

Croissance et production des cèdre de l'Atlas, pin noir d'Autriche, pin de Salzmann et cyprès de l'Arizona

Reboisement expérimental de Belvèzet (Gard)

par François COURBET, Philippe DREYFUS et Nicolas MARIOTTE

Grâce au Fonds forestier national, les grands chantiers de reboisements en région méditerranéenne ont débuté dans les années 50, avec des taux de réussite souvent assez faibles. Belvèzet dans le Gard est un des lieux où des mesures régulières ont permis de suivre correctement la croissance et la production de ces reboisements. Cet article en rapporte les principaux résultats, mais pose aussi la question de la finalité à donner à ces peuplements aujourd'hui, et de la sylviculture à y pratiquer.

Introduction

En 1982, dans le cadre de ses « Rencontres », l'association Forêt Méditerranéenne organisait une visite du reboisement expérimental de Belvèzet dans le Gard (BINGELLI, 1982). Cette journée avait été l'occasion de présenter les caractéristiques dendrométriques de placettes installées dans les peuplements des trois principales espèces plantées : pins noir d'Autriche et de Salzmann, cèdre de l'Atlas (TOTH, 1982).

Trente et un ans plus tard, de nouvelles journées sur le thème « Garrigues : que sont les reboisements devenus ? » ont été l'occasion d'un retour sur place pour juger de l'évolution des peuplements. Entre temps, les placettes installées en 1980 ont régulièrement été suivies et mesurées permettant de disposer de données précieuses sur la croissance et la production des peuplements du reboisement depuis son origine.

Après un rappel des conditions d'exécution et du contexte du reboisement, les principaux résultats issus de ce suivi sont présentés et discutés à la lumière de la sylviculture pratiquée.

1 - INRA : Institut national de la recherche agronomique.

2 - L'année 2007 n'a pas été utilisée du fait de données manquantes.

Historique

Station de recherches forestières, 1963

En 1957, le Fonds forestier national (FFN), qui subventionne les reboisements, existe depuis 10 ans. Le taux de réussite des reboisements en région méditerranéenne est assez faible et les techniques de reboisement qu'on connaît actuellement ne sont pas encore bien fixées. Constitué sur 110 ha, en deux tranches, de 1957 à 1960 à l'aide d'un contrat FFN, ce chantier de reboisement situé en forêt communale de Belvézet a été l'occasion d'une opération pilote particulièrement préparée et suivie. Les divers comptes rendus de travaux, observations, comptages rédigés par les gestionnaires (Eaux et Forêts puis Office national des forêts) et la recherche (Station de recherches forestières d'Avignon puis INRA¹) permettent de retracer un historique assez précis de ce reboisement.

Les plantations ont été constituées essentiellement de pin noir d'Autriche, pin de Salzmann et cèdre de l'Atlas. Moins utilisé, le cyprès de l'Arizona a été planté en pare-feu boisés de 15 m de largeur situés en bordure de pistes. Le pin brutia et le pin d'Alep ont également été utilisés, plus marginalement.

Ce reboisement a été aussi l'occasion d'expérimenter plusieurs modalités :

- de préparation du sol : sous-solage à 1 ou 2 traits, décapage, mise en place d'un bourrelet sur trait de sous-solage,
- de plantation : à la pioche ou à la barre à mine en terrain sous-solé, avec des potets ouverts à la pioche en terrain non travaillé,
- d'élevage des plants : 1 ou 2 ans, en sachet polyéthylène ou à racines nues.

Situation et milieu

L'ensemble du reboisement est situé à 300 m d'altitude sur des calcaires de l'Urgonien, faciès du Barrémien (Crétacé).

En l'absence de variation topographique importante et de différences marquées dans la hauteur dominante des peuplements, on peut penser que le type de station est assez homogène, ce qui est assez difficile à vérifier sur calcaire fissuré.

Le creusement d'une fosse et l'analyse du sol ont toutefois permis de montrer que celui-ci est de type fersialitique (terra rossa) constitué surtout d'argile de décarbonatation (pH=7). L'horizon supérieur est riche en fer. Dans cet horizon, l'apport de matière organique par la litière des résineux, ainsi qu'un été plus humide qu'en région plus méridionale, permettent un début de brunification, facteur favorable.

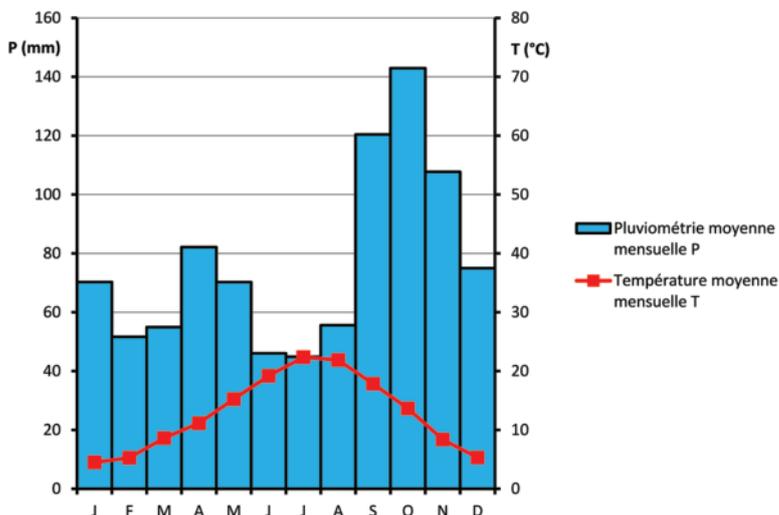
La végétation, très dégradée par les pâturages et les incendies, est majoritairement composée de chêne vert et buis en abondance, cade, genévriers commun et de Phénicie, genêt épineux, brachypode rameux, thym, lavande, aphyllante de Montpellier, euphorbe characias, garance, dorycnie à cinq feuilles.

Compte tenu du changement climatique amorcé, il est important de situer le contexte climatique et son évolution au cours de la période de suivi des placettes, dans cette zone de transition entre climat méditerranéen et tempéré. On dispose pour cela de données journalières récoltées sur la commune de Lussan dans une station Météo-France située à 5 km du site et à 250 m d'altitude, donc bien représentative des conditions climatiques du site. Les données disponibles couvrent la période 1981-2006 et 2008-2012², soit 31 ans correspondant à l'intervalle temporel des mesures réalisées. Sur cette période, la température moyenne annuelle est de 12,8°C et la pluviométrie moyenne annuelle de 922 mm. Les moyennes mensuelles ont permis d'établir un diagramme ombro-thermique (Cf. Fig. 1).

L'espacement des mesures, l'effet de l'âge et de la sylviculture ne permettent pas d'étudier l'effet des variations du climat sur la croissance des peuplements du site. Il nous est toutefois apparu intéressant de profiter des données disponibles pour détecter d'éventuelles évolutions du climat au cours de la période considérée. Des tests en *bootstrap* avec tirage aléatoire de l'ordre des

Fig. 1 :

Diagramme ombro-thermique de la station Météo-France de Lussan (Gard) sur la période [1981-2006]-[2008-2012]. On note l'absence de mois considéré comme « sec » au sens de Gaussen (courbe plus haute que l'histogramme).



années ont permis d'établir la significativité des tendances observées. La température moyenne annuelle augmente au cours de la période, de manière très significative (degré de confiance supérieur à 99,9 %) (Cf. Fig. 2), confirmant la tendance du climat à se réchauffer. La pluviométrie annuelle montre une légère tendance à l'augmentation qui n'est pas significative (Cf. Fig. 3). La pluviométrie annuelle est en effet beaucoup plus variable entre années (coefficient de variation de 0,24) que la température moyenne annuelle (coefficient de variation de 0,06).

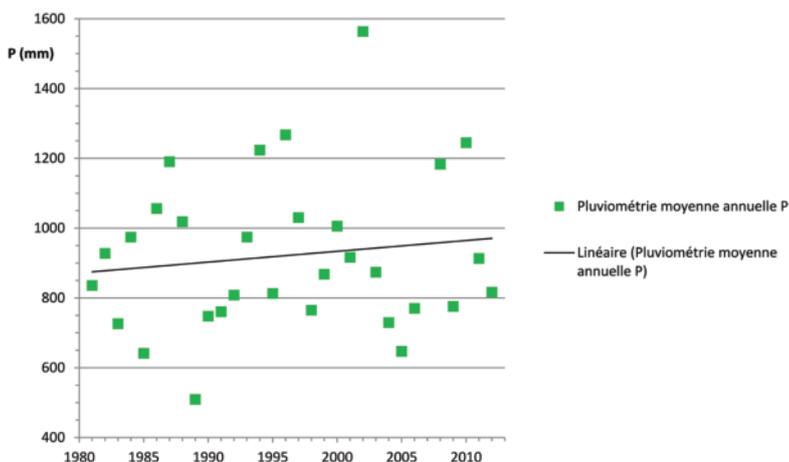
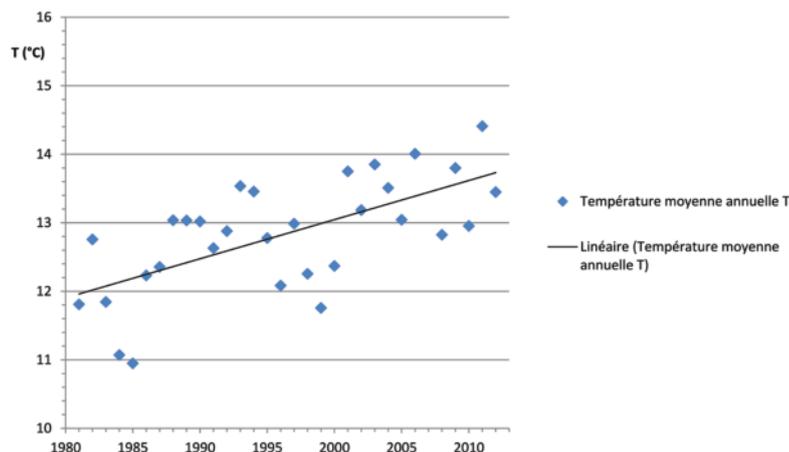
Résultats à l'issue de la plantation

Station de recherches forestières, 1963

Des comptages effectués après une saison de végétation dans la première tranche (plantations de l'automne 1957, du printemps et de l'automne 1958) ont montré un taux de reprise variant de 85 % à 98 % pour les godets, 57 % pour les plants à racines nues mis en potets et 24 % pour les plants à racines nues plantés à la barre à mine. Les taux de reprise ne sont guère différents entre les trois principales espèces. Mais un comptage de 1959 fait état de seulement 1,4 % et 2,6 % de reprise des plants de pins brutia et d'Alep à racines nues plantés à la barre à mine, contre 53 % pour les pins d'Alep mis en place à la pioche.

Des comptages effectués après une saison de végétation sur la seconde tranche (plantations de l'automne des années 1959 et 1960) ont montré un taux de reprise de 98 % pour les plants en godets contre 69 % pour les plants à racines nues.

En l'absence de répétitions (dispositif éclaté en blocs) qui auraient permis une analyse statistique séparant l'effet des différents facteurs (mode et date de plantation, mode d'élevage en pépinière, âge des plants, préparation du sol, fertilité du milieu, planteur, espèce), les chiffres sont difficiles à interpréter. Tout au plus peut-on suspecter l'influence de certains facteurs qui montrent des différences très importantes. Ainsi on peut pressentir la supériorité des plants en godets sur les plants à racines nues et, pour la mise en place de ces derniers, celle de la plantation à la pioche sur l'utilisation de la barre à mine.



Ces faibles différences liées aux plants et au mode de plantation s'effacent ensuite devant des différences qui semblent plutôt liées aux espèces utilisées. Mesurée 5 ans après la plantation, la croissance initiale des cèdres (28 cm de hauteur moyenne) est plus faible que celle des pins (57 cm pour les pins noirs et 63 cm pour les pins de Salzmann) dans une même parcelle, plantée de la même façon, avec des plants en godets pour les trois espèces. Au démarrage, les pins prennent le dessus sur les cèdres. En 1963, l'inspecteur principal des Eaux et Forêts notait dans son rapport : « Avec le recul que donnent les quelques années écoulées, nous pensons que le Cèdre a été trop largement utilisé à Belvézet, où il ne trouve qu'exceptionnellement les conditions favorables à son développement, comme le prouve l'unique sujet ayant dépassé 1,60 m de hauteur alors que les plants voisins de même âge, même origine, mis en place le même jour, par le même ouvrier, ne dépassent pas 0,30 m et où une certaine proportion des plants a une croissance terminale faible ou nulle avec tendance

Fig. 2 (en haut) : Évolution de la température moyenne annuelle de la station Météo-France de Lussan (Gard) sur la période [1981 2006] - [2008 2012]. La tendance est très significative (degré de confiance > 99,9 %).

Fig. 3 (ci-dessus) : Évolution de la pluviométrie annuelle de la station Météo-France de Lussan (Gard) sur la période [1981 2006] - [2008 2012]. La tendance n'est pas significative.



Placettes de production Sylviculture pratiquée

En 1980, la Station de sylviculture de l'INRA à Avignon a installé six placettes pour obtenir des données de croissance et de production pour les différentes espèces et les différents modes de préparation du sol. Trois ont été installées dans des peuplements de cèdre, deux dans des peuplements de pin noir et une dans un peuplement de pin de Salzman. Une placette temporaire installée en 1997 dans les bandes pare-feu de cyprès de l'Arizona, a été mesurée une fois. Installées avant toute intervention, ces placettes fournissent ainsi des données chiffrées sur la croissance en diamètre et en hauteur, et depuis l'origine, sur la production totale et son évolution en fonction des éclaircies, dont les caractéristiques ont pu être quantifiées précisément.

Les premières données dendrométriques, mesurées au moment de l'installation des placettes avant la première éclaircie, ont fait l'objet d'un précédent article (TOTH, 1982). À cette occasion, des mesures rétrospectives de la croissance annuelle en hauteur jusqu'en 1970 ont confirmé la meilleure croissance initiale des pins par rapport aux cèdres. Les cèdres ont ensuite dépassé les pins à partir de 1974. Ce phénomène a été attribué aux attaques de la chenille processionnaire, qui n'ont pratiquement concerné que les pins.

Depuis ce premier bilan, les placettes ont été suivies et mesurées régulièrement notamment à l'occasion des éclaircies (Cf. Tab. I).

Croissance en hauteur dominante

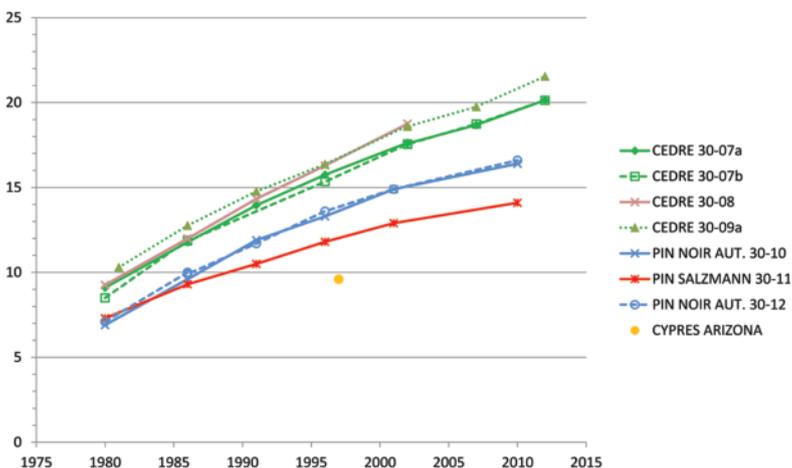
La croissance en hauteur dominante en fonction de l'âge est liée aux potentialités de l'espèce et du milieu. Elle est supposée indépendante de la sylviculture, entre certaines limites sans doute non atteintes par la sylviculture prudente pratiquée ici. Le cèdre (3 placettes) a la croissance la plus forte devant le pin noir d'Autriche (2 placettes) et le pin de Salzman (Cf. Fig. 4). Mesurée sur une seule placette, la faible croissance de ce dernier pourrait aussi être due à un sol moins favorable qu'à un effet génétique de la sous-espèce, sans qu'on puisse l'attester. Le cyprès de l'Arizona est l'espèce la moins vigoureuse : les peuplements de cette espèce,

à s'étaler horizontalement ». Mais la vérité d'un jour n'est pas forcément celle du lendemain et les données ultérieures allaient infirmer cet avis.

De 1965 à 1979, les peuplements ont été soumis à de fortes attaques de la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* qui ont atteint leur point culminant à la fin de l'hiver 1967-1968. Les pins noirs, pratiquement tous défoliés au plus fort de la crise, ont été les plus touchés. Une campagne de destruction manuelle des nids de 1968 à 1970, puis des traitements aériens chimiques (Diflubenzuron) et biologiques (à base de *Bacillus thuringiensis*) ont été régulièrement effectués entre 1973 et 1979. Ils ont permis de ramener la densité du ravageur et le taux de dégâts à des niveaux plus supportables.

Photo 1 :
Placette 30-07a en 2013
sans cloisonnement
(717 cèdres à l'hectare).
Photo F. Courbet.

Fig. 4 :
Évolution comparée de
la hauteur dominante (m)
des placettes installées
en forêt communale
de Belvèzet.



	Année	Age	Co (cm)	Ho (m)	Cg (cm)	Hg (m)	N/ha	G/ha (m ²)	V/ha (m ³)	VAM (m ³)	PTG/ha (m ²)	PTV/ha (m ³)	AMV/ha (m ³)	ACV/ha (m ³)	S (%)
Placette 30-07a Cèdre de l'Atlas	1980	23	62,6	9,1	40,4	7,4	1307	17,0	60	0,05	17,0	60	2,6	2,6	32,7
	1986 avant écl.	29	76,7	11,8	53,8	10,3	1284	29,6	139	0,11					25,5
	éclaircie	29			42,3	9,2	295	4,2	18	0,06	29,6	139	4,8	13,2	
	après éclaircie	29	76,7	11,8	56,8	10,5	989	25,4	121	0,12					29,0
	1991	34	86,5	14,0	65,6	12,7	989	33,8	194	0,20	38,0	212	6,2	14,6	
	1996	39	93,5	15,8	71,8	14,4	989	40,6	267	0,27	44,8	285	7,3	14,6	21,7
	2002 avant écl.	45	101,3	17,6	78,5	16,8	983	48,2	375	0,38					19,4
	éclaircie	45			66,9	16,1	266	9,5	72	0,27	52,4	393	8,7	18,0	
	après éclaircie	45	99,7	17,6	82,4	17,0	717	38,7	303	0,42					22,8
	2007	50	105,5	18,7	87,7	18,2	717	43,9	371	0,52	57,6	461	9,2	13,7	21,5
2012	55	111,6	20,1	93,2	19,7	717	49,6	458	0,64	63,3	548	10,0	17,3	19,9	
Placette 30-07b Cèdre de l'Atlas	1980	25	61,8	8,5	36,8	6,6	1215	13,1	42	0,03	13,1	42	1,7	1,7	36,3
	1986 avant écl.	31	79,3	11,9	50,6	10,0	1215	24,7	114	0,09					25,9
	éclaircie	31			43,1	9,3	510	7,6	33	0,06	24,7	114	3,7	12,0	
	après éclaircie	31	78,3	11,9	55,3	10,4	704	17,2	81	0,12					34,2
	1996	41	98,3	15,3	75,3	13,5	704	31,8	194	0,28	39,3	227	5,5	11,2	26,4
	2002 avant écl.	47	109,3	17,6	84,5	16,4	697	39,7	295	0,42					23,2
	éclaircie	47			71,3	15,5	151	6,1	44	0,29	47,2	328	7,0	16,9	
	après éclaircie	47	108,9	17,5	87,8	16,6	546	33,6	251	0,46					26,2
	2007	52	116,2	18,7	94,9	17,8	539	38,7	312	0,58	52,3	389	7,5	12,2	24,7
	2012	57	123,9	20,1	102,2	19,3	532	44,2	388	0,73	57,9	465	8,2	15,3	23,1
Placette 30-08 Cèdre de l'Atlas	1980	23	53,4	9,3	36,0	7,3	1704	17,6	61	0,04	17,6	61	2,7	2,7	28,1
	1986 avant écl.	29	67,6	12,0	48,5	10,2	1704	31,9	151	0,09					21,7
	éclaircie	29			37,4	9,1	422	5,2	23	0,05	31,9	151	5,2	14,9	
	après éclaircie	29	67,6	12,0	51,1	10,5	1281	26,7	128	0,10					25,0
	1991	34	78,7	14,3	59,9	13,1	1281	36,6	221	0,17	41,8	243	7,2	18,5	21,0
	1996	39	86,0	16,3	66,4	15,3	1267	44,4	317	0,25	49,7	340	8,7	19,3	18,5
Placette 30-09 Cèdre de l'Atlas	2002	45	93,5	18,8	72,6	17,7	1267	53,2	454	0,36	58,4	477	10,6	22,9	16,1
	1981	24	69,0	10,3	46,4	8,6	1510	25,9	103	0,07	25,9	103	4,3	4,3	26,8
	1986 avant écl.	29	78,9	12,8	54,8	11,2	1510	36,1	184	0,12					21,7
	éclaircie	29			43,6	10,1	518	7,8	37	0,07	36,1	184	6,4	16,2	
	après éclaircie	29	78,9	12,8	59,9	11,6	992	28,3	148	0,15					26,7
	1991	34	88,7	14,8	68,7	13,5	992	37,2	227	0,23	45,0	263	7,7	15,8	23,1
	1996	39	95,6	16,4	74,8	15,4	992	44,3	311	0,31	52,1	348	8,9	16,3	20,8
	2002 avant écl.	45	103,3	18,6	81,6	17,9	977	51,7	434	0,44					18,5
	éclaircie	45			77,2	17,7	533	25,3	211	0,40	59,5	470	10,4	20,5	
	après éclaircie	45	102,1	18,6	86,5	18,1	444	26,5	222	0,50					27,4
2007	50	111,0	19,8	95,9	19,2	444	32,6	292	0,66	65,7	539	10,8	13,9	25,8	
2012	55	118,8	21,5	104,5	20,5	444	38,2	366	0,82	71,8	614	11,2	14,9	23,7	

situés en bandes autour du reboisement, présentent partout le même développement.

Production totale et accroissement en volume

La production totale, en surface terrière et en volume, cumule le stock sur pied et les éclaircies. Selon la loi de Eichhorn, pour une espèce et une région données, en peuplements menés sans ouverture prolongée du couvert, la production totale en volume ne dépend que de la hauteur dominante atteinte. On constate que, pour une même hauteur dominante, les pins accumulent

Tab. I :

Evolution des principales caractéristiques des placettes installées en forêt communale de Belvézet. Les volumes ont été calculés à partir d'un tarif spécifique à deux entrées pour le cèdre (COURBET, 1991) et d'un tarif pin noir à deux entrées pour les autres espèces (BOUCHON 1974, TOTH et TURREL 1983).

Légende :

Co et Ho : circonférence et hauteur totale de l'arbre dominant du peuplement.
Cg et Hg : circonférence et hauteur totale de l'arbre moyen du peuplement.
N/ha, G/ha et V/ha : nombre d'arbres, surface terrière et volume bois fort tige à l'hectare.
VAM : volume de l'arbre moyen.
PTG/ha et PTV/ha : production totale depuis l'origine en surface terrière et en volume à l'hectare.
AMV/ha et ACV/ha : accroissements annuels moyen et courant en volume à l'hectare.
S : facteur d'espacement de Hart-Becking.



Photo 2 :
Placette 30-07b en 2013
avec cloisonnement
(532 cèdres à l'hectare).
Photo F.C.

**Tab. I, suite
(ci-dessous) :**

davantage de surface terrière et de volume sur pied que le cèdre (Cf. Fig. 5 et 6). À 54-57 ans, l'accroissement moyen (production totale divisée par l'âge) est compris entre 8 et 11 m³/ha/an pour le cèdre et entre 5 à 8 m³/ha/an pour les pins, dont la hauteur dominante est plus faible que celle du cèdre.

Le cyprès de l'Arizona produit beaucoup moins (2,6 m³/ha/an à 39 ans). Pour le cèdre, l'accroissement courant (production mesurée entre deux inventaires) est encore supérieur à l'accroissement moyen et continue à progresser alors qu'il plafonne pour les pins (Cf. Tab. I). Il est possible que les pins, du fait de leur enracinement traçant plus superficiel que celui du cèdre, soient plus sensibles à l'évolution constatée vers un climat plus sec, à tendance plus méditerranéenne.

Croissance en diamètre, densité et sylviculture

Contrairement à la croissance en hauteur, la croissance en diamètre est très sensible à la densité du peuplement et son évolution sous l'influence des éclaircies.

Les conditions d'exploitation et de commercialisation dans ce reboisement sont particulièrement favorables : bonne desserte du massif, accès garanti toute l'année, absence de pente favorisant la mécanisation et proximité de la papeterie de Tarascon, située à 40 km. En 1988, une première éclaircie

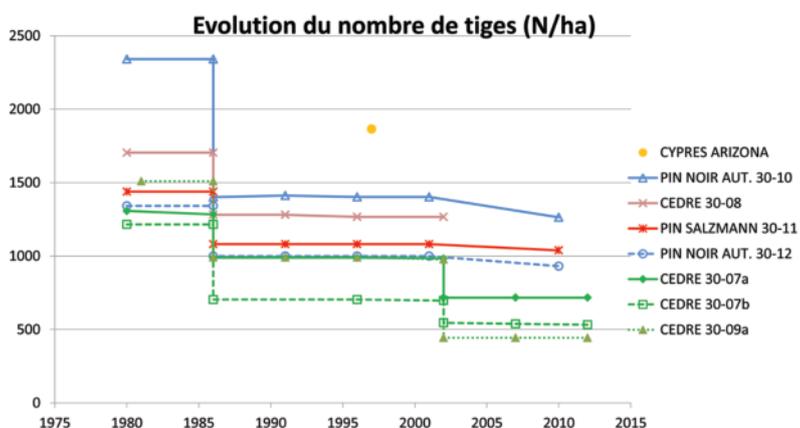
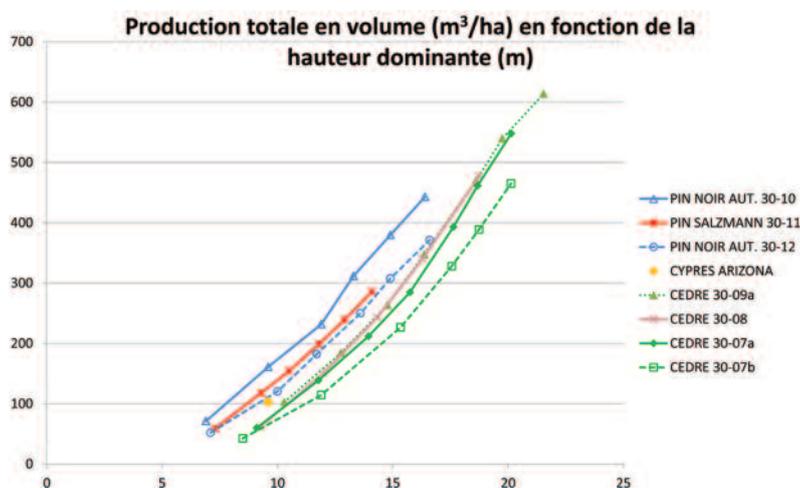
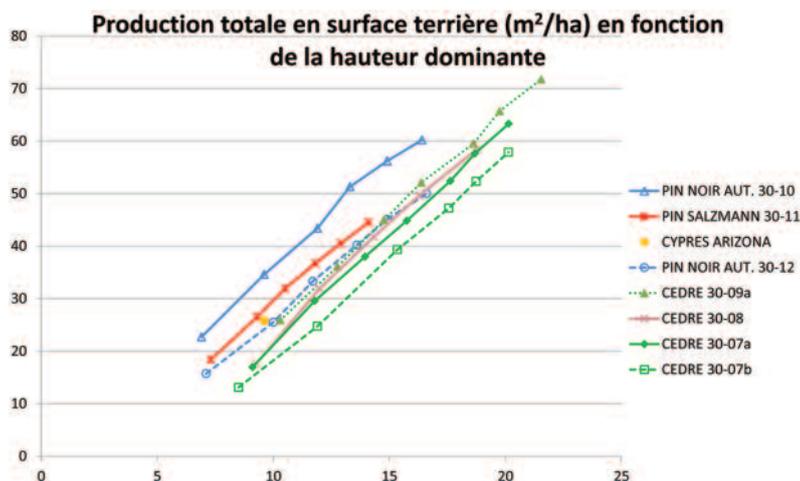
	Année	Age	Co (cm)	Ho (m)	Cg (cm)	Hg (m)	N/ha	G/ha (m ²)	V/ha (m ³)	VAM (m ³)	PTG/ha (m ²)	PTV/ha (m ³)	AMV/ha (m ³)	ACV/ha (m ³)	S (%)
Placette 30-10 Pin noir d'Autriche	1980	24	45,6	6,9	35,1	6,5	2341	22,7	71	0,03	22,7	71	3,0	3,0	32,2
	1986 avant écl.	30	58,0	9,6	43,3	9,3	2341	34,6	161	0,07					23,1
	éclaircie	30			38,4	9,1	921	10,8	47	0,05	34,6	161	5,4	15,0	
	après éclaircie	30	57,2	9,6	46,2	9,4	1401	23,5	114	0,08					29,9
	1991	35	66,9	11,9	53,8	10,9	1412	32,6	185	0,13	43,4	232	6,6	14,1	24,0
	1996	40	74,8	13,3	60,5	12,5	1402	40,5	265	0,19	51,3	312	7,8	16,0	21,6
	2001	45	79,9	14,9	64,0	14,1	1402	45,4	333	0,24	56,2	380	8,4	13,6	19,3
2010	54	87,6	16,4	70,3	15,6	1264	49,4	396	0,31	60,2	443	8,2	7,0	18,4	
Placette 30-11 Pin de Salzmann	1980	24	53,9	7,3	40,1	6,2	1438	18,4	59	0,04	18,4	59	2,5	2,5	38,8
	1986 avant écl.	30	64,0	9,3	48,2	8,6	1438	26,5	118	0,08					30,5
	éclaircie	30			43,3	8,3	357	5,3	23	0,06	26,5	118	3,9	9,8	
	après éclaircie	30	63,4	9,3	49,7	8,7	1081	21,2	96	0,09					35,1
	1991	35	71,5	10,5	55,6	9,4	1081	26,6	131	0,12	31,9	154	4,4	7,2	31,1
	1996	40	78,0	11,8	60,4	10,7	1081	31,4	176	0,16	36,7	199	5,0	9,0	27,7
	2001	45	83,3	12,9	64,0	11,7	1081	35,2	216	0,20	40,5	239	5,3	8,0	25,3
2010	54	90,2	14,1	68,8	12,9	1039	39,2	263	0,25	44,5	286	5,3	5,2	23,6	
Placette 30-12 Pin noir d'Autriche	1980	24	50,0	7,1	38,5	6,6	1342	15,7	52	0,04	15,7	52	2,2	2,2	41,3
	1986 avant écl.	30	62,6	10,0	48,8	9,2	1342	25,5	121	0,09					29,3
	éclaircie	30			45,6	9,0	343	5,9	27	0,08	25,5	121	4,0	11,4	
	après éclaircie	30	61,0	9,9	49,8	9,3	1000	19,6	94	0,09					34,3
	1991	35	72,0	11,7	58,3	11,2	1000	27,4	156	0,16	33,3	182	5,2	12,4	29,0
	1996	40	82,0	13,6	65,2	12,7	1000	34,3	223	0,22	40,2	250	6,2	13,5	25,0
	2001	45	90,5	14,9	69,8	14,1	1000	39,2	281	0,28	45,1	308	6,8	11,6	22,8
2010	54	102,0	16,6	76,7	15,5	931	44,1	345	0,37	50,0	371	6,9	7,1	21,2	
Placette temporaire Cyprès de l'Arizona	1997	39	68,8	9,6	41,7	8,5	1865	25,8	103	0,06	25,8	103	2,6	2,6	25,9

mixte a été réalisée sous forme d'un cloisonnement une ligne sur cinq et d'une sélection des meilleures tiges entre les cloisonnements. Le prélèvement moyen sur la totalité des parcelles concernées a été estimé à 32 m³/ha. Le bois sur pied s'est vendu 25 F (3,80 €) la tonne soit environ 16,89 F (2,60 €) le m³ (1 m³ pèse entre 676 et 850 kg selon les conditions). Parmi les placettes suivies, seule la placette de cèdre 30-07b a subi le cloisonnement (Cf. Photo 2), la placette de cyprès n'a pas été éclaircie et toutes les autres ont été éclaircies sélectivement (sans cloisonnement).

En 2002, une deuxième éclaircie sélective a été réalisée uniquement dans les peuplements de cèdre qui ont poussé plus rapidement que les pins. Cette éclaircie a permis la commercialisation de 867 m³ de bois sur 16,55 ha, soit 52 m³/ha pour un volume de l'arbre moyen de 0,32 m³. Cette dernière coupe s'est vendue sur pied 2,60 €/m³ pour la pâte à papier et 20 €/m³ pour le bois d'œuvre. L'exploitation n'ayant pas été conforme au marquage dans la placette de cèdre 30-08, son suivi a dû être arrêté.

Si le nombre de tiges à l'hectare est maintenant plus bas pour les cèdres que pour les pins (Cf. Fig. 7), la densité rapportée à la hauteur dominante, mesurée par le coefficient d'espacement relatif de Hart-Becking², n'est pas très différente entre placettes, excepté pour la placette 30-10 qui reste très dense (Cf. Fig. 8 et Photo 3).

Le diamètre moyen³ évolue sous l'effet de l'éclaircie qui cumule un effet technique (le diamètre moyen du peuplement augmente mécaniquement, par le simple fait que les arbres enlevés en éclaircie sont plus petits que la moyenne) et un effet biologique, la diminution de la compétition favorisant la croissance. Ce dernier effet permet aux arbres restant de se développer plus rapidement et d'atteindre le diamètre d'exploitabilité plus tôt. On constate que les cèdres ont ainsi largement profité de la seconde éclaircie, particulièrement là où la densité des arbres restant est la plus faible (placettes 30-07b et 30-09) (Cf. Fig. 9, Photos 2 et 5).



De haut, en bas, Fig. 5 à 7 :

Évolution comparée :

- de la production totale en surface terrière,
 - de la production totale en volume,
 - du nombre de tiges par ha,
- des placettes installées en forêt communale de Belvèzet.

$$2 - S\% = 10746 / \text{HovN}$$

avec Ho = hauteur dominante en m et N= nombre de tiges par hectare

3 - Moyenne quadratique, et non arithmétique, selon l'usage en foresterie.

Evolution du facteur d'espacement (%)

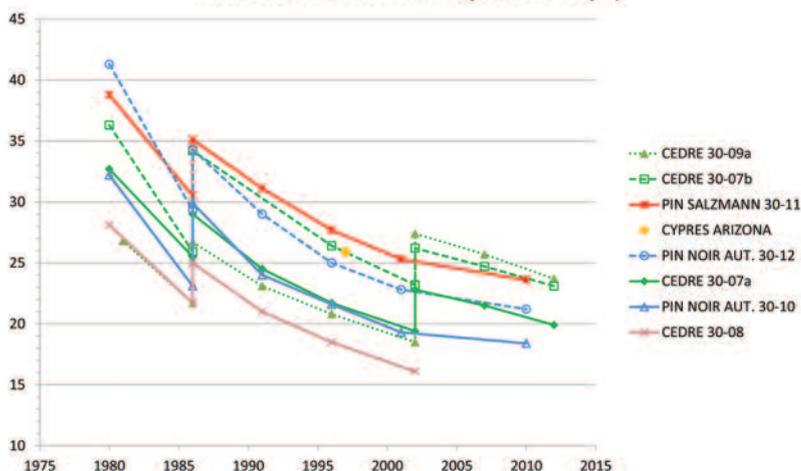


Fig. 8 (ci-dessus) :
Évolution comparée du facteur d'espacement (%) des placettes installées en forêt communale de Belvèzet.

Photo 3 (ci-contre) :
Placette 30-10 en 2013. Pin noir. La densité est de 1264 tiges par hectare, le volume moyen de 0,31 m³.
Photo F.C.

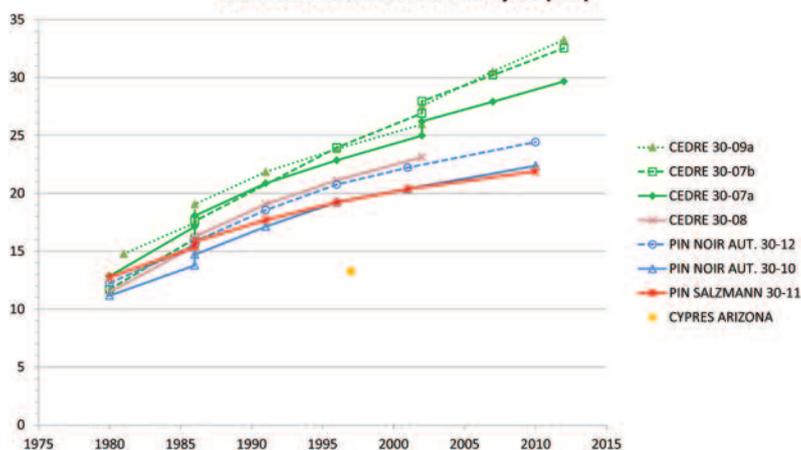
Fig. 9 (ci-dessous) :
Évolution comparée du diamètre moyen (cm) des placettes installées en forêt communale de Belvèzet.

Photo 4 (en bas) :
Placette 30-11 en 2013. Pin de Salzmann (1039 tiges/ha).
Photo F.C.

Le diamètre dominant est le diamètre moyen de la sous-population des 100 plus gros arbres à l'hectare. Il n'est pas affecté par l'effet technique de l'éclaircie. On constate que les arbres dominants bénéficient moins de l'effet biologique de l'éclaircie que les autres arbres, même si on constate que leur diamètre est le plus faible dans la placette la plus dense (30-10) et dans la placette de pin de Salzmann dont on a déjà souligné la plus faible croissance générale (Cf. Fig. 10).

À noter que la croissance des cyprès de l'Arizona, plantés en pare-feu et non encore éclaircis à ce jour, reste très faible (Cf. Photo 6). On constate un fort développement du sous-bois sous les pins alors que le couvert des cèdres a permis de le limiter efficacement. L'incendie de 2007 sur la commune voisine de Vallèrargues a d'ailleurs brûlé une parcelle de pins avant de s'arrêter en bordure du peuplement de cèdres voisin, qui a été très peu affecté.

Evolution du diamètre moyen (cm)



Stock sur pied et volume unitaire

Malgré deux éclaircies et grâce à une meilleure croissance, la surface terrière et le volume sur pied des peuplements de cèdres sont proches de ceux des pins (Cf. Fig. 11 et 12). Le nombre de tiges étant plus faible, le volume du cèdre moyen dépasse largement le demi mètre-cube alors qu'il en est encore assez loin pour les pins (Cf. Tab. I). La prochaine éclaircie devrait donner essentiellement du bois d'œuvre de cèdre et du bois de trituration de pin.



Conclusion

Une bonne préparation du sol, ainsi qu'une pluviométrie supérieure à celle des régions plus méridionales, expliquent la forte croissance et la production élevée des reboisements de Belvèzet. Une production de bois tout à fait correcte en quantité et en qualité est possible dans ces conditions dont le cèdre tire un meilleur parti que les pins ou le cyprès de l'Arizona. Il serait toutefois dangereux de vouloir extrapoler ces résultats à l'ensemble des garrigues du Gard où la productivité reste en moyenne limitée et où des échecs patents ont aussi été constatés. Ce reboisement prouve, s'il en était besoin, la nécessité d'analyser les facteurs du milieu et de bien préparer le sol avant reboisement sur calcaire fissuré.

F.C., Ph.D., N.M.

Photo 5 (en haut) :

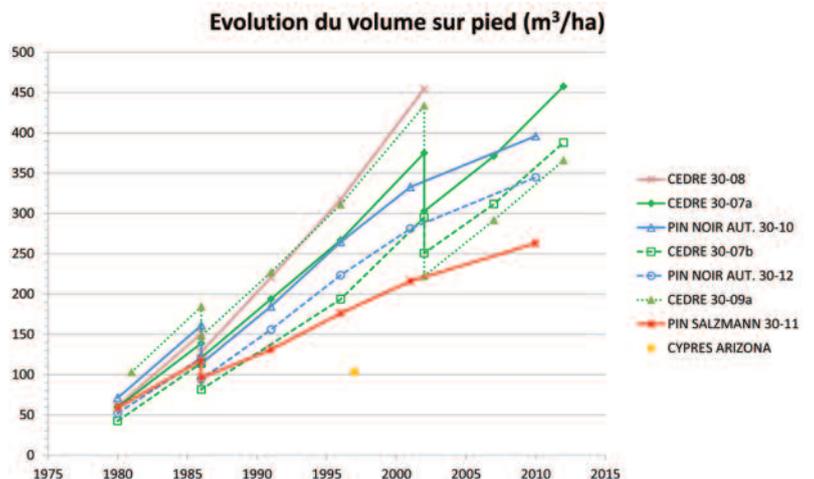
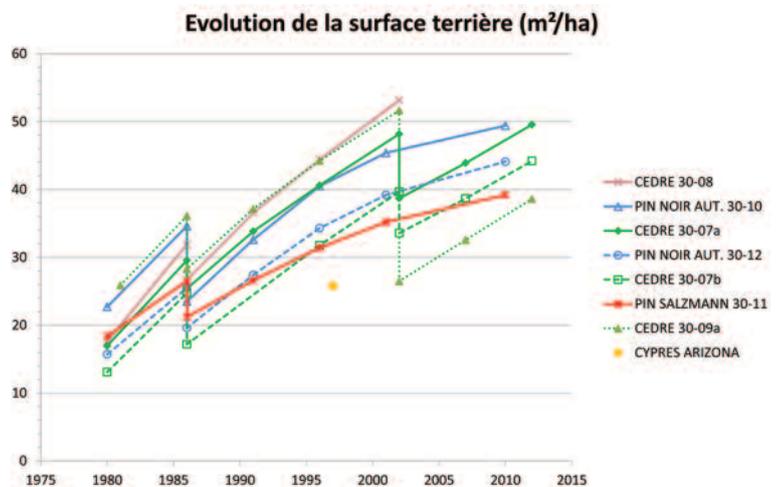
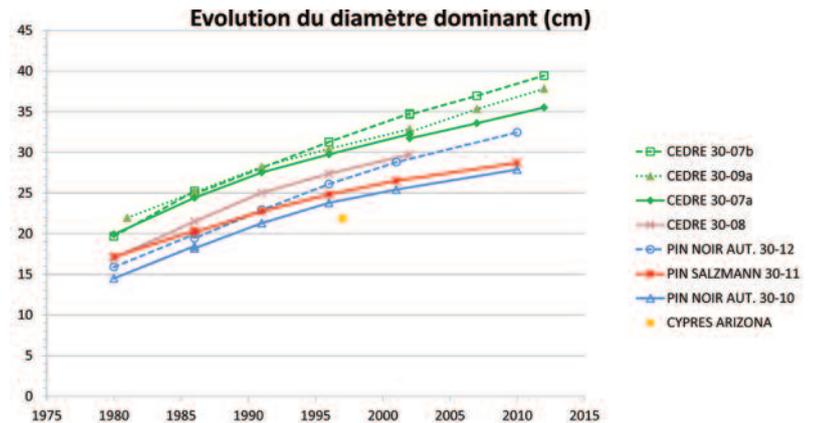
Placette 30-09 en 2013. Les cèdres ont largement bénéficié de deux éclaircies sélectives. Le volume de l'arbre moyen atteint 0,82 m³ pour 444 tiges/ha.
Photo F.C.

De haut en bas, Fig. 10 à 12 :

Évolution comparée du diamètre dominant, de la surface terrière et du volume sur pied, des placettes installées en forêt communale de Belvèzet.

Photo 6 (ci-dessous) :

Cypres de l'Arizona (1865 tiges/ha), 2013.
Photo F.C.



François COURBET
Nicolas MARIOTTE
INRA, Centre
de recherche
Provence-Alpes-Côte
d'Azur
URFM Unité de
Recherches Écologie
des Forêts
Méditerranéennes
Équipe Écologie
Fonctionnelle et
Dynamique des
Communautés
Domaine de Saint-
Paul, Site Agroparc
84914 AVIGNON
cedex 9
Mél :
francois.courbet
@avignon.inra.fr

Philippe DREYFUS
Adresse actuelle :
ONF, Département
Recherche et
Développement
1175, chemin
du Lavarin
84000 AVIGNON

Remerciements :

Ce travail a été rendu possible grâce au soutien financier de la DRAAF Languedoc-Roussillon. Merci à l'ONF qui a fourni les données économiques, à la commune de Belvézet, propriétaire de cette forêt, et à Météo-France pour les données climatiques. Merci également aux équipes techniques (Recherche Forestière, INRA) qui ont assuré l'installation, l'entretien et la mesure des placettes de suivi.

Bibliographie

- Bingelli F. 1982. Conservation et reconstitution des forêts méditerranéennes. Compte rendu de la tournée. *Forêt Méditerranéenne* IV-2 132-142.
- Bouchon J. 1974. *Les tarifs de cubage*. Nancy : CNRF-ENGREF 57 p. + annexes.
- Courbet F. 1991. Tarif de cubage à deux entrées pour le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en France. *Revue Forestière Française*, XLIII (3) 215-226.
- Eaux et Forêts. 1963. Note sur le chantier expérimental de Belvézet (Gard). Département du Gard. Inspection de Nîmes Nord. 4 p.
- Office National des Forêts. 1978. Direction régionale Languedoc-Roussillon. Département du Gard. Centre de Nîmes. Chantier expérimental de reboisement de Belvézet 12 p.
- Station de Recherches Forestières. Centre régional d'Avignon. 1963. Chantier pilote de Belvézet. Exploitation des résultats. 10 p. + annexes.

- Toth J. 1982. Analyse de la croissance juvénile sur trois essences résineuses : cèdre, pin noir et pin de Salzmann dans le reboisement de Belvézet (Gard). *Forêt Méditerranéenne* IV-2 143-146.
- Toth J. 1987. Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du Cèdre de l'Atlas. *Bulletin de la Société d'Étude des Sciences naturelles du Vaucluse*. 71-76.
- Toth J. 1990. Croissance, sylviculture et production du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) implanté dans une zone naturelle de chêne vert (*Quercus ilex* L.) en région méditerranéenne française. In: Actes du Symposium International du Cèdre (pp. 963-973). Communication présentée à Symposium International du Cèdre, Antalya, TUR (1990-10-22 - 1990-10-27). Antalya, TUR : Direction Générale des Forêts.
- Toth J., Turrel M. 1983. La productivité du Pin noir d'Autriche dans le Sud-Est de la France. *Revue Forestière Française*, XXXV (2) 111-121.

Résumé

Réalisé en 1957 dans une garrigue à chêne vert, le reboisement de Belvézet (Gard) a permis de tester différentes espèces, types de plants et modalités de plantations. Sept placettes de suivi de la croissance et de la production ont ensuite été installées dans les peuplements de résineux (*Cedrus atlantica* Manetti, *Pinus nigra* Arn. ssp. *nigricans*, *Pinus nigra* Arn. ssp. *clusiana* Clem., *Cupressus arizonica* Greene). Les données dendrométriques, issues des mesures régulières pratiquées pendant 30 ans dans ces placettes régulièrement éclaircies, sont présentées. La croissance initiale en hauteur des pins a été supérieure à celle des cèdres. À 55 ans, la croissance et la production du cèdre sont supérieures à celles du pin noir, elles-mêmes supérieures à celles du pin de Salzmann. Le cyprès de l'Arizona est l'espèce la moins vigoureuse. Chez le cèdre, plus l'éclaircie est forte, plus la croissance en diamètre est importante.

Summary

In 1957, several species, kinds of seedlings and planting systems were tested in a reforested scrubland in a holm oak zone in Belvézet (Gard, France). Seven plots were then installed in coniferous stands (*Cedrus atlantica* Manetti, *Pinus nigra* Arn. ssp. *nigricans*, *Pinus nigra* Arn. ssp. *clusiana* Clem., *Cupressus arizonica* Greene). The growth and yield data provided by thirty years of regular measurements in the evenly thinned plots are presented. The initial growth of both pine species was higher to the initial growth of cedar. 55 years after planting, the growth and yield of cedar were higher to that of black pine which were themselves higher to that of Salzmann pine. Arizona cypress was the less vigorous species. In cedar stands, heavier thinned was the plot, higher was the diameter growth of the remaining trees.

Resumen

Crecimiento y producción del cedro del Atlas, el pino laricio subespecie *nigra*, pino laricio subespecie *salzmannii* y el ciprés de Arizona – Reforestación Experimental en Belvézet (Gard). Realizada en 1957 en un bosque degradado de encina, la reforestación de Belvézet (Gard) ha permitido probar diferentes especies, tipos de plantas y formas de plantación. Se instalaron siete parcelas de seguimiento del crecimiento y de la producción, en las plantaciones de coníferas (*Cedrus atlantica* Manetti, *Pinus nigra* Arn. ssp. *nigricans*, *Pinus nigra* Arn. ssp. *clusiana* Clem., *Cupressus arizonica* Greene). Los datos dendrométricos, resultantes de las mediciones regulares realizadas durante 30 años en las parcelas regularmente clareadas, son presentados. El crecimiento inicial en altura de los pinos fue mayor al de los cedros. En 55 años, el crecimiento y la producción del cedro fueron mayores que las del pino laricio subespecie *nigra*, y estos mismos superiores a las del pino laricio subespecie *salzmannii*. El ciprés de Arizona es la especie menos vigorosa. En el cedro, cuanto mas fuerte es el clareo, más importante es el crecimiento del diámetro.