	2347	7,82	M
2136	"	Yosemite	37°51'	119°40'	2408	5,74	M
2137	"	Huntington Lake	37°11'	119°12'	2195	5,72	M
2138	"	Mineral King	36°27'	118°36'	2408	5,80	M
2139	"	Camp Nelson	36°06'	118°32'	2164	6,18	M
2140	"	Big Bear Lake	34°13'	116°59'	2347	8,24	M
2141	Alberta	Hinton	53°16'	117°09'	1204	3,60	L
2142	"	Kananaskis	51°01'	115°02'	1494	4,16	L
2143	"	Lynx Cr.	49°26'	114°25'	1372	3,90	L
2144	Br. Columbia	Fly Hills	50°43'	119°27'	1524	2,80	L
2145	"	Port Hardy	50°40'	127°22'	23	3,12	C
2146	"	Lund	50°01'	124°46'	137	2,88	C
2147	"	Sayward	49°59'	125°29'	290	2,84	C
2148	"	Caribaldi	49°54'	123°10'	427	2,14	C
2149	"	Friendly Cove	49°37'	126°37'	8	3,44	C
2150	"	Qualicum	49°22'	124°32'	61	3,12	C
2151	"	Lulu Is.	49°09'	123°06'	6	3,22	C
2152	"	Tofino	49°05'	125°47'	23	3,34	C
2153	"	Manning Park	49°04'	120°46'	1128	2,96	L
2154	"	Chemainus	48°55'	123°45'	61	3,36	C

Tableau 3. — Coefficient des corrélations totales entre le poids de la graine et variables géographiques pour les différentes sous-espèces et toutes sous-espèces confondues.

Coefficient of total correlation between seed weight and geographic parameters within the different subspecies and all subspecies confounded.

	latitude 1	Longitude L	Altitude A	Longitude × latitude L × 1	Altitude × latitude A × 1
<i>latifolia</i> (ddl 71)	-0,60*** (1)	-0,60*** (0,41***)	0,52*** (0,31***)	-0,63*** (-0,51***)	0,39*** (-0,23)
<i>contorta</i> (ddl 43)	-0,60*** (1)	-0,24 (-0,48***)	-0,22 0,70***	-0,51*** (-0,48***)	-0,23 0,69***
<i>murrayana</i> (ddl 18) (1, (sans prov. 2102)	-0,57*** (1)	-0,42 (0,25)	-0,22 0,70***	-0,56** (-0,48***)	-0,30*** 0,69***
ensemble (avec 2102) (ddl 138)	-0,73*** (1)	-0,31*** (-0,13)	0,46*** (-0,20*)	-0,68*** (-0,20*)	0,30***

(*), (**), (***) : significativement différent de 0 aux seuils 95, 99 et 99,9%.

(1) : dans cette ligne la variable longitude (L) a été remplacée par la variable distance à l'Océan (D).

in this line: longitude (L) has been replaced by distance to ocean (D) ddl: degree of freedom.

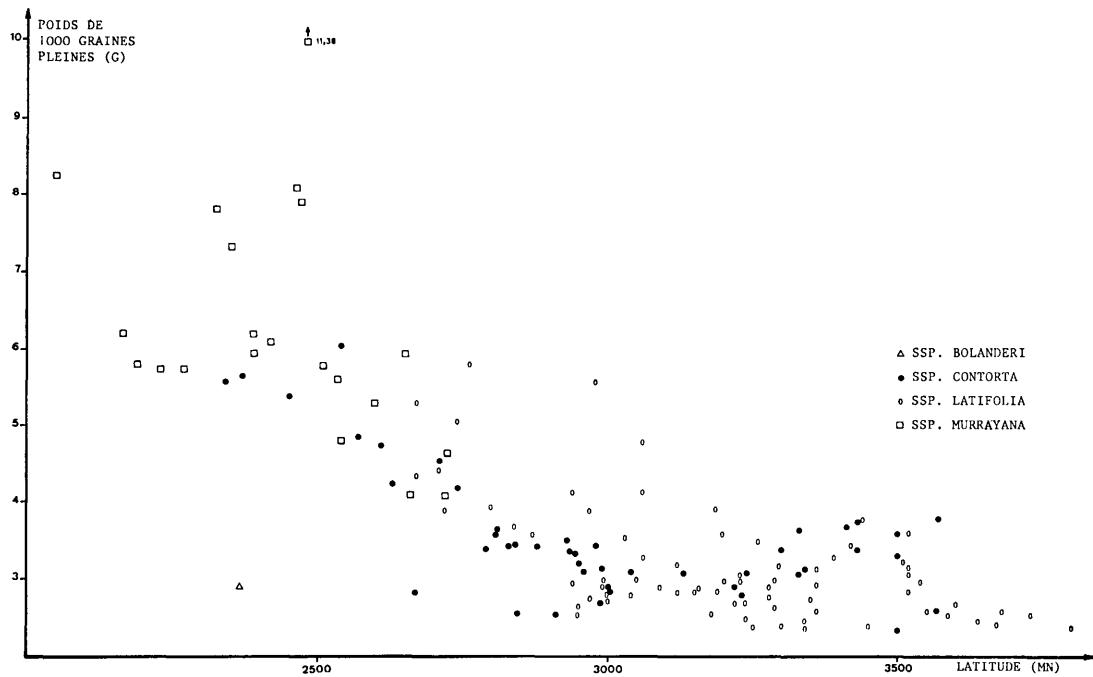


Fig. 2. — Poids de la graine et latitude.
Seed weight and latitude

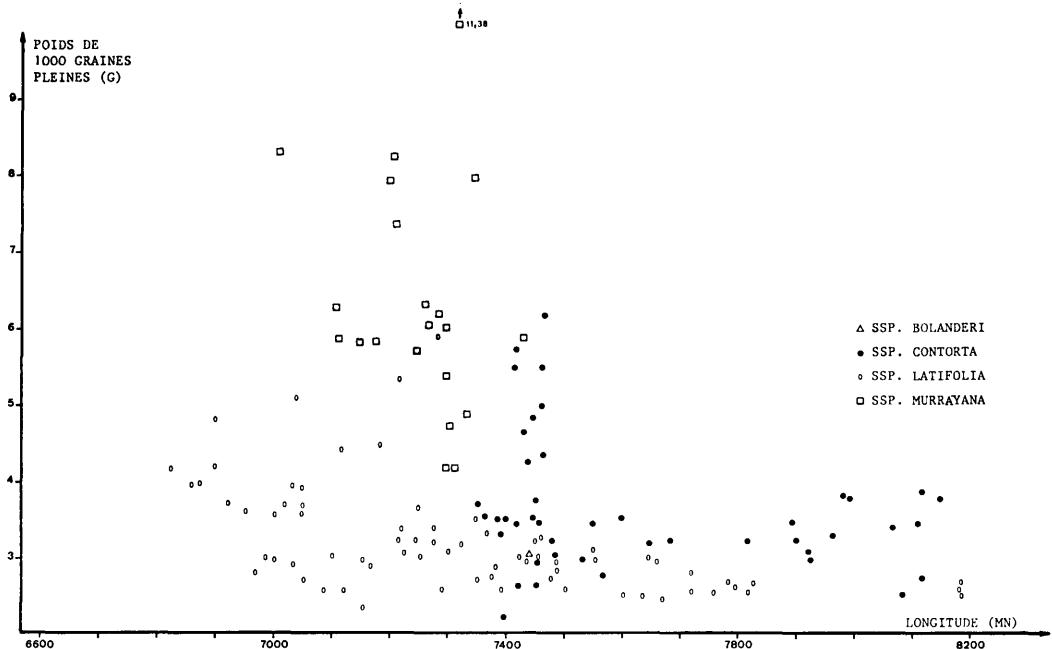


Fig. 3. — Poids de la graine et longitude.
Seed weight and longitude.

variables géographiques (cf. aussi fig. 2, 3, 4); ces gradients sont très semblables entre sous-espèces: négatifs avec la latitude et la longitude, positifs avec l'altitude. Il faut cependant remarquer que, compte-tenu de la géographie des aires naturelles, longitude et latitude sont positivement liées pour les sous-espèces *latifolia* ($r = 0,73^{***}$), *contorta* ($r = 0,88^{***}$) et *murrayana* ($r = 0,81^{***}$).

Pour la sous-espèce *contorta*, les liaisons avec l'altitude et la longitude sont faibles; il faut remarquer que la sous-espèce *contorta*, essentiellement côtière, est presque toujours cantonnée à très faible altitude. Toutefois, si l'on remplace la longitude par la variable distance à l'Océan, la corrélation augmente et devient significative pour la

sous-espèce *contorta* et diminue pour les deux autres, mais elle est négative dans le premier cas, positive dans le second. Pour les sous-espèces *latifolia* et *contorta* on constate que le poids de la graine ne varie plus au-delà de 53° de latitude.

A partir du tableau n° 4, plusieurs résultats peuvent être mis en évidence qui permettent de mieux comprendre l'effet simultané des différentes variables.

- 1º) les coefficients de corrélations multiples atteignent des niveaux relativement élevés: 0,873 pour la sous-espèce *contorta* (soit 76% de la variation du poids de la graine «expliquée»), mais pas plus de 0,751 (soit 56% de la variation) pour la sous-espèce *latifolia*.

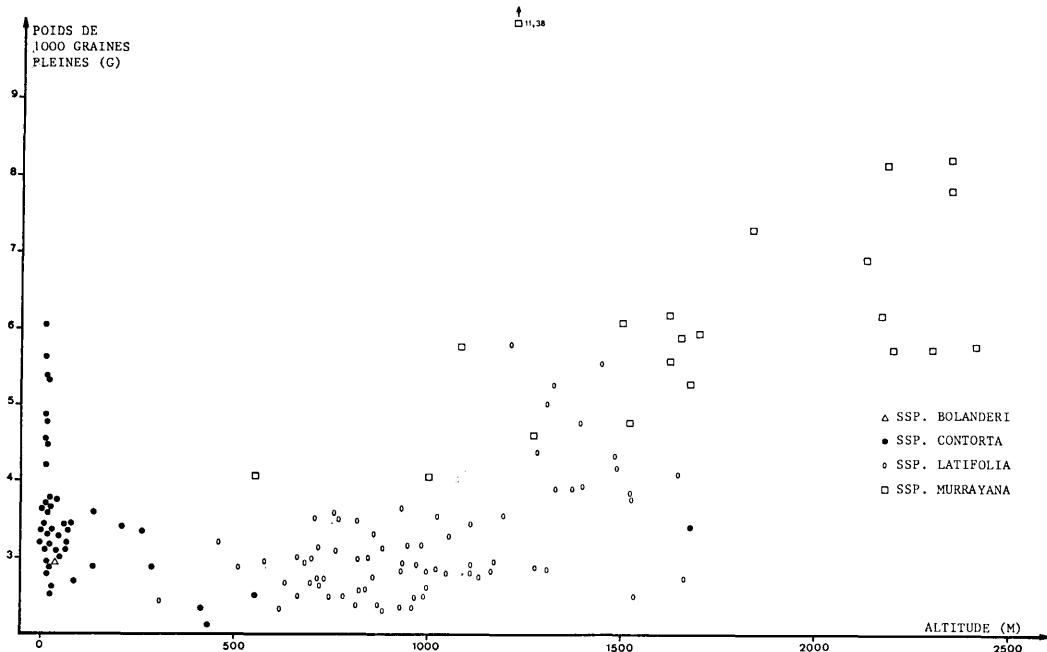


Fig. 4. — Poids de la graine et altitude.
Seed weight and elevation.

- 20) l'utilisation des variables géographiques combinées au lieu des variables géographiques simples permet d'améliorer légèrement les équations de prédictions.
- 30) sauf dans le cas de la sous-espèce *contorta*, l'utilisation de la variable distance à l'Océan au lieu de la longitude permet aussi une amélioration de la valeur prédictive de l'équation.
- 40) les lois de variabilité apparaissent assez voisines d'une sous-espèce à l'autre.

Enfin, la seule provenance de la sous-espèce *bolanderi* (2107) étudiée ici se classe nettement à part; sa graine est beaucoup plus légère que ne le laisserait supposer sa latitude.

b) lois de variabilité pour l'espèce collective *Pinus contorta*

Le tableau n° 4 montre que la meilleure équation de tient l'altitude et surtout la latitude; l'effet de la longitude est moins marqué bien que significatif. Le poids de la graine n'est pas lié à la variable distance à l'Océan. Le sens des liaisons est le même que pour les différentes sous-espèces.

Le tableau n° 4 montre que la meilleure équation de prédition (en utilisant la distance à l'Océan au lieu de la longitude) permet d'expliquer 64% de la variation du poids de la graine, ce qui est assez satisfaisant. L'apport simultané des variables, latitude, altitude, longitude (ou distance à la mer) est presque toujours significatif.

Discussion

Le poids de la graine est-il réellement sous dépendance génétique? Il pourrait être en effet soumis à des effets maternels environnementaux non négligeables: effets année de récolte, variations climatiques locales, conditions édaphiques, etc. . . GRIFFIN (1974) a montré, pour le Douglas de Californie, que le poids de la graine est relativement stable suivant les années pour les provenances côtières; par contre, cette stabilité est moins bonne pour les provenances plus intérieures au climat moins fidèle. Chez *Pinus ponderosa* CALLAHAM et HASEL (1958) ont mis en évidence des variations de la taille de la graine suivant les

années de récolte. Pour *Pinus contorta* aucune donnée expérimentale n'est disponible pour confirmer ou infirmer la validité comme facteur de différenciation génétique du caractère poids de la graine.

On peut également discuter les variables géographiques utilisées comme variables explicatives. N'aurait-il pas mieux valu choisir des facteurs du climat eux-mêmes? En utilisant les variables: période sans gelée, température moyenne annuelle, amplitude des températures moyennes mensuelles (différence entre température moyenne du mois le plus chaud et du mois le plus froid), GRIFFIN (1974) a pu «expliquer» les variations du poids de la graine de Douglas en Californie de façon plus précise qu'avec les variables géographiques: latitude, altitude, distance à l'Océan ($R = 0,776$ contre $R = 0,688$). Dans le cas de l'étude sur *Pinus contorta*, présentée ici, les données météorologiques disponibles n'étaient pas suffisantes pour essayer la même approche.

Ces réserves étant faites, on peut tenter de dégager les faits principaux:

- 10) La sous-espèce *murrayana* a une graine nettement plus lourde que les sous-espèces *latifolia* et *contorta* dont les poids moyens sont d'ailleurs voisins. La distinction toutefois n'est pas absolue; il y a un certain chevauchement: les provenances à graine lourde des sous-espèces *contorta* et *latifolia* atteignent le niveau des provenances à graine légère de la sous-espèce *murrayana*. Il faut remarquer avec CRITCHFIELD (1957) que la frontière entre *murrayana* et *latifolia* n'est pas absolue. S'il y a maintenant absence de *Pinus contorta* entre les Blue Mountains et le versant Est des Cascades de L'Oregon, la grande vallée de la Columbia River entre Cascades du Washington et de l'Oregon ne constitue qu'une discontinuité relative (cf. fig. 1).

Le poids moyen plus lourd de la graine de la sous-espèce *murrayana* s'explique probablement en partie par l'altitude moyenne beaucoup plus élevée (1.734 m.) à laquelle ces provenances se trouvent. Pour les sous-espèces *contorta* et *latifolia* ces altitudes moyennes sont respectivement de 116 m. et 997 m.

Tableau 4. — Meilleures équations explicatives du poids de la graine en fonction des variables géographiques simples (1,3) ou combinées (2,4).
Best predictive equations of the seed weight by the geographic parameters, simple (lines 1,3) or combined (2,4).

Sous-espèce et Nbr de proven.	Constante	A (Altitude)	L ou D (latitude)	Coefficients de régression				
				L × 1 (longitude)	L × 1 (l) ou D × 1 (l)	A × 1	Corrélation multiple (R)	
contorta (45 prov.)	(1) -12,7	0,925.10 ⁻²	-0,389.10 ^{-2**}	-0,452.10 ^{-2**}	0,249.10 ⁻⁵	-0,321.10 ⁻⁵	0,463 0,854 F(2,42) = 56,7**	
	(2) 50,2		-0,459.10 ⁻²	-0,230.10 ^{-1*}			0,450 0,873 F(5,39) = 25,0**	
latifolia (73 prov.)	(3) 7,9	-0,546.10 ^{-2**}	-0,138.10 ^{-2**}				F(2,42) = 21,0**	
	(4) 8,9	-0,406.10 ^{-1*}	-0,171.10 ^{-2**}	0,115.10 ^{-5*}			F(3,41) = 16,6**	
murrayana (sauf 2102)	(1) 10,4	0,434.10 ⁻³	0,721.10 ^{-3*}	-0,725.10 ⁻³	0,380.10 ^{-6*}	-0,327.10 ^{-5**}	0,589 0,654 F(3,69) = 17,1**	
	(2) 10,5	0,105.10 ^{-1**}	-0,218.10 ^{-2**}				F(4,68) = 17,4**	
ensemble (avec 2102)	(3) 8,7	-0,133.10 ^{-2**}	-0,158.10 ^{-2**}				F(2,70) = 32,3**	
	(4) 3,1	0,871.10 ⁻²	-0,898.10 ^{-2*}	-0,236.10 ⁻³	0,321.10 ^{-5*}	-0,268.10 ^{-5**}	0,528 0,751 F(5,67) = 17,3**	
(20 prov.) (1,2,3)	(1) 3,1	0,169.10 ^{-2**}					F(1,18) = 17,4**	
	(2) 3,1							
ensemble (avec 2102)	(3) 8,8	0,307.10 ^{-2**}	-0,076	-0,011	0,304.10 ⁻⁴	0,305.10 ⁻⁵	0,875 0,801 F(5,14) = 5,0**	
	(4) 10,0	0,708.10 ^{-3**}	0,108.10 ^{-2**}	-0,274.10 ^{-2**}			0,926 0,778 F(3,136) = 69,5**	
140 prov.	(2) 9,0	0,474.10 ^{-2**}	-0,972.10 ^{-2**}	0,671.10 ³⁻	-0,307.10 ^{-2**}	0,173.10 ⁻⁶		
	(3) 9,0				-0,218.10 ^{-2**}	-0,897.10 ^{-6*}		
	(4) 9,0				-0,184.10 ^{-2**}	0,320.10 ^{-5**}	0,908 0,790 F(4,135) = 55,9**	
						-0,653.10 ⁻⁵	0,954 0,765 F(3,136) = 63,8**	
							0,891 0,802 F(5,134) = 48,2**	

N.B.: Les paramètres des lignes 1 et 2 sont calculés avec la variable longitude L, ceux des lignes 3 et 4 avec la variable distance à l'Océan D.

A est exprimé en m., D en km., L et 1 en minutes. Seuils de signification comme dans tableau no 3.

2º Pour les 3 sous-espèces, comme pour l'ensemble de l'espèce collective la latitude est le cline le plus marqué; la graine est d'autant plus légère que l'on se déplace vers le Nord; ceci confirme les résultats de MASCHNING (1971) sur *Pinus contorta* et les résultats de nombreux auteurs sur d'autres espèces: *Pinus sylvestris* (WRIGHT et BULL 1963), *Pinus strobus* (GENYS 1968), *Abies procera* et *magnifica* (FRANKLIN et GREATHOUSE 1968), *Pseudotsuga menziesii* (SWEET 1965, YAO 1971, BIROT 1972, GRIFFIN 1974), *Picea abies* (ANDERSSON 1965, DUTKIEWICZ 1968, FOBER et GIERTYCH 1971), *Picea mariana* (MORGENSTERN 1969). Pour *Picea sitchensis* il n'y a pas de cline apparent (BIROT, données non publiées, concernant 70 provenances de la collection I.U.F.R.O.); les graines des provenances nordiques sont toutefois plus lourdes confirmant ainsi les résultats de BURLEY (1965), mais les provenances méridionales ont également une graine plus lourde.

En outre, la provenance de la sous-espèce *bolanderi* (2107) dont l'aire est d'ailleurs très limitée, ne suit pas du tout le modèle décrit: diminution du poids de la graine avec la latitude. Ceci confirme les observations de CRITCHFIELD (1957) qui fait de cette population, un écotype particulier, probablement édaphique.

3º Sauf pour la sous-espèce *contorta*, très côtière, l'altitude est également un gradient marqué: la graine est d'autant plus lourde que l'altitude est plus élevée. Ceci confirme les lois observées chez *Larix europaea* par BOUVAREL et LEMOINE (1958) et sur *Picea abies* par FOBER et GIERTYCH (1971). Cependant pour cette dernière espèce ANDERSSON (1965) et DUTKIEWICZ (1968) arrivent à des conclusions opposées. Ces divergences sont probablement contingentes de l'échantillonnage. Pour *Pseudotsuga menziesii* (BIROT 1972), les lois de variation avec l'altitude sont tantôt négatives, tantôt positives suivant les régions.

4º La longitude ou distance à l'Océan constitue le 3ème gradient (sauf pour la sous-espèce *murrayana* dont l'aire naturelle est relativement étroite et orientée sensiblement Nord-Sud). En effet, l'introduction de cette variable améliore la précision de prédiction du poids de la graine, les deux variables latitude et altitude étant déjà introduites.

Pour *Pseudotsuga menziesii*, le poids de la graine est lié à la longitude (ou distance à l'Océan) surtout dans les populations méridionales (Californie) (SWEET 1965, BIROT 1972, GRIFFIN 1974). Pour *Picea mariana* MORGENSTERN (1969) ne pouvait mettre en évidence un tel gradient malgré de fortes différences de longitude entre provenances.

Il n'est pas aisés d'interpréter ces lois de variabilité géographique d'ordre statistique en terme de causalité, pour expliquer l'évolution qui s'est produite sous l'effet de facteurs climatiques et qui a conduit à une différenciation génétique des populations. Il faut bien considérer également l'échelle à laquelle on se place et la représentativité de l'échantillon des provenances étudiées. Par ailleurs, d'autres facteurs peuvent constituer une force évolutive, CRITCHFIELD (1957) suggère que la différenciation (caractère des cônes) entre les populations des Montagnes Rocheuses et celles de la Sierra Nevada, a pu se faire partiellement sous l'action des incendies beaucoup plus sévères dans la première région que dans la seconde.

5º Les lois de variabilité géographique entre sous-espèces sont extrêmement voisines à l'inverse de ce qui a été observé chez *Pseudotsuga menziesii* (BIROT 1972). Les mêmes gradients sont mis en évidence sur l'ensemble de l'espèce collective *Pinus contorta*. Il semblerait que tout se passe finalement comme si l'espèce s'était diversifiée à partir d'un phylum unique. L'existence de type intermédiaire, déter-

miné sur des critères anatomiques ou morphologiques (CRITCHFIELD 1957) notamment entre *latifolia* et *murrayana* pourrait expliquer cette absence apparente de différenciation. Entre *latifolia* et *contorta*, il semble d'après CRITCHFIELD que les interférences entre les aires des 2 sous-espèces soient limitées à quelques points dont la basse vallée de la Skeena River en Colombie Britannique.

Il faut reconnaître également que le poids de la graine ne constitue qu'un critère parmi d'autres et qu'il est difficile de se baser sur un seul facteur pour faire des hypothèses sur l'évolution ou la différenciation génétique. Les plantations comparatives réalisées à partir de ces 140 provenances permettront certainement d'aller beaucoup plus loin.

Sur un plan pratique enfin, il ne semble pas que le poids de la graine et les équations prédictives puissent servir de moyens à un éventuel contrôle de l'authenticité de l'origine de certains lots de graines. La précision des modèles développés a en effet ses limites; de plus certaines sous-espèces (*latifolia* et *contorta*) se discriminent mal sur ce critère. Cependant on peut affirmer qu'un lot de graines dont le poids de 1000 graines excéderait 6 g. doit être rattaché à la sous-espèce *murrayana*.

Bibliographie

ALLEN, G. S., 1960: A method of distinguishing coastal from interior Douglas-fir seed. Br. Columbia Lumberman 44 (8): 26-30. — ANDERSSON, E., 1965: Cone and seed studies in Norway spruce (*Picea abies* KARST.). Stud. For. Scie. 23: 1-214. — BARNER, H., 1968: Circular letter n° 2 and n° 3. — BERNEY, J. L., 1972: Studies on the probable origin of some european Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO). M. F. Thesis. University of British Columbia, Vancouver p. 99. — BIROT, Y., 1972: Variabilité intraspécifique du poids de la graine chez le Douglas. Silvae Genetica 21 (6): 230-242. — BOUVAREL, P. et LEMOINE, M., 1958: Note sur les reboisements;

Races de mélèze et grosseur des graines. Rev. For. Française 5: 348-350. — BURLEY, J., 1965: Variation in seed characteristics of Sitka spruce. Adv. Front. Plant Sci. 10: 11-24. — CALAHAM, R. Z., and HASEL, A. A., 1958: Height growth of Ponderosa pine progenies. Proc. Soc. Amer. For. 1957: 61-62. — CRITCHFIELD, W. B.: Geographic variation in *Pinus contorta*. Maria Moors Cabot Foundation Publ. n° 3. 119 p. Cambridge, Mass Harvard Univ. Press. — DUTKIEWICZ, W., 1968: Variation in seed weight in relation to boundaries of two ranges of spruce in Poland. ex: Population Studies of Norway spruce in Poland Warszawa IBL 45 51. — EL LAKANY, M. H., and SZIKLAI, O., 1971: Intraspecific variation in nuclear characteristics of Douglas-Fir. Adv. Front. of Plant Science 28: 363-378. — FORBER, H., and GIERTYCH, M., 1971: Variability of *Picea abies* seed size, weight and mineral content in Poland Arboretum Kornickie Rocznik XVI, 1971, p. 121-130. — FRANKLIN, J. P., and GREATHOUSE, E., 1968: Seed origin studies: noble California red fir species complex. Proc. W. For. Nurs. Councl.: p. 11-16. — GENYS, J. B., 1968: Geographic variation in eastern white pine. 2 years results of testing range wide collection in Maryland. Silvae Genetica 17 (1): 6-12. — GRIFFIN, A. R., 1974: Geographic variation in juvenile growth characteristics of Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii*, MIRB. FRANCO) from the coastal Ranges of California. Ph. D. Thesis O.S.U. Corvallis. — GRIFFIN, A. R., and CHING, K. K., 1977: Geographic variation in Douglas-Fir from the coastal ranges of California. I Seed, seedling growth and hardiness characteristics. Silvae Genetica (sous presse). — HELLMAN, A. K., 1969: Variation in cotyledon number and seed weight in white spruce in Alberta. Comm. For. Tree Breeding Can. Québec 1968, Part. 2, 1969, p. 65-76. — LINES, R., 1976: Circular letter no. 7. — MASCHNING, E., 1971: Die Variation der Kotyledonenzahl bei einigen *Pinus contorta* Herkünften. Silvae Genetica 20 (1): 10-14. — MORGENTERN, E. K., 1969: Genetic variation in seedlings of *Picea mariana* (Mill.) BSP 1 Correlation with ecological factors. Silvae Genetica 18 (5-6): 151-160. — SWEET, G. B., 1965: Provenance differences in Pacific coastal Douglas-Fir. I Seed and seedlings characteristics. Silvae Genetica 14 (2): 46-56. — SZIKLAI, O., 1969: Preliminary notes on the variations in cone and seed morphology of Douglas-Fir. Proc. 2nd. World Conf. on Forest Tree Breeding 1: 687-689. — WRIGHT, J. W., and BULL, W. I., 1963: Geographic variation in Scotch Pine. Silvae Genetica 12 (1): 1-25. — YAO, C., 1971: Geographic variation in seed weight, some cone scale measurements and seed germination of Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO). M. F. Thesis U.B.C. Vancouver 88 p.

An albina-type natural chlorophyll mutant in *Gmelina arborea* Roxb.

By C. S. VENKATESH¹⁾, R. S. ARYA²⁾ and R. C. THAPLIYAL³⁾

Forest Research Institute, Dehra Dun, India

(Received February 1978)

Summary

A spontaneously arising pure white seedling mutant in *Gmelina arborea*, is reported, the first of its kind in this tropical forest tree species. The potential value of such chlorophyll mutations as early genetic markers in seed orchard management, is indicated.

Key words: Chlorophyll mutant, *Gmelina arborea*.

Zusammenfassung

Es wird über eine spontan entstandene rein weiße Sämlingsmutante bei *Gmelina arborea* berichtet, die erste bei dieser Waldbauart. Auf den potentiellen Wert solcher Chlorophyllmutationen als genetische marker in Samenplantagen wird hingewiesen.

Introduction

As a fast growing tree for the lowland tropical zone,

there is increasing international interest in *Gmelina* (LAMB, 1968). It has been successfully introduced in several countries outside its natural range, especially in Africa and Latin America. First stage provenance collections are now underway (LAURIDSEN, 1977), and in due course, a regular controlled breeding programme is quite likely to develop on this valuable species. It was deemed desirable therefore, to gather in advance, basic genetic data which might eventually serve as a logical base for such a future improvement scheme. No work has yet been done, for instance, on the pollination and mating system of this species, even though its large, inch-long flowers provide suitable material for such research.

Material

There are several mature trees of the species growing on the New Forest estate of the Institute. But all of them are quite tall and therefore their flowering crowns are not safely approachable even with ladders. As an alternative therefore, it was decided to establish shoot cuttings or

¹⁾ Plant Geneticist; ^{2), 3)} Research Officers.