

COMPARAISON DES STRATÉGIES DE CROISSANCE EN HAUTEUR DU SAPIN DE CÉPHALONIE (*ABIES CEPHALONICA* LOUD.) ET DU CÈDRE DE L'ATLAS (*CEDRUS ATLANTICA* MANETTI)

par Bruno FADY *

Avec la collaboration technique de
Denis VAUTHIER **

INTRODUCTION

Depuis maintenant une vingtaine d'années, le programme « Sapins méditerranéens » de la Station d'amélioration des arbres forestiers de l'Institut national de la recherche agronomique compare différents sapins du pourtour méditerranéen entre eux afin de déterminer leur vigueur respective, une fois faite la preuve de leur adaptation générale au milieu écologique considéré. De ce point de vue, le Sapin *Abies cephalonica* Loud. est très performant, et particulièrement certaines de ses provenances (Descroix, 1981; Fady, 1986; Fady, 1988).

Bien que de nature à pouvoir être utilisé en reboisements du seul fait de ses caractéristiques très favorables de croissance et d'adaptation, il paraissait important comme préalable de pouvoir comparer la croissance en hauteur du Sapin de Céphalonie avec celle de la principale espèce de reboisement allochtone en France méditerranéenne : le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Le Cèdre de l'Atlas est présent à titre de témoin dans l'ensemble des dispositifs expérimentaux étudiés. Il a été ainsi possible de comparer ses qualités de croissance appréciables de tous les reboiseurs à celles moins bien connues du Sapin de Céphalonie.

Ce travail, en aucun cas exhaustif, doit être considéré comme un premier bilan comparatif de la croissance en hauteur et des stratégies de croissance de deux espèces qui peuvent jouer un rôle capital dans la revalorisation écologique et sylvicole de la forêt méditerranéenne française.

* Laboratoire de botanique et écologie méditerranéenne, Faculté des Sciences St Jérôme, 13397 Marseille cedex 13.

** Institut national de la recherche agronomique, Domaine expérimental du Ruscas, 83230 Bormes-les-Mimosas.

1. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. — Les provenances

Les provenances représentent des populations dont les individus constitutifs sont tous issus d'un même peuplement d'origine dans une même forêt d'origine.

Le Sapin de Céphalonie, espèce principalement étudiée dans ce dispositif, est représentée par 11 provenances naturelles (Massifs du Taygète, du Mainalon, du Parnasse et du Pinde Furna) et une artificielle (Italie), alors que le Cèdre de l'Atlas n'est représenté que par une seule provenance artificielle française (Ventoux). Cette dernière a été choisie pour sa bonne adaptation aux conditions écologiques et bioclimatiques du sud de la France, sa forte vigueur et sa bonne stabilité interstationnelle. Parmi les provenances artificielles françaises de Cèdre de l'Atlas, c'est une des plus prometteuses (Pradal, 1979; Mille, 1986). D'autres espèces d'*Abies* sont présentes dans ce dispositif. Les particularités de chacune sont consignées dans le tableau 1.

1.2. — Les plantations comparatives

Elles sont au nombre de trois et aussi dissemblables que possible afin de constituer des milieux expérimentaux écologiquement variés : — 1. : Le Treps (Maures, Var), à 580 mètres d'altitude sur substrat siliceux; — 2. : Pélenq (Haute-Provence, Var), à 520 mètres d'altitude sur substrat calcaire; — 3. : La Livinière (Minervois, Hérault), à 450 mètres d'altitude sur substrat micaschisteux.

Le dispositif expérimental dans les trois plantations est du type lattice équilibré à blocs incomplets (Cochran and Cox, 1957).

1.3. — Techniques de plantation

Le mode de plantation a été identique sur les 3 stations. Au cours de l'hiver 1970-1971, le terrain a été complètement débroussaillé, puis sous-solé. Les jeunes plants de Sapin ont été mis en terre à racines nues au cours du même hiver à l'âge de 5 ans (les semis de 3 ans avaient été repiqués 2 ans en pépinière), alors que les jeunes cèdres ont été plantés en godets au cours de l'hiver 1971-1972, un an seulement après la graine. Les cèdres ont donc 5 années de végétation de moins que les sapins. La plantation a été faite soit en plein

NOM	PROVENANCE	ALTITUDE ET EXPOSITION	SUBSTRAT	ESPECE
PRIL	Profitis Ilias, Taygète, Grèce.	1450 m, Nord. Etage supramédit.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
XERO	Xerovouna, Taygète, Grèce.	1200 m, Nord. Etage supramédit.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
KAPO	Kapota, Mainalon, Grèce.	1300 m, Est. Etage supramédit.	Flyschs.	<i>A. cephalonica</i>
VLAH	Vlahica, Mainalon, Grèce.	1300 m, Nord. Etage supramédit.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
LAGA	Lagada, Mainalon, Grèce.	750 m, Nord-Ouest. Etage supramédit.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
BROM	Bromopigado, Parnasse, Grèce.	1800 m, Nord-Est. Etage montagnardméd.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
KORO	Koromilies, Parnasse, Grèce.	1500 m, Nord-Est. Etage supramédit.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
KOLO	Kolokithobasi, Parnasse, Grèce.	1250 m, Nord. Etage supramédit.	Calcaire.	<i>A. cephalonica</i>
MEVR	Megali-Vrissi, Parnasse, Grèce.	1220 m, Sud-Ouest. Etage supramédit.	Flyschs.	<i>A. cephalonica</i>
KRAS	Kerasini, Pinde Furna, Grèce.	1200 m, Nord. Etage supramédit.	Flyschs.	<i>A. cephalonica</i>
PALE	Paleoturnos, Pinde Furna, Grèce.	900 m, Nord-Ouest. Etage supramédit.	Flyschs.	<i>A. cephalonica</i>
ITAL	Italie. Provenance artificielle, probablement hybride.			<i>A. cephalonica</i>
AMAN	Amance. Provenance artificielle française			<i>A. nordmanniana</i>
KRAN	Krasnodar, Caucase, URSS.			<i>A. nordmanniana</i>
BABO	Babors, Algérie.			<i>A. numidica</i>
PIRO	Pinsapar de Ronda, Andalousie, Espagne.			<i>A. pinsapo</i>
SACR	Sangre de Cristo, Colorado, USA.			<i>A. concolor</i>
SEYA	Sehirly-Yayla, Bolu, Turquie.			<i>A. bornmulleriana</i>
VENT	Ventoux, France. Provenance artificielle.			<i>Cedrus atlantica</i>

Tableau I. — Caractéristiques des provenances du dispositif expérimental « Sapins Méditerranéens ».

découvert, en groupes contigus avec espacement individuel de 2 m × 2 m (Le Treps et La Livinière), soit en groupes de 2 lignes à espacement individuel de 2 m × 2 m séparés par des bandes abris de 10 m de large (Pélenq).

1.4. — Méthodes de mesure et de traitement des données

La mesure de la croissance en hauteur est un descripteur fiable du comportement général d'une espèce forestière, et notamment un révélateur de son génotype en milieu connu et un bon prédicteur de son volume ligneux total.

Les mesures de hauteur ont été faites à la règle télescopique graduée. La précision apportée à la lecture est de l'ordre du centimètre.

Les moyennes annuelles des hauteurs totales et des pousses des différentes provenances ont été comparées statistiquement par une analyse de variance. Les moyennes obtenues ont été classées par un test de comparaison multiple de moyennes de Duncan : les provenances non réunies par des traits continus ou se chevauchant sont significativement différentes les unes des autres au seuil de 5 %.

Afin de tester la stabilité d'expression d'une provenance (donc d'un génotype) par rapport à son milieu, le concept d'écovalence et son inverse mathématique, l'interaction, ont été utilisés (Wricke in Freeman, 1973). Si la stabilité d'une provenance est grande, donc si son interaction génotype x environnement est faible, elle prouvera une « insensibilité » relative aux conditions fluctuantes du milieu. Les qualités de vigueur qu'une telle provenance pourra montrer ne résulteront donc pas d'une marque éventuelle du milieu, d'où un intérêt certain pour le sélectionneur (Eberhart and Russel, 1966).

Les calculs comparent toutes les provenances entr'elles, mais seront surtout considérés, en règle générale, les résultats relatifs au Cèdre de l'Atlas et au Sapin de Céphalonie.

2. — COMPARAISON DES HAUTEURS TOTALES ET DES POUSSES ANNUELLES

2.1. — Le Treps

Les mesures reflètent 7 années de végétation consécutives de 1979 à 1985. L'ensemble des tests F de l'analyse de variance sont significatifs à 1 % aussi bien au niveau des provenances que des interactions provenances x facteurs du milieu. Les provenances comparées présentent donc une variabilité importante dans leur croissance.

L'observation des hauteurs totales montre que si le Cèdre (VENT) est en tête des classements en 1980, il régresse en 1985 et se retrouve en deuxième position après une provenance de Sapin de Céphalonie, KOLO (tableaux II et III).

Ce changement de classement est nettement amplifié pour les pousses annuelles (tableaux IV et V) puisque, bien qu'étant au niveau de meilleure croissance annuelle en 1980, le Cèdre se fait dépasser par l'ensemble des sapins de Céphalonie en 1985 (position 1 en 1980 et position 13 en 1985 sur 16 traitements au total). L'ensemble des années d'observation ne constituant pas une série climatique anormale (figure 1), exceptée peut-être l'année 1982 très sèche, il est raisonnable de penser que le climat n'est pas responsable de ce phénomène.

2.2. — Pélenq

Les mesures sont relatives à 3 années de végétation consécutives (1983 à 1985). Tous les tests F sont significatifs à 1 %.

L'observation des hauteurs totales montre la position nettement en tête du Cèdre (tableaux VI et VII). Sa supériorité de croissance n'est cependant plus évidente au niveau des pousses annuelles (tableaux VIII et IX). Il est d'abord dépassé par une provenance de Sapin de Céphalonie en 1984 puis par l'ensemble des provenances du Pinde et du Mainalon en 1985 malgré des conditions climatiques somme toute similaires (fig. 2).

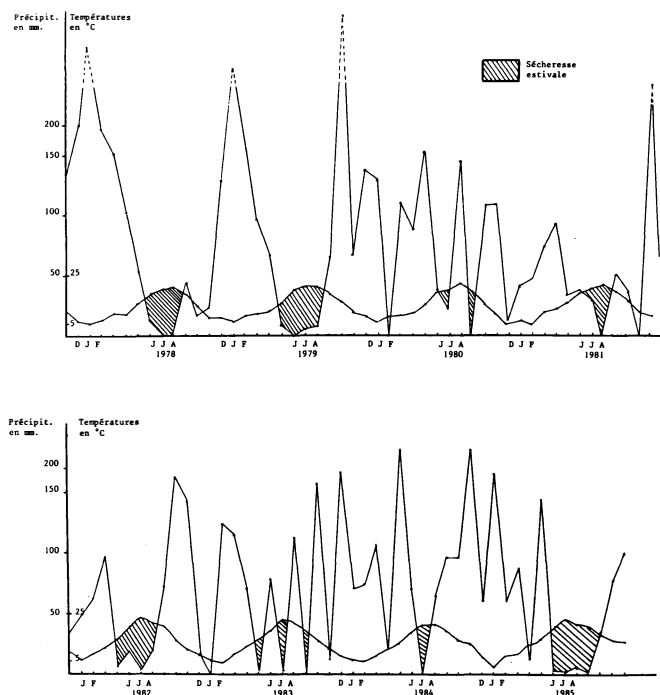


Figure 1. — Diagramme ombrothermique de la station du Treps (Poste météorologique du Ruscas).

TABLEAU II Hauteurs totales 1980

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VENT	155,87	
2	KOLO	131,62	
3	ITAL	126,01	
4	SACR	121,69	
5	KAPO	120,88	
6	VLAH	119,51	
7	KRAS	116,01	
8	PALE	115,64	
9	AMAN	113,70	
10	LAGA	112,06	
11	BROM	111,39	
12	XERO	110,60	
13	PRIL	105,35	
14	KORO	100,88	
15	PIRO	87,02	
16	MEVR	83,39	
A. CEPHALONICA		112,78	

TABLEAU III Hauteurs totales 1985

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	KOLO	276,90	
2	VENT	270,89	
3	KAPO	263,92	
4	VLAH	263,56	
5	ITAL	261,05	
6	KRAS	244,14	
7	AMAN	243,74	
8	PALE	242,96	
9	LAGA	242,58	
10	XERO	238,96	
11	BROM	230,83	
12	PRIL	220,16	
13	KORO	215,86	
14	SACR	213,19	
15	MEVR	187,97	
16	PIRO	183,57	
A. CEPHALONICA		249,07	

TABLEAU IV Pousses annuelles 1980

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VENT	22,91	
2	KAPO	17,73	
3	KOLO	17,62	
4	ITAL	16,16	
5	VLAH	15,70	
6	BROM	14,93	
7	XERO	14,52	
8	SACR	14,22	
9	KRAS	14,11	
10	PALE	13,85	
11	AMAN	13,59	
12	LAGA	12,77	
13	KORO	12,73	
14	PRIL	11,78	
15	MEVR	11,32	
16	PIRO	8,57	
A. CEPHALONICA		14,28	

TABLEAU V Pousses annuelles 1985

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VLAH	39,83	
2	KOLO	39,20	
3	KAPO	38,34	
4	ITAL	36,94	
5	AMAN	35,87	
6	LAGA	35,50	
7	XERO	35,35	
8	PALE	35,18	
9	KRAS	34,77	
10	PRIL	32,43	
11	KORO	31,86	
12	BROM	31,68	
13	VENT	28,00	
14	MEVR	27,18	
15	PIRO	24,39	
16	SACR	19,35	
A. CEPHALONICA		34,67	

TABLEAU VI Hauteurs totales 1983

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VENT	184,36	
2	KRAS	132,85	
3	ITAL	132,49	
4	PALE	129,28	
5	KAPO	128,82	
6	LAGA	126,58	
7	SACR	119,93	
8	KOLO	119,22	
9	VLAH	118,73	
10	BROM	112,73	
11	KORO	111,43	
12	PRIL	110,50	
13	XERO	105,34	
14	AMAN	104,18	
15	MEVR	107,77	
16	KRAN	95,51	
A. CEPHALONICA		118,02	

TABLEAU VII Hauteurs totales 1985

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VENT	235,81	
2	ITAL	184,68	
3	LAGA	184,29	
4	KAPO	182,98	
5	KRAS	182,79	
6	PALE	181,93	
7	VLAH	170,03	
8	KOLO	167,42	
9	KORO	157,26	
10	SACR	155,65	
11	BROM	152,54	
12	PRIL	152,15	
13	MEVR	147,93	
14	AMAN	144,00	
15	XERO	143,09	
16	KRAN	126,65	
A. CEPHALONICA		165,59	

TABLEAU VIII Pousses annuelles 1984

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	LAGA	26,83	
2	VENT	25,25	
3	KAPO	24,98	
4	ITAL	24,67	
5	PALE	24,24	
6	VLAH	23,81	
7	KRAS	22,82	
8	KOLO	22,05	
9	KORO	21,78	
10	MEVR	19,69	
11	PRIL	18,80	
12	AMAN	17,96	
13	SACR	17,45	
14	XERO	17,32	
15	BROM	17,09	
16	KRAN	14,90	
A. CEPHALONICA		21,76	

TABLEAU IX Pousses annuelles 1985

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	LAGA	30,88	
2	KAPO	29,17	
3	PALE	28,41	
4	ITAL	27,53	
5	VLAH	27,48	
6	KRAS	27,13	
7	VENT	26,21	
8	KOLO	26,15	
9	MEVR	25,48	
10	KORO	24,06	
11	PRIL	22,85	
12	BROM	22,72	
13	AMAN	21,86	
14	XERO	20,43	
15	SACR	18,27	
16	KRAN	16,23	
A. CEPHALONICA		25,30	

TABLEAU X Hauteurs totales 1980

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VENT	193,72	
2	SACR	177,15	
3	SEYA	167,59	
4	PALE	150,09	
5	LAGA	148,32	
6	VLAH	144,22	
7	KRAS	142,87	
8	ITAL	135,89	
9	KOLO	135,84	
10	KAPO	134,44	
11	XERO	127,88	
12	KORO	127,64	
13	MEVR	124,53	
14	BROM	122,78	
15	AMAN	119,17	
16	PRIL	107,12	
A. CEPHALONICA		133,47	

TABLEAU XI Hauteurs totales 1985

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	SEYA	350,85	
2	SACR	340,36	
3	VENT	337,51	
4	VLAH	313,52	
5	PALE	306,06	
6	LAGA	299,59	
7	KRAS	291,34	
8	KAPO	284,77	
9	ITAL	281,16	
10	KOLO	274,15	
11	XERO	271,05	
12	KORO	265,11	
13	AMAN	260,71	
14	BROM	259,48	
15	MEVR	253,69	
16	PRIL	225,70	
A. CEPHALONICA		276,77	

TABLEAU XII Pousses annuelles 1981

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	VENT	34,34	
2	SEYA	29,69	
3	SACR	28,05	
4	VLAH	24,79	
5	PALE	23,82	
6	KRAS	23,68	
7	BROM	22,69	
8	LAGA	22,33	
9	KORO	21,89	
10	AMAN	21,86	
11	ITAL	21,45	
12	KOLO	21,29	
13	KAPO	21,28	
14	XERO	20,81	
15	MEVR	19,83	
16	PRIL	16,64	
A. CEPHALONICA		21,73	

TABLEAU XIII Pousses annuelles 1982

RANG	POPULATION	MOYENNE	DUNCAN
1	SEYA	33,92	
2	SACR	31,75	
3	VLAH	29,62	
4	KAPO	27,75	
5	PALE	27,10	
6	VENT	26,93	
7	AMAN	26,54	
8	XERO	26,17	
9	LAGA	25,97	
10	KRAS	25,86	
11	ITAL	25,80	
12	KORO	24,10	
13	BROM	23,64	
14	KOLO	23,27	
15	MEVR	21,96	
16	PRIL	20,28	
A. CEPHALONICA		25,06	

Tableaux II à XIII. — Moyennes des hauteurs totales (en cm) et des pousses annuelles (en cm) des provenances de la station du Treps et comparaison par un test de Duncan au seuil 5 %.

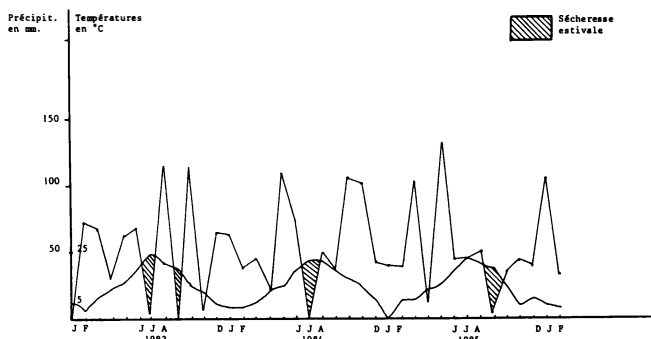


Figure 2. — Diagramme ombrothermique de la station de Pélenq (Poste météorologique de Gréoux).

En fait entre 1984 et 1985, le Cèdre garde une pousse annuelle de même valeur (25 cm en 1984 et 26 cm en 1985) alors que le Sapin de Céphalonie augmente fortement sa pousse (environ 4 cm pour les provenances du Mainalon et du Pinde, un peu moins pour les autres).

2.3. — La Livinière

Les mesures sont relatives à 4 années de végétation, 3 consécutives de 1980 à 1982 et une isolée, 1985. Tous les tests F sont significatifs à 1 %.

Le Cèdre a indiscutablement une hauteur totale constamment et nettement supérieure à celle du Sapin de Céphalonie (tableaux X et XI). Les pousses annuelles montrent que, quoique dominant en 1981, le Cèdre est devancé en 1982 par plusieurs provenances du Pinde et du Mainalon, et surtout par *Abies concolor* et *A. bornmuelleriana* très performants dans cette plantation (tableaux XII et XIII). Leur position dominante se retrouve par la suite dans les hauteurs totales puisqu'en 1985 ils devancent le Cèdre, loin devant les sapins du Pinde et du Mainalon (tableau XI).

Afin de tirer partie des mesures de hauteur 1985, un accroissement moyen annuel a été calculé entre 1980 et 1985 pour le Cèdre de l'Atlas et le Sapin de Céphalonie à partir du rapport entre l'accroissement cumulé sur plusieurs années et le nombre d'années de végétation concernées (tableau XIV). Alors qu'il est constant pour le Cèdre (autour de 28 cm), il augmente notablement pour le Sapin (de 28 à 32 cm) au fur et à mesure que la période de croissance étudiée se rapproche du stade jeune-adulte, mettant en évidence une augmentation de sa vigueur au fil des années, les successions climatiques annuelles étant normales (figure 3).

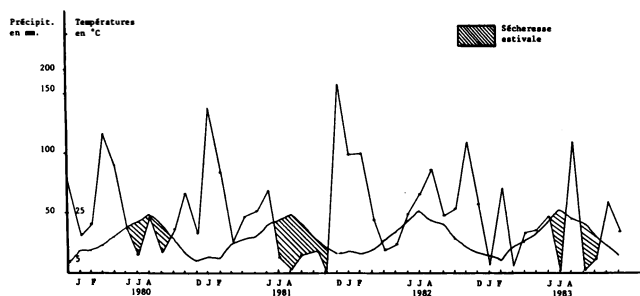


Figure 3. — Diagramme ombrothermique de la station de La Livinière (Postes météorologiques de Siran et Beaufort).

2.4. — Discussion

Malgré des mesures parfois effectuées sur de courtes durées à Pélenq et à La Livinière et qui ne pourraient aboutir à des conclusions fiables en elles-mêmes, les résultats acquis concordent avec ceux du Treps, où les mesures ont été les plus complètes et semblent généralement indifférents au substrat et au climat (les trois stations correspondent à trois complexes pédoclimatiques différents).

Bien qu'ayant 5 années de végétation d'avance sur le Cèdre, le Sapin de Céphalonie présente dans tous les cas étudiés une hauteur totale nettement plus faible en 1985, à la seule exception près de la provenance Kolo au Treps. Cependant il est bien clair que l'écart Cèdre/Sapin va diminuant d'une année sur l'autre. L'avantage contracté par le Cèdre pourrait bien ne plus être visible les prochaines années, ainsi que permet de l'affirmer l'observation en continu des pousses annuelles. Le descripteur « pousse annuelle » représente l'aspect dynamique de la croissance en hauteur, ce qu'il n'est possible de voir au niveau des hauteurs totales que sur de très longues observations.

La pousse annuelle peut de ce fait être considérée comme un prédicteur de la hauteur totale à venir. Dans le cas du Sapin de Céphalonie, elle est fort prometteuse. Des extrapolations à partir des accroissements annuels et des hauteurs totales actuels et une modélisation de la croissance permettraient de comparer les hauteurs probables des 2 espèces au stade adulte. En conditions naturelles, le Sapin de Céphalonie peut atteindre 20 à 30 mètres de hauteur à 100-110 ans et produire autour de 4 à 6 m³/ha/an et jusqu'à 13 m³ selon les sols et les provenances (Pauly, 1962; Panetsos, 1975; Quezel, 1985); le Cèdre de l'Atlas du Mont Ventoux atteint en moyenne 20 à 22 mètres de hauteur à 100 ans et peut produire entre 5 et 10 ou 11 m³/ha/an (Toth, 1973; Ferrandès, 1986).

L'augmentation régulière de la pousse annuelle du Sapin de Céphalonie prouve un changement dans le mode de croissance de l'arbre, donc une stratégie de croissance bien différente de celle du Cèdre de l'Atlas.

3. — STRATÉGIES DE CROISSANCE

L'observation des courbes de croissance pluriannuelles au Treps met sans aucun doute en évidence l'existence de 2 modes de croissance différents au stade juvénile pour le Cèdre de l'Atlas et le Sapin de Céphalonie (figure 4). Les chiffres utilisés étant des moyennes de hauteurs totales, ils compensent l'effet du milieu qui peut en fait être important (cf. paragraphes suivants).

NOMBRE D'ANNEES DE VEGETATION	ACCROISSEMENT ANNUEL ENTRE	CEDRE DE L'ATLAS	SAPIN DE CEPHALONIE
5	80 - 85	28,8	28,7
4	81 - 85	27,4	30,4
3	82 - 85	27,5	32,2

Tableau XIV. — Accroissement annuel moyen calculé sur un nombre d'années de végétation variable. La Livinière.

La courbe de croissance du Cèdre s'apparente à une droite alors que celle du Sapin de Céphalonie est de type curvilinéaire avec une pente positive de plus en plus prononcée. Ainsi, si le Cèdre a une croissance qui ne change peu ou pas de mode entre le stade juvénile et le stade jeune adulte (en 1985, le Cèdre compte 15 années de végétation depuis la graine), ni par la suite au cours de sa croissance adulte selon les courbes de croissance établies par TOOTH (1973), le Sapin de Céphalonie accélère régulièrement sa croissance avec l'âge (Panetsos, 1975). L'accroissement continu des pousses annuelles était donc un indicateur de ce phénomène qui semble se retrouver fréquemment chez les sapins (cf. courbes d'*Abies concolor* et d'*A. pinsapo*, figure 4). Si l'on compare les accroissements totaux annuels, cette différence est encore plus frappante (figure 5). En tenant compte des fluctuations climatiques, la pousse annuelle du Cèdre se situe constamment autour de 25 cm, alors que celle du Sapin de Céphalonie évolue de 14 cm environ en 1980 à 35 cm environ en 1985. Entre 1981 et 1983, la courbe de croissance du Sapin dépasse celle du Cèdre et l'écart continue à se creuser par la suite.

Le même phénomène se reproduit sans équivoque à La Livinière. Le calcul des pousses cumulées évoqué précédemment montre que plus l'accroissement moyen annuel se

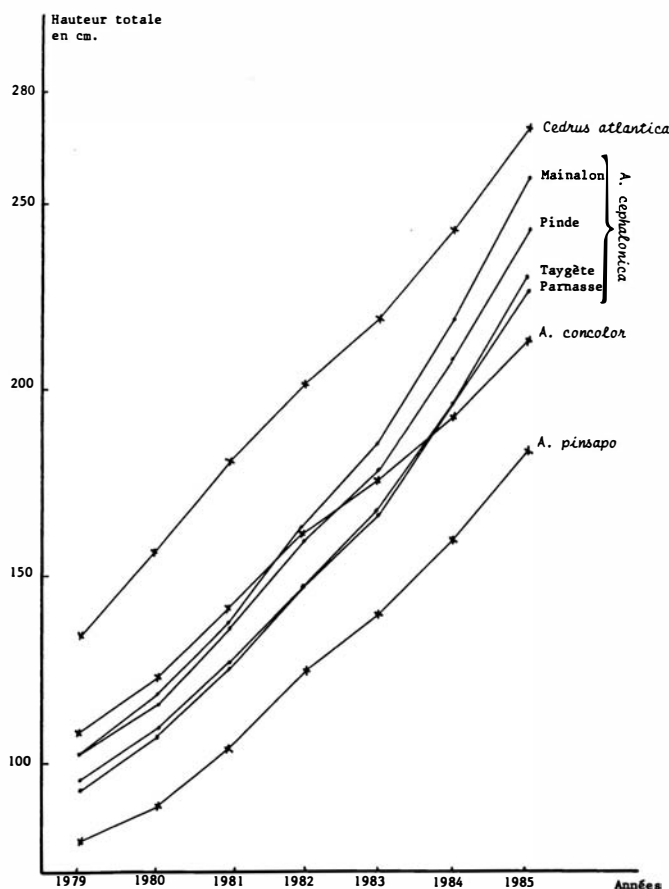


Figure 4. — Courbes de croissance pluriannuelles des provenances de la station du Treps.

rapproché du stade jeune adulte (en 1985, le Sapin de Céphalonie compte 20 années de végétation après la graine), plus il est important. La station de Pélenq offre des résultats plus difficilement interprétables du fait du peu de mesures effectuées.

D'après les courbes de croissance observées sur la station du Treps, le commencement du type de croissance adulte se situe autour des années 1981 à 1983, soit entre 16 et 18 ans après germination. En conditions naturelles, l'accélération de la croissance se situe entre 20 et 30 ans après germination et se prolonge longtemps par la suite (Panetsos, 1975).

L'existence d'une faible croissance juvénile chez le Sapin de Céphalonie, qui n'apparaît pas chez le Cèdre de l'Atlas au cours de la période étudiée (9 à 15 ans après la graine), quoiqu'importante, ne suffit pas à expliquer les variations annuelles de croissance observées chez les 2 espèces (figures 4 et 5). Le rythme de croissance annuel est dominé par un rythme endogène, mais il est modulé par les facteurs du milieu (Lavender, 1980). Le climat a un rôle important et cette forte interaction individu-année varie avec l'espèce.

Le diagramme ombrothermique du Treps (figure 1) montre que l'année 1982 est une année de sécheresse marquée (de mi-avril à fin août) et que l'année 1983 a une fin de printemps sec (de mi-avril à fin mai). La pousse annuelle du Cèdre décroît en 1982 par rapport à l'année précédente alors que celle du Sapin au contraire augmente. Ceci suggère à nouveau 2 modes de croissance différents, comparables aux types « mode fixe » et « mode libre » décrits par Cannell, Thompson et Lines (1976) pour plusieurs genres de conifères et par Lanner (1976) pour le genre *Pinus*. Le Cèdre est mieux décrit par le type libre, où l'initiation des unités de la future tige, les entre-nœuds (Kremer et Roussel, 1982), est immédiatement suivie par leur élongation. Le débourrement ayant lieu vers le début avril (Pradal, 1979), il est logique de supposer qu'un déficit hydrique au cours du printemps puisse réduire la taille de la pousse annuelle, s'il existe bien une relation significative entre la quantité d'eau disponible à une certaine période, le nombre d'entre-nœuds initiés et/ou allongés et la longueur de la pousse annuelle, comme cela a été prouvé sur

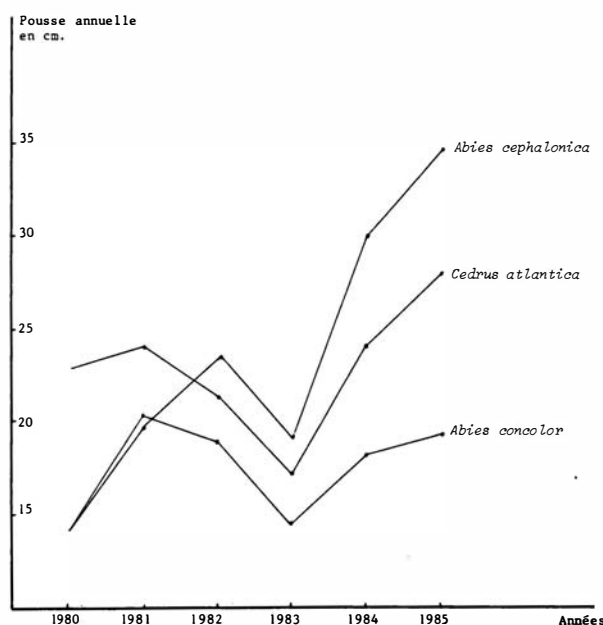


Figure 5. — Rythmes de croissance comparés de 3 espèces de la station du Treps.

Pin noir (Guyon, 1986) et sur plantules de Sapin (*Abies grandis* et *A. concolor*, Halgreen, 1984). De plus Guibal (in Till, 1986) a montré l'influence prépondérante des précipitations du printemps et de l'été dans l'accroissement du cerne. En 1983, le même phénomène se reproduit. De même, à la Livinière, avril et mai 1982 présentent un déficit hydrique important qui se répercute sur la croissance du Cèdre, très réduite par rapport à l'année précédente.

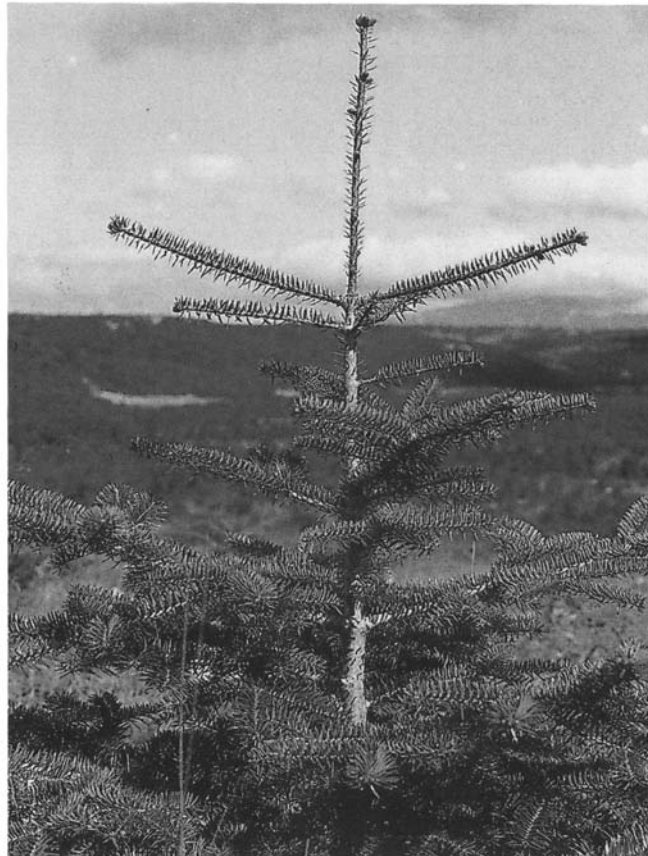


Photo 1. Plantation de S' Lambert, (84), 1988. Jeune Sapin du Mainalon, 13 années de végétation. Augmentation d'année en année de la longueur de la pousse !
Photo B. FADY



Photo 2. Plantation de Pélénq (83), 1988. Sapin du Mainalon, 23 années de végétation. Noter la taille des pousses annuelles et la présence des cônes. Photo B.F.

Le Sapin de Céphalonie serait quant à lui proche du type fixe où l'initiation des entre-nœuds se passe l'année qui précède leur élongation. Ainsi des conditions climatiques défavorables en 1982 au Treps peuvent expliquer que la perte de vigueur dans la pousse annuelle ne se fasse sentir qu'en 1983. L'initiation des entre-nœuds durant assez longtemps au cours de l'année qui précède l'élongation (presque 6 mois pour le Pin maritime d'après Kremer et Roussel, 1986; jusqu'à 4 1/2 mois pour l'initiation foliaire chez *Abies grandis*, de juillet à mi-novembre avec un maximum en juillet d'après Owens, 1984), il est possible que l'impact d'une sécheresse localisée sur la mise en place des entre-nœuds à ce moment-là puisse être compensé plus tard au cours de l'initiation qui se prolonge, ce qui n'est pas possible lorsque la croissance est libre.

A la Livinière, en 1982, la pousse annuelle du Cèdre décroît fortement par rapport à celle de 1981 (de 34 à 27 cm) alors que celle du Sapin de Céphalonie croît de 21,7 à 25 cm pour les mêmes années. Climatiquement, 1982 est une année marquée par une absence de sécheresse estivale et la présence d'un déficit hydrique en avril et mai, alors que 1981 est une année caractérisée par une sécheresse estivale particulièrement importante, de début juillet à début novembre (figure 3). L'hypothèse précédente reste valable. On peut supposer que le stress hydrique printanier de 1982 et non la sécheresse estivale de 1981 ait provoqué une perte de vigueur du Cèdre en 1982, d'autant que Finkelstein (in Aussenac et Finkelstein, 1983) souligne la capacité du Cèdre de l'Atlas à donner une pousse très développée l'année de végétation suivant une année de sécheresse à condition qu'elle soit bien arrosée. Or 1982 est une année sans sécheresse estivale et son seul accident climatique est la présence du déficit hydrique printanier. Le Sapin de Céphalonie au contraire a pu profiter des conditions favorables d'alimentation en eau en juin et juillet 1981 pour initier un nombre suffisant d'entre-nœuds permettant une pousse vigoureuse en 1982.

Au cours de l'année d'élongation, l'emprise du milieu varie encore selon l'espèce du fait de la durée plus ou moins longue de la croissance de la pousse, en général courte dans le cas du modèle fixe et longue dans le cas du modèle libre. Le Sapin de Céphalonie a une durée d'élongation courte d'environ 1 1/2 mois, de mi-mai à fin juin (Fady, 1986) et l'impact de la sécheresse l'année de l'élongation en sera d'autant plus réduit. La croissance du Cèdre peut s'étaler sur 5 mois, de fin avril à fin septembre et semble être bien corrélée avec une humidité atmosphérique croissante (Aussenac, Granier et Gross, 1981). En région méditerranéenne, la croissance en hauteur, bien que ne s'étalant plus que sur 4 mois, de début avril à fin juillet, peut donc être fortement perturbée par une sécheresse couvrant la même période. Il en résulte une forte instabilité de croissance que le paramètre écovalence met bien en évidence.

4. — STABILITÉ DE LA CROISSANCE

4.1. — Stabilité interannuelle

L'interaction observée dans ce cas est de type génotype x année, l'année étant le paramètre général regroupant des variations climatologiques, alors que le facteur sol est constant. La validité de cette expérimentation dépend d'un facteur limitant : il faut considérer les provenances, notamment de Sapin de Céphalonie, comme ayant terminé leur période de croissance juvénile. L'effet variation climatologique annuelle sera donc dominant par rapport à l'effet variation annuelle due à la croissance juvénile. Ainsi le test n'a-t-il été effectué au Treps qu'entre 1980 et 1985, donc sur 6 années de végétation au cours desquelles l'effet de jeunesse décroît fortement. Les résultats sont consignés dans le tableau XV.

	ECOVALENCE	HAUTEUR (cm)
PRIL	1,32	21,60
XERO	1,58	21,80
LAGA	5,04	22,36
VLAH	5,05	27,48
KAPO	2,18	26,84
MEVR	0,58	21,46
BROM	0,32	22,58
KORO	0,96	23,93
KOLO	0,80	26,90
KRAS	1,61	24,41
PALE	1,25	22,27
ITAL	0,30	23,32
AMAN	1,66	23,80
PIRO	3,82	19,09
SACR	35,35	19,73
VENT	38,18	21,40

Tableau XV. — Stabilité interannuelle et performance moyenne des provenances de la station du Treps pendant 6 années consécutives (1980 à 1985).

L'instabilité interannuelle du Cèdre est très importante et très significative. Les sapins de Céphalonie par contre ne dépassent jamais le seuil de signification de 6,25 % (16 provenances testées). Leur comportement peut donc être considéré comme stable d'une année sur l'autre.

4.2. — Stabilité interstationnelle

Les potentialités stationnelles sont très variables. Pour une année, 1985, la fertilité, calculée par la hauteur moyenne toutes provenances confondues, est la suivante : Le Treps, 240 cm; Pélénq, 172 cm; La Livinière, 290 cm. Malgré des conduites sylvicoles particulières à chacune de ces plantations, elles présentent des variations de fertilité où sol et

climat doivent jouer un rôle important puisqu'en 1980 les différences entre hauteurs moyennes étaient déjà notables : 116 cm au Treps, 101 cm à Pélenq et 142 cm à La Livinière. Un test de stabilité inter-stationnel a été fait pour intégrer ces différences considérables et observer leur effet sur les provenances. L'année 1985 a été choisie dans le même souci que précédemment de se rapprocher de la phase d'activité adulte. L'interaction recherchée est du type génotype x ensemble des conditions climato-pédologiques. Les résultats sont consignés dans le tableau XVI.

Tableau XVI. — Stabilité interstationnelle et performance moyenne des provenances des 3 stations du dispositif « Sapins Méditerranéens » en 1985.

	ECOVALENCE	HAUTEUR (cm)
PRIL	7,48	197,20
XERO	0,46	212,63
LAGA	2,92	237,54
VLAH	2,21	249,86
KAPO	1,15	243,39
MEVR	1,58	190,78
BROM	0,63	212,19
KORO	9,81	211,52
KOLO	11,42	233,50
KRAS	0,10	241,42
PALE	4,86	242,02
ITAL	2,20	230,09
AMAN	9,78	209,28
SACR	29,07	241,35
VENT	16,33	277,03



Photo 3. Plantation de Pélenq (83), 1988. Aspect général du Sapin de Céphalonie à 23 ans. Photo B.F.

Le Cèdre de l'Atlas a l'instabilité la plus élevée, très nettement au-dessus du seuil de signification 6,25 % (16 provenances testées) et loin devant le Sapin de Céphalonie. Cependant certaines provenances se situent au-dessus de ce seuil : KOLO, KORO, PRIL. Seuls les sapins du Mainalon et du Pinde conservent une écovalence faible non significative.

4.3. — Discussion

Le Cèdre de l'Atlas semble avoir des exigences écologiques très marquées, que ce soit au niveau de l'eau disponible ou du substrat, qui ne se retrouvent pas chez le Sapin de Céphalonie. La supériorité du Cèdre en hauteur totale n'est pas liée directement à la fertilité stationnelle. L'augmentation de fertilité d'une station à l'autre ne semble pas suffisamment expliquer la diminution des écarts de croissance entre les 2 espèces (figure 6). Ainsi la station de La Livinière, qui a la

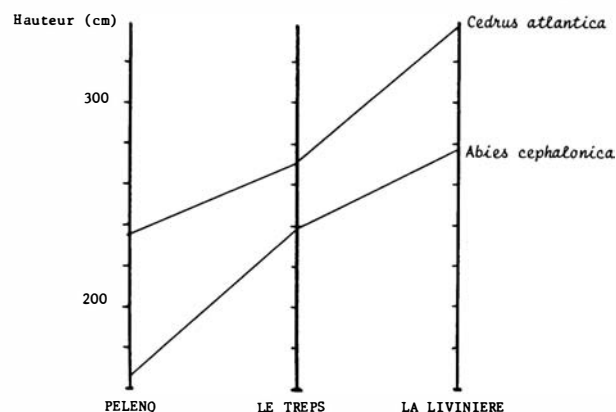


Figure 6. — Comparaison des écarts de croissance du Sapin de Céphalonie et du Cèdre de l'Atlas dans les 3 stations du dispositif « Sapins Méditerranéens » en 1985.

plus grande fertilité moyenne, présente un écart de croissance voisin de celui de Pélenq, environ deux fois plus important que l'écart observable au Treps. En fait le Cèdre semble devoir conserver au mieux son avance dans les 2 stations où la sécheresse estivale typiquement méditerranéenne est la moins prononcée et donc où les précipitations sont le mieux réparties sur l'année. A La Livinière, le sol très profond permet une bonne rétention en eau; de plus, l'influence du climat atlantique commence à se faire sentir : certaines années, comme par exemple 1982, sont sans sécheresse estivale. A Pélenq, les pluies sont plus régulièrement réparties sur l'année, même si moins nombreuses qu'au Treps, et le sol fortement argileux retient l'eau. En se basant sur les modes respectifs de croissance de chaque espèce, on serait tenté de conclure, ainsi que le suggère Ford (1980) pour les pins, à une meilleure adaptation du Sapin de Céphalonie par rapport au Cèdre de l'Atlas à des conditions plus typiquement méditerranéennes.

Conclusion

Les modes de croissance des 2 espèces comparées, *Abies cephalonica* et *Cedrus atlantica*, s'avèrent très différents. L'impact du milieu sur chacune d'elle et leur différentes écovalences interannuelles laissent supposer que la forte interaction du Cèdre avec le milieu traduit un mode de croissance « libre » au sens de Cannell *et al.*, (1976) et que la bonne stabilité générale du Sapin de Céphalonie, et donc son affranchissement relatif aux conditions du milieu, traduit un mode de croissance « fixe ».

L'observation diachronique de la croissance met à jour une autre différence importante. Bien qu'il soit plus jeune de 5 années, le Cèdre a une hauteur totale bien supérieure à celle du Sapin de Céphalonie et ceci en raison de la croissance juvénile réduite du Sapin. Cependant, et les pousses annuelles le mettent bien en évidence, la dynamique de croissance du Sapin est très différente de celle du Cèdre. La taille des pousses du Sapin de Céphalonie augmente chaque année, indiquant l'entrée de l'arbre dans une phase de physiologie adulte après une quinzaine d'années de végétation. Par

contre, les pousses annuelles du Cèdre au moment de l'étude ont une taille comparable d'une année sur l'autre. Si la tendance se maintient suffisamment longtemps comme semble l'indiquer Panetso (1975) pour le Sapin de Céphalonie et comme le montrent les courbes de croissance établies par Toth (1973) pour la provenance du Cèdre de l'Atlas, on peut supposer que dans quelques années les sapins de Céphalonie, et plus particulièrement les provenances du Mainalon et du Pinde, auront compensé leur retard de croissance et domineront les cèdres avec un avantage supérieur à leurs 5 années d'avance. En effet, le potentiel et la vitesse de croissance du Sapin de Céphalonie en année climatique moyenne sont nettement supérieurs à ceux du Cèdre après 15 années de végétation dans les milieux étudiés. Toutefois, ceci demande à être précisé par la comparaison des courbes de croissance à des âges plus avancés.

Il ne faut cependant pas ignorer la lenteur de la croissance juvénile du Sapin qui augmente la durée de l'élevage en pépinière et de l'entretien en plantation. Ce problème est néanmoins susceptible d'être l'objet d'une amélioration génétique ou environnementale et ne peut prétendre être un handicap vraiment sérieux devant la longévité d'une espèce forestière. De plus, le Sapin de Céphalonie ne semble pas toujours devoir souffrir outre mesure de la concurrence de la végétation naturelle, lorsque celle-ci est autre que de type graminéen principalement. Certaines espèces peuvent même offrir une protection par leur ombre (cas des *Rubus* ou encore des *Cytisus* sur de jeunes arbres de 10 ans sur le site expérimental de S' Lambert, Vaucluse).

Les grandes variations dans le comportement stationnel de chaque espèce et notamment la forte instabilité du Cèdre supposent que les deux espèces ne répondent pas de la même manière aux pressions du milieu méditerranéen typique, auxquelles le Sapin semble beaucoup mieux adapté. Les stratégies écophysologiques de ces 2 espèces confirment ce point de vue. Le Sapin de Céphalonie commence sa régulation stomatique et ferme complètement ses stomates à des potentiels moins élevés (respectivement - 8 et - 24 bars, d'après Aussenac, 1980) que ceux du Cèdre de l'Atlas (respectivement - 16 et - 30 bars, d'après Pradal, 1979; et



Photo 5. Aspect général d'un cèdre de l'Atlas à Pélenq (83), 1988, 18 années de végétation. Noter les pousses vigoureuses. Photo B.F.



Photo 4. Le Sapin de Céphalonie a dépassé les cèdres en hauteur depuis 2 années à Pélenq, (83), 1988, 23 années de végétation. Photo B.F.

jusqu'à - 50 voire - 60 bars pour l'arrêt de l'activité photosynthétique pour la provenance Ventoux d'après Aussenac et Finkelstein, 1983). La régulation stomatique du Cèdre est en fin de compte peu efficace (Ferrandès, 1986) et des dessèchements de cimes peuvent apparaître lors de fortes sécheresses (Descroix, 1981). Le Sapin de céphalonie a par contre une régulation active qui lui permet de se soustraire au stress hydrique et bien résister à des sécheresses estivales répétées et intenses, ainsi qu'il en existe parfois dans notre région. Son comportement face au déficit hydrique se caractérise par une faculté d'« évitement » (fermeture relativement précoce des stomates) couplée à une faculté de « résistance » (activité photosynthétique fonctionnant assez longtemps au cours de la sécheresse) (Bouachrine, 1985).

En conditions méditerranéennes relativement sévères, le Sapin de Céphalonie devrait offrir par sa stratégie de croissance un potentiel non négligeable. A titre anecdotique, des spécimens de Sapin de Céphalonie d'environ 50 à 60 ans ont pu être observés à une altitude de 100 m dans plusieurs vallons du massif de la Gardiole aux Calanques (Bouches-du-Rhône), ainsi que trois de leur semis naturels.

Dans la région méditerranéenne française, les qualités du Cèdre de l'Atlas, et tout particulièrement de la provenance du Ventoux, sont bien connues. Cette comparaison des performances et des modes de croissance de ce dernier avec le Sapin de Céphalonie dans une même région devrait stimuler l'intérêt sylvicole et écologique que représente le Sapin de Céphalonie pour les reboisements. Une approche plus complète, faisant notamment intervenir plusieurs provenances de Cèdre de l'Atlas et la modélisation de la croissance comparée des deux espèces serait nécessaire pour préciser et affiner les résultats mis en avant dans ce travail.

De productivités assez comparables, chacune de ces 2 espèces a des avantages respectifs qu'il convient de mettre au mieux à profit en relation avec la typologie du site à revaloriser.

B.F.

BIBLIOGRAPHIE

- Aussenac G., (1980). — Comportement hydrique de rameaux excisés de quelques espèces de sapins et de pins noirs en phase de dessiccation. *Ann. Sci. Forest.*, 37 (3), 201-215.
- Aussenac G., Granier A. et Gross P., (1981). — Etude de la croissance en hauteur du Cèdre (*Cedrus atlantica* Manetti). Utilisation d'un appareillage de mesure automatique. *Ann. Sci. Forest.*, 38 (3), 301-316.
- Aussenac G. et Finkelstein D., (1983). — Influence de la sécheresse sur la croissance et la photosynthèse du Cèdre. *Ann. Sci. Forest.*, 40 (1), 67-78.
- Barbero M. et Quézel P. (1976). — Les groupements forestiers de Grèce Centro-Méridionale. *Ecol. Médit.*, 2, 3-86.
- Bouachrine J.E., (1985). — Etude comparée de l'influence de la sécheresse atmosphérique sur les échanges gazeux chez 5 espèces de Sapins du pourtour méditerranéen. D.E.A. de Biologie et Physiologie Végétale, Nancy.
- Cannell M.G.R., Thompson S. and Lines R., (1976). — An analysis of inherent differences in shoot growth within some North Temperate conifers. In : "Tree physiology and yield improvement", M.G.R. Cannell and F.T. Last editors, Academic Press, London, 173-205.
- Cochran W.G. and Cox G.M., (1957). — Experimental designs. John Wiley and Sons Inc., New York, 595 p.
- Descroix L., (1981). — Variabilité génétique du Sapin de Grèce et du Sapin de Nordmann. Etude comparée de leur comportement hydrique avec le Cèdre de l'Atlas. Mémoire de fin d'études à l'E.N.I.T.E.F., I.N.R.A. Laboratoire d'Amélioration des Arbres Forestiers, Bordeaux, 135 p.
- Eberhart S.A. and Russell W.A. (1966). — Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- Fady B., (1986). — Variabilité génétique et stabilité d'expression de la croissance du Sapin de Céphalonie. D.E.A. d'Ecologie, Université d'Aix-Marseille III, 34 p.
- Fady B., (1988). — Croissance du Sapin de Grèce : variabilité inter-provenances dans trois stations méditerranéennes françaises. *Ann. Sci. Forest.* 45 (3) 239-254.
- Ferrandes P., (1986). — Cèdres : les programmes d'amélioration, résultats actuels et escomptés. *R.F.F.*, 38 (numéro spécial : amélioration génétique des arbres forestiers), 139-141.
- Ford E.D., (1980). — Impact of environment on the shoot elongation of conifers : short term effects. In : "Control of shoot growth in trees", proceedings of I.U.F.R.O. meeting, New Brunswick, Canada, 107-126.
- Freeman H.H., (1973). — Statistical methods for the analysis of genotype — environment interactions. *Heredity*, 31 (3), 339-354.
- Guyon J.P., (1986). — Influence du climat sur l'expression des composantes de la croissance en hauteur du Pin noir d'Autriche. *Ann. Sci. Forest.*, 43 (2), 207-226.
- Halgreen S.W., (1984). — Genetic and environmental control of height growth components in seedlings of California Red and White Fir (*Abies magnifica* A. Murr. and *A. concolor* Lindl.). Ph.D. in Wildland Resource Science, University of California, Berkeley, 140 p.
- Kremer A. et Roussel G., (1982). — Composantes de la croissance en hauteur chez le Pin Maritime. *Ann. Sci. Forest.*, 39 (1), 77-98.
- Kremer A. et Roussel G., (1986). — Décomposition de la croissance en hauteur du Pin Maritime. Variabilité géographique des composantes morphogénétiques et phénologiques. *Ann. Sci. Forest.*, 43 (1), 15-34.
- Lanner R.M., (1976). — Patterns of shoot development in *Pinus* and their relationship to growth potential. In : "Tree physiology and yield improvement", M.G.R. Cannell and F.T. Last editors, Academic Press, London, 223-244.
- Lavender D.P., (1980). — Effects of the environment upon the shoot growth of woody plants. In : "Control of shoot growth in trees", proceedings of I.U.F.R.O. meeting, New Brunswick, Canada, 76-106.

- Mille R., (1986). — Contribution à l'étude de la variabilité génétique du Cèdre. Mémoire de fin d'études à l'E.N.I.T.E.F., I.N.R.A. Laboratoire d'Amélioration des Arbres Forestiers, Bordeaux, 60 p. + annexes.
- Owens J.N., (1984). — Bud development in Grand Fir (*Abies Grandis*). *Can. J. For. Res.*, 14 (4), 575-588.
- Panetsos C.P., (1975). — Monograph of *Abies cephalonica* Loud. *Ann. For. Zagreb*, 7 (1), 1-22.
- Pauly D., (1962). — Aperçu sur l'écologie du Sapin de Céphalonie et de ses hybrides. *R.F.F.*, 8-9, 755-769.
- Pradal F., (1979). — Variabilité génétique et écophysiologique du Cèdre. Mémoire de fin d'études à l'E.N.I.T.E.F., I.N.R.A. Département Forêt, Bordeaux et Nancy, 89 p.
- Quézel P., (1985). — Les Sapins du pourtour méditerranéen. *For. Médit.*, 7 (1), 27-34.
- Till C., (1986). — L'influence des facteurs écologiques sur l'épaisseur des cernes du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (End.) Carrière) au Maroc. *Ecol. Médit.*, 12 (3/4), 33-48.
- Toth J., (1973). — Première approche de la production potentielle du Cèdre de l'Atlas dans le Sud de la France. *R.F.F.*, 25 (5), 381-389.

RÉSUMÉ

Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) et le Sapin de Céphalonie (*Abies cephalonica* Loud.) sont deux espèces de conifères méditerranéens qui présentent de grandes capacités de résistance au stress hydrique et d'adaptabilité à des milieux écologiques variés ainsi qu'une croissance en hauteur vigoureuse.

La comparaison de ces deux espèces par l'intermédiaire de paramètres tels que la mesure et l'observation diachronique de la hauteur totale et des pousses annuelles et leurs interactions avec le milieu met en évidence deux stratégies de croissance fort différentes.

Alors que le Cèdre de l'Atlas a une courbe de croissance en hauteur s'apparentant à une droite, celle du Sapin de Céphalonie s'accroît fortement avec l'âge. Lorsqu'il dépasse le stade de faible croissance juvénile, ses accroissements annuels deviennent supérieurs à ceux du Cèdre. Ce dernier, par ailleurs, présente une forte instabilité spatio-temporelle dans sa croissance; le Sapin de Céphalonie, à l'opposé, reste relativement indépendant des conditions fluctuantes du milieu.

Chacune de ces deux espèces a un mode de croissance privilégié qu'il convient d'utiliser au mieux dans l'intérêt de la forêt méditerranéenne française.

MOTS CLEFS : *Abies cephalonica*, *Cedrus atlantica*, croissance en hauteur, stratégie de croissance, stabilité de croissance.

RIASSUNTO

Paragone tra la strategie di crescita dell'Abete di Cefalonia e del Cedro dell'Atlante

Cedrus atlantica e *Abies cephalonica* sono ambedue coniferi mediterranei che presentano una buona resistenza alla siccità estiva, un'adattabilità ad ampie variazioni nelle condizioni ambientali e una forte crescita in altezza. Il cedro dell'Atlante è utilizzato come essenza di rimboschimento nella Francia del sud da più di un secolo e in grande quantità da qualche decennio. Le sue qualità silvicole sono numerose quindi il suo potenziale di crescita in altezza può essere un rivelatore quando si confronta a quello dello dell'abete di Cefalonia, osservato poco fa in Francia mediterranea e finora limitato a stazioni sperimentali.

La rete sperimentale di questo studio è costituita di tre siti con dispositivi sperimentali identici e condizioni geologiche differenti. Gli alberi avevano 20 anni nel frattempo della debutta dello studio. Il paragone tra le due specie è stata fatta al mezzo di parametri tali la misura e l'osservazione diacronica dell'altezza totale e l'accrescimento annuo e la loro interazione colle condizioni dell'ambiente. Questo rivela due tipi di strategie differenti.

Quando le condizioni dell'ambiente non sono prese in conto e che si considera soltanto l'età, la curva di crescita in altezza del cedro è vicina del lineare, indicando nessuna modificazione significativa della strategia di crescita. Al contrario, circa 15 o 16 anni la crescita dell'abete aumenta ed esso sembra entrare in una fase fisiologica adulta e diversa. Gli accrescimenti dell'abete, passata la fase di debole crescita giovanile superano quello del cedro. Le due specie sono sensibili alle condizioni dell'ambiente. Tuttavia, quando si comparano le medie annue di crescita delle due specie in condizioni ecologiche differenti, il cedro presenta una instabilità spazio-temporale più grande delle provenienze dell'abete: secondo l'anno (clima) il sito (clima e suolo) la sua crescita annua media può variare considerevolmente da valori forti fino a valori mediocri comparate alle medie di altezza dell'abete. Questo può probabilmente essere messo in relazione col tipo di crescita libera (nel senso di Cannell et al., 1976). Al contrario l'abete corrisponde meglio a in tipo di crescita «fissa» le medie di distribuzione in altezza stando relativamente indipendenti delle fluttuazioni dell'ambiente e il germoglio degli insiemi di radici accadendo in fine a lunghi periodi. La stabilità della crescita è stata particolarmente evidente per le provenienze di Mainalon e di Pinde che sono quelle che hanno conosciuto la crescita più forte.

Le capacità ecofisiologiche appaiono pure differenti, dipendenti per ogni specie del suo modo di accomodarsi alla siccità estiva. Dai confronti dei tre siti al punto di vista bioclimatologico, l'abete sembra meglio adattato del cedro alle siccità severe.

Sul piano delle loro proprie limite ecologiche, ogni specie ha privilegiato tipi di crescita in altezza che possono essere sfruttate con efficacia per la foresta mediterranea francese.

PAROLE CHIAVI: *Abies cephalonica*, *Cedrus atlantica*, crescita in altezza; strategia di crescita, stabilità di crescita.

SUMMARY

Comparison between the growth strategies of Cedrus atlantica and Abies cephalonica

Cedrus atlantica and *Abies cephalonica* are both Mediterranean-type conifers which present good summer-drought resistance, adaptability to a wide range of environments and strong height growth. *Cedrus atlantica* has been used as a reforestation species in Southern France for more than a century and on a large scale for the last few decades. Its silvicultural qualities are numerous and for this reason its height growth potential can be revealing when compared to that of *Abies cephalonica*, only recently tested in Mediterranean France and still mostly confined to experimental sites.

The experimental network in this study consists of three sites with similar experimental designs and different ecological conditions. The trees were 20 years old at the moment the study was undertaken. The comparison of the two species was made using parameters such as measurement and diachronic observations of total height growth and of annual increments as well as their interaction with the environment. It revealed two very different growth strategies.

When ecological conditions were not taken into account and only age was considered, *Cedrus* cumulative total height curve was linear, indicating no significant changes in its growth strategy. On the contrary, at around 15 or 16 years of age, *Abies* height growth strongly increases as it seems to enter a different, adult physiological phase. *Abies* annual increments, after overcoming slow juvenile growth, were longer than those of *Cedrus*.

Both species are sensitive to environmental conditions. However, when comparing the two species mean annual increments in different ecological conditions, *Cedrus* presented a much higher spatial and temporal instability than all *Abies* provenances: depending on the year (climate) and on the site (climate and soil), its mean annual increment position could vary considerably from very strong to average when compared to the mean *Abies* height. This can probably be related to *Cedrus* «free» height growth type (Cannell et al., 1976). On the contrary, *Abies* is best described by a «fixed» height growth, the provenances mean height distribution being relatively independent from environmental fluctuations, as initiation of stem units occurs over a long period of time. Growth stability was particularly evident for Mainalon and Pindos provenances, which were also the strongest growing *Abies* provenances.

Ecophysiological capacities appeared different as well, depending on each species way of coping with summer drought. From the bioclimatological comparison of the three experimental sites, *Abies* seemed better adapted than *Cedrus* to severe drought conditions.

Within their own ecological limits, each species has a privileged height growth type which should be exploited efficiently to obtain the maximum benefit for the French Mediterranean forest.

KEY WORDS: *Abies cephalonica*, *Cedrus atlantica*, height growth, growth strategy, growth stability.