

# Résultats au bout de 9 ans d'une plantation expérimentale de sapin de Céphalonie dans les Alpes-de-Haute- Provence

par Michel DUCREY\* et Maurice TURREL\*

## Avant propos

*Une telle étude sur le sapin de Céphalonie n'aurait jamais pu être initiée ni menée à bien sans un large consensus entre les chercheurs de l'INRA et les gestionnaires de l'ONF. Elle a été conçue à un moment où l'intérêt des forestiers était orienté vers la diversification des espèces de reboisement utilisables en région méditerranéenne et où des recherches étaient conduites par le Cemagref d'Aix-en-Provence sur les techniques de production du sapin de Céphalonie en pépinière. L'intérêt des chercheurs a été soutenu par un projet de recherche de la Commission des Communautés européennes qui a permis d'engager une réflexion scientifique au niveau européen, notamment avec nos partenaires grecs et italiens.*

*L'Office national des forêts nous a apporté son aide financière et technique pour l'installation de ce dispositif. Il nous est agréable de remercier ici M. Denis Laurens alors directeur du service départemental de l'ONF à Digne, M. Jean-Paul Ters chef de division de l'ONF à Manosque, M. Jean Leibenguth, chef de groupe technique à Manosque en charge de la forêt domaniale de Pélicier et M. Jean-Marc Cogordan, agent de groupe technique à Manosque. Un merci tout particulier à Jean Leibenguth qui a suivi pas à pas et surveillé notre dispositif pendant près de 10 années. Nous sommes persuadés que son successeur saura trouver le même intérêt à cette réalisation et saura assurer sa pérennité pendant de nombreuses années encore. Un clin d'œil enfin à la direction des recherches techniques de l'ONF et en particulier à la section technique inter-régionale à Avignon qui suit notre dispositif avec discrétion et bienveillance mais aussi avec beaucoup d'intérêt.*

*Nos remerciements enfin à l'équipe*

*technique de l'INRA qui a participé à la mise en place de ce dispositif et qui a participé ou participe encore aux mesures et observations diverses, en particulier Jean-Marc Bécard, Nicolas Mariotte et Dominique Riotord.*

## Introduction

Les sapins méditerranéens sont susceptibles de jouer un rôle important en reboisement dans la région méditerranéenne française et plus généralement dans l'Europe méridionale. En effet, ils peuvent constituer des formations forestières stables, peu sensibles aux incendies, capables de se régénérer naturellement à l'image des peuplements de sapin de Céphalonie en Grèce. Les sapins méditerranéens représentent une alternative aux cèdres de l'Atlas ou du Liban et au pin noir d'Autriche : la diversification des espèces est souhaitable. Comme les cèdres, ils produisent du bois de qualité. La variabilité entre les espèces et à l'intérieur des espèces commence à

\*INRA, Unité de Recherches forestières méditerranéennes Avenue A. Vivaldi, 84000 AVIGNON

être assez bien connue, notamment pour le sapin de Céphalonie, ce qui permet d'orienter le choix des sources de graines en fonction du milieu. Toutefois, leur utilisation à grande échelle dans les reboisements pose encore des problèmes liés à la production des plants en pépinière, à la transplantation et aux techniques d'introduction : un taux de mortalité souvent trop important est constaté dans les années qui suivent la plantation.

Cette mortalité a des origines diverses qu'il n'est pas toujours facile d'identifier mais qui peuvent être répertoriées comme suit :

- manque de maîtrise de la conduite en pépinière et mauvaises conditions de plantation : on rencontre les mêmes difficultés pour beaucoup d'espèces de reboisement mais le sapin de Céphalonie y est peut-être plus sensible,

- choc climatique dû au changement des conditions de la pépinière au terrain, comprenant un choc lumineux, surtout pour les plantations de plein découvert, et un choc hydrique,

notamment par fort accroissement de la demande évapotranspiratoire,

- traumatismes et mauvaise régénération racinaire ayant des origines physiques (cas des plantations à racines nues) ou des origines plus physiologiques (changement de milieu, sécheresse du sol, mauvais état des réserves carbonées, absence d'hormones de croissance...).

Cette liste n'est évidemment pas limitative et il y a de nombreuses interactions entre les différentes causes possibles de mortalité au moment de la plantation. Elles traduisent l'inadéquation entre les techniques utilisées et le comportement écologique et écophysologique du sapin de Céphalonie qui comme beaucoup d'autres sapins a un "tempérament" de type sciaphile. Pour cette raison, cette espèce est très souvent élevée sous ombrage en pépinière et se retrouve, de ce fait, physiologiquement inadaptée lors de la transplantation sur le terrain, très souvent en plein découvert.

Notre étude est donc centrée sur la réaction à la lumière du sapin de Céphalonie, aussi bien pendant l'élevage des plants en pépinière que lors de la plantation sur le terrain. Nous consacrerons une première partie de cet article à préciser le protocole expérimental utilisé, puis nous étudierons la reprise de la plantation et la mortalité juvénile au cours des 9 années suivantes. Nous nous intéresserons enfin aux dégâts de gelées printanières qui ont été observés au cours de cette période.

## Le dispositif expérimental

### Le plan d'expérience

Notre expérience est conçue pour expliquer l'influence de 3 facteurs expérimentaux : l'ombrage en pépinière, l'ombrage en plantation et l'époque de plantation.

Le facteur expérimental "Ombrage en pépinière" a 3 niveaux : ombrage

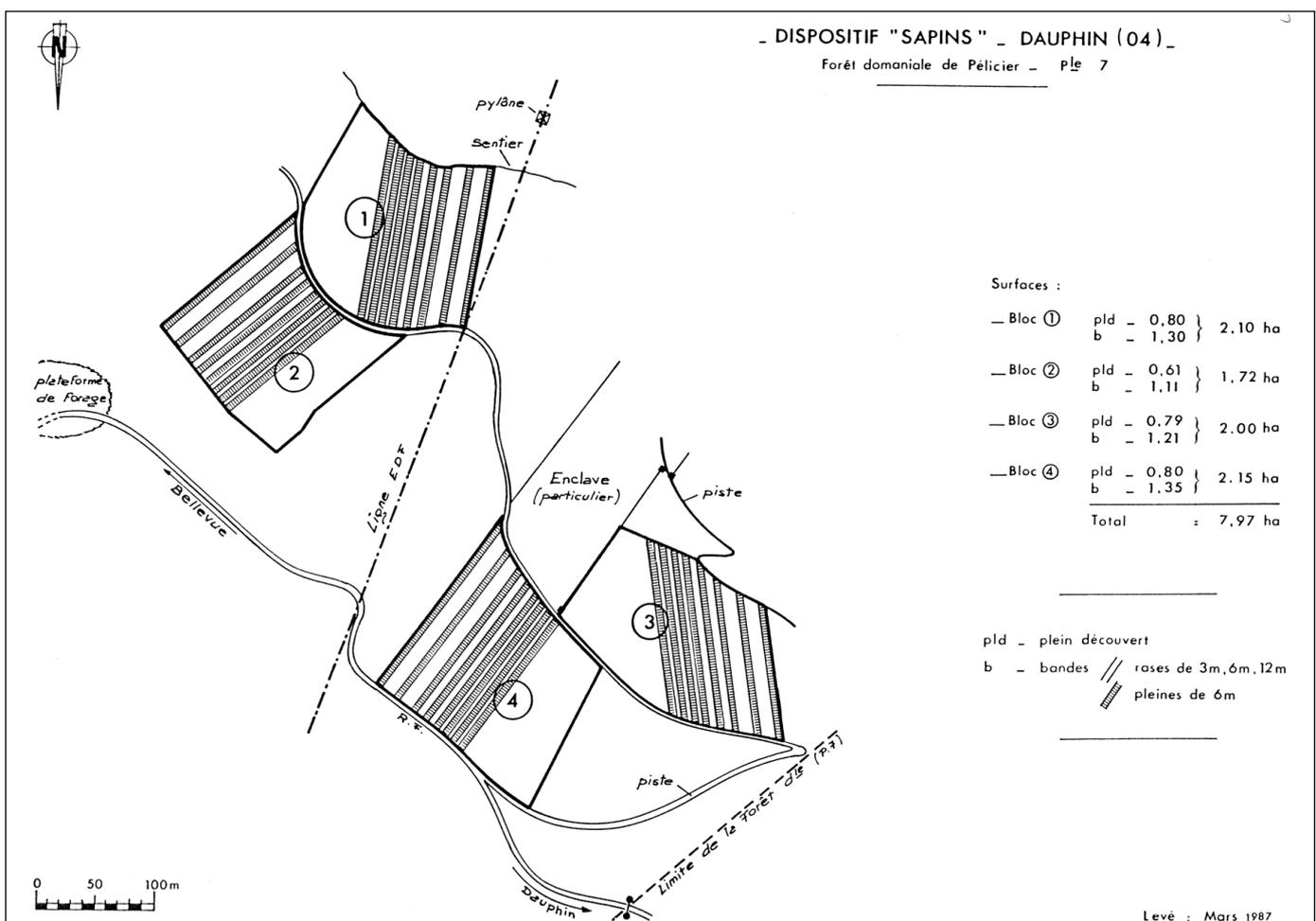


Fig. 1 : Plan du dispositif expérimental

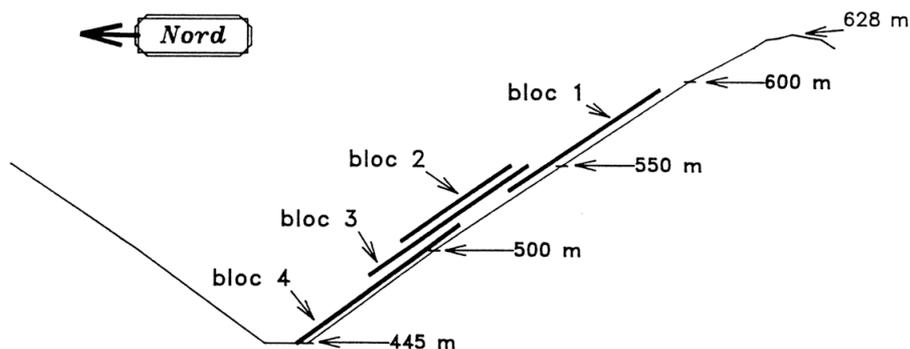


Fig. 2 : Coupe topographique du dispositif expérimental

Bloc	Exposition (grade)	Altitude (m)		Pente (%)
		extrêmes	amplitude	
1	N / NE (de 0 à 35)	535 - 595	60	30 à 50
2	NE (de 15 à 55)	505 - 550	45	21 à 36
3	N (de 385 à 25)	485 - 550	65	34 à 46
4	NE (de 35 à 40)	445 - 515	70	36 à 55

Tab. 1 : Caractérisation topographique du dispositif expérimental

fort, ombrage moyen et ombrage léger. Il indique les conditions dans lesquelles ont été élevés les plants de sapin en pépinière.

Le facteur expérimental "Ombrage en plantation" a 4 niveaux : un niveau est constitué par le plein découvert, les 3 autres niveaux sont constitués par des bandes de largeur variable. Ces 4 niveaux constituent les modalités de plantation sur le terrain. La largeur des bandes déboisées a été fixée à 2 fois la hauteur moyenne du peuplement pour les bandes larges, une fois la hauteur moyenne du peuplement pour les bandes moyennes, et la moitié de la hauteur moyenne pour les bandes étroites. La hauteur moyenne du peuplement étant d'environ 6 mètres, les bandes déboisées pour la plantation ont des largeurs respectives de 12 m, 6 m et 3 m. Elles sont séparées par des bandes boisées de 6 m de largeur.

Le facteur expérimental "date de plantation" a 2 niveaux : 1 plantation d'automne et 1 plantation de printemps. Beaucoup plus qu'un effet "date de plantation", il faut voir dans ce facteur une répétition dans le temps des 2 facteurs principaux : "ombrage en pépinière" et "ombrage en plantation".

L'hétérogénéité stationnelle est prise en compte de 2 manières différentes : tout d'abord grâce à la constitution de 4 blocs géographiquement séparés, chacun contenant l'ensemble des facteurs expé-

rimentaux et de tous leurs niveaux ; ensuite au niveau microstationnel grâce à la création d'une séquence de 6 plants (3 types d'ombrage en pépinière et 2 dates de plantation) qui se répète toujours dans le même ordre le long des lignes de plantation. Ainsi, chacune des 96 modalités de l'expérience est représentée en moyenne par 52 plants sans qu'il y ait pour autant de parcelles unitaires géographiquement individualisées.

Le schéma d'ensemble du dispositif expérimental (Cf. Fig. 1) permet d'avoir une idée plus concrète du plan d'expérience. Des informations plus complètes peuvent être trouvées dans le compte rendu d'installation (DUCREY et TURREL, 1990).

## Le milieu naturel

Le choix du lieu d'implantation de l'expérimentation a fait l'objet d'une attention toute particulière. Les critères de choix ont été les suivants :

1. conditions écologiques propices à l'introduction du sapin de Céphalonie. Nous avons cherché de préférence des terrains situés dans la zone du chêne pubescent vers 500-700 m d'altitude en versant nord et jusque vers 1000 m dans les versants exposés au sud.

2. plantation dans un taillis de chêne pubescent bien venant, de fertilité moyenne et pas trop âgé afin de pou-

voir réaliser des bandes et interbandes régulières.

3. conditions de sol pas trop marginales avec de préférence un substrat calcaire et un sol suffisamment épais pour avoir un minimum de rétention en eau (exclusion des sols marneux ou des poudingues).

Notre choix s'est finalement porté sur la parcelle 7 de la forêt domaniale de Pélicier à proximité de Dauphin, entre Manosque et Forcalquier dans les Alpes-de-Haute-Provence (04) et dont les caractéristiques moyennes sont les suivantes :

- altitude : 440 à 628 mètres,
- exposition : nord à nord-est,
- pente : 20 à 55 %,
- sol : rendzines sur calcaire à plaquettes de l'Oligocène,
- peuplement : taillis de chêne pubescent bien venant, fermé, âgé de 43 ans (fin 1987), haut de 5 à 7 m.

## Conditions topographiques

Le dispositif est installé sur le flanc d'un versant d'exposition générale nord à nord-est. L'altitude passe de 445 m au bas du bloc 4, à 595 m dans la partie supérieure du bloc 1, soit un dénivelé de 150 m. La pente varie de 21 à 55 % avec un léger replat au milieu du bloc 2. Le détail pour chaque bloc est donné dans le tableau I et la figure 2. Dans ce versant N/NE, le dispositif est étagé depuis le fond du vallon presque jusqu'au sommet qui culmine à 628 m.

## Substrat géologique et sol

Le dispositif est situé dans l'étage du Stampien (Oligocène inférieur) qui se présente ici sous forme de couches de calcaire en plaquettes se délitant en petits cubes et souvent très ondulées en raison de l'intercalation de couches gypseuses. A part quelques affleurements (partie ouest du bloc 1), ce calcaire en plaquettes a donné naissance à des rendzines brunes argileuses, où le sol est parfois mélangé de fragments de roche mère. Dans les 4 blocs, la profondeur moyenne du sous-solage (effectué avec une dent de 75 cm) est de l'ordre de 55 à 60 cm. Par ailleurs, des sondages effectués à la barre à mine dans les raies de sous-solage, à intervalles réguliers, ont permis de descendre entre 70 cm et 1 m de profondeur.

## Climat

Le poste météorologique de Saint Michel l'Observatoire (6 km à l'ouest du dispositif, altitude 650 m) fournit les normales suivantes :

- précipitations annuelles :  
869.4 mm (période 1951-1980)
- hiver : 229.9 mm (26 %)
- printemps : 202.6 mm (23 %)
- été : 165.5 mm (19 %)
- automne : 271.4 mm (32 %)
- températures (période 1961-1985)
- moyenne annuelle des minimum :  
6.0°C
- moyenne annuelle des maximum :  
17.1°C
- moyenne annuelle des moyennes :  
11.6°C
- minimum absolu : -14.0°C,  
le 9/01/1985
- maximum absolu : 38.1°C,  
le 6/07/1982

Les données climatiques nécessaires à l'expérimentation sont obtenues grâce à un poste météorologique que nous avons installé en décembre 1987 dans le plein découvert du bloc 2. Il fournit les données suivantes : précipitations, vitesse et direction du vent, température et humidité de l'air sous abri, température dans le sol à 10 et 50 cm, ainsi que les indices actinothermiques à 10 et 50 cm au-dessus du sol.

## Peuplement d'origine

Le peuplement initial est un taillis de chêne pubescent âgé de 43 ans fin 1987. On trouve quelques pieds d'espèces diverses : *Sorbus aria*, *Sorbus domestica*, *Sorbus torminalis*, *Acer monspessulanum*, *Acer campestre*, *Acer opalus*, *Cornus mas*, représentant moins de 10 % du nombre total de tiges.

Le peuplement a fait l'objet d'un inventaire statistique au taux de 10 % afin de tester l'homogénéité du dispositif. Le tableau II récapitule les résultats pour chaque bloc et pour l'ensemble du peuplement. La densité moyenne est de 4240 tiges par hectare, correspondant à une surface terrière de 20,43 m<sup>2</sup>/ha et un volume total sur pied de 77,5 m<sup>3</sup>/ha. La hauteur moyenne des arbres est de 6,5 m pour une hauteur dominante de 7,3 m.

Une analyse de variance montre un effet BLOC significatif pour toutes les variables, excepté la densité. Les 4 blocs expérimentaux diffèrent tout

d'abord par leur hauteur qui semble inversement liée à l'altitude : plus d'un mètre d'écart entre le bloc 1, proche du sommet et le bloc 4 près du bas du vallon. Les hauteurs moyennes de 5,6 m, 6,5 m, 6,1 m et 6,6 m respectivement pour les blocs 1 à 4 correspondent à la hauteur moyenne de 6 m choisie pour calculer la largeur des bandes et des inter-bandes. L'effet négatif de l'altitude sur la hauteur du taillis, donc sur la fertilité de la station, paraissait évidente à l'œil nu et a orienté la disposition des blocs sur le terrain. L'analyse statistique a vérifié cet effet au niveau de l'ensemble des blocs. Mais à l'intérieur de chaque bloc cet effet est beaucoup moins évi-

dent et la variabilité rencontrée lors de l'inventaire paraît localement davantage liée à des différences stationnelles (nature et profondeur du sol) qu'à l'altitude. L'option retenue pour l'installation des plants (séquences de 6 plants), élimine une bonne part de la variabilité due aux différences de fertilité des sols.

## La production des plants

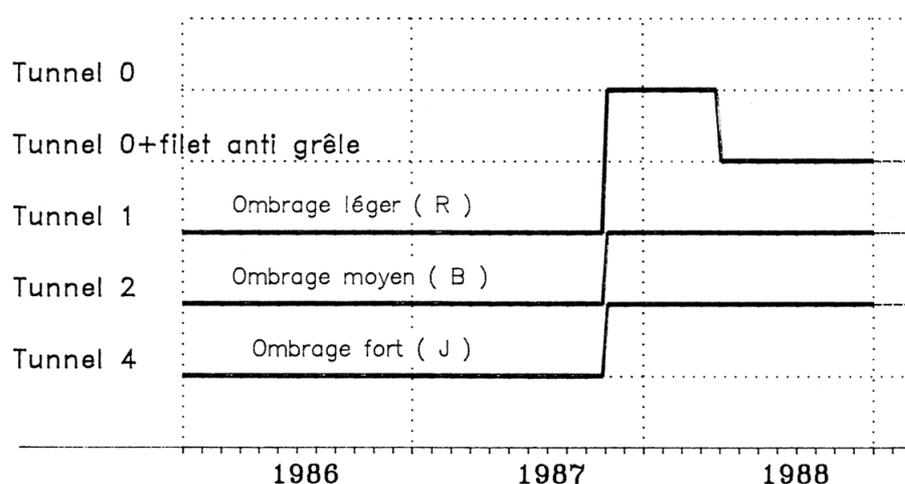
### Origine des graines

Les graines utilisées pour la production des plants ont été obtenues par l'intermédiaire du Service forestier

	Moyennes par bloc				Moyennes générales
	bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 4	
Densité (N/ha)	4106 a	4211 a	4462 a	4183 a	4240
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	18.29 b	21.41 a	21.80 a	20.22 ab	20.43
volume total (m <sup>3</sup> /ha)	62.2 b	85.6 a	78.7 a	83.5 a	77.5
volume découpe 4 (m <sup>3</sup> /ha)	62.7	85.1	78.7	82.3	77.2
volume découpe 7 (m <sup>3</sup> /ha)	45.3	64.0	58.7	60.3	57.1
Hauteur maximum (m)	6.80 d	7.96 b	7.35 c	8.29 a	7.60
Hauteur dominante (m)	6.53 c	7.69 a	7.20 b	7.94 a	7.30
Hauteur moyenne (m)	5.64 c	6.53 a	6.07 b	6.61 a	6.50

**Tab. II : Caractéristiques dendrométriques du taillis de chêne pubescent. Ce taillis est âgé de 43 ans fin 1987. Il contient en mélange des espèces diverses (moins de 10 % du nombre total de tiges) : *Sorbus aria*, *Sorbus domestica*, *Sorbus torminalis*, *Acer monspessulanum*, *Acer campestre*, *Acer opalus* et *Cornus mas*. L'inventaire statistique, au taux de 10 %, a été réalisé sur des placettes circulaires de 2 à 3 m de rayon.**

Pour chaque variable, des lettres différentes indiquent que les moyennes par bloc sont statistiquement différentes au seuil de 5 % d'après le test de comparaisons multiples de moyennes de Duncan.



**Fig. 3 : Schéma illustrant les conditions de lumière pendant l'élevage des plants en pépinière (sous tunnels)**

grec et de l'Université de Thessaloniki. Elles sont originaires du Péloponnèse et ont été récoltées entre le 30 septembre et le 9 octobre 1985 dans les forêts du Mainalon près des villages de Stemnitsia et de Piana dans la province d'Arkadia. Le peuplement était âgé de 80 à 100 ans et situé à 1260 m d'altitude sur substrat calcaire. Les données climatologiques de la station météorologique voisine à Vitinas sont les suivantes :

température moyennes  
annuelle : 12.2°C  
maximum annuel : 34.6°C  
minimum annuel : -15.0°C  
moyenne de juin à septembre : 17.8°C  
précipitations annuelles : 960 mm  
précipitations de juin à  
septembre : 37.5 mm.

Par rapport à Dauphin, les précipitations de Vitinas sont légèrement plus abondantes mais l'été est beaucoup

plus sec. La xéricité est renforcée par des températures moyennes plus élevées. Les conditions climatiques sont donc *a priori* plus favorables dans notre expérimentation que dans le peuplement d'origine.

### Conditions d'élevage

Les plants ont été élevés dans des godets WM en polyéthylène noir, d'une hauteur de 17 cm et d'une contenance de 400 cm<sup>3</sup> pendant 3 années depuis mars 1986 jusqu'à la plantation en octobre 1988 ou en mars 1989. Le substrat utilisé était un mélange à volume égal de tourbe blonde et d'écorce de pin broyée et compostée, choisi d'après les indications du Cemagref à Aix-en-Provence. La fertilisation a été assurée par un engrais concentré soluble "Fertil Coïc", 12-8-30.

L'originalité de l'élevage réside dans la gestion de l'ombrage puisque

l'ombrage en pépinière constitue l'un des facteurs expérimentaux. Les différentes conditions d'ombrage ont été réalisées dans 5 serres tunnels recouvertes ou non d'ombrières et sous lesquelles ont été mesurées des conditions d'éclairage relatif (ER) suivantes :

tunnel 0 : 100 % ER (sans protection)  
tunnel 0 : 67 % ER (avec filet antigrêle)  
tunnel 1 : 56 % ER (avec ombrière à 35 % d'ombrage)  
tunnel 2 : 34 % ER (avec ombrière à 65 % d'ombrage)  
tunnel 4 : 14 % ER (avec 2 ombrières à 65 % d'ombrage superposées)

Les plants ont été déplacés d'un tunnel à l'autre en cours d'élevage à la fin de la 2<sup>ème</sup> année d'élevage pour les adapter progressivement à plus de lumière selon le schéma de la figure 3. On a donc, au moment de la plantation, 3 types de plants caractérisés par l'ombrage en pépinière : ombrage léger, ombrage moyen et ombrage fort.

### Caractéristiques des plants avant plantation

Un échantillon de 66 plants par type d'ombrage a été prélevé de manière systématique juste avant la plantation afin de caractériser les plants du point de vue de leur morphologie (Cf. Tab. III) et de leur composition minérale (Cf. Tab. IV).

L'ombrage fort a pour effet d'augmenter la hauteur des plants (10,3 cm contre 8,5 cm pour l'ombrage léger) et de diminuer leur diamètre (2,6 mm contre 3,0 mm pour l'ombrage léger). Les plants qui ont la plus forte biomasse

	Ombrage léger	Ombrage moyen	Ombrage fort
Diamètre au collet (mm)	3.0 a	2.8 b	2.6 c
Hauteur totale (cm)	8.5 b	9.7 a	10.3 a
Biomasse sèche totale (g)	2.04 a	1.93 a	1.43 b
Rapport entre partie aérienne et souterraine	0.79 a	0.81 b	0.95 a
Potentiel de régénération racinaire (échelle relative)	5.5 a	7.3 b	7.8 b

**Tab. III : Caractéristiques morphologiques et physiologiques des plants de sapin de Céphalonie, avant plantation, selon le préconditionnement lumineux en pépinière.**

Pour chaque variable, des lettres différentes indiquent que les moyennes par type d'ombrage sont statistiquement différentes au seuil de 5 % d'après le test de comparaisons multiples de moyennes de Duncan. (L'analyse a porté sur 66 plants par type d'ombrage).

	Ombrage léger	Ombrage moyen	Ombrage fort	Observations
Azote total Kjeldahl (%)	0.90 a	0.91 a	0.90 a	seuil de carence : 1.3 à 1.5
Phosphore total (%)	0.126 b	0.188 a	0.170 a	seuil de carence : 0.10 à 0.15
Potassium total (%)	0.95 ab	1.02 a	0.84 b	optimum : 0.6 à 0.8
Calcium total (%)	1.18 a	1.01 ab	0.87 b	optimum : 0.3 à 0.5
Magnésium total (%)	0.12 a	0.12 a	0.12 a	optimum : 0.10 à 0.14
Sodium total (%)	0.0018 ab	0.0012 b	0.0020 a	
Bore total I.C.P. (mg/kg)	36 a	36 a	40 a	optimum : 15 à 30
Cuivre total (mg/kg)	3.3 a	3.0 a	3.5 a	seuil de carence : 2.5 à 4
Fer total (mg/kg)	126 b	153 a	172 a	seuil de carence : 40
Manganèse total (mg/kg)	1186 a	1365 a	1330 a	optimum : > 50
Zinc total (mg/kg)	65 a	66 a	66 a	optimum : > 20

**Tab. IV : Composition chimique des plants de sapin de Céphalonie, avant la plantation de mars 1989, selon le préconditionnement lumineux des plants en pépinière.**

Pour chaque variable, des lettres différentes indiquent que les moyennes par type d'ombrage sont statistiquement différentes au seuil de 5 % d'après le test de comparaisons multiples de moyennes de Duncan. (L'analyse a porté sur 66 plants par type d'ombrage).

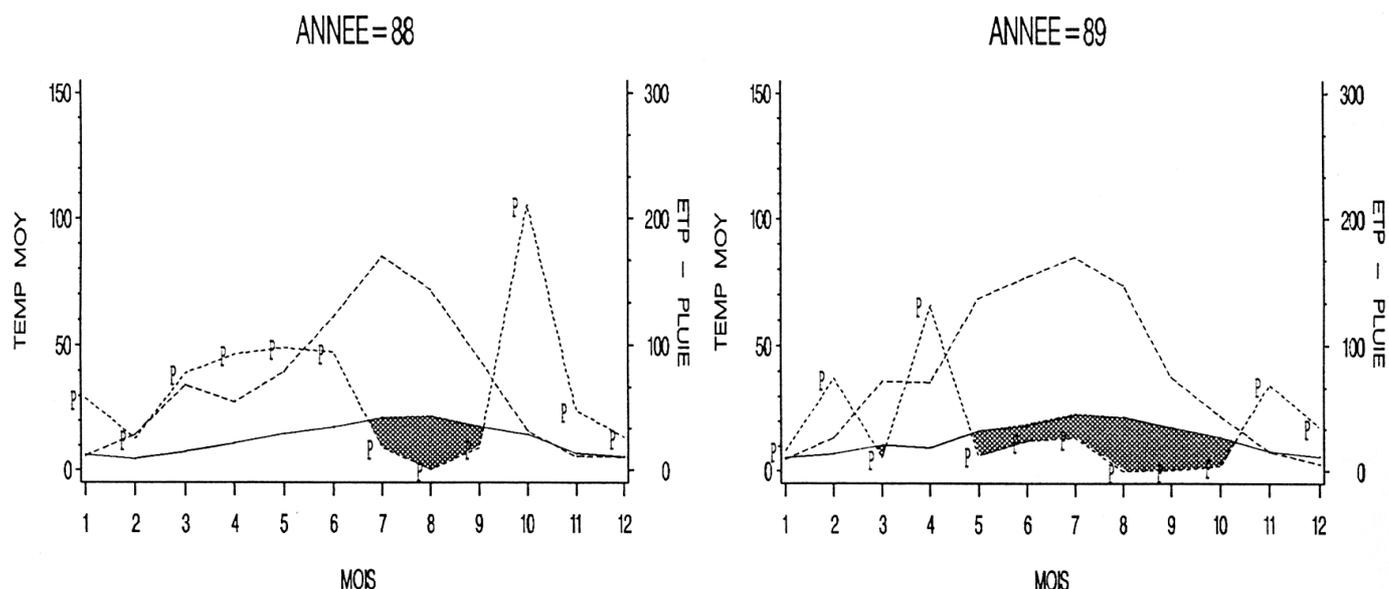


Fig. 4 : Diagrammes ombro-thermiques des années 1988 et 1989 issus du poste météorologique installé dans la plantation expérimentale de Dauphin

sont ceux qui reçoivent le plus de lumière (ombrage léger). Ce sont aussi ceux qui ont la plus faible valeur du rapport entre la biomasse aérienne et la biomasse souterraine. Les plants sous ombrage léger ont donc un système racinaire plus développé, comparativement au système aérien, que les plants des autres types d'ombrage. Ceci laisse supposer lors de la plantation un meilleur comportement de ces plants qui ont une plus forte capacité à absorber l'eau du sol grâce à un système racinaire plus développé et une plus faible transpiration en raison d'une surface foliaire relativement plus petite. Le potentiel de régénération racinaire a aussi été évalué en notant la capacité des plants à produire des racines nouvelles quand ils sont placés dans des conditions standard favorables à leur croissance. Il est le plus faible pour les plants légèrement ombragés et le plus fort pour les plants moyennement et fortement ombragés. De ce strict point de vue, les plants moyennement et fortement ombragés sont supposés avoir une meilleure reprise que les plants faiblement ombragés.

En ce qui concerne la composition minérale, on n'observe que très peu de différences significatives entre les différents types de plants. La comparaison avec les normes de composition foliaire établies par Bonneau (1988) pour les espèces résineuses à petites aiguilles montre des signes de carence



Photo 1 : Dispositif expérimental d'introduction du sapin de Céphalonie en forêt domaniale de Pélicier - vue générale des blocs 3 et 4 avec bandes et pleins découverts.

Photo M. DUCREY - INRA Avignon

pour l'azote, mais cette comparaison ne peut être qu'indicative car les normes correspondent à des arbres et non à des semis en pépinière.

## La plantation

L'exploitation du taillis a eu lieu entre février et juillet 1987 et a concerné d'une part les pleins découverts et d'autre part les bandes déboisées de 3, 6 et 12 m de largeur. Ces

bandes ont été faites dans le sens de la plus grande pente, mesurent entre 110 et 150 m de long et sont réparties comme indiqué sur la figure 1.

Les rémanents ont été broyés pendant l'automne 1987, détruisant par la même occasion les rejets de l'année en cours.

Le sous-solage a été réalisé dans le sens de la pente, à la descente, avec un bulldozer équipé d'une dent ripper de 75 cm. Les raies sont espacées de 3 m,

aussi bien dans les bandes que dans le plein découvert. Dans les bandes étroites, il n'y a qu'une seule raie située au centre, donc à 1.5 m des bordures. Dans les bandes moyennes, il y a 2 raies espacées de 3 m et situées à 1.5 m des bordures. Dans les bandes larges, il y a 4 raies espacées de 3 m, les raies extérieures étant à 1.5 m des bordures. Le travail a été fait en décembre 1987.

Des potets de 30 x 30 x 30 cm ont été réalisés sur la raie de sous-solage et de façon à former une petite terrasse horizontale. Les racines et les grosses pierres ont été enlevées et le sol bien ameubli pour ne pas laisser de poche d'air sous les plants. Ils ont été faits en mai - juin 1988. Pour avoir un nombre de plants à peu près équivalent dans chaque modalité, ils ont été espacés de 2 m (distance horizontale) dans les pleins découverts et les bandes larges, de 1,5 m dans les bandes moyennes et de 1,25 m dans les bandes étroites.

Un traitement phytocide à base de glyphosate a été réalisé début juillet 1988 dans le but d'éliminer les taches de graminées avant la dispersion des graines, de maîtriser les dicotylédones herbacées et de nanifier les rejets ligneux afin de conserver une couverture végétale réduite et de retarder les premiers dégagements de plants.

Les plants en godets WM élevés dans les conditions indiquées précédemment ont été plantés à l'automne 1988 (14 et 15 novembre) et au printemps 1989 (13 et 14 mars) dans les potets en respectant la séquence de 6 plants suivante : 1 plant "ombrage léger - automne", 1 plant "ombrage léger - printemps", 1 plant "ombrage moyen - automne", 1 plant "ombrage moyen - printemps", 1 plant "ombrage fort - automne", 1 plant "ombrage fort - printemps". Au total, 5040 plants ont ainsi été installés. Si on compte en plus 1500 plants installés dans le cadre d'une expérimentation complémentaire dont il n'est pas fait état ici, et quelques 2500 plants installés en garnissage hors expériences, c'est un total de plus de 9000 sapins qui ont été plantés.

## Reprise de la plantation et mortalité juvénile

### Les conditions climatiques

Les conditions climatiques pendant la période de plantation sont illustrées par les diagrammes ombro-thermiques de la figure 4. L'été 1988 a été plutôt sec avec les 3 mois de juillet, août et septembre ayant des précipitations inférieures à 2 fois la température moyenne. Les précipitations d'octobre, précédant la première plantation, sont abondantes, voisines de 200 mm. L'hiver est plutôt sec, surtout le mois de mars au cours duquel a lieu la deuxième plantation. Après un mois d'avril pluvieux, plus de 100 mm de précipitations, commence une longue période sèche qui va durer jusqu'à fin octobre et pendant laquelle les précipitations mensuelles resteront toujours inférieures à 2 fois les températures moyennes mensuelles. (Cette sécheresse, très intense sur l'ensemble de la région méditerranéenne française, n'a pas eu d'équivalent au cours des 10 dernières années).

### Mortalité globale

La première plantation, les 14 et 15 novembre 1988, est faite dans de bonnes conditions après un mois d'octobre et un début novembre très pluvieux. Bien que l'hiver ait été relativement peu pluvieux, les plants subissent l'hiver sans dommages. D'après les premiers comptages de mortalité, en avril 1989, 0,4 % des plants sont morts, 3,6 % sont dépérissants et 96 % sont bien venants à cette date.

Le taux de mortalité "officiel" calculé en octobre 1989, après l'été suivant les 2 plantations indique une mortalité de 28.2 % et un taux de reprise de 71,8 % composé de 65.8 % de plants bien-venants et de 6 % de plants plus ou moins dépérissants. L'évolution de cette mortalité au cours des années suivantes est indiquée sur la figure 5. Le taux de reprise se stabilise vers 62 % en novembre 1992, les plants dépérissants étant définitivement morts ou, exceptionnellement, ayant survécu. Une mortalité résiduelle de 0.2 % par année subsiste cependant jusqu'à maintenant. Les observations faites au cours des premières années à l'automne et au printemps montrent que la mortalité n'évolue pas au cours des hivers 1989-90 et 1990-91.

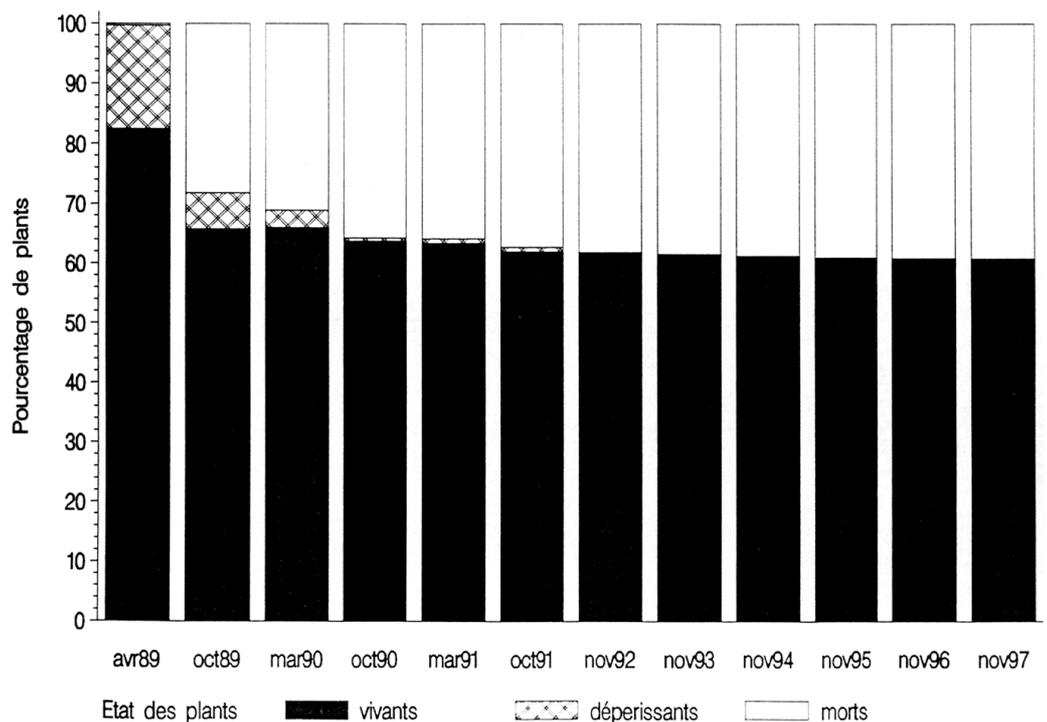


Fig. 5 : Evolution du taux de reprise global du sapin de Céphalonie au cours des 9 années suivant la plantation (Dauphin, 1989 - 1997)

Dans les paragraphes qui suivent nous analyserons les effets simples de chacun des facteurs expérimentaux, tous autres facteurs expérimentaux confondus. Une analyse des interactions entre facteurs expérimentaux apporterait sans doute des résultats très intéressants mais qui compliqueraient beaucoup la lecture de cet article. Aussi, avons-nous décidé de nous en tenir à cette première interprétation des résultats.

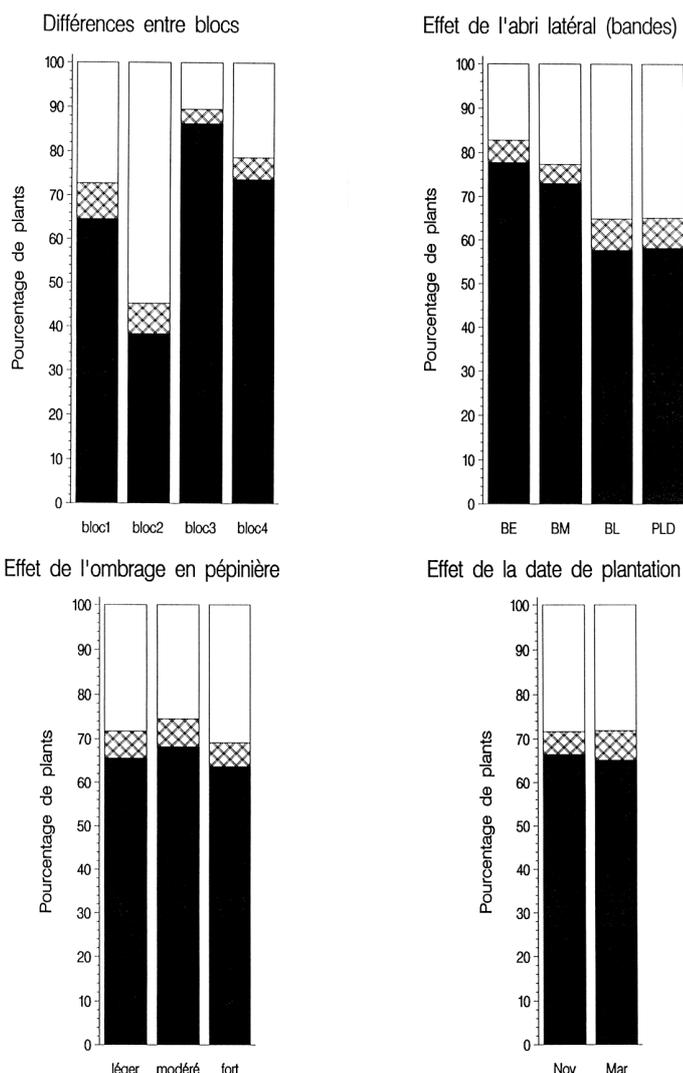
## Différences entre blocs

Les différences entre blocs (Cf. Fig. 6) sont importantes : 64,6 % de reprise pour le bloc 1 ; 38,3 % pour le bloc 2 ; 86,2 % pour le bloc 3 et 73,8 % pour le bloc 4, c'est-à-dire plus du simple au double entre le bloc 2 et le bloc 3. Il est difficile *a priori* de donner une explication simple à ces résultats en raison de la nature même de notre plan expérimental. Les 4 blocs ont une localisation géographique distincte et se caractérisent par des conditions différentes d'altitude, d'exposition et de pente. Nous avons vu aussi qu'ils se distinguent par les potentialités de production différentes bien que l'on puisse penser que ce paramètre n'a pas d'influence directe sur le taux de reprise.

L'effet de la localisation du bloc sur la reprise n'étant pas un objectif majeur de notre étude, nous avons intégré dans l'effet BLOC un éventuel effet PLANTEUR. En effet la plantation a été effectuée aussi bien en novembre qu'en mars par les 4 mêmes planteurs affectés chacun à un bloc particulier. Ceci a représenté la meilleure manière pour éliminer l'éventuel effet PLANTEUR dans l'analyse des autres facteurs expérimentaux majeurs : "ombrage en pépinière", "abri latéral en plantation" et "date de plantation".

## Effet des bandes

L'effet des bandes se traduit par une diminution du taux de reprise depuis les bandes étroites jusqu'au plein découvert (Cf. Fig. 6). En octobre 1989, le taux de reprise est de 77,8 % dans les bandes étroites, 73,1 % dans les bandes moyennes, 57,7 % dans les bandes larges et 58,2 % dans le plein



**Fig. 6 : Variations du taux de reprise, calculé en octobre 1989, en fonction des blocs, de l'abri latéral en plantation, de l'ombrage en pépinière et de la date de plantation. (En noir les plants vivants, en hachuré les plants dépérissants et en blanc les plants morts.)**



**Photo 2 : Dispositif expérimental d'introduction du sapin de Céphalonie en forêt domaniale de Pélicier - vue rapprochée des bandes étroites, moyennes et larges, faites dans le taillis de chêne pubescent**

Photo M. DUCREY - INRA Avignon

découvert. Il n'y a donc pas de différences entre les bandes larges et le plein découvert.

Les bandes sont orientées nord-sud sur un versant lui-même orienté au nord. Il en résulte que les bandes sont ensoleillées pendant la période du midi solaire et que l'ensoleillement est d'autant plus court que les bandes sont étroites. De plus, la pente nord du terrain renforce l'effet d'ombrage latéral par les interbandes lorsque la hauteur du soleil est faible au-dessus de l'horizon. Les bandes étroites (3 m) et les bandes moyennes (6 m) sont donc largement protégées par les interbandes de taillis haut en moyenne de 6 m. Les bandes larges (12 m) sont au contraire fortement ensoleillées. Il en résulte que les 2 lignes centrales de plantation et, à un degré moindre, les lignes proches des interbandes sont plus ensoleillées que dans les autres types de bandes. En fait les bandes larges n'assurent aucune protection par rapport au plein découvert.

## Effet de la date de plantation

Le taux de reprise est globalement le même pour les 2 dates de plantation (Cf. Fig. 6) : 66,5 % pour la plantation de novembre 1988 et 65,2 % pour la plantation de mars 1989. Ce résultat est en accord avec les conditions clima-

tiques existant lors des plantations ainsi qu'il a été dit dans un paragraphe précédent.

## Effet du préconditionnement des plants

Nous n'avons pas observé de grandes différences dans le taux global de reprise des plants ayant été élevés dans les différentes conditions d'ombrage (Cf. Fig. 6). Le taux de reprise est de 65,6 % pour les plants faiblement ombragés, 68,2 % pour les plants moyennement ombragés et 63,7 % pour les plants fortement ombragés. D'après les caractéristiques morphologiques et physiologiques des plants (Cf. Tab. III), les plants moyennement ombragés qui avaient à la fois un faible rapport entre la biomasse aérienne et souterraine et un fort potentiel de régénération racinaire étaient les plants ayant la meilleure probabilité de reprise. C'est ce que l'on retrouve dans la plantation bien que les différences avec les taux de reprise des autres catégories de plants ne soient pas très importantes. Il faut aussi souligner que nous n'avons considéré que le taux de reprise global et qu'une analyse plus précise, étudiant l'effet "ombrage en pépinière" pour chaque type de bandes, aurait sans doute donné des résultats plus précis.

## Dégâts de gelées printanières

### Les conditions climatiques

Le sapin de Céphalonie est sensible aux gelées printanières en raison de la précocité de son débourrement ainsi que nous l'avons écrit dans l'article sur l'écophysologie des sapins méditerranéens qui se trouve dans le présent numéro de *Forêt Méditerranéenne*. Les données climatiques enregistrées par le poste météorologique installé dans le plein découvert du bloc 2 de notre expérimentation permettent de décrire les conditions climatiques des différents épisodes de gel. Ces données sont regroupées dans le tableau V. Nous avons mesuré la température de l'air sous abri standard à 2 m du sol et en avons déduit les températures minimales journalières. Nous avons aussi mesuré les indices actinothermiques - c'est-à-dire la température d'un thermomètre à mercure ou d'une sonde métallique laissés à l'air libre dans le but d'indiquer le plus précisément possible la température réelle au niveau des bourgeons - et en avons déduit les valeurs minimales. En règle générale, la valeur minimale de l'indice actinothermique à 50 cm au-dessus du sol est proche

Année	Date	Température minimum (°C)	Indice actino 10 cm	Indice actino 50 cm	Plants non gelés (%)	Pousses latérales gelées (%)	Pousse terminale gelée (%)
1989	23 avril	-0,1	-3,3	-0,9	84,2	13,9	1,8
1990	5 avril	-0,1	-3,2	-0,8	82,5	16,2	1,4
1991	21 avril	-0,1	-3,5	-1,0	6,5	40,1	53,4
	22 avril	-1,5	-5,3	-2,5			
	24 avril	-0,5	-5,8	-2,1			
	5 mai	-0,7	-4,0	-2,1			
1994	4 avril	-3,0	-7,0	-3,7	24,2	65,8	9,8
	11 avril	-0,3	-3,2	-1,4			
	15 avril	-1,5	-5,1	-2,4			
1995	1 <sup>er</sup> avril	0,0	-3,6	-1,0	67,9	29,3	2,7
	15 mai	+ 0,7	-3,5	-0,7			
1997	18 avril	-1,7	-5,3	-2,9	20,9	50,7	28,4
	21 avril	0,0	-4,3	-1,1			
	22 avril	+ 0,4	-5,2	-1,3			
	23 avril	-0,6	-5,9	-1,3			

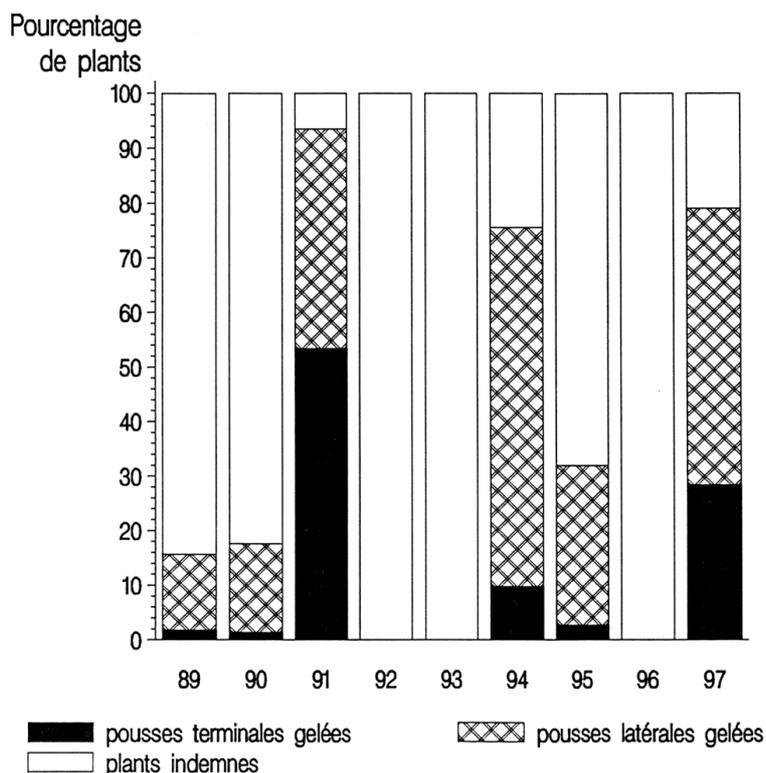
Tab. V : Dégâts de gelées printanières sur l'ensemble de la plantation de Dauphin entre 1989 et 1997 et températures enregistrées lors des différents épisodes de gel.

mais légèrement inférieure à la température minimale de l'air d'environ 1°C. La valeur minimale de l'indice actinothermique à 10 cm au-dessus du sol est toujours très inférieure à la température minimale de l'air. La différence est d'autant plus importante que le ciel est clair et pur et que l'air est calme. Elle peut alors atteindre 4 à 5°C.

## Analyse globale des gelées printanières

Sur les 9 années d'observations, nous avons constaté des dégâts de gel au cours de 6 années (Cf. Fig. 7). Les températures minimales des périodes présumées de gel - il n'est pas toujours facile de savoir exactement quand il y a eu gel - sont en général comprises entre 0°C et -1°C. Les indices actinothermiques à 10 cm au-dessus du sol, les plus représentatifs de la température au voisinage des bourgeons, sont alors compris entre -3°C et -6°C. Au cours des 3 années sans gelées de printemps, il n'y a eu aucune température minimale négative pendant les mois d'avril et mai.

Les dégâts de gel ont été observés en juin de chaque année en notant pour chaque plant, l'absence de dégâts, la présence de pousses latérales gelées ou la présence de pousses latérales et terminale gelées. Cette gradation des dégâts est due au fait que les bourgeons latéraux (aussi bien de la pousse terminale que des pousses latérales) débourent plus tôt que le bourgeon terminal. Les dégâts observés sur les pousses latérales sont moins graves car ils n'empêchent pas la croissance normale de la pousse terminale. Lorsque les dégâts affectent le bourgeon terminal il arrive aussi que tous les bourgeons latéraux soient gelés. Dans ce cas, aucune pousse nouvelle n'apparaîtra et le plant devra passer toute la saison de végétation en utilisant seulement les aiguilles des années précédentes pour la photosynthèse. Il y a en général au cours de l'année, une forte prolifération de bourgeons néo-formés qui débourent seulement l'année suivante. Le risque d'apparition de flèches multiples est alors très important. Il est aussi à noter que la proportion relative de pousses terminales gelées par rap-



**Fig. 7 : Dégâts de gel observés sur l'ensemble de la plantation expérimentale de Dauphin entre 1989 et 1997, (en noir les plants ayant eu le bourgeon terminal et les bourgeons latéraux gelés, en hachuré les plants ayant seulement les bourgeons latéraux gelés et en blanc les plants indemnes).**



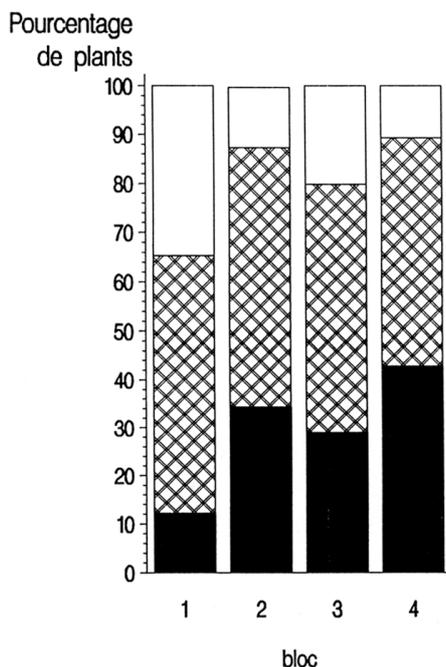
**Photo 3 : Sapinières de *A. cephalonica* en Grèce**

Photo M. DUCREY - INRA Avignon

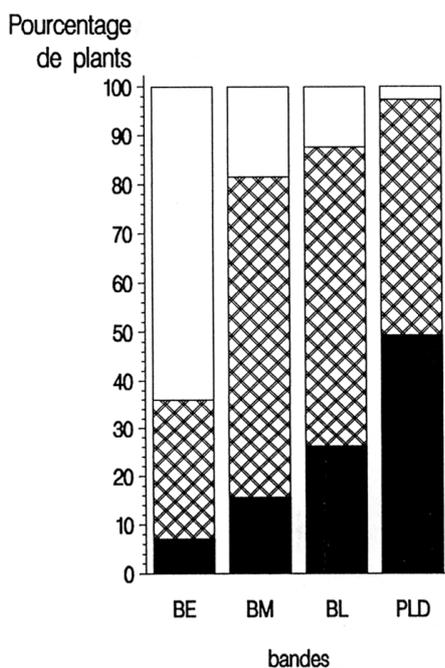
port à l'ensemble des plants ayant subi des dégâts est très différente d'une année à l'autre. Ceci est dû à l'état phénologique des plants au moment du gel et plus particulièrement à la proportion de plants entièrement débourents ou ayant seulement leurs bourgeons latéraux débourents.

En 1989, 1990 et 1995, les dégâts de gel sont relativement faibles : entre 15 et 30 % d'arbres touchés par le gel mais moins de 3 % de plants ayant leur bourgeon terminal gelé. Les températures minimum sous abri sont voisines de 0°C tandis que les indices actinothermiques sont voisins de -

## Dégâts de gel à Dauphin en 1997 Différences entre blocs



## Dégâts de gel à Dauphin en 1997 Effet des bandes



**Fig. 8 : Dégâts de gel observés en 1997 dans la plantation expérimentale de Dauphin : différences entre blocs et effet de l'abri latéral des bandes. (en noir les plants ayant eu le bourgeon terminal et les bourgeons latéraux gelés, en hachuré les plants ayant seulement les bourgeons latéraux gelés et en blanc les plants indemnes).**

3.5°C. En 1991, 1994 et 1997 les dégâts sont beaucoup plus importants car plus de 75 % des arbres sont touchés par le gel. Le pourcentage de plants ayant leur bourgeon terminal gelé est de 9.8 % en 1994, 28.4 % en 1997 et 53.4 % en 1991. Dans tous les cas les indices actinothermiques sont inférieurs à -5°C. C'est ce qui se passe le 15 avril 1994, entre le 18 et le 23 avril 1997 et les 22 et 24 avril 1991. L'épisode de gel a eu lieu plus tôt en 1994 qu'en 1997 et 1991 et l'état phénologique des plants devait être moins avancé. Ceci explique que les dégâts aient été moins importants. (On remarquera à titre anecdotique que 1991 et 1997 correspondent aux 2 années pour lesquelles les vignobles de la basse vallée du Rhône ont subi des dommages importants.)

L'analyse détaillée des dégâts de gel a montré des différences entre les blocs et entre les différentes modalités de plantation dans les bandes ou en plein découvert mais nous n'avons pas observé de différences entre les dates de plantation, ni d'effet du préconditionnement des plants en pépinière.

## Différences entre blocs

En prenant l'exemple de l'année 1997, on peut observer des différences importantes entre blocs (Cf. Fig. 8). Il y a 28 % de plants entièrement gelés dans le bloc 1, 29 % dans le bloc 2, 34 % dans le bloc 3 et 43 % dans le bloc 4. Ces résultats sont en accord avec l'altitude moyenne des blocs (Cf. Fig. 2 et Tab. I) et avec leur situation en sommet de versant pour le bloc 1 en milieu de versant pour les bloc 2 et 3 et en fond de versant pour le bloc 4. Il est vraisemblable que l'air froid s'est accumulé en partie au fond du vallon et que son écoulement vers la sortie du vallon, pourtant largement ouvert sur l'extérieur, n'a pas été suffisant. Ceci montre l'importance des situations topographiques pour la bonne implantation des plantations de sapin de Céphalonie.

## Effets des bandes

Les dégâts de gel diffèrent d'un type de bande à l'autre (Cf. Fig. 8).

Toujours en 1997, on observe 7 % de plants entièrement gelés dans les bandes étroites, 16 % dans les bandes moyennes, 26 % dans les bandes larges et 49 % dans le plein découvert. Inversement, on trouve 64 % de plants indemnes dans les bandes étroites, 18 % dans les bandes moyennes, 12 % dans les bandes larges et seulement 3 % dans le plein découvert. Il y a donc bien un effet protecteur des bandes.

Cet effet des bandes peut être double : un effet sur l'état phénologique des plants et un effet sur les températures minimales pendant les épisodes de gel. Il est difficile de dire si les bandes ont un effet positif ou négatif sur le débourrement des jeunes sapins car nous n'avons pas fait d'observations directes. On constate cependant (Cf. Fig. 8) que les plants entièrement gelés représentent 20 % des plants atteints par le gel dans les bandes étroites alors que cette proportion est de 50 % dans le plein découvert. On peut donc en déduire que le pourcentage de plants ayant le bourgeon terminal débourré était plus important dans le plein découvert que dans les bandes étroites : les bandes ont donc comme effet de retarder le débourrement. On sait aussi que les interbandes ont un effet direct en limitant le refroidissement de l'air grâce au rayonnement de grande longueur d'onde émis par la végétation qui vient compenser le fort rayonnement terrestre à l'origine de l'abaissement de la température.

## Discussion et conclusions sylvicoles

Les objectifs de notre expérimentation étaient de mettre en évidence l'effet de l'état physiologique des plants, de la date de plantation et des conditions d'introduction sur le terrain, sur la reprise en plantation et le comportement du sapin de Céphalonie.

## Effet du préconditionnement lumineux en pépinière

Le préconditionnement lumineux en pépinière a été étudié pour tenir

compte des différentes modalités de production des plants en pépinière et des différentes conditions d'introduction sur le terrain. Les plants moyennement ombragés ont le meilleur taux de reprise pour l'ensemble de la plantation même si les résultats ne sont pas très différents avec les autres types de plants. Il reste à étudier le comportement de chaque type de plants dans chacune des conditions d'introduction afin de savoir si ce sont les mêmes types de plants qui donnent les meilleurs résultats dans les bandes ou dans le plein découvert.

La qualité physiologique des plants est un critère très important pour assurer la bonne reprise d'une plantation. En même temps que nos travaux, le Cemagref d'Aix-en-Provence conduisait des recherches sur l'élevage du sapin de Céphalonie en pépinière. Leurs recommandations finales qui permettent d'obtenir en 2 années des plants de 8 cm de hauteur et 2,5 mm de diamètre, directement utilisables en reboisement, ont été les suivantes (ARGILLIER *et al.*, 1990) :

- utilisation d'un conteneur non contraignant, évitant les déformations racinaires et d'un volume voisin de 500 cm<sup>3</sup>;

- substrat de culture ayant une disponibilité en eau de 25 à 30 % et une porosité suffisante pour favoriser le développement du système racinaire et pour permettre une bonne aération du substrat évitant les conditions d'hypoxie. Un mélange de 50 % de tourbe blonde et de 50 % de compost d'écorce de pin (granulométrie 5-15 mm) répond à ces exigences;

- fertilisation minérale comprenant de l'azote sous forme ammoniacale;

- conditionnement de culture hivernale hors-gel;

- élevage en pleine lumière ou sous ombrage léger non quantifié.

Nos plants, élevés en 3 ans, répondaient globalement aux critères du Cemagref. Il est à noter que le préconditionnement lumineux a eu un effet sur la quantité de biomasse produite et sur sa répartition entre la partie aérienne et les racines. Cependant la composition minérale des plants n'a pas été modifiée par les différences d'éclairage. Des études écophysiologiques sur les modifications morphologiques et physiologiques



**Photo 4 : Dégâts de gelées tardives sur les jeunes plants de sapin de Céphalonie - pousses latérales seules gelées**

Photo M. D. - INRA Avignon

provoquées par les conditions d'élevage restent à entreprendre pour optimiser la qualité des plants et pour améliorer leur reprise en plantation.

### Effet de la date de plantation

Les plantations sont couramment faites en automne ou au printemps en région méditerranéenne. Nous n'avons pas observé de différences entre les 2 dates de plantation ni pour la reprise ni pour la sensibilité aux gelées printanières. Cette absence de différences dépend à la fois de l'état physiologique des plants et des conditions climatiques lors des périodes précédant et suivant la plantation.

D'après des travaux antérieurs sur la

croissance racinaire, l'état physiologique des plants et les conditions climatiques (DUCREY *et al.*, 1990), on peut comparer l'intérêt respectif des plantations d'automne et de printemps. Pour les plantations d'automne, le potentiel de régénération racinaire est élevé mais l'allongement racinaire est en diminution à cause de la baisse des températures. Il pourra y avoir des risques de dessèchement hivernal et de gel des plants si l'enracinement des plants n'est pas suffisant au début de l'hiver. Pour les plantations de printemps, le potentiel de régénération racinaire est élevé et l'allongement racinaire est en phase active sous l'effet de l'augmentation des températures printanières. Cependant, pour les plantations tardives, la croissance raci-



Photo 5 : Sapinière de *Abies cephalonica* en Grèce

Photo M. D. - INRA Avignon

naire sera limitée par le débourrement qui pourra être d'autant plus précoce que les plants auront été élevés à basse altitude et dans des conditions protégées. Les plants risquent donc d'aborder l'été avec un enracinement insuffisant et être sensibles à la sécheresse estivale. Cette précocité du débourrement accroît aussi les risques de gelées printanières auxquelles le sapin de Céphalonie est très sensible.

La plantation de novembre a été faite pendant une période pluvieuse mais a été suivie par un hiver relativement sec. La plantation de mars a été suivie par une période pluvieuse en avril mais l'été a été particulièrement long et sec. Le taux moyen de reprise de 65 % est le reflet de ces conditions estivales difficiles. Si on examine les conditions climatiques de ces 10 dernières années, 1989 est l'année la plus sèche tandis que 1992 et 1996 ont été des années avec un été particulièrement arrosé sans mois sec (précipitations mensuelles toujours supérieures à 2 fois la température moyenne mensuelle). En 1992 et 1996, il est probable que le taux de reprise aurait été bien supérieur. Les conditions climatiques particulières de la période de plantation et de la saison de végétation qui suit jouent un rôle déterminant dans la reprise de la plantation. Le succès en plantation d'une espèce très sensible à la transplantation telle que le sapin de Céphalonie est donc fortement aléatoire, cet aspect

aléatoire étant renforcé par la grande irrégularité du climat méditerranéen.

## Effet de l'environnement topographique

Les résultats obtenus sont largement différents d'un bloc à l'autre. La situation de ces blocs, d'un sommet de versant jusqu'au fond d'un vallon, leur confère une grande diversité de situations topographiques : altitude, pente et exposition, mais aussi édaphiques. Ceci s'est traduit par des différences de hauteur du taillis de chêne pubescent pré-existant qui indiquent des différences de productivité potentielle. Ces différences apparaîtront sans aucun doute lorsque nous étudierons la croissance des sapins.

Les différences entre blocs, du taux de reprise, ne peuvent être attribuées à des différences environnementales car nous avons inclus dans l'effet BLOC un éventuel effet PLANTEUR. Par contre les différences entre blocs des dégâts de gelées printanières sont à attribuer aux différences environnementales, l'air froid ayant eu tendance à s'accumuler au fond du vallon.

## Effet de l'abri latéral en plantation

Les conditions de plantation sur le terrain en plein découvert ou dans des

bandes déboisées de différentes largeurs ont indiscutablement l'effet le plus marquant sur la reprise des plants et sur les dégâts de gelées printanières. Globalement le taux de reprise varie de 58 % dans le plein découvert à 78 % dans les bandes étroites. Les dégâts de gelées printanières ont montré pour 1997, 49 % de plants entièrement gelés dans le plein découvert et seulement 7 % dans les bandes étroites. L'effet protecteur des bandes est donc bien réel d'une part en augmentant le taux de reprise et d'autre part en diminuant l'effet des gelées printanières.

L'effet positif sur la reprise est dû à une diminution de l'ensoleillement dans les bandes donc à une diminution de la demande transpiratoire climatique. AUSSENAC (1973) avait constaté une diminution de l'évaporation dans des bandes déboisées par rapport au plein découvert, cette diminution étant attribuée à une forte diminution de la vitesse du vent dans les bandes. Nous n'avons pas effectué de mesures microclimatiques dans les bandes, aussi est-il difficile de déterminer précisément les causes de l'effet protecteur de ces bandes. De manière générale, il est très difficile de comparer l'effet des bandes dans des expérimentations différentes car cet effet dépend fortement des caractéristiques des bandes : leur largeur relative, leur orientation et éventuellement leur pente. La largeur relative des bandes détermine la durée de la période d'ensoleillement à l'intérieur des bandes. L'orientation des bandes joue aussi un rôle déterminant. Les bandes nord-sud sont ensoleillées pendant la période du midi solaire et la durée d'insolation dépend alors de leur largeur relative. Mais pendant la plus grande partie de la journée, les plants sont à l'ombre et leur transpiration est réduite. Au contraire les bandes orientées est-ouest offrent des conditions plus hétérogènes. Les plants situés près de la lisière sud de la bande sont pratiquement toujours à l'ombre tandis que les plants proches de la lisière nord sont toute la journée au soleil. Le soleil n'est pas le seul facteur agissant sur les plants dans les bandes. Le vent est aussi un paramètre important et les interbandes jouent le rôle de brise-vent. L'orientation des bandes par rap-

port aux vents dominants est donc à prendre en compte. Des bandes orientées dans le sens des vents dominants n'offrent pas de protection et les conditions microclimatiques sont peu différentes d'un plein découvert. Par contre des bandes orientées perpendiculairement aux vents dominants offrent une protection maximale qui se traduit par une vitesse du vent plus faible, une humidité plus forte et des températures maximales plus élevées. Les répercussions sur la transpiration des plants dépendent de l'effet relatif de chacun de ces paramètres. En règle générale l'effet "brise-vent" sur des plants ensoleillés est positif si la disponibilité en eau est bonne; il est en revanche négatif si les plants sont en situation de stress hydrique.

Les bandes ont eu aussi un effet important pour limiter les dégâts de gel. Des résultats analogues ont été trouvés par AUSSENAC (1968) lors d'une étude sur le débournement de différentes espèces de sapins sous taillis fermé, dans une trouée circulaire de rayon égal à la hauteur du taillis et en plein découvert. Les plants étant alors tous au même stade phénologique de débournement, aucun dégât n'a été observé sous abri, seuls les bourgeons latéraux ont été endommagés dans la trouée et tous les bourgeons ont été endommagés dans le plein découvert. Ces résultats sont très proches de ceux que nous avons observés. D'après nos résultats il semble que le stade de débournement soit moins avancé dans les bandes qu'en plein découvert, ceci pouvant être dû à des températures moyennes plus faibles dans les bandes que dans le plein découvert. Des études microclimatiques et phénologiques de débournement apparaissent nécessaires pour conclure.

Il reste aussi à étudier l'effet des bandes sur la croissance et la hauteur

des plants au bout de 10 années de plantation. Les mesures correspondantes sont prévues lors de l'hiver 1998-99.

## Suppression de l'abri et poursuite de l'expérience

Le rôle positif des interbandes boisées sur le taux de reprise est évident mais il est maintenant terminé : la mortalité s'est stabilisée au cours des 3 années qui ont suivi la plantation. Par contre la protection contre les gelées printanières est encore très efficace et le besoin de protection ne cessera que lorsque les plants auront atteint une hauteur suffisante pour échapper à la plupart des gelées ce qui n'est pas encore le cas. On peut estimer cette hauteur critique à 1 mètre. En effet, lors d'une gelée tardive, le refroidissement est très intense au niveau du sol, il est déjà beaucoup moins intense à 50 cm au dessus du sol (Cf. Tab. V) et à 1 mètre la température est voisine de la température de l'air sous abri. Aussi, il est pour l'instant nécessaire de garder les interbandes boisées pour permettre aux plants d'être plus rapidement hors gel. Pour être complet notre raisonnement devrait inclure l'éventuel effet des bandes sur la croissance des plants ce qui pourra être fait dès l'hiver prochain. Dans l'optique expérimentale qui est la nôtre, nous avons intérêt à accentuer au maximum l'effet des facteurs expérimentaux et nous maintiendrons vraisemblablement les interbandes boisées pendant encore 5 ans. Leur suppression fournira alors l'occasion d'étudier l'effet du choc lumineux ainsi provoqué sur la physiologie et la croissance des jeunes sapins.

M.D., M.T.

## Bibliographie

- ARGILLIER C., FALCONNET G., BRACHIC P., GRUEZ J. 1990 - La croissance en pépinière du sapin de Céphalonie (*Abies cephalonica* Loud.) Influence de quelques facteurs nutritionnels et physiques. in : Ducrey M. et Oswald H. (Eds) Séminaire International Sapins méditerranéens : Adaptation, sélection et sylviculture. C.C.E. Luxembourg, 217-225.
- AUSSENAC G. 1968 - Observations sur les effets d'une gelée tardive. Revue forestière française, XX (3), 204-211.
- AUSSENAC G. 1973 - Etude microclimatique de coupes rases par bandes en forêt d'Epinal (Vosges). Comparaison avec la coupe rase. Revue forestière française, XXV (4), 283-293.
- BONNEAU M. 1988 - Le diagnostic foliaire. Revue forestière française, XL n° spécial, 19-28.
- DUCREY M., JOFFRE M. C., MENOUD M. A. 1990 - Croissance racinaire et reprise en plantation du sapin de Céphalonie. in : Ducrey M. et Oswald H. (Eds) Séminaire International Sapins méditerranéens : Adaptation, sélection et sylviculture. C.C.E. Luxembourg, 227-239.
- DUCREY M., TURREL M. 1990 - Plantation expérimentale de sapin de Céphalonie : protocole expérimental et compte rendu d'installation. Document INRA Sylviculture méditerranéenne n°4-90, Avignon, 31p.
- VALLAURI D. 1988 - Variabilité des potentialités forestières à l'intérieur d'une parcelle de taillis de chêne pubescent en forêt domaniale de Péllicier (04). Rapport de BTS Productions forestières, 25p.

## Résumé

*Le sapin de Céphalonie est une espèce potentielle de reboisement et des provenances utilisables en région méditerranéenne française ont été identifiées. Toutefois, son utilisation à grande échelle pose encore des problèmes liés à la production des plants en pépinière, à la transplantation et aux techniques d'introduction : un taux de mortalité souvent trop important est constaté dans les années suivant la plantation.*

*Pour étudier ces problèmes, nous avons installé une plantation expérimentale de sapin de Céphalonie en forêt domaniale de Pélicier à Manosque (04) pendant l'hiver 1988-89. Cette plantation de 9000 sapins, dont 5040 font partie de l'expérience relatée ici, couvre une superficie de 8 hectares. Les facteurs expérimentaux pris en compte sont :*

*- l'ombrage en pépinière. Trois conditions d'ombrage, fort, moyen et léger ont servi pour la protection des plants pendant les 3 années d'élevage en pépinière ;*

*- l'ombrage en plantation. Les plantations ont été faites soit en plein découvert, soit dans des bandes déboisées dans un taillis de chêne pubescent âgé de 43 ans et haut en moyenne de 6 m, bandes dont la largeur était égale à la moitié, une fois ou deux fois la hauteur du taillis ;*

*- la date de plantation, en novembre 1988 et mars 1989.*

*Des observations annuelles, voire bisannuelles, ont été faites sur l'ensemble des plants de 1988 à 1997. Elles ont porté sur la mortalité et, quand il y en avait, sur les dégâts de gelées printanières. On a observé des effets très limités de la date de plantation et du préconditionnement lumineux en pépinière sur le taux de reprise. Par contre l'effet de l'abri latéral provoqué par les bandes est très important : le taux de reprise est de 77,8 % dans les bandes étroites et seulement 58,2 % dans le plein découvert. Les gelées printanières sont fréquentes dans cette plantation (6 années sur 9) et les bandes ont aussi un rôle protecteur pour limiter les dégâts : ils sont 4 à 5 fois plus importants dans le plein découvert que dans les bandes étroites. Ces résultats ont été discutés en vue d'en tirer les premiers enseignements écologiques et sylvicoles.*

## Summary

*Mediterranean firs can play an important role in afforestation in the Mediterranean areas of France and, more generally, throughout southern Europe. They are able to form stable forest entities, quite fire-resistant and capable of such natural regeneration as the Grecian fir shows in its country of origin. Species diversification being desirable, Mediterranean firs offer an alternative to Atlas or Lebanon cedars or Austrian black pine. Like cedars, they produce quality timber. As the variability between and within species has become fairly well understood, particularly for the Grecian fir, it is possible to choose seed provenances in the light of habitat. Nevertheless, the widescale use of firs in replanting stands has revealed problems related to nursery production, transplanting and methods of introduction : young mortality rates in the years following planting are often too high.*

*In order to study this problem, an experimental stand of Grecian fir was established in the state forest of Pélicier (south-east France) during the winter of 1988-89. The stand, covering 8ha., is made up of 9,000 fir trees of which 6,500 have been studied individually. The factors taken into account in the experiment were :*

*- shade in the nursery : three degrees of shade - deep, medium and light - were used to protect the seedlings during their three years in the nursery ;*

*- shade in the plantations : the seedlings were planted out either fully exposed to the light or in cleared rows cut into 40-year-old downy oak coppice averaging 6m in height. The width of the rows was equal to half, to the same as, and to twice the coppice height ;*

*- date of planting : October 1988 and March 1989.*

*Annual, or biannual, measurements, made for all the seedlings from 1988 to 1997, recorded mortality, height increment and, when relevant, spring frost damage. A first evaluation was made a year after planting out and mainly concerned plant mortality. The present paper aims to provide a more thorough account of the experiment, nine years after its inception, and to draw some initial ecological and silvicultural conclusions.*

## Riassunto

*Gli abeti mediterranei sono suscettibili di avere una grande influenza per il rimboschimento nella regione mediterranea francese e più generalmente nell'Europa meridionale. Difatti, possono costituire formazioni forestali stabili, poco sensibili agli incendi, capaci di rigenerarsi naturalmente come i popolamenti di abete di Cefalonia in Grecia. Gli abeti mediterranei presentano un alternarsi ai cedri dell'Atlante o del Libano e al pino di Austria : il variare delle specie è auspicabile. Come i cedri, producono legno di qualità. La variabilità tra le specie e all'interno delle specie incomincia a essere conosciuto abbastanza bene, particolarmente per l'abete di Cefalonia, ciò che permette di orientare la scelta dei fonti di semi in funzione dell'ambiente. Tuttavia, la loro utilizzazione a scala grande nei rimboschimenti pone ancora problemi legati alla produzione di piantine in semenzaio, al trapianto e alle tecniche d'introduzione : un tasso di mortalità spesso troppo importante è constatato negli anni che seguono la piantagione.*

*Per studiare questo problema, abbiamo installato una piantagione sperimentale di abete di Cefalonia in foresta demaniale di Pelicier (04) durante l'inverno 1988-89. Questa piantagione di 9000 abeti, di cui 6500 studiati individualmente, copre una superficie di 8 ettari. I fattori sperimentali presi in conto sono :*

*- l'ombra in semenzaio. Tre condizioni di ombra, forte, media, lieve hanno servito per la protezione delle piantine durante i tre anni di allevamento in semenzaio ;*

*- l'ombra in piantagione. Le piantagioni sono state fatte sia in pieno scoperto, sia in fasce disboscate in un ceduo di roverella di 40 anni e alto di 6 m in media, fasce di cui la larghezza era uguale alla metà, una volta o due volte l'altezza del ceduo ;*

*- la data di piantagione, in ottobre 1988 e marzo 1989.*

*Osservazioni annuali, perfino bienni, sono state fatte sull'insieme delle piantine del 1988 al 1997. Hanno portato sulla mortalità, la crescita in altezza e, quando ce n'erano, sui danni dei geli primaverili. Un primo bilancio è stato fatto un anno dopo le piantagioni e ha portato essenzialmente sul tasso di mortalità. Il presente esposto si propone di fare il bilancio più completo di questa sperimentazione, nove anni dopo la sua messa in posto, e di trarne le prime conclusioni ecologiche e silvicole.*